



Botânica

Botânica

Thais Ribeiro Semprebom

© 2018 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 e de Educação Básica

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Rafael Bento Da Silva Soares

Editorial

Camila Cardoso Rotella (Diretora)

Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Leticia Bento Pieroni (Coordenadora)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Semprebom, Thais Ribeiro
S473b Botânica / Thais Ribeiro Semprebom. – Londrina :
Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.
208 p.

ISBN 978-85-522-0578-4

1. Botânica. I. Semprebom, Thais Ribeiro. II. Título.

CDD 581

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2018
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 – Londrina – PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 Visão geral e morfologia externa das plantas _____	7
Seção 1.1 - Diversidade e ciclo de vida das plantas _____	9
Seção 1.2 - Morfologia externa de raiz e caule _____	25
Seção 1.3 - Morfologia externa de folha, flor e fruto _____	40
Unidade 2 Tecidos vegetais e crescimento _____	59
Seção 2.1 - Células e tecidos vegetais _____	60
Seção 2.2 - Morfologia interna _____	75
Seção 2.3 - Crescimento e desenvolvimento vegetal _____	90
Unidade 3 Nutrição, regulação do crescimento e mecanismos de adaptação vegetal _____	107
Seção 3.1 - Relações hídricas e nutrição vegetal _____	109
Seção 3.2 - Hormônios vegetais _____	124
Seção 3.3 - Mecanismos de adaptação ao ambiente _____	140
Unidade 4 Diversidade e sistemática das plantas _____	157
Seção 4.1 - Sistemas de classificação dos vegetais _____	159
Seção 4.2 - Diversidade das plantas sem sementes _____	173
Seção 4.3 - Diversidade das espermatófitas _____	188

Palavras do autor

Seria muito simples e fácil listar aqui, tudo o que torna o estudo da Botânica importante, afinal, todos sabem que as plantas fazem parte da nossa vida cotidiana e só esse fato já deveria ser o suficiente para a compreensão da importância dessa ciência. Porém, frequentemente o estudo dos vegetais não recebe seu devido valor, uma vez que estão presentes no dia a dia, acabamos nos acostumando com eles e olhando cada vez menos para esses seres vivos. Nosso objetivo com o estudo da Botânica é ampliar a maneira como vemos as plantas, entendendo que elas estão neste mundo por diversas outras razões que não nos servir e embelezar e que são seres vivos tão interessantes quanto os demais. A partir dessa compreensão é que toda a importância de se estudar as plantas se constrói.

Neste livro procuramos fazer com que você passe a enxergar as plantas e compreender seu modo de vida. Para isso, será necessário caracterizá-las, diferenciá-las dos demais grupos de seres vivos, reconhecer suas formas e entender seu funcionamento. A fim de entender como plantas podem ser tão diversas será preciso voltar até o início da história vegetal na Terra, conhecer seus ancestrais e associar sua evolução à capacidade de conquistar os diferentes ambientes do planeta.

Apresentamos, a seguir, a organização deste material: a Unidade 1 está voltada para o reconhecimento dos vegetais, falando sobre o que são; como surgiram e habitaram o ambiente terrestre; quais são os principais eventos do seu ciclo de vida e como são externamente. Na Unidade 2 voltaremos o olhar para o interior da planta, a fim de compreender seu crescimento e desenvolvimento a partir de tipos celulares diversos e de sua organização em tecidos especializados. A maneira como as plantas se comportam no ambiente em que vivem e como utilizam os recursos para serem autossuficientes será discutida ao longo da Unidade 3. Por fim, na Unidade 4, será abordada a forma como as plantas são divididas e organizadas para fins de estudo, as principais características de cada um dos grandes grupos vegetais existentes e a relação da humanidade com as plantas.

Não hesite em consultar todas as unidades do livro sempre que necessário, em busca de explicações mais detalhadas sobre um

determinado assunto. Acesse todos os materiais indicados e amplie sua busca pela compreensão do mundo vegetal.

Bons estudos!

Visão geral e morfologia externa das plantas

Convite ao estudo

Ao longo da história da humanidade as plantas foram utilizadas pelo homem de diferentes formas e esse aproveitamento só foi possível a partir do momento em que passamos a compreender esses seres vivos. Seja aproveitando uma parte da planta como alimento, ou utilizando-a para desenvolver novas tecnologias, é necessário conhecê-la.

Nesta primeira unidade vamos procurar oferecer subsídios para que você consiga definir uma planta de forma mais aprofundada, procurando sair do senso comum. Para isso, não basta descrever como é uma planta, mas entender que o que elas são hoje é resultado de uma série de processos evolutivos que começaram nos seus ancestrais e que essas características, adquiridas ao longo da história das plantas, levaram à grande diversidade desses organismos. Iremos conhecer ainda os principais caracteres morfológicos das plantas, de forma que você seja capaz de aplicar os conhecimentos dos principais fundamentos da Botânica ao seu cotidiano e à sua futura função de professor de Ciências.

Lembre-se de que você precisará fazer com que seus alunos também se interessem e reconheçam a importância de compreender o mundo vegetal, que existe muito antes dos seres humanos e é tão curioso e cheio de particularidades, assim como os animais.

Antes, durante e após o estudo desta unidade, reflita sobre as seguintes questões e observe se suas concepções mudam ao longo do aprendizado: por que estudar plantas? Elas são importantes na nossa vida? O que define uma planta? De onde elas surgiram? Quais estruturas utilizam para adquirir recursos

nutricionais, fixar-se, reproduzir-se, se nem mesmo saem do lugar?

Na primeira seção serão apresentadas as características gerais das plantas, sua origem, diversidade e aspectos gerais do seu ciclo reprodutivo. Em seguida, apresentaremos as diferentes partes externas dos vegetais, tanto vegetativas quanto reprodutivas, bem como suas principais funções no corpo da planta. Para cada órgão estudado também discutiremos suas variações estruturais e as adaptações relacionadas ao seu modo de vida e ambiente em que vivem. Desta forma, pretendemos que você seja capaz de entender o que é, como se organizam e para que servem as variadas estruturas que compõem uma planta.

Seção 1.1

Diversidade e ciclo de vida das plantas

Diálogo aberto

Nesta seção buscaremos entender o que são, de fato, as plantas, como elas surgiram no nosso planeta e de que forma colonizaram o ambiente terrestre. Quando reconhecemos as principais características dos vegetais e de suas aquisições evolutivas, conseguimos compreender a grande diversidade de plantas que existem atualmente. Por fim, teremos uma noção de como acontece seu ciclo de vida, afinal, graças à reprodução é que as plantas ainda estão por aqui.

Lembre-se de que nossa missão é aliar os conhecimentos teóricos à importância de estudarmos as plantas, que nos acompanham por toda a história. Este é o momento em que você, como futuro professor de Ciências, precisa sensibilizar seus alunos para o estudo da Botânica.

Imagine que você está planejando a primeira aula sobre plantas e quer garantir que os estudantes, desde já, reconheçam-nas e valorizem-nas como seres vivos. Você decide, então, que irá contar uma história sobre elas. Nessa história você deverá: apresentar o ser vivo principal e contextualizar cada grande grupo de plantas como sendo um “povo” diferente, em que cada um tem suas características particulares, vive em ambientes onde conseguem recursos para sobreviver e se reproduzir. Também deverá mostrar como “habilidades especiais” permitiram que algumas plantas conseguissem sobreviver em locais diferentes dos seus ancestrais e que, assim como os demais seres vivos, passam por diferentes fases de vida.

Para auxiliar no planejamento da sua história, considere as seguintes questões:

- Quais seriam os “povos” apresentados?
- Que características você destacaria para representar cada grupo?
- Que ambientes poderiam ser habitados por cada grupo?
- Quais as principais habilidades dos grupos para sobreviver em locais diferentes dos seus ancestrais?

Use sua criatividade tanto para elaborar a história quanto na escolha dos recursos utilizados para contá-la!

Para resolver essa atividade, você precisará ler sobre as características gerais das plantas, sobre sua origem e sobre como conquistaram o ambiente terrestre, além de compreender a diversidade vegetal. Esses conteúdos lhe ajudarão a elaborar uma história rica em informações e dentro de um contexto evolutivo das plantas.

Não pode faltar

Características gerais das plantas

Caracterizar uma planta vai além de descrever aquilo que vemos nelas. Ao sermos confrontados com esse desafio, é preciso lembrar das relações que os vegetais têm com outros seres vivos. Devemos pensar também em tudo o que foi necessário para que as plantas se estabelecessem e conseguissem habitar ambientes tão diversos no nosso planeta, adquirindo tantas formas, tamanhos e peculiaridades. Nem sempre esses requisitos estão diante dos nossos olhos, portanto, vamos procurar entender o que faz com que um ser vivo seja considerado **planta**.

De maneira muito simples, as plantas poderiam ser definidas como **organismos eucariontes que realizam fotossíntese**. No entanto, essa definição não se aplica somente aos vegetais e não é o suficiente para definir o grupo. Plantas são organismos **multicelulares**, o que significa que são formadas por inúmeras células que, permanecendo unidas (não necessariamente conectadas de forma permanente), formam **tecidos multicelulares**. Esses tecidos são especializados em exercer determinadas funções, dando início a uma divisão de tarefas e cooperação, permitindo que as plantas cresçam em tamanho.



Pesquise mais

A fotossíntese é uma das características mais marcantes das plantas. Mas, será que é exclusiva desse grupo? Leia a notícia indicada a seguir, que mostra um animal capaz de realizar fotossíntese por meio de um processo chamado cleptoplastia.

LESMA-DO-MAR incorpora genes de alga para conseguir fazer fotossíntese. G1, São Paulo, 5 fev. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2015/02/lesma-do-mar-incorpora-genes-de-alga-para-conseguir-fazer-fotossintese.html>>. Acesso em: 4 out. 2017.

Sugerimos também a leitura do texto a seguir, que relata a teoria endossimbiótica, proposta para explicar o aparecimento de organelas, como cloroplastos e mitocôndrias, a partir da incorporação de endossimbiontes na evolução da célula eucariótica.

EL-HANI, Charbel. Eucarioto sem mitocôndrias não refuta mas apoia teoria endossimbiótica. Darwinianas. [S.l.], 26 jul. 2016. Disponível em: <<https://darwinianas.com/2016/07/26/eucarioto-sem-mitocondrias-nao-refuta-mas-apoia-teoria-endossimbiotica/>>. Acesso em: 4 out. 2017.

As plantas são organismos **eucariontes**, pois suas células contêm núcleo delimitado por membrana, bem como as organelas celulares. A parede celular dos vegetais é composta principalmente por **celulose**, um carboidrato complexo e fibroso formado por unidades de glicose unidas entre si.

Plantas são **organismos fotossintetizantes**, pois convertem a energia luminosa em energia química, produzindo compostos orgânicos (geralmente carboidratos) a partir de moléculas inorgânicas. Isso ocorre pois dentre as organelas presentes nas células vegetais estão os **cloroplastos**, que possuem duas membranas e contêm **clorofila a e b**, pigmentos receptores de energia luminosa, também encontrados em outros organismos, como algas verdes, euglenoides e alguns dinoflagelados.

Fotossíntese faz com que os vegetais sejam classificados como **autótrofos** (*autos*: o próprio, sozinho + *trophos*: alimento), uma vez que conseguem viver dos produtos da fotossíntese, sem utilizar outros organismos ou suas substâncias derivadas como alimento. Por meio da fotossíntese, as plantas **forneem oxigênio** ao ambiente e a maior parte do alimento consumido pelos animais terrestres. Logo, as plantas são essenciais para a existência de outras formas de vida.

Cada uma dessas características sozinhas não define uma planta, mas sim o conjunto delas. Ao longo deste livro, outras serão abordadas mais detalhadamente, como o crescimento indeterminado, as características reprodutivas, a capacidade de defesa sem deslocamento, entre outras.

Origem das plantas e conquista do ambiente terrestre

Acredita-se que a colonização do ambiente terrestre pelas plantas tenha se iniciado há cerca de **400 milhões de anos** durante o período

Siluriano, sendo que os maiores exemplares apareceram há cerca de 350 milhões de anos. Mas de onde e como surgiram?

Considera-se que as plantas terrestres descendem de um único ancestral comum. O consenso é de que elas **evoluíram das algas verdes** e, dentre essas, as ordens atuais **Charales** e **Choleochaetales** (*filo Charophyta* ou Carófitas) são as que mais se assemelham às plantas terrestres, portanto são os grupos mais próximos porque, assim como as plantas terrestres, **retêm o óvulo e zigoto no organismo parental**.

Mais ainda, algumas características estruturais e microscópicas contribuem para que as Charales sejam consideradas um grupo-irmão das plantas terrestres: essas algas apresentam **crescimento apical e ramificado**; possuem **plasmodesmos** unindo o citoplasma de células adjacentes; os **peroxissomos** possuem conteúdos similares; há semelhanças nos mecanismos de divisão celular e na estrutura do cloroplasto.

Um passo importante no crescimento das algas, semelhante ao das plantas, foi o fato de que as células permaneceram unidas após a divisão, compartilhando a parede celular entre elas e formando longas estruturas filamentosas. Outras características que colocam as algas verdes como parentes mais próximos das plantas terrestres são:

- Presença de **clorofilas a e b**.
- Reserva de **amido intraplástico** como produto da fotossíntese.
- Presença de **celulose na parede celular** em algumas algas verdes.
- Células reprodutoras com **estrutura flagelada** (algumas plantas têm gametas masculinos flagelados).
- Formação do **fragmoplasto** na divisão celular (citocinese).
- Presença de **fitocromos**.
- Os zigotos das Charales são envoltos por paredes grossas com **esporopolenina**, que é um componente também encontrado nas paredes dos esporos das plantas e do pólen.

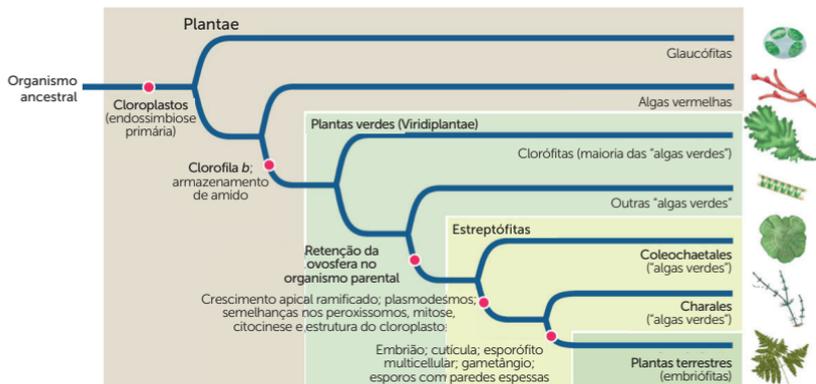


Vocabulário

Fragmoplasto: sistema de fibrilas em forma de fuso, originado entre os dois núcleos filhos na telófase, que auxilia a deposição de celulose e posterior formação da parede celular que irá separar duas células-filhas.

Dados moleculares reforçam o parentesco entre algas verdes e plantas terrestres, colocando-as em um grupo chamado **Viridiplantae**, mostrado na Figura 1.1, que apresenta uma hipótese sobre as relações entre grupos vegetais e características evolutivas.

Figura 1.1 | Cladograma das plantas verdes (Viridiplantae)



Fonte: adaptada de Sadava et al. (2009 p. 590).



Exemplificando

Como interpretar cladogramas?

Cladogramas são representações gráficas que representam um grau estimado de parentesco evolutivo entre grupos de seres vivos, com base em um provável ancestral comum. Para entender o cladograma apresentado na Figura 1.1: o primeiro traço é a base, que representa o ancestral comum a todos os demais grupos aqui analisados. Os pontos representam características novas (novidades evolutivas), presentes nos grupos após o ponto e ausente nos anteriores. De cada "nó" sai um "ramo", que indica o momento em que um grupo se separou dos demais, considerando o aparecimento de novas características, ou seja, representa uma linhagem evolutiva.

Um dos mais importantes eventos evolutivos na história das plantas foi a **transição dos organismos da água para a terra**. Algumas das algas consideradas ancestrais das plantas viviam em ambientes onde ocorria dessecação ocasional, como águas rasas próximas às margens de lagos. Nesses casos, a seleção natural favoreceu indivíduos que sobrevivem aos períodos em que não estão submersos. A partir desses locais marginais é que as primeiras plantas fizeram a transição para a terra.

O ambiente terrestre oferecia vantagens para o desenvolvimento das plantas, como o fato de a **luz solar** estar mais **diretamente disponível** pois não era mais filtrada pela água e pelo plâncton, favorecendo a fotossíntese. A **disponibilidade de dióxido de carbono** na atmosfera era mais abundante fora da água do que dentro dela e os solos próximos à margem da água seriam ricos em alguns **nutrientes minerais**.

Entretanto, dentre tantos benefícios, uma série de desafios deveriam ser enfrentados na transposição de ambientes. Fora da água havia o risco de uma relativa escassez desse recurso e os organismos corriam **risco de dessecação** (a esporopolenina das algas carófitas ajuda a impedir o ressecamento). Uma vez que a obtenção de água no ambiente terrestre fosse resolvida, ela deveria ser **transportada** (com nutrientes obtidos do solo) para as regiões mais distantes da fonte na planta. Por último, as candidatas a plantas terrestres precisariam ser capazes de **reter água** o suficiente para evitar a dessecação.

Além desses obstáculos, os organismos aquáticos contavam com a água na sua sustentação, como **suporte estrutural**, mas fora da água esse suporte contra a gravidade não estava mais presente. Por fim, havia a questão da **dispersão** dos gametas e descendentes fora d'água.

Para que as plantas pudessem se estabelecer no ambiente terrestre, foram necessárias algumas **adaptações**, descritas a seguir.

Para prevenir a dessecação das plantas ou de estruturas específicas:

- **Embriões protegidos** por camada de células estéreis.
- Epiderme com **cutícula**, uma estrutura composta por **cutina**, material ceroso impermeabilizante que recobre folhas e caules. Entretanto, a cutícula também pode impedir as trocas gasosas entre a planta e a atmosfera, necessárias para a fotossíntese e para a respiração.
- **Estômatos** (ausentes nas hepáticas, um tipo de planta terrestre avascular), que permitem a entrada e saída de oxigênio e dióxido de carbono na planta. Os estômatos realizam essa tarefa de forma controlada (abertura e fechamento, conforme as necessidades da planta), já que também são uma porta de saída de vapor d'água da planta para o meio externo, contornando, assim, o problema imposto pela cutícula.
- **Esporopolenina** recobrimo esporos e grãos de pólen: também protegem contra injúrias mecânicas.

Para solucionar o problema de distribuição de água pela planta:

- **Traqueídes**, células especializadas na condução de água (nas plantas vasculares). O desenvolvimento do sistema vascular, com células lignificadas (com lignina), favoreceu o crescimento em altura das plantas (com plantas mais altas, os esporos seriam dispersos a maiores distâncias), conferiu suporte estrutural contra a ação da gravidade e possibilitou o transporte de substâncias a longas distâncias dentro da planta.



Vocabulário

Lignina: polímero associado à celulose na parede celular, que confere rigidez, resistência mecânica e impermeabilidade aos vegetais.

Para lidar com as condições abióticas e oferta de recursos do novo ambiente:

- **Pigmentos** específicos das plantas as protegem contra a radiação ultravioleta, que pode ser mutagênica.

- A **associação com fungos** (micorrizas) favoreceu a absorção de nutrientes do solo.

- O fato de as plantas apresentarem **meristemas apicais**, locais de intensa e constante divisão celular, permite o alongamento da raiz e do caule. Isso indica a formação de órgãos especializados acima e abaixo do solo aumentando, assim, a exposição aos recursos do ambiente, como luz e oxigênio (acima do solo), água e nutrientes (principalmente do solo) e a eficiência na captação desses recursos.



Refleta

Até aqui entendemos os aspectos evolutivos das plantas no seu processo de estabelecimento no ambiente fora da água. Pensando na continuidade desse processo, você consegue imaginar como teria sido a evolução das plantas se elas não coevoluissem com outros seres vivos, como fungos, insetos e outros animais?

É importante ter em mente que a presença de plantas colonizadoras no ambiente terrestre contribuiu para modificar o próprio ambiente, em termos de composição e estrutura do solo. Ácidos secretados pelas plantas ajudam a quebrar rochas e a decomposição de plantas mortas (ou suas partes destacadas) reincorporam substâncias orgânicas ao solo.

Outros aspectos surgiram ao longo da evolução das plantas, mas esses serão tratados mais à frente nesta disciplina, na caracterização de cada grupo vegetal.

Diversidade vegetal

As características que surgiram ao longo da história evolutiva das plantas resultaram no grande número de tipos e espécies de plantas que encontramos na biosfera. Atualmente mais de **350 mil espécies** de plantas são conhecidas, no entanto estima-se que existam mais de 400 mil espécies.

As plantas terrestres são chamadas de **embriófitas** (*Embryophyta*) por terem embriões que se desenvolvem ainda retidos no gametófito feminino. Apesar de apresentarem um rol de características compartilhadas, as plantas são agrupadas de acordo com aspectos corporais e reprodutivos nelas presentes ou ausentes. Vamos conhecer agora alguns desses grupos, porém uma classificação mais detalhada das embriófitas será apresentada na Unidade 4 deste livro.



Assimile

A diversidade das plantas está relacionada ao desenvolvimento dos tecidos e órgãos, que as capacitaram a viver no ambiente terrestre e em diferentes condições.

Um dos critérios de agrupamento das plantas é a presença ou ausência de um **sistema de tecidos vasculares**, relacionado ao transporte de água e solutos pelo corpo do vegetal. Plantas que não possuem sistema vascular são chamadas **avasculares** e são representadas pelas hepáticas, musgos e antóceros (informalmente chamadas de briófitas). Os vegetais que possuem sistema vascular são chamados de vasculares e representam mais de 90% das plantas atuais.

De maneira geral, o sistema vascular é composto pelo **xilema**, responsável por conduzir água e nutrientes da raiz para a parte aérea da planta, e pelo **floema**, que distribui os produtos assimilados do local onde foram produzidos para onde eles serão utilizados. As plantas vasculares também são nomeadas **traqueófitas**, uma vez que as **traqueídes** são algumas das principais células condutoras de fluidos.

Dentre as vasculares, as plantas são classificadas ainda por terem ou não **sementes**. Licófitas e pteridófitas são **plantas vasculares sem**

sementes. Já as **plantas vasculares com sementes** são representadas pelas gimnospermas e angiospermas, somando a maioria das espécies atuais. Veja um resumo da diversidade das plantas terrestres na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 | Os dez filios de plantas atuais

	Nome comum	Número de espécies conhecidas
Plantas avasculares (Briófitas)		
Filo Hepatophyta	Hepáticas	9.000
Filo Bryophyta	Musgos	15.000
Filo Anthoceroophyta	Antóceros	100
Plantas Vasculares		
Plantas vasculares sem sementes		
Filo Lycophyta	Licófitas	1.200
Filo Pterophyta	Pteridófitas	12.000
Plantas com sementes		
Gimnospermas		
Filo Ginkgophyta	Ginkgo	1
Filo Cycadophyta	Cicas	130
Filo Gnetophyta	Gnetófitas	75
Filo Coniferophyta	Coníferas	600
Angiospermas		
Filo Antophyta	Plantas floríferas	250.000

Fonte: adaptada de Reece et al. (2015, p. 617).

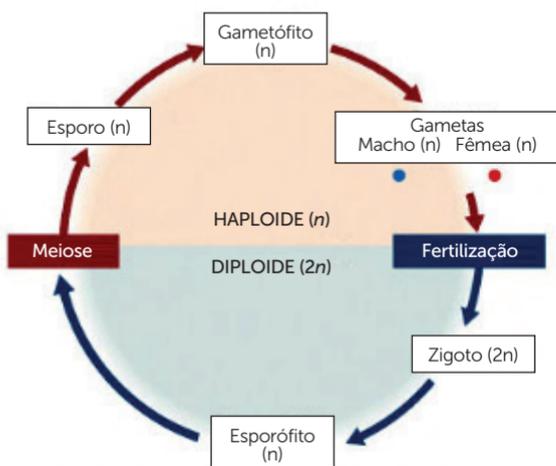
Ciclo de vida das plantas

A característica que marca o ciclo de vida das plantas é a **alternância de gerações**. Isso significa que, ao longo de sua vida, o vegetal apresentará um estágio multicelular **diploide** (células $2n$) e um multicelular **haploide** (células n). Nesse tipo de ciclo, os **gametas são produzidos por mitose**. Já os **esporos são produzidos por meiose** e se desenvolvem em um organismo multicelular haploide.

O ciclo (mostrado na Figura 1.2) começa com uma estrutura diploide chamada **esporófito** (que produz esporos). O esporófito sustenta um **esporângio**, dentro do qual as células-mães originam esporos a partir de **meiose**. Esses esporos germinam e crescem, produzindo por divisão mitótica uma estrutura haploide chamada **gametófito** (que produz gametas, por **mitose**). Os gametas se desenvolvem dentro

de órgãos chamados **gametângios**: os que contêm os gametas masculinos (espermatozoides ou anterozoides) são os **anterídios** e os que contêm os gametas femininos (oosferas) são os **arquegônios**. Quando os gametas se fundem (fertilização ou singamia), formam um **zigoto diploide** que, por divisão mitótica, origina uma estrutura diploide, o esporófito e o ciclo recomeça. Nas plantas, os **embriões são nutricionalmente dependentes** e se desenvolvem a partir dos zigotos, retidos no gametófito feminino, onde ficam protegidos.

Figura 1.2 | Alternância de gerações em plantas



Fonte: Sadava et al. (2009b, p. 614).

Musgos e outras plantas avasculares têm ciclos de vida dominados por gametófitos, que são maiores e mais autossuficientes do que os esporófitos. Nos demais grupos, o esporófito é a geração dominante: maior, mais duradoura e autossuficiente. O ciclo de vida de cada grupo de plantas será detalhado na Unidade 4 deste livro.

Sem medo de errar

No *Diálogo aberto* desta unidade, você foi desafiado a criar uma história que despertasse, nos seus futuros alunos, o interesse pelo estudo das plantas, sensibilizá-los a apreciar a diversidade da vida e a praticar a observação dos representantes vegetais.

Existem diversas formas de criar e contar uma história como essa, lembrando que sua condução poderá depender da idade dos alunos,

de quais conceitos eles já trazem consigo e da realidade local deles. Você pode optar por contar essa história de uma forma mais geral ou aproveitando o contexto da região, utilizando espécies típicas e expressivas ou que estejam inseridas em atividades econômicas importantes, seja na agricultura ou na extração de recursos vegetais. Ou, ainda utilizar plantas que possam passar despercebidas, como pequenas gramíneas, ervas daninhas ou “mato” que nasce até mesmo nas rachaduras do asfalto de um estacionamento ou nas paredes.

Uma proposta é que a contação de história seja realizada ao ar livre, em local onde os alunos estejam na presença de plantas. Ou, então, intensifique o uso de recursos visuais, como fotos, vídeos curtos ou, até mesmo, leve plantas em vasos ou terrários. O importante é que os alunos **vejam** o objeto de estudo e possam criar conexões com as informações apresentadas na aula. No seu planejamento, além da história em si, você precisará indicar a maneira de condução da aula em que ela será contada. Portanto, seguem alguns caminhos que poderão ser levados em conta.

O primeiro passo é fazer com que os alunos reconheçam as plantas como seres vivos. Você pode iniciar a aula mostrando a eles fotos de diversos seres vivos e perguntar quais dos elementos são considerados vivos. Verifique se eles já reconhecem as plantas como tal. Se não, retome os requisitos necessários para que um organismo seja vivo e garanta que os alunos reconheçam ao menos alguns deles nas plantas.

Comece sua história mostrando uma imagem (ou descrevendo um cenário) no qual não há plantas, diga que esse ambiente já existiu, há muito tempo, e que, com o passar do tempo, as plantas foram surgindo e povoando a Terra. Nesse momento não é necessário aprofundar sobre as algas como ancestral comum das plantas terrestres, porém, se o questionamento surgir por parte dos alunos, você poderá explicar ou sugerir que eles descubram por meio de pesquisas.

Apresente a eles uma planta qualquer, de preferência uma pouco chamativa, que passaria despercebida, como uma gramínea ou mesmo um dente-de-leão (sem flor, depois com flor e com os frutos, se possível).

Peça que observem as características que estejam de acordo com os principais critérios para que um organismo seja considerado uma planta, como:

- Quantidade de células: o fato de serem visíveis a olho nu indicam multicelularidade.

- Se são predominantemente verdes, indicando presença de clorofila e, conseqüentemente, organismos fotossintetizantes.

- E outras características que os alunos julguem serem importantes para uma planta.

Você pode apresentar outras plantas, para comparação principalmente de estruturas, como musgos e samambaias, orientando-os a observar as diferenças de:

- Tamanho: briófitas têm tamanho reduzido, embora haja angiospermas tão pequenas quanto briófitas.

- Estruturas de absorção de água e nutrientes: raízes aparecem apenas a partir de plantas vasculares sem sementes.

- Estruturas reprodutivas: presença de esporófito nas briófitas, de soros (aquelas “bolinhas” carregadas de esporos) nas folhas de samambaias, flores e frutos em angiospermas, sementes a partir de gimnospermas;

Não deixe de associar essas características às estratégias de sobrevivência de cada grupo no ambiente terrestre. Avalie se compreendem que, por menor ou menos chamativa que uma planta pareça inicialmente, todas elas cumprem suas funções e conseguem, no geral, superar as adversidades do ambiente em que se encontram, mesmo quando nascem na rachadura de uma parede de cimento ou entre pedras e são constantemente pisoteadas por pessoas.

Lembre-se de que, dependendo da faixa etária, o detalhamento das informações pode ser maior ou menor, mas que o importante, inicialmente, é ilustrar a diversidade das plantas. O aprofundamento poderá ser abordado nas aulas específicas sobre cada grupo de plantas.

A partir de sua história, que não tem um fim, pois as plantas continuam existindo e evoluindo, os alunos deverão ter uma ideia das características gerais de um vegetal, bem como reconhecer que a diversidade atual de plantas é resultado de muitas adaptações que ocorreram ao longo do tempo. Também poderão assimilar que a presença ou ausência de certas estruturas são consideradas para agrupar as plantas.

O ciclo de vida das plantas

Descrição da situação-problema

Você recebeu um convite para realizar consultoria para uma produtora de recursos digitais educacionais. Um dos materiais que você precisa ajudar a equipe a elaborar, desde o roteiro até a busca por imagens adequadas e uso de vocabulário correto, deve ser um recurso audiovisual que ilustre os principais aspectos do ciclo de vida das plantas.

- Como você explicaria o tipo de transferência de material genético das plantas?
- Que imagens você escolheria para ilustrar os elementos e fases do ciclo? Justifique as escolhas.
- Que sugestão você daria para tornar o vocabulário técnico acessível ao público leigo?

Resolução da situação-problema

As plantas alternam entre duas gerações ao longo da vida: uma haploide (contém apenas um conjunto de cromossomos) e outra diploide (há dois conjuntos cromossômicos, cada um herdado de um dos organismos parentais). Ao longo do ciclo, uma forma dá origem à outra e as duas são diferentes entre si.

Uma sugestão seria escolher apenas um grupo de plantas como exemplo, para simplificar e facilitar a compreensão do conceito de alternância de gerações, já que o objetivo do material é ilustrar os aspectos gerais do ciclo de vida das plantas. Poderia ser um musgo, pois é possível encontrar imagens que mostrem o gametófito sustentando o esporófito e, eventualmente, esporos sendo liberados. Ou uma samambaia, cujos esporângios (soros) com esporos (estágio haploide) são fáceis de identificar nas folhas do esporófito (planta adulta, assexual e diploide).

Uma ilustração mostraria que os esporos realizam mitose (etapa de reprodução assexuada do ciclo), criando cópias idênticas de si mesmos e originando um gametófito, que é um conjunto de células haploides iguais.

Nas samambaias, o gametófito (fase sexuada do ciclo, que produz gametas) tem uma estrutura com formato de coração. Estruturas e processos difíceis de identificar a olho nu, como gametas masculinos flagelados sendo levados pela água em direção ao gameta feminino, poderiam ser ilustrados de forma animada.

Em relação à acessibilidade de vocabulário, nos momentos em que os termos técnicos são apresentados eles podem ser brevemente explicados de acordo com o que significam no ciclo. Por exemplo: gametófito (estrutura da planta que produz gametas), esporófito (estrutura da planta que produz esporos).

Faça valer a pena

1. “[...], algumas pessoas nem mesmo têm certeza de que as plantas são vivas. [...], plantas não estão apenas vivas por si só. Elas também são a base de praticamente toda a vida na Terra, incluindo a nossa”.

ANGIER, N. Green, Life-Giving and Forever Young. **The New York Times**, New York, 17 abr. 2007. Disponível em <<http://www.nytimes.com/2007/04/17/science/17angi.html>>. Acesso em: 4 out. 2017. (Adaptado. Tradução nossa).

Com relação às características gerais das plantas, analise as afirmações a seguir.

I. A característica central dos vegetais é o autotrofismo, ou seja, sua capacidade de produzir seu próprio alimento.

II. As plantas transformam a energia da luz solar em açúcares por meio da fotossíntese.

III. As plantas também nos ajudam a respirar, porque liberam gás carbônico como subproduto da fotossíntese.

Para justificar o trecho sublinhado, poderiam ser incluídas no texto as afirmações:

a) I e II, apenas.

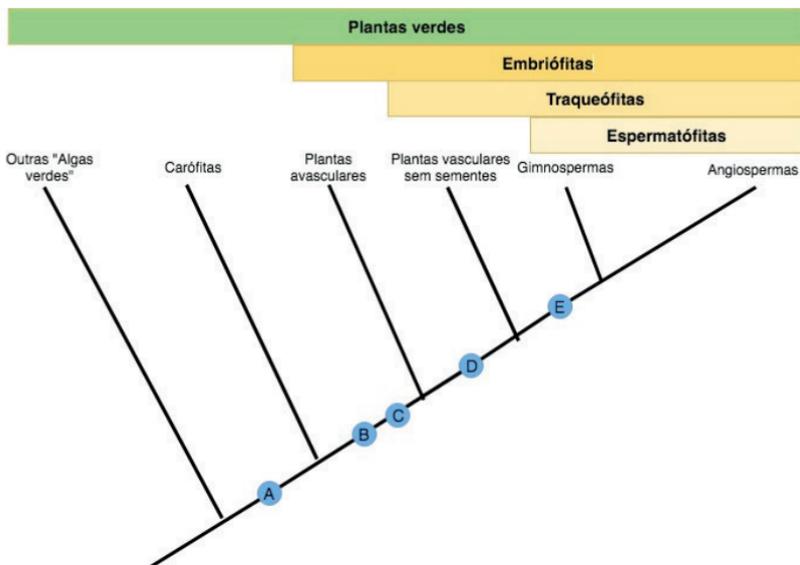
b) I e III, apenas.

c) II e III, apenas.

d) I, II e III.

e) III, apenas.

2. Cladogramas são ferramentas gráficas que representam o parentesco evolutivo estimado entre grupos de seres vivos, com base em características compartilhadas entre os grupos ou exclusivas. O cladograma a seguir, mostra de forma simplificada, a relação entre os principais grupos de plantas.



Fonte: elaborada pelo autor.

Considerando a origem das plantas terrestres e suas estratégias de sobrevivência no novo ambiente, marque a alternativa correta.

- O ponto A indica a aquisição de tecidos condutores de seiva: organismos a partir de Carófitas conseguem captar água do solo.
- O ponto D representa o momento a partir do qual as plantas apresentam embrião protegido.
- O ponto C pode representar o surgimento de cutícula, estrutura que reduz a perda de água no ambiente terrestre.
- O ponto B indica que as sementes se tornaram a principal estrutura reprodutiva após as Carófitas.
- Apenas a partir do ponto E é que as plantas terrestres têm alternância de gerações no ciclo vital.

3. “A reprodução em plantas é sobretudo sexuada, com ciclos de alternância de gerações haploides e diploides. Nos membros mais avançados do reino, a geração haploide (o gametófito) foi reduzida durante o curso da evolução.” EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Raven | Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014, p. 496.

Em relação ao ciclo de vida das plantas, marque a alternativa correta:

- O esporófito é a geração dominante apenas nas plantas avasculares, como os musgos.

- b) Gametófito é a estrutura que, por meiose, produz nas plantas gametas sempre flagelados.
- c) O zigoto se forma a partir da fusão de dois esporos haploides.
- d) O esporófito é a fase diploide ($2n$), que produz esporos como resultado de meiose e é a geração dominante nas plantas vasculares.
- e) Nas plantas, o esporófito é uma estrutura unicelular e o gametófito, multicelular.

Seção 1.2

Morfologia externa de raiz e caule

Diálogo aberto

Você já parou para observar a quantidade de diferentes caules e raízes que as plantas têm? Já refletiu sobre o porquê de tanta variedade? Alguma vez pensou se a raiz de uma planta é proporcional, em tamanho, à sua parte aérea, ou pelo menos o suficiente para manter a planta ancorada ao substrato em que está?

Nesta seção vamos estudar a morfologia externa dos órgãos vegetais, começando pelos caules e pelas raízes.

Lembre-se de que um conteúdo não pode deixar de ter significado, o qual muitas vezes surge no simples olhar e realmente enxerga o objeto de estudo. Portanto, na função de professor de Ciências, chegou a hora de ajudar seus alunos a observar como as plantas são diferentes entre si e a entender que suas características externas refletem o hábito de vida e sua forma de desenvolvimento.

Para tanto, sua tarefa é elaborar um roteiro para orientar grupos de alunos na produção de um catálogo visual das plantas de um determinado local, com ênfase em suas raízes e caules, incluindo informações sobre: diversidade, classificação e adaptações. Para que o trabalho seja realizado de forma satisfatória, você deve deixar claro o que os alunos precisam procurar, observar e registrar. Considere os seguintes direcionamentos:

- A escolha do local deve refletir tanto a disponibilidade de plantas variadas, como também ter significado na vida do grupo de alunos: é um local que eles frequentam diariamente? Um espaço importante da cidade?
- Como será feito o registro visual das plantas, de forma que suas características externas sejam fielmente representadas?
- Como serão elaboradas as legendas das imagens, ou seja, que informações sobre caules e raízes deverão explicar a imagem em questão?

- Quais critérios serão considerados para constituir os grupos de alunos, de forma que cada grupo contribua com uma seção do catálogo?

- Como o trabalho será divulgado para a comunidade escolar?

Para elaborar esse roteiro, você precisará orientar seus alunos a diferenciar um caule de uma raiz, a partir da identificação da morfologia básica desses dois órgãos (o que, acredite, nem sempre é simples!), além de conhecer os principais tipos e adaptações dessas estruturas. Bom planejamento!

Não pode faltar

Você sabe o que é a morfologia? Antes de iniciarmos o estudo da morfologia das plantas, vamos entender brevemente do que se trata esse conteúdo.

De acordo com Kaplan (2001), a morfologia vegetal, como disciplina científica, foi estabelecida em 1790 por Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832), autor alemão que também se aventurou pelas ciências naturais. O termo morfologia deriva da palavra alemã *morphologie* que, por sua vez, tem origem no grego *morphe* (forma, estrutura) + *logos* (estudo, investigação). Portanto, *a morfologia vegetal estuda as formas, as estruturas e o desenvolvimento das plantas*.

Porém, não podemos nos limitar: a morfologia abrange diversos níveis de organização (órgãos, tecidos, células), relacionando-se com a genética, a ecologia, a fisiologia, a sistemática (KAPLAN, 2001; SATTLER; RUTISHAUSER, 1997).

A morfologia vegetal inclui o estudo da ontogenia (desenvolvimento) das plantas, a anatomia interna das diferentes partes vegetais e sua morfologia externa, que é o objeto de estudo desta seção (caule e raiz) e da próxima (folha, flor e fruto). Por seu caráter multi e interdisciplinar, a morfologia torna-se um importante elemento na **compreensão da função de órgãos e sistemas**, no estudo da **evolução** e da **taxonomia vegetal** e nos permite compreender adaptações e padrões de diversidade.

Morfologia externa do caule

O caule é um **órgão axial vegetativo**, em geral **aéreo**, que oferece **sustentação mecânica** para folhas e estruturas reprodutivas,

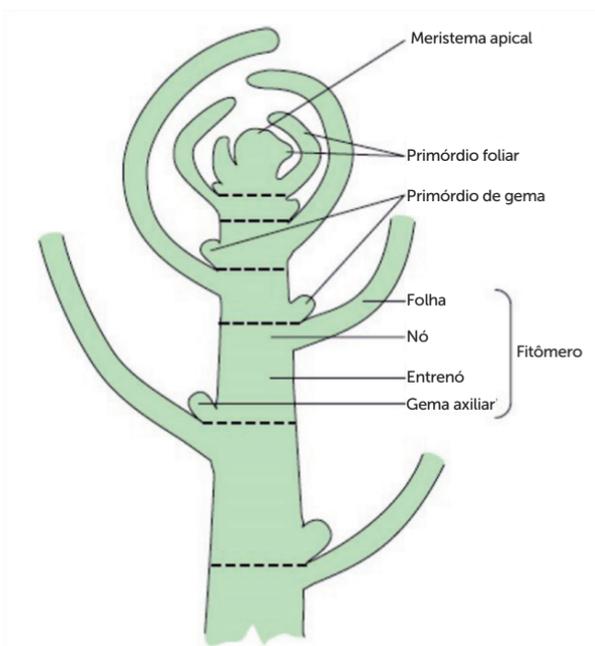
distribuindo-as para otimizar a recepção de luz e ar. Ele também conecta esses órgãos às raízes, exercendo função de **transporte** de água e solutos. Sua arquitetura (forma) pode favorecer a polinização e a dispersão de sementes e fazer com que uma planta se sobressaia às vizinhas, estabelecendo uma posição de **competição**. Por fim, alguns caules têm função de **reserva** alimentar.

Caules podem se originar no **embrião da semente** ou a partir de **gemas caulinares**. Com algumas exceções, dentre as principais características dos caules, estão:

- Eles são aclorofilados (exceto caules herbáceos).
- Apresentam geotropismo negativo (crescem em direção oposta ao solo).
- Têm fototropismo positivo (crescem em direção à luz).

A morfologia externa do caule é relativamente simples. Os caules são **segmentados**, sendo que seus componentes são, basicamente, **nós, entrenós, gema apical e gemas axilares**, como mostra a Figura 1.3 e o detalhamento na legenda:

Figura 1.3 | Morfologia externa do caule



Fonte: adaptada de Evert; Eichhorn (2014, p. 1076).

1. **Nó:** região na qual se inserem as folhas e de onde saem as gemas axilares. Geralmente dilatado.
2. **Entrenó:** segmento entre dois nós consecutivos, cujo alongamento representa grande parte do crescimento do caule em comprimento.
3. **Gema apical:** geralmente chamada de apical quando situada no ápice do caule principal e de terminal quando está no ápice dos ramos. É uma região de crescimento e apresenta os primórdios foliares. Produz um ramo foliar ou floral (ou ambos).
4. **Gema axilar ou lateral:** semelhante à gema apical, produz o ramo foliar. Situa-se na base da superfície superior das folhas e pode ser ou não protegida por escamas. Pode ser vegetativa, quando resulta no crescimento do caule e/ou dos ramos; ou reprodutiva, quando origina estruturas de reprodução sexuada (flores).
5. **Fitômero:** conjunto constituído por um nó com sua folha; entrenó abaixo desse nó; gema na base do entrenó.

Tipos de caule e adaptações

Existem diversos tipos de caule, que podem ser classificados de acordo com diversos critérios. Alguns desses critérios serão apresentados nos Quadros 1.1 e 1.2 e ilustrados na Figura 1.4.

Quadro 1.1 | Classificação de caules quanto à consistência

Herbáceo	Pouco consistente, pois não é lignificado. Geralmente elástico, flexível e clorofilado, apresenta pouco ou nenhum crescimento em diâmetro. Exemplos: salsaíha, alface.
Sublenhoso	Lignificado na base, parte mais velha, e não lignificado no ápice, mais jovem. Comum em arbustos e ervas de maior porte. Exemplos: quiabo, mandioca.
Lenhoso	Lignificado, portanto, resistente e rígido, com considerável crescimento em diâmetro, típico de árvores e arbustos. Exemplos: alecrim, ipês.

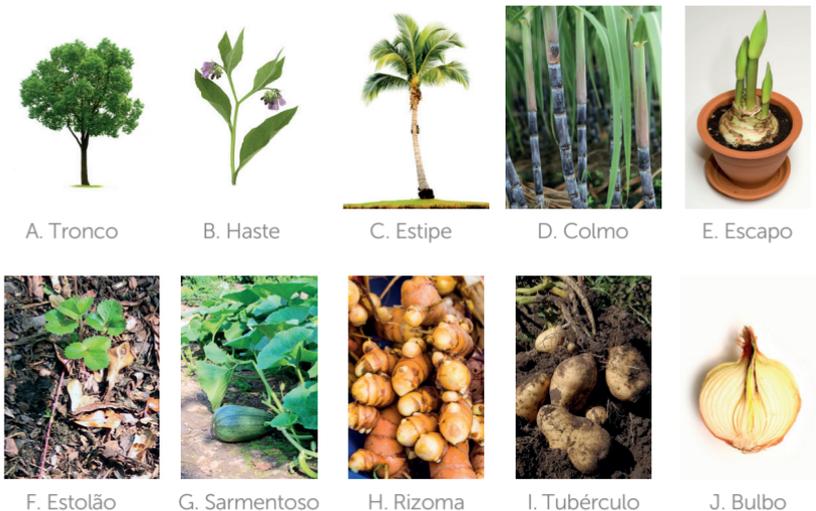
Fonte: elaborado pela autora.

Quadro 1.2 | Classificação de caules quanto ao habitat

<p>AÉREOS</p> <p>São aqueles que se desenvolvem acima da superfície do solo.</p>	<p>Eretos</p> <p>Lenhosos, sublenhosos ou herbáceos.</p> <p>Tipos: tronco, haste, estipe, colmo, escapo.</p>
	<p>Rastejantes</p> <p>Herbáceos.</p> <p>Tipos: estolão ou estolho, sarmentoso.</p>
	<p>Trepadores</p> <p>Herbáceos.</p> <p>Tipo: volúvel.</p>
<p>SUBTERRÂNEOS</p> <p>São aqueles que se desenvolvem abaixo da superfície do solo.</p>	<p>Comumente armazenadores de nutrientes ou de água.</p> <p>Tipos: rizoma, tubérculo, bulbo, pseudobulbo.</p>
<p>AQUÁTICOS</p>	<p>Desenvolvem-se em meio líquido, são submersos ou flutuantes, herbáceos e fotossintetizantes.</p>

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 1.4 | Alguns exemplos de tipos de caules quanto ao habitat: aéreos eretos (A-E); aéreos rastejantes (F-G); subterrâneos (H-J)



Fontes: 1-<<https://goo.gl/nUcEHm>>; 2-<<https://goo.gl/XBKgSw>>; 3-<<https://goo.gl/3cD9ej>>; 4-<<https://goo.gl/XMNpfk>>; 5-<<https://goo.gl/KRRvcq>>; 6-<<https://goo.gl/3D9AaA>>; 7-<<https://goo.gl/YABdFR>>; 8-<<https://goo.gl/GtBAVQ>>; 9-<<https://goo.gl/RtRpsY>>; 10 -<<https://goo.gl/VEqWbw>>. Acesso em: 29 out. 2017.



Exemplificando

Algumas plantas que conhecemos têm caules bastante curiosos, pois não aparentam serem caules. Na cebola, por exemplo, o caule é uma porção reduzida na base, junto às raízes, e não a parte que comemos (que são folhas modificadas). Os "olhos" da batata-inglesa são gemas, portanto batata-inglesa é um caule. A estrutura que vemos acima do solo na bananeira é um falso tronco (formado por folhas); o verdadeiro caule da bananeira é subterrâneo.

Outras classificações se relacionam ao **crescimento** e à **ramificação do caule** (monopodial ou simpodial). O **porte da planta** leva em consideração a altura média, a consistência e o tipo de ramificação que o caule apresenta, podendo ser classificado em: erva, subarbusto, arbusto, arvoreta, árvore, liana.



Pesquise mais

Na videoaula indicada a seguir são explicados vários aspectos sobre a morfologia dos caules. No trecho de 11 minutos e 40 segundos a 21 minutos e 5 segundos, você encontra mais detalhes sobre os diferentes tipos e adaptações de caules citados nesta seção.

UNIVESP. Morfologia Vegetal - Aula 12 - Caule - Morfologia. Disponível em: <<https://goo.gl/gJ55eP>>. Acesso em: 29 out. 2017. (**Vídeo do YouTube**)

As adaptações dos caules são modificações de acordo com suas funções ou características do ambiente. Por exemplo, **cladódios** e **filocládios**, como em cactos e flor-de-maio, são caules adaptados para armazenar água, realizar fotossíntese, podendo ser achatados ou laminares, com folhas reduzidas ou espinhos. Os **espinhos**, por sua vez, são endurecidos (lignificados) e pontiagudos, servindo para defesa, especialmente contra os herbívoros. Outro exemplo são as **gavinhas**, que são modificações de caules ou folhas e se enroscam nos suportes formando espirais, como molas.

Morfologia externa da raiz

Raízes são **órgãos axiais vegetativos**, em geral **subterrâneos**. Têm função de **fixar** a planta ao substrato, **absorver** água, oxigênio e minerais do solo, **conduzir** essas substâncias e **reservar** nutrientes assim

como sintetizar e/ou transportar hormônios. Essas funções podem ser ampliadas de acordo com a arquitetura do **sistema radicular**, conjunto de raízes que pode ser ramificado ou em feixes.



Assimile

A presença de caules e raízes está relacionada à ocupação do ambiente terrestre pelas plantas, especialmente após o desenvolvimento de um eficiente sistema condutor de água e solutos (caules) e de um sistema para obtenção de água fora do ambiente aquático (raízes).

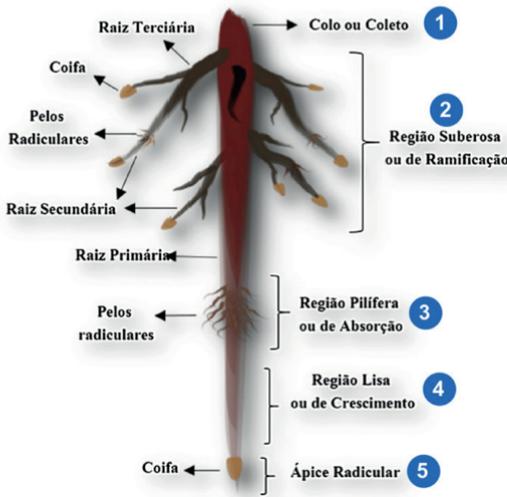
Com algumas exceções, as principais características das raízes são:

- Elas são aclorofiladas.
- Têm geotropismo positivo (crescem em direção ao solo).
- Apresentam fototropismo negativo (crescem em direção oposta à luz).
- Não são segmentadas.
- Não apresentam folhas ou gemas (exceto raízes geminíferas).

As raízes podem se originar da radícula do embrião da semente (**raiz típica**) ou em outros órgãos aéreos e subterrâneos (**raiz adventícia**). Ao se desenvolverem, as raízes típicas formam um **sistema axial** ou **pivotante**. Em certos casos, a raiz típica é precocemente atrofiada, surgindo raízes a partir da base caulinar (adventícias) que formam um feixe de raízes com espessuras semelhante, denominado **sistema radicular fasciculado**.

A constituição externa de uma raiz é dividida em cinco regiões, destacadas na Figura 1.5 e explicadas a seguir.

Figura 1.5 | Representação esquemática das principais partes de uma raiz típica



Fonte: adaptada de Almeida; Almeida (2014, p. 25).

1. **Colo ou coleto**: região de transição entre o sistema radicular e o aéreo, apresenta características externas e internas intermediárias entre raiz e caule.

2. **Região suberosa ou de ramificação**: região ausente de pelos, na qual surgem as raízes laterais (secundárias ou radículas). Local de crescimento em espessura, suberificada.

3. **Região pilífera ou de absorção**: região com pelos, que são células epidérmicas prolongadas. Os pelos são substituídos constantemente e nesse local há absorção de água e sais minerais do solo.

4. **Região lisa ou de crescimento**: ausente de pelos, compreende uma região com células em intensa multiplicação e outra de desenvolvimento celular, promovendo o crescimento subterminal da raiz (alongamento).

5. **Ápice radicular**: consiste na **coifa** ou **caliptra**, um tecido mucilaginoso (viscoso, constituído por carboidratos) que reveste e protege a região de divisão celular contra o atrito com o solo, o excesso de transpiração e o ataque de microrganismos. As células mais velhas da coifa se destacam periodicamente e são substituídas por novas (exceto em raízes aquáticas, nas quais a coifa é bem desenvolvida). A coifa também é responsável pelo controle da direção de movimento das raízes no solo, ao detectar gravidade (gravitropismo) e potenciais de água (hidrotropismo).



Caules e raízes são órgãos importantes no parasitismo e epifitismo das plantas, que são estratégias nutricionais e de melhor aproveitamento de luz, respectivamente. Conheça mais sobre esses dois modos de vida encontrados no reino vegetal nos textos a seguir.

OLIVEIRA, J. N. B. Introdução: morfologia, evolução e adaptações. In: OLIVEIRA, J. N. B. **Aspectos pouco comuns da morfologia das plantas superiores**. Ponta Delgada: Universidade dos Açores, 1991. p. 9 e 10. (Lembre-se de que você tem acesso a este livro na sua área do aluno, em Minha Biblioteca.)

BRASIL, B. Diversidade de formas de vida. **Botânica online**, [S.l.], 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/FDJ1GN>>. Acesso em: 29 out. 2017.

Tipos de raiz e adaptações

Assim como os caules, os tipos de raiz podem ser classificados de acordo com vários critérios. No Quadro 1.3 você encontra os três grupos relacionados ao habitat e à função das raízes, com exemplos ilustrados na Figura 1.6.

Quadro 1.3 | Classificação de raízes quanto ao habitat e à função

AÉREOS São aqueles que se desenvolvem acima da superfície do solo.	Geralmente adventícias, comumente associadas ao suporte da planta no ambiente. Algumas são parasitas. Tipos: cintura ou estranguladora, grampiforme ou aderente, respiratória ou pneumatóforo, sugadora ou hastório, suporte ou fúlcrea, tabular ou sapopema.
SUBTERRÂNEOS São aqueles que se desenvolvem abaixo da superfície do solo.	Mais relacionadas com a fixação da planta ao substrato, podendo desempenhar função de armazenamento de nutrientes. Tipos: axial ou pivotante, fasciculada, tuberosa.
AQUÁTICOS	Raízes que se desenvolvem em plantas aquáticas, porém não tocam o solo, ficam suspensas na água. Geralmente com pouco ou nenhum pelo e a coifa bastante desenvolvida, as raízes aquáticas auxiliam na flutuação e na respiração da planta.

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 1.6 | Alguns exemplos de tipos de raízes quanto ao habitat e à função: aéreas (A-F); subterrâneas (G-I); aquática (J)



Fontes: 1<<https://goo.gl/etMGgR>>; 2<<https://goo.gl/Lq2dwF>>; 3<<https://goo.gl/sQo6Ji>>; 4<<https://goo.gl/QD3DWz>>; 5<<https://goo.gl/xSYzEr>>; 6<<https://goo.gl/RLFiFh>>; 7<<https://goo.gl/Ha55aT>>; 8<<https://goo.gl/YgWgLw>>; 9<<https://goo.gl/mo3RrD>>; 10<<https://goo.gl/gEgcYi>>. Acesso em: 29 out. 2017.

De acordo com a função ou com as características do ambiente físico em que se encontram, as raízes podem sofrer modificações morfológicas e estruturais, resultando em adaptações.

Por exemplo, raízes de plantas epífitas, como orquídeas, têm uma estrutura chamada **velâmen**, que constitui camadas de células epidérmicas que protegem mecanicamente a raiz, ajudam a diminuir a perda de água, podem absorver nutrientes e água e até mesmo realizar fotossíntese.

Se voltarmos ao Quadro 1.3, podemos perceber que as diferentes funções das raízes aéreas ou as tuberosas, por exemplo, também refletem especializações das raízes conforme as necessidades das plantas.



Pesquise mais

Nessa videoaula são explicados vários aspectos sobre a morfologia das raízes. No trecho de 7 minutos e 24 segundos, a 20 minutos você encontra mais detalhes sobre os diferentes tipos e adaptações de raízes citados nesta seção.

UNIVESP. Morfologia Vegetal - Aula 10 - Raiz - Morfologia. Disponível em: <<https://goo.gl/CZtEfY>>. Acesso em: 29 out. 2017.



Toda a variedade de estruturas e adaptações apresentadas nesta seção refletem os hábitos e necessidades **da planta** para seu estabelecimento e sobrevivência nos diferentes ambientes. Agora, reflita: de que forma alguns desses aspectos de raízes e caules puderam ser aproveitados também pelo homem, a partir da observação e compreensão de tais estruturas?

É importante que você tenha em mente que as classificações de caules e raízes aqui apresentadas podem variar entre diferentes autores, porém o mais importante é que você saiba identificar as principais características, funções e adaptações dos caules e raízes.

Sem medo de errar

Seu desafio nesta seção era elaborar um roteiro de trabalho para seus futuros alunos, em que ficasse claro que eles precisariam estudar um local preestabelecido e fazer um levantamento dos principais tipos de caules e raízes daquele local, elaborando um catálogo visual que pudesse ser divulgado para a comunidade escolar.

Para fazer seu planejamento e poder auxiliar seus alunos, visite o local escolhido e registre tudo o que puder observar, como se fosse você a elaborar o catálogo. O roteiro a seguir pode ajudá-lo nessa tarefa.

- 1) É possível observar diferentes tipos de caules e raízes nas plantas?
- 2) Que estruturas diferenciam um caule de uma raiz, caso fique em dúvida?
- 3) Como os caules observados podem ser classificados em relação à sua consistência? E em relação ao hábito? Eles apresentam adaptações relacionadas ao hábito de vida e sobrevivência às condições do ambiente onde a planta está? Que adaptações são essas?
- 4) É possível observar diferentes tipos de raiz nas plantas do local? Será necessário providenciar plantas que poderão ser desenterradas para que os alunos observem as partes e os tipos de raiz? Quais são os tipos de raízes presentes? Como elas podem ser classificadas quanto ao hábito? As raízes observadas apresentam adaptações relacionadas ao hábito de vida e sobrevivência da planta no ambiente em que está? Que adaptações são essas?

Escolha um local em que seja possível observar o máximo possível de variedade de caules e raízes, preferencialmente um ambiente que os alunos frequentem: os jardins do campus, uma praça da região, o jardim botânico da cidade, por exemplo.

Para que o catálogo fique o mais realista possível, o interessante é que as plantas estudadas sejam fotografadas por inteiro e com detalhe das estruturas observadas. As legendas devem conter o máximo de informações possíveis, como o modelo representado na Figura 1.7:

Figura 1.7 | Exemplo de imagem com legenda explicativa sobre tipos de caules e raízes observados



A: raízes aéreas estranguladoras (seta inferior). A seta superior evidencia o caule com crescimento monopodial, lenhoso, aéreo, ereto, tipo estipe da planta hospedeira. B: detalhe de A. As cicatrizes foliares (seta superior) evidenciam os nós e entrenós do caule da planta hospedeira.
Fonte: Almeida; Almeida (2014, p. 60).

Outros dados relevantes podem ser acrescentados à legenda, quando convenientes, como parasitismo, epifitismo, relação entre adaptação da estrutura e o ambiente em que a planta está.

Os alunos podem ser agrupados para exercer diferentes funções, por exemplo: grupos que registram os caules; as raízes; estruturas aéreas; estruturas subterrâneas e/ou aquáticas; caules lenhosos e sublenhosos; caules herbáceos. Quando trabalhar com alunos do ensino fundamental, o foco deve ser na diversidade de caules e raízes observados. Alunos do ensino médio podem avançar para classificações e diversidade de funções das estruturas registradas.

Por fim, para divulgar esse trabalho para a comunidade escolar, o catálogo ilustrado pode ser montado eletronicamente e disponibilizado virtualmente, por meio do website da instituição ou blogs.

Observar, analisar, registrar e classificar os caules e raízes das plantas com as quais convivem colocará você e seus futuros alunos em contato prático com a teoria estudada e fará com que tenham mais subsídio para pensar não somente sobre as formas, como também sobre as funções dos órgãos estudados no estabelecimento das plantas no ambiente.

Avançando na prática

Montando um jardim dentro de casa

Descrição da situação-problema

Seu irmão está morando em um apartamento novo que tem uma varanda bem iluminada e arejada, na qual pretende montar um ambiente com plantas em vasos. Como ele tem animais em casa, precisou instalar telas de proteção na janela dessa varanda. Aproveitando-se do fato de que você é um professor de Ciências em formação na disciplina de Botânica, seu irmão pede sua ajuda na escolha das plantas.

Que tipos de plantas você escolheria para montar o jardim interno dele? Neste momento, pense apenas na estrutura da planta, especialmente nos caules e raízes, sem se preocupar com as necessidades de luz e nutrientes dos vegetais. Aproveite e justifique suas escolhas, treinando com seu irmão os termos técnicos aprendidos durante o estudo da morfologia externa de caules e raízes.

Resolução da situação-problema

Você poderia escolher plantas trepadeiras com adaptações como gavinhas para que se enrolem nas telas de proteção da varanda (chuchu) ou com raízes grampiformes que se fixem à parede, (heras). Plantas epífitas com caules tipo pseudobulbo (orquídeas) fixam-se em substratos diversos, como vasos de fibras presos à parede, e o próprio caule oferece reservas nutricionais para a planta. Para evitar trabalho com a rega das plantas, opte por caules que armazenem água, como os cladódios e filocádios (cactos e aspargos).

Se quiser aproveitar o espaço para cultivar algumas plantas comestíveis, pode lançar mão de espécies que tenham estruturas

armazenadoras de nutrientes, como as raízes tuberosas (cenoura, rabanete) e caules tipo rizoma (gengibre) ou tubérculos (batata-inglesa, cará). Muitas plantas herbáceas servem como tempero de alimentos (salsinha), mas algumas plantas comestíveis sublenhosas (couve) e lenhosas (alecrim), são relativamente fáceis de se cultivar em ambientes internos.

Esses são alguns exemplos e sabemos que muitas plantas precisam de um conjunto de recursos e cuidados para se desenvolverem bem em ambientes internos, porém alguns conhecimentos sobre a morfologia caulinar e radicular já são passos importantes numa escolha como essa.

Faça valer a pena

1. Em meio a uma aula de campo, uma aluna ficou em dúvida se a estrutura da planta que estava observando era um caule ou uma raiz. Ela havia encontrado a planta arrancada e, apesar de ter compreendido bem o conteúdo explicado pela professora, aquela estrutura não parecia nem um pouco com as ilustrações mostradas em aula. A aluna então levou a planta para observar melhor suas estruturas com uma lupa.

Sem dar a resposta pronta para a aluna, assinale a alternativa que contém características que a ajudariam a descobrir que o órgão observado era uma raiz.

- a) Presença de gemas apicais e laterais; com nós, entrenós e folhas.
- b) Presença de pelos absorventes; ausência de nós e entrenós; sem folhas e gemas.
- c) Presença de gemas e pelos absorventes; ausência de nós, mas presença de entrenós.
- d) Ausência de gemas e de pelos absorventes; com folhas e coifa.
- e) Presença de gemas apicais e laterais; ausência de folhas e com coifa.

2. Adaptações evolutivas das estruturas vegetais contribuíram para o seu estabelecimento em diversos ambientes terrestres. Caules e raízes apresentam algumas dessas modificações que, apesar de se relacionarem à sua morfologia, refletem também funções exercidas por esses órgãos nas plantas.

Com base nas informações do texto e no seu conhecimento sobre a morfologia e a função de caules e raízes, assinale a alternativa correta.

- a) O texto está equivocado, pois apenas os caules apresentam adaptações, como estruturas de suporte para subir em outras plantas e caules modificados

para armazenar água.

b) O texto está equivocado, pois apenas as raízes apresentam adaptações, como estruturas que retiram nutrientes de outras plantas, parasitando-as.

c) Caules têm estruturas adaptadas para absorver água e nutrientes diretamente do solo, enquanto raízes apenas fixam a planta ao substrato.

d) Caules e raízes, apesar de crescerem em direções opostas, exercem as mesmas funções nas plantas terrestres, como fotossíntese e organização das folhas na planta.

e) A divisão de tarefas permitiu que raízes funcionassem como estruturas de absorção de água e minerais ou de armazenamento de nutrientes, enquanto os caules suportam as estruturas fotossintetizantes e reprodutoras da planta.

3. O cipó-chumbo (*Cuscuta racemosa*) é uma planta que cresce sobre a vegetação (1). Seus caules são em forma de fios ou cordões alaranjados (2), algumas vezes esbranquiçados, com múltiplas ramificações, observando-se emaranhados nas copas das plantas. Apresenta órgãos de sucção (3) com os quais ataca o hospedeiro, podendo crescer até 7,0 cm/dia em condições favoráveis. Ela envolve toda a planta hospedeira, perfurando-a para obter os nutrientes necessários, não tendo, assim, gasto energético para a realização da fotossíntese. Como ela obtém os nutrientes da planta hospedeira, assume-se que ela não é capaz de fotossintetizar (4). Fonte: adaptada de <http://www.floresta.ufpr.br/alias/paisagem/public_html//dicas_de_paisagismo_cuscuta.htm>. Acesso em: 30 out. 2017.



Fonte: Projeto Flora SBS. Disponível em: <<https://goo.gl/pmQt3f>>. Acesso em: 30 out. 2017.

Com base na morfologia externa de caules e raízes, bem como nas adaptações desses órgãos vegetais, os números entre parênteses no texto apresentado representam as seguintes classificações para o cipó-chumbo:

a) (1) rastejante; (2) lenhosa e aclorofilada; (3) raiz tipo sugadora ou haustório; (4) hemiparasita.

b) (1) rastejante; (2) lenhosa e clorofilada; (3) raiz tipo cintura; (4) holoparasita.

c) (1) trepadeira; (2) herbácea e clorofilada; (3) raiz tipo fasciculada; (4) hemiparasita.

d) (1) trepadeira; (2) herbácea e aclorofilada; (3) raiz tipo sugadora ou haustório; (4) holoparasita.

e) (1) aquática; (2) sublenhosa e aclorofilada; (3) raiz tipo tuberosa; (4) epífita.

Seção 1.3

Morfologia externa de folha, flor e fruto

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta última seção da Unidade 1 analisaremos a morfologia externa de folhas, flores e frutos que, assim como caules e raízes, fazem parte do corpo da planta, mas também do nosso cotidiano, das mais diversas formas.

Pensando na sua futura atividade como professor, você deverá trazer as plantas para mais perto ainda de seus alunos, explorando outros sentidos neles além do visual: olfato, tato e paladar entrarão nessa atividade. De que forma você poderá fazer isso?

Elabore uma aula prática em que seus alunos tenham contato com folhas, flores e frutos, especialmente de uso cotidiano. Quais itens você selecionaria para a aula?

Além disso, você precisará promover uma reflexão a respeito da continuidade das espécies vegetais, procurando responder às seguintes perguntas:

- Que partes das plantas estão relacionadas com sua reprodução? Estamos envolvidos de alguma forma com esse processo? E outros animais, estão?

- Que partes da planta são utilizadas na nossa alimentação e que se relacionam com a reprodução e propagação das espécies vegetais?

- Qual a diferença entre fruto e fruta? Legumes e frutos são realmente diferentes?

- Prepare-se para responder a essas perguntas e apresentar exemplos reais que talvez eles desconheçam ou que ainda não haviam se atentado: elabore uma lista de curiosidades que possam partir dos alunos ou que você considere interessante levar para discutir com eles.

- Que outros tipos de uso as pessoas fazem das partes reprodutivas das plantas e por quê?

- Não se esqueça de que vamos falar de partes da planta que não são reprodutivas, mas que são essenciais para a “alimentação” das plantas.

Para elaborar essa aula, você precisará mobilizar os conhecimentos acerca da morfologia externa de folhas, flores e frutos, não só no que diz respeito às suas partes constituintes, mas também às diversas formas de classificar esses órgãos vegetais e compreender a importância deles.

Vamos lá, explore todo o conteúdo indicado e você descobrirá que existem inúmeras formas de enxergarmos os órgãos vegetais!

Não pode faltar

Assim como os caules e as raízes, estudados na Seção 1.2, folhas, flores e frutos exercem funções especializadas nas plantas e que permitem que elas vivam em ambientes bastante diversos. Nesta seção, todas as características apresentadas são gerais, mas não vamos nos esquecer que existem exceções às regras e que os órgãos vegetais podem apresentar diversas modificações, algumas das quais são discutidas aqui.

Morfologia externa da folha

As folhas estão presentes em todas as **plantas vasculares** e, evolutivamente, as evidências fósseis indicam que elas são resultado de ramos que se achataram até formar lâminas.

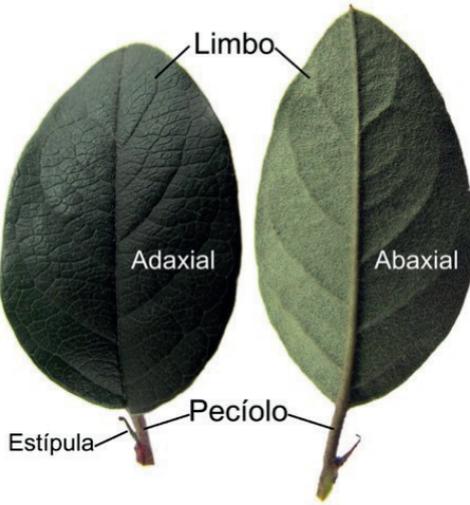
Todas as suas características indicam que a folha é um **órgão vegetativo** adaptado a exercer diversas **funções metabólicas** nas plantas. Ela é o local primário de **fotosíntese**, portanto, importante para a própria planta e para outros organismos, pois é fonte de **alimento**. Folhas são fontes ricas de vitaminas e minerais da dieta humana, sem contar sua utilização medicinal. Esses órgãos também são responsáveis por **trocas gasosas** com o meio ambiente.

Folhas originam-se no embrião das sementes e se expandem lateralmente nos caules, com inserção nos nós caulinares. São, no geral, órgãos **laminares**, com **simetria bilateral**, de **crescimento limitado** (determinado) e com **gemas axilares**.

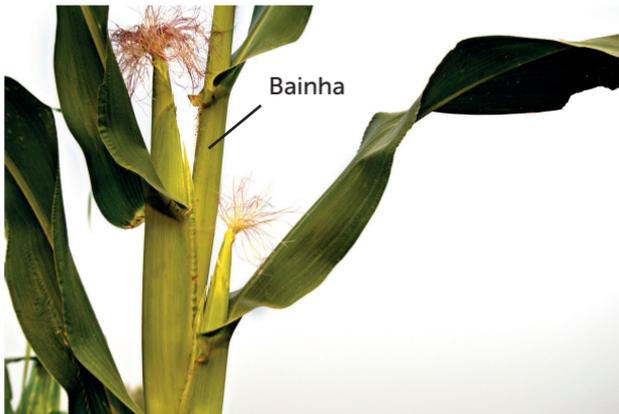
Algumas plantas não apresentam folhas ou estas podem estar reduzidas em modificações. Nesses casos, a planta é dita **áfila**.

As folhas variam muito em forma e em estrutura interna, mas todas apresentam características em comum, como mostra a Figura 1.8 e o detalhamento a seguir.

Figura 1.8 | Partes de uma folha, mostrando as duas faces (A) e a bainha de uma folha invaginante (B)



(a)



(b)

Fontes: adaptada de: (A) Gmihail, disponível em: <<https://goo.gl/s9tkXj>>. Acesso em: 12 nov. 2017; (B) iStock, 2017.

1. **Limbo ou lâmina:** porção expandida e laminar.
2. **Pecíolo:** haste que sustenta o limbo e o conecta ao caule.
3. **Estípulas:** protegem a folha em desenvolvimento de algumas plantas.

4. **Bainha**: base alargada da folha, que envolve o caule, presente em alguns grupos de plantas, como gramíneas.

As duas superfícies de uma folha são distintas e recebem nomes específicos: **abaxial** (inferior ou orientada em direção contrária ao caule); e **adaxial** (superior ou orientada em direção ao caule).

As folhas podem ser nomeadas e classificadas de acordo com diversos critérios: nervação, consistência, superfície, forma e divisão do limbo ou dos folíolos em folhas compostas, entre outros. A disposição das folhas no caule, denominada **filotaxia**, também é levada em consideração na análise morfológica das folhas.



Exemplificando

Folíolos e folhas são estruturas bastante parecidas. Para diferenciá-las, podemos observar que: a) folhas apresentam gemas nas axilas, os folíolos não; b) folhas são projetadas em vários planos no caule, enquanto folíolos estão todos no mesmo plano de uma folha.



Pesquise mais

Saiba mais sobre a classificação e outros aspectos morfológicos das folhas consultando as páginas 75 a 88 do livro indicado a seguir, que você encontra na sua biblioteca virtual:

AGUIAR, Carlos. **Botânica para Ciências Agrárias e do Ambiente**: Volume I: Morfologia e função (fasc. 1). [Bragança]: Instituto Politécnico de Bragança, 2013. 95 p.

Em relação às funções, algumas modificações observadas em folhas são:

- **Cotilédonos**: primeiras folhas produzidas no embrião, armazenam e fornecem nutrientes para a planta em formação.
- **Catáfilos**: folhas reduzidas que armazenam nutrientes, como os catáfilos no bulbo de cebola.
- **Brácteas e escamas foliares**: protegem flores ou gemas caulinares.
- **Gavinhas**: auxiliam na sustentação da planta, enrolando-se em um suporte. Em legumes, como a ervilha, as gavinhas são uma modificação do folíolo terminal de uma folha composta pinada (quando os folíolos se inserem diretamente e ao longo da ráquis, eixo central da folha composta).

- **Espinhos:** pecíolos modificados, protegem a planta contra a herbivoria e reduz a perda de água na forma de vapor.

- **Insetívoras,** em plantas carnívoras: capturam insetos e os digerem secretando enzimas e absorvendo os nutrientes.



Assimile

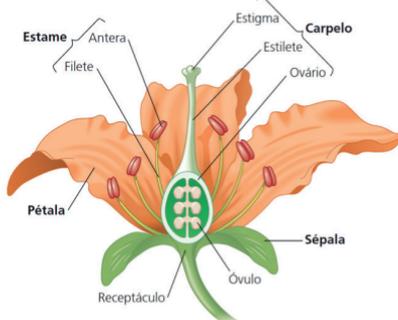
A folha, presente na maioria das plantas, é um órgão intimamente associado ao caule, tanto fisicamente quanto em relação ao desenvolvimento de ambos. Considera-se, inclusive, que as folhas representam uma modificação evolutiva dos ramos caulinares e o termo “sistema caulinar” se refere ao conjunto de caules e folhas, nas suas mais variadas formas e adaptações, sejam elas funcionais ou ao ambiente em que se encontram.

Morfologia externa da flor

As flores são órgãos de **reprodução sexual** presentes apenas em angiospermas. A flor é um ramo com crescimento limitado (sistema caulinar determinado) e contém esporofilos, que são folhas modificadas: você já havia reparado que algumas partes das flores se parecem com folhas?

As flores têm grande importância na evolução das plantas, especialmente porque **protegem os gametas** na sua interação com o ambiente, o que aumenta suas chances reprodutivas. Evidências fósseis indicam que as partes florais (agrupadas no que se chamam **verticilos**) evoluíram das folhas dos ancestrais, principalmente pela semelhança entre as formas e pelo padrão das nervuras. Essas partes das flores, altamente especializadas em suas funções, podem se manter separadas durante o desenvolvimento ou podem se fundir, parcial ou totalmente, e estão apresentadas na Figura 1.9 e no detalhamento a seguir:

Figura 1.9 | Desenho esquemático de uma flor e suas partes



Fonte: Reece (2015, p. 638).

Embora a flor como um todo seja um órgão reprodutivo, suas partes são divididas em estéreis e férteis.

Apêndices estéreis:

1. **Sépalas**, coletivamente chamadas de **cálice**: protegem a flor em desenvolvimento e, em algumas plantas, também estão envolvidas com a polinização. Em geral, as sépalas são verdes (até mesmo fotossintetizantes) e relativamente espessas, sendo o componente da flor mais parecido com as folhas.

2. **Pétalas**, coletivamente chamadas de **corola**: são adaptadas para facilitar a polinização, geralmente coloridas e mais finas.

As sépalas e pétalas são, essencialmente, uma estrutura do tipo folha (e são chamadas de tépalas quando não é possível diferenciá-las). O cálice e a corola juntos formam o perianto.

Apêndices férteis:

3. **Estame ou androceu**: os gametas masculinos estão contidos nos **pólenes**, produzidos nas **anteras**, que ficam sustentadas pelo **filete**. Anteras e filetes juntos formam o estame.

4. **Carpelo ou gineceu** (ou, ainda, **pistilo**): é a estrutura reprodutiva feminina, que consiste no ovário, o qual abriga um ou mais **óvulos** (gametas femininos). Uma flor pode ter um ou mais carpelos que são, geralmente, divididos em três partes: o **estigma**, porção apical, que recebe o pólen; o **estilete**, parte intermediária, que conecta o estigma ao **ovário**, parte inferior, que contém os óvulos.

Como parte das mudanças evolutivas das flores, muitas delas apresentam **nectários**, glândulas produtoras de néctar (líquido açucarado), que atraem diferentes polinizadores em busca de alimento, como insetos e algumas aves.



Pesquise mais

Assista aos vídeos a seguir para saber um pouco mais sobre a morfologia, sobre a evolução floral e sobre as funções da flor.

CANAL USP. O que é uma flor? (p.01 de 02), Ciência USP, 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/YbfRuv>>. Acesso em: 12 nov. 2017. **(Vídeo do YouTube)**

CANAL USP. O que é uma flor? (parte 02 de 02), Ciência USP, 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/hRZsNa>>. Acesso em: 12 nov. 2017. **(Vídeo do YouTube)**

E quando as flores são agrupadas? Conheça os diversos tipos de inflorescências consultando as páginas 5 a 10 do livro a seguir, que você encontra na sua biblioteca virtual:

AGUIAR, Carlos. **Botânica para Ciências Agrárias e do Ambiente**: Volume I: Morfologia e função (fasc. 2). [Bragança]: Instituto Politécnico de Bragança, 2013. 46 p.

Morfologia externa da flor II

Uma flor pode não apresentar alguma das partes descritas na Figura 1.9? Pode acontecer!

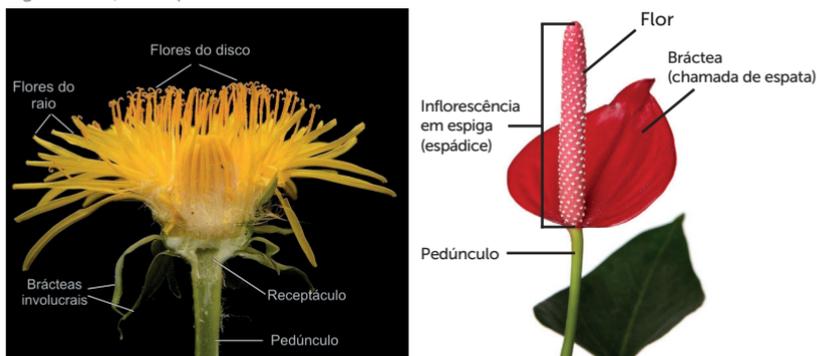
Dependendo da presença ou ausência dos verticilos florais ou da forma como as flores de uma planta estão organizadas, as flores são classificadas em diferentes grupos.

Uma flor **completa** é aquela que apresenta todos os quatro verticilos. Se algum deles faltar, a flor será chamada de **incompleta**.

A maioria das flores são típicas, pois exibem estruturas femininas e masculinas. Por isso, são chamadas de **bissexuadas ou perfeitas**. Serão **unissexuadas ou imperfeitas** flores que apresentarem apenas estames (estaminadas) ou apenas carpelos (carpeladas).

Quando as flores estão agrupadas, formam agregados denominados **inflorescências**, que podem ser encontradas em diferentes arranjos, alguns deles apresentados na Figura 1.10.

Figura 1.10 | Exemplos de inflorescências



Fontes: ¹adaptada de Frank Vincentz/GFDL, 2007, licenciado sob Licença GNU de Documentação Livre, via Wikimedia Commons. Disponível em: <<https://goo.gl/Y2KmjW>>. Acesso em: 13 nov. 2017; ²Modificado de iStock, 2017.

Morfologia externa e tipos de fruto

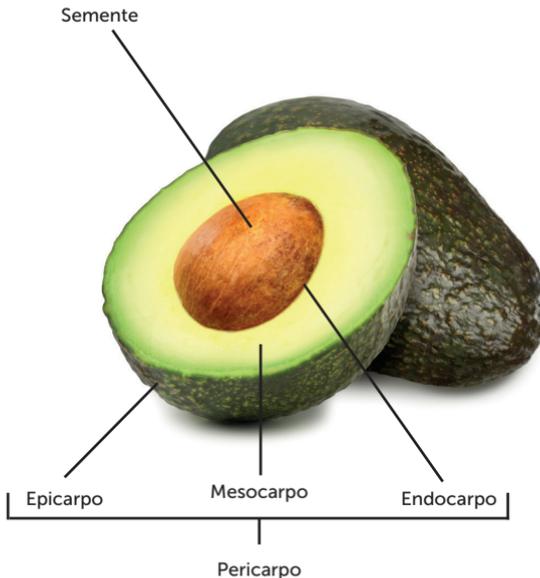
Você já observou que, em geral, os frutos aparecem nas plantas em momentos diferentes das flores?

Assim como as flores, frutos são estruturas de reprodução sexual que existem apenas em angiospermas. O fruto é definido como um (ou mais de um) **ovário maduro e espessado** de flores e é o principal meio de **proteção e de dispersão das sementes** nele contidas, contribuindo assim, para a **propagação e continuidade das espécies**.

Os frutos geralmente são consequência da fecundação das flores, mas eles podem se desenvolver sem fecundação e sem a formação de sementes (partenocarpia), sendo chamados de **frutos partenocárpico**. Isso ocorre, por exemplo, em banana, figo e abacaxi.

A morfologia externa dos frutos é relativamente simples. Um fruto, derivado da parede de um ovário (ou de mais partes acessórias), é chamado de **pericarpo**, o qual é dividido em três camadas: **exocarpo**, **mesocarpo** e **endocarpo**, como mostra a Figura 1.11. A semente será discutida em outra seção.

Figura 1.11 | Partes componentes de um fruto de abacate



Fonte: adaptada de iStock, 2017.

Os frutos são, em geral, classificados de acordo com:

- a **disposição do(s) carpelo(s)** a partir do(s) qual(is) o fruto se desenvolve (simples, agregados ou múltiplos).
- o **número de carpelos** (unicarpelar, bicarpelar, multicarpelar).
- a **consistência** quando maduros (carnosos, secos).
- a sua **abertura ou deiscência** (deiscentes, indeiscentes), ou seja, como se abrem quando maduros.
- o **número de sementes** (mono-, di-, tri-, polispérmicos).

Alguns tipos de frutos que seguem esses critérios são mostrados no Quadro 1.4.

Quadro 1.4 | Principais características e classificações dos tipos de frutos

TIPOS	SUBTIPOS	CARACTERÍSTICAS	EXEMPLO
SIMPLES Desenvolvem-se a partir de um único carpelo ou de vários (dois ou mais) carpelos unidos.	Carnosos	Bagas - De uma a muitas sementes. - Todas as partes são carnosas ou polposas. - Exocarpo fino ou rígido. - Exemplos: uva, tomate , melancia.	
		Drupas - Geralmente com uma semente ("caroço") envolvida por endocarpo duro. - Exocarpo em geral fino e mesocarpo carnoso. - Exemplos: pêssego , azeitona, manga, coco.	
		Pomos - A maior parte do conteúdo carnoso deriva de tecidos não carpelares (fruto acessório). - Endocarpo cartilaginoso envolve as sementes. - Exemplos: maçã, pera , marmelo.	
		Deiscentes - Abrem-se na maturidade. - Geralmente apresentam várias sementes. - Exemplos: ervilha , jequitibá, ipê.	
		Indeiscentes - Não se abrem na maturidade. - Originam-se, em geral, de um ovário em que apenas uma semente se desenvolve. - Exemplos: milho, girassol, dente-de-leão .	

<p>AGREGADOS</p>	<p>Formados a partir de vários carpelos separados de uma única flor, chamado gineceu apocárpico. Os carpelos individuais ou ovários maduros são conhecidos como frutículos. - Exemplos: morango, framboesa, fruta-do-conde.</p>	
<p>MÚLTIPLOS</p>	<p>Derivados de uma inflorescência, isto é, a partir de ovários fundidos de várias flores. - Exemplos: figo, abacaxi.</p>	

Fonte: elaborado pela autora. Imagens: iStock, 2017.

A classificação dos tipos de frutos é vasta e, muitas vezes, controversa. Além dos mencionados no Quadro 1.4, frutos podem ser chamados de acessórios, pseudofrutos e infrutescências. As formas de abertura dos frutos secos, ou deiscência, também são variadas e levadas em consideração na classificação morfológica de frutos.



Pesquise mais

Consulte as páginas 56 a 66 do livro a seguir para conhecer mais sobre a variedade de classificação dos frutos.

VIDAL, Waldomiro Nunes; VIDAL, Maria Rosária Rodrigues. **Botânica - Organografia**: quadros sinóticos ilustrados de fanerógamos. 4. ed. Viçosa: UFV, 2003. 124 p.

Algumas adaptações de frutos, relacionadas à sua dispersão, podem ser observadas, tais como:

- Frutos ou sementes leves e frutos com **alas** ou **plumas**: dispersos pelo vento.
- Frutos com **dispersão ativa** das sementes.
- Frutos com **estruturas aeríferas**: flutuação em água.
- **Ganchos, farpas, espinhos, pelos ou revestimentos aderentes**: aderência à pelagem ou penas de animais.



Refleta

Você concorda com a afirmação de que os frutos carnosos podem ser considerados uma adaptação desses órgãos para aumentar as chances de dispersão das sementes? Por quê?



A polinização ocorre quando um grão de pólen é transferido para o estigma, com a ajuda do vento, de insetos e outros animais ou até mesmo da água. Esse processo leva à fecundação, após a qual os óvulos se desenvolvem em sementes, enquanto o carpelo se desenvolve na parede do fruto.

Muitas plantas têm relações particulares com uma espécie polinizadora (ou um grupo de espécies), o que ocorreu devido à seleção desses animais por plantas que ofereciam melhores recompensas, enquanto essas desenvolveram características mais atrativas a certos polinizadores.

Mecanismos diversos de dispersão dos frutos estão relacionados à evolução destes. Portanto, polinização e dispersão de frutos são aspectos fundamentais na evolução das angiospermas.

Sem medo de errar

Sua tarefa, indicada no início desta seção, era elaborar uma aula prática para seus futuros alunos na qual eles fizessem uma imersão no mundo das folhas, flores e frutos, especialmente de plantas que fazem parte do cotidiano deles, mas sem deixar de mostrar algumas curiosidades.

A melhor forma de atribuir sensibilidade e significado ao estudo dos órgãos vegetais é colocá-los nas mãos dos alunos. Leve vegetais diversos para aula. Uma alternativa é pedir que os próprios alunos levem alguns itens, já que, dessa forma, você já fará uma pré-avaliação sobre o conhecimento que os alunos já detêm sobre o assunto. Ou, ainda, você pode levá-los para visitar uma seção de hortifrúti em um mercado ou feira de rua. Na presença de folhas, flores e frutos, eles poderão ver a variedade de cores e formas, sentir os diferentes cheiros e tocar nas diferentes texturas dessas partes vegetais.

Você pode eleger alguns vegetais para explicar os órgãos estudados na aula. Por exemplo: escolha brócolis (ou couve-flor) e mostre que são compostos por folhas (destaque a inserção delas no caule) e flores, mas que essas flores estão agrupadas em uma inflorescência. Esclareça que essas flores são as partes relacionadas à reprodução dos brócolis e que animais, como abelhas, podem auxiliar nesse processo, por meio da polinização. Tanto o caule, quanto as folhas e as flores dos brócolis são comestíveis.

Pegue um tomate e promova uma reflexão sobre os termos “fruto ou fruta”? Fale sobre as diferenças entre os conceitos populares e científicos. Costumamos chamar de fruta o que tem sabor doce, porém, cientificamente, frutas são frutos e essas são as estruturas que se relacionam com a reprodução e dispersão das espécies vegetais (uma vez que contêm as sementes, que darão origem a uma nova planta). Um exemplo interessante é colocar uma azeitona ao lado de uma ameixa – o primeiro é “salgado”, o segundo é doce, mas ambos são frutos carnosos do tipo drupa; ambos têm semente pétreia, o “caroço”, assim como o coco ou a cereja.

Faça o mesmo exercício utilizando uma vagem. Costumamos chamar vagens (e cenouras, batatas, pimentões) de legumes. Popularmente, chamamos de legumes o que nos tem sabor “salgado”. Cientificamente, as vagens são frutos (abra uma e mostre as sementes que estão dentro). Vale a pena consultar a seção Hortipedia, do projeto Hortiescolha (disponível em: <<http://www.hortiescolha.com.br/hortipedia/>>. Acesso em: 12 nov. 2017), que oferece inúmeros exemplos de vegetais que consumimos na nossa alimentação, trazendo informações e ilustrações morfológicas sobre eles.

Repita essa análise utilizando vegetais diversos que podem gerar dúvidas: o grão de milho é um fruto; a abobrinha é um fruto; o “talo” do aipo é um pecíolo espessado; o abacaxi é um fruto múltiplo tipo infrutescência (cada “gomo” é um frutinho tipo baga, cujos “espinhos” são brácteas), derivado de uma inflorescência e a sua coroa é um conjunto de folhas; apesar de ser um conjunto de bagas, o abacaxi não tem sementes, assim como bananas – são frutos partenocárpicos; morangos são frutos agregados, sendo que os inúmeros pontinhos ao redor da estrutura carnosa, que é o receptáculo floral espessado, são frutos tipo aquênio (seco e indeiscente); ainda, a parte que retiramos do morango é o conjunto de sépalas e pedúnculo da flor que antes estava ali; o pedúnculo também é a parte polposa do caju, sendo que o fruto em si é a estrutura que origina a castanha; usamos as folhas opostas e lanceoladas do alecrim para perfumar o preparo de alimentos e as longas e suculentas folhas com bainhas do alho-poró, nos refogados.

Quando possível, apresente frutos que não parecem frutos, tais como: o de girassol e o de dente-de-leão, cápsulas de sapucaia ou jequitibá, os de jacarandá ou ipê.

Além do fator alimentação, usamos algumas partes das plantas para ornamentação, especialmente as flores, estruturas reprodutivas que nos chamam a atenção por suas cores, formas e cheiros. Porém, essas características das flores (geralmente das pétalas, mas há sépalas chamativas) são também atrativas para animais polinizadores.

A morfologia dos vegetais não depende do sabor, das cores ou dos cheiros, mas sim de suas funções na planta. E, para definirmos de qual órgão estamos falando, é preciso analisar as estruturas presentes: pecíolos, limbo, ovários, estames, pétalas etc.

Avançando na prática

Associando flores aos frutos

Descrição da situação-problema

Um dos seus alunos viu as ilustrações de flores no livro didático e questionou por que aquelas eram diferentes das flores que ele conhecia. Outro aluno observou que frutos pareciam sempre aparecer nas plantas depois das flores e queria saber como as sementes foram parar dentro dos frutos.

Como você ajudaria seus alunos a sanar essas dúvidas sem simplesmente oferecer a resposta a eles?

Resolução da situação-problema

Você pode preparar uma aula prática mostrando flores e seus respectivos frutos para mostrar que livros didáticos trazem ilustrações ou fotos ideais, mas que as estruturas vegetais apresentam muitas variações. Modelos bastante didáticos para essa aula são o quiabo e a abobrinha.

Providencie algumas flores e frutos de quiabo. Promova a observação das estruturas florais, comparando-as às da ilustração do livro, especialmente a disposição de estames e carpelos.

Faça cortes longitudinais e transversais em ovários das flores e também nos frutos de quiabo para que os alunos associem as paredes do ovário e os óvulos ao pericarpo do fruto e às sementes, respectivamente. Se possível, seria interessante visitar um quiabeiro, que costuma ter flores e frutos em diversos estágios de desenvolvimento ao mesmo tempo, o que torna a associação dos órgãos mais realista. Ou utilize imagens, como as mostradas a seguir.

Figura 1.12 | Quiabo: flor e fruto



Fonte: iStock, 2017.

Faça valer a pena

1. O que chamamos de sistema caulinar é composto pelo caule, pelas folhas e por estruturas derivadas, como flores e todas as formas de modificações desses órgãos. De certa forma, podemos considerar os frutos como parte desse sistema, uma vez que eles são resultado de flores fecundadas (exceto os partenocárpicos).

A figura a seguir mostra estruturas retiradas de uma videira.



Fonte: iStock, 2017.

Em relação às estruturas mostradas na imagem, assinale a alternativa correta.

- a) As folhas são compostas e a inflorescência é do tipo capítulo.
- b) As folhas são simples e os frutos são do tipo carnosos/baga.
- c) As folhas são simples com bainha e os frutos são múltiplos e deiscentes.
- d) As folhas são compostas e os frutos são secos e indeiscentes.
- e) As folhas são simples e a inflorescência é do tipo espiga.

2. Um artigo da revista *Nature* divulgou a seguinte descoberta:



Nós reconstruímos a flor ancestral de angiosperma como sendo **bissexual** e radialmente simétrica, com mais de dois verticilos de três **periantos** separados cada (**tépalas** indiferenciadas), mais de dois verticilos de três **estames** separados cada, e mais de cinco **carpelos** separados arranjados em espiral.

Fonte: The ancestral flower of angiosperms and its early diversification. **Nature Communications**, [S.l.], v. 8, p.1-10, 1 ago. 2017. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ncomms16047>>. Acesso em: 12 nov. 2017. (Grifo e tradução nossos).

Sobre as partes que compõem a flor e sua classificação, com base nos termos destacados no texto, é correto dizer que a flor ancestral teria:

- a) Apêndices estéreis femininos (carpelos) e masculinos (estames) e apêndices férteis (tépalas).
- b) Apenas apêndices férteis femininos (carpelos e tépalas) e apêndices estéreis (estames).
- c) Apêndices férteis femininos (carpelos) e masculinos (estames) e apêndices estéreis (tépalas).
- d) Apenas apêndices férteis masculinos (estames) e apêndices estéreis (carpelos e tépalas).
- e) Apêndices férteis femininos (carpelos e tépalas) e masculinos (estames), mas nenhum apêndice estéril.

3. O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta pertencente à família Asteraceae, a mesma da margarida e do dente-de-leão. Seu nome deriva do grego *helios* = Sol, e *anthus* = flor, com referência ao fato de a "flor" se movimentar seguindo o Sol, durante algum estágio do seu desenvolvimento. Seus frutos são secos, dentro dos quais estão as sementes, utilizadas na alimentação humana.



Fonte: iStock, 2017.

Marque a alternativa que explica por que a palavra flor está entre aspas no texto.

- a) A estrutura que se movimenta acompanhando o Sol é um fruto, não uma flor.
- b) A estrutura que se movimenta acompanhando o Sol não é uma única flor, mas sim uma inflorescência do tipo espádice.
- c) O girassol é uma planta que não possui flor, mas a estrutura é assim chamada por se assemelhar a uma flor.
- d) A estrutura que se movimenta acompanhando o Sol não é uma única flor, mas sim uma inflorescência do tipo capítulo.
- e) Apenas as pétalas do girassol se movimentam, então não podemos dizer que é a flor como um todo.

Referências

AGUIAR, Carlos. **Botânica para Ciências Agrárias e do Ambiente**: Volume I: Morfologia e função (fasc. 1). [Bragança]: Instituto Politécnico de Bragança, 2013. 95 p.

_____. _____ (fasc. 2). [Bragança]: Instituto Politécnico de Bragança, 2013. 46 p.

ALMEIDA, M. de; ALMEIDA, C. V. de. **Morfologia da raiz de plantas com sementes**: Coleção Botânica 1. Piracicaba: ESALQ/USP, 2014. 71 p. Disponível em: <http://www.lcb.esalq.usp.br/sites/default/files/publicacao_arq/978-85-86481-32-1.pdf>. Acesso em: 30 out. 2017.

_____. **Morfologia do caule de plantas com sementes**: Coleção Botânica 2. Piracicaba: ESALQ/USP, 2014. 155 p. Disponível em: <http://www.lcb.esalq.usp.br/sites/default/files/publicacao_arq/978-85-86481-33-8.pdf>. Acesso em: 30 out. 2017.

BECK, Charles B. **An introduction to plant structure and development**: plant anatomy for the twenty-first century. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 459 p.

BELK, Colleen; MAIER, Virginia Borden. **Biology**: science for life with physiology. 4. ed. [S.l.]: Pearson Education, 2013. 717 p.

ESSIG, Frederick B. **A brief history of plant life**. New York: Oxford University Press, 2015. 281 p.

EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Raven | Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 1637 p.

GARTNER, B. L. (Ed.). **Plant stems: physiological and functional morphology**. San Diego: Academic Press, Inc., 1995. 461 p.

KAPLAN, D. R. The science of plant morphology: definition, history, and role in modern biology. **American Journal of Botany**, [St. Louis], v. 88, n. 10, p.1711-1741, out. 2001. Disponível em: <<http://www.amjbot.org/content/88/10/1711.full.pdf+html>>. Acesso em: 30 out. 2017.

REECE, Jane B. et al. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. 1488 p.

SADAVA, David et al. **Life, the science of biology**. 9. ed. Sunderland: W. H. Freeman & Co., 2009a. 1392 p.

SADAVA, David et al. **Vida [recurso eletrônico]**: a ciência da biologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009b. 461 p. V. 1. Célula e hereditariedade.

SAUQUET, Hervé et al. The ancestral flower of angiosperms and its early diversification. **Nature Communications**, [S.l.], v. 8, p.1-10, 1 ago. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms16047>. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ncomms16047>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

SATTLER, R.; RUTISHAUSER, R. The fundamental relevance of morphology and morphogenesis to plant research. **Annals of Botany**, [S.l.], v. 80, n. 5, p. 571-582, nov. 1997. Oxford University Press (OUP). Doi: <<http://dx.doi.org/10.1006/anbo.1997.0474>>. Acesso em 30 out. 2017.

SCAGEL, Robert Francis. **Plants, an evolutionary survey**. 2. ed. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1984.

SHIPUNOV, Alexey. **Introduction to Botany**: Lecture notes. Minot: Minot State University, 2016. 172 p. Disponível em: <http://ashipunov.info/shipunov/school/biol_154/>. Acesso em: 4 out. 2017.

THE PLANT LIST (2013). Disponível em: <<http://www.theplantlist.org/>>. Acesso em: 4 out. 2017.

VIDAL, W. N.; VIDAL, M. R. R. **Botânica - Organografia**: quadros sinóticos ilustrados de fanerógamos. 4. ed. Viçosa: UFV, 2003. 124 p.

Tecidos vegetais e crescimento

Convite ao estudo

Depois de estudarmos externamente as plantas na Unidade 1, vamos investigar o que acontece por dentro delas. Nesta unidade você entenderá melhor a organização interna das diferentes partes das plantas: como se organizam as células em diferentes tecidos que constituirão os órgãos vegetais? Que características permitem que essas células exerçam funções tão importantes para as plantas? E como são as fases de crescimento delas?

Imagine que você foi convidado, como professor de Ciências, a organizar um material que a escola recebeu como doação do departamento de Botânica de uma universidade local, que passou por reformas e reestruturação. Esse material servirá como acervo para as aulas de Ciências de sua escola e poderá, inclusive, ser emprestado a escolas da comunidade que não tiveram tanta sorte.

Para isso, você precisará entender melhor como é a estrutura básica das células vegetais; quais são os principais tipos celulares que irão compor os diferentes tecidos; reconhecer que cada órgão da planta mantém uma organização particular das células que os compõem; que a planta tem diferentes fases de crescimento.

Na Seção 2.1 falaremos da célula vegetal, seus tipos e tecidos formados por ela. Na Seção 2.2, entenderemos melhor como é a organização interna dos órgãos vegetativos e reprodutivos, como se caracterizam os sistemas de tecidos em cada local da planta. A Seção 2.3 será dedicada à compreensão do crescimento da planta, desde suas células, passando pela germinação de sementes até o crescimento em altura e diâmetro.

Seção 2.1

Células e tecidos vegetais

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção iremos começar a investigar o que acontece por dentro das plantas e como é a organização interna das suas células. Para isso, você deverá imaginar que foi convidado, como professor de Ciências, a organizar um material que a escola recebeu como doação e, para isso, deve analisar e começar a agrupar os componentes de acordo com o que mostram ou com o que podem ser úteis. Portanto, você precisa entendê-los. E, para entender uma planta internamente, você deve conhecer sua unidade básica: a célula vegetal.

Além de você ter esse conhecimento, seria bom se os alunos que utilizarão esse material também conhecessem essa unidade básica da planta. Então, sua tarefa inicial é estudar a célula vegetal e planejar modelos tridimensionais que possam ficar expostos e ser utilizados nas aulas, que precisarão ilustrar os componentes de tal célula, bem como esclarecer cada uma de suas funções.

- Que estruturas você destacaria para representar as particularidades das células vegetais?

Além disso, você poderá fazer outros modelos ou encontrar, no material recebido, lâminas histológicas que mostrem os principais meristemas das plantas, para que os alunos entendam como as células começam a se organizar na formação do corpo do vegetal. Para isso, você deverá saber responder às seguintes questões:

- Quais são esses meristemas?
- Como você faria para facilitar a identificação das estruturas e compreensão dos alunos, ao analisar o material?
- Como células aparentemente tão parecidas podem se tornar tão diferentes e exercer funções distintas nas plantas?

Lembre-se de que estamos iniciando o estudo microscópico das plantas, portanto, o material precisa facilitar esse processo e a compreensão do conteúdo. Você precisará entender melhor como é a estrutura básica das células vegetais e como surgem células tão diferentes no corpo da planta.

Não pode faltar

Célula vegetal

Como já mencionado na Unidade 1, as plantas são organismos eucariontes, portanto, suas células têm núcleo e organelas delimitados por membranas. Pode-se dizer que **a célula é o primeiro indício de vida** que irá formar um organismo, mesmo que ele seja unicelular. Portanto, costumamos interpretar as células como **unidades estruturais e funcionais de um ser vivo**.

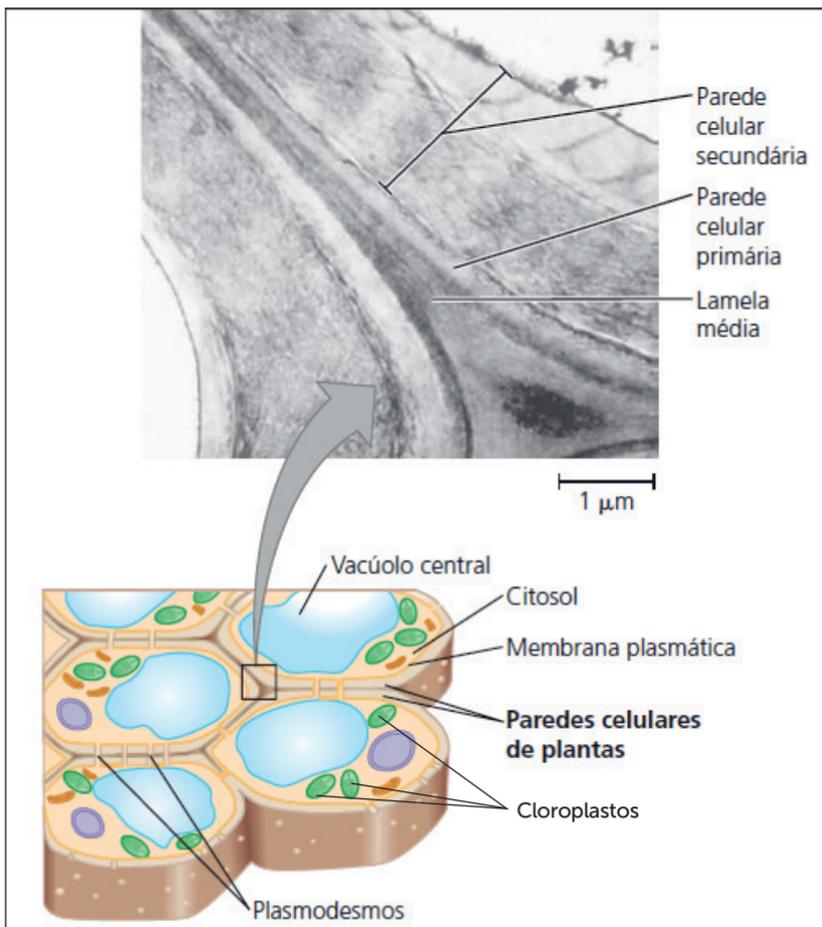
As células vegetais têm diversas formas, tamanhos e estruturas e uma célula típica de plantas consiste em um protoplasto envolto por uma parede celular mais ou menos rígida. Nesta seção, vamos nos dedicar especialmente às três características que diferenciam estruturalmente as células vegetais das animais: a **parede celular**, o **vacúolo** e os **plastídios**, ilustrados na Figura 2.1.



Assimile

Protoplasma refere-se aos conteúdos celulares e dessa palavra deriva o termo **protoplasto**, que consiste no citoplasma e no núcleo, envoltos pela membrana plasmática. O núcleo contém a informação genética da célula (DNA, também presente nos plastídios e nas mitocôndrias) e controla as atividades celulares. O citoplasma, por sua vez, é relativamente líquido, composto pelo citosol, no qual estão inseridos as organelas e os sistemas de membranas.

Figura 2.1 | O desenho mostra células vegetais, evidenciando algumas de suas estruturas particulares, como cloroplastos, vacúolos, plasmodesmos e paredes. No detalhe, micrografia eletrônica de transmissão (MET) apontando paredes de duas células vizinhas e a lamela mediana, composta por pectina



Fonte: adaptada de Reece et al. (2015, p. 118).

A **parede celular** determina o tamanho e a forma da célula, além da textura do tecido. Essa estrutura varia de acordo com o tipo de célula, das suas funções e até mesmo da idade da célula.

Considerado o composto orgânico mais abundante da biosfera, a **celulose**, um polissacarídeo, é o principal componente da parede celular de plantas. Além dela, são encontradas as **hemiceluloses** e as **pectinas**, também polissacarídeos.

Nas paredes de algumas células, especialmente as de sustentação e função mecânica, também é depositado um composto fenólico chamado **lignina**, o qual confere rigidez à parede celular, resistência à compressão e impermeabilização. Como abordado na Unidade 1, na evolução das plantas terrestres a lignificação das células permitiu que os vegetais aumentassem em altura e desenvolvessem ramificações.

Durante a divisão celular, as células vegetais raramente se separam completamente na citocinese: células vizinhas mantêm seus protoplastos conectados por cordões citoplasmáticos, os **plasmodesmos** (ver Figura 2.1). Essa conexão facilita o intercâmbio de diversas substâncias entre as células, formando um protoplasto contínuo, chamado **simplasto**. Os plasmodesmos atravessam as paredes celulares, mas não são parte delas.

As paredes de células adjacentes são unidas por uma camada de pectina chamada **lamela mediana** e a interconexão das paredes celulares vegetais, onde pode haver transporte de água e pequenas moléculas, é chamada **apoplasto**.

Dentro do citoplasma das células vegetais há uma ou mais cavidades denominadas **vacúolos**, envoltas por uma membrana chamada **tonoplasto** ou membrana vacuolar. Células jovens podem ter vários pequenos vacúolos, mas em uma célula adulta um único vacúolo pode ocupar quase a totalidade do espaço celular interno – isso faz com que o citoplasma fique comprimido entre o vacúolo e a parede celular, resultando em um menor gasto de energia para a célula.

Vacúolos removem substâncias tóxicas; armazenam e repõem metabólitos e antocianinas (pigmentos azuis, roxos e vermelhos); têm atividade digestiva (quebra e reciclagem de componentes celulares, de maneira similar à atividade dos lisossomos nas células animais); regulam osmoticamente a célula, uma de suas principais funções.

Essas cavidades geralmente são preenchidas por um líquido chamado suco vacuolar, cuja composição varia de acordo com a planta, o órgão, o estado fisiológico ou fase de desenvolvimento, mas geralmente contém água, íons, açúcares, sais, aminoácidos. É comum encontrar **cristais de oxalato de cálcio** nos vacúolos, mas também podem estar na parede celular. Observados em diferentes formatos, os cristais esféricos são chamados de **drusas**

e os alongados, lembrando um feixe de agulhas, são as **ráfides**. Aparentemente, esses cristais, resultantes da atividade metabólica da célula, servem como proteção contra herbívoros, por deixar os tecidos menos palatáveis.

O citoplasma de uma célula vegetal viva se movimenta continuamente em um processo chamado de **cicloso**, o que facilita o deslocamento de substâncias dentro da célula e a troca delas entre a célula e o ambiente em que ela se encontra.

Inseridos no citoplasma, estão os **plastídios**, típicos das células vegetais, envolvidos na fotossíntese e no armazenamento. Os principais plastídios, classificados especialmente pelos pigmentos que contêm ou pela ausência deles, são:

- **Cloroplastos**: contêm pigmentos clorofilas (verdes, predominantes) e carotenoides (laranjas); especialmente envolvidos na fotossíntese, no armazenamento de grãos de amido e de gotas de lipídios.
- **Cromoplastos**: possuem pigmentos carotenoides (amarelo, laranja, vermelho), mas sem clorofila.
- **Leucoplastos**: sem pigmentos e sem membranas internas; podem armazenar amido, sendo chamados de amiloplastos, proteínas ou lipídios.



Pesquise mais

Para saber mais sobre a estrutura da célula vegetal, especialmente sobre a parede celular, leia as páginas 259 a 271 do capítulo do livro *Biologia celular e molecular*, indicado a seguir. Você encontra essa publicação na sua biblioteca virtual.

JORDÃO, Berenice Q.; ANDRADE, Celia G. T. J. Célula vegetal. In: JUNQUEIRA, Luiz C. U.; CARNEIRO, José. **Biologia celular e molecular**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. Cap. 13. p. 258-289.

Meristemas

Na formação do embrião, que será tratada na Seção 2.3 desta unidade, existe um **conjunto de células** praticamente **não diferenciadas**, os **meristemas**, que darão origem aos diferentes **tecidos** e **órgãos** que constituem a planta. Os tecidos vegetais

são células organizadas estrutural e/ou funcionalmente, que produzirão os **sistemas de tecidos**. Apesar de formados no embrião, os meristemas existem ao longo da vida do vegetal e são divididos em primários e secundários, de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta.

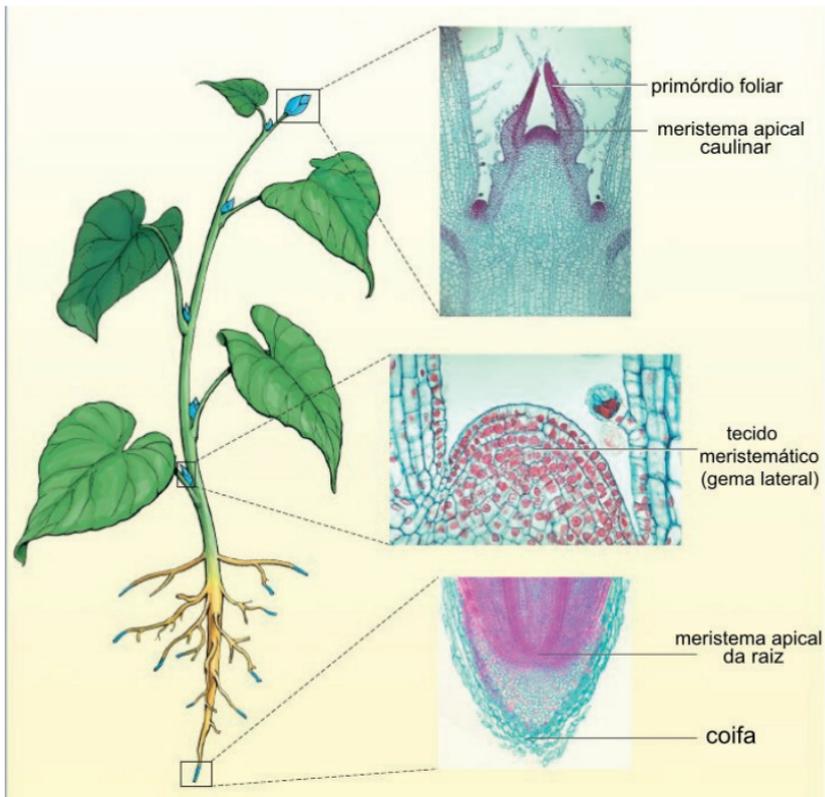


Assimile

A presença de meristemas oferece aos vegetais um crescimento contínuo ao longo de sua existência, denominado **crescimento indeterminado**. Isso é reflexo da divisão ativa de células no meristema, que adiciona novas células, tecidos e órgãos ao corpo da planta. No entanto, alguns órgãos, como as flores, apresentam crescimento **determinado**: o crescimento se encerra quando o desenvolvimento do órgão está completo.

Nas extremidades dos caules e das raízes encontram-se os **meristemas apicais**, constituídos por células capazes de repetidas divisões e envolvidos com o aumento em comprimento do corpo da planta (crescimento primário). Nos caules, o meristema apical é terminal, ou seja, na extremidade do órgão, enquanto nas raízes sua posição é subterminal, com proteção da coifa. Algumas células resultantes dessas divisões continuarão meristemáticas (células iniciais); outras (células derivadas) irão se diferenciar e originar os **meristemas primários** protoderme, meristema fundamental, e procâmbio, os quais formarão os tecidos primários da planta. A organização desses meristemas é mostrada na Figura 2.2.

Figura 2.2 | Tecidos meristemáticos em diferentes partes da planta. As gemas laterais são derivadas do meristema apical caulinar



Fonte: adaptada de Krogh (2011, p. 469).

Quando a planta inicia seu crescimento em espessura (secundário), são requisitados os **meristemas laterais**, formados pelo câmbio vascular (que dará origem aos tecidos vasculares) e pelo felogênio (ou câmbio da casca).

Algumas plantas apresentam também **meristemas intercalares**, compostos por células derivadas do meristema apical, porém continuam sua atividade em locais afastados do ápice, como os localizados logo acima dos nós caulinares.



De que maneira o conhecimento sobre meristemas pode favorecer o cultivo de plantas por meio de técnicas de propagação vegetativa, ou seja, sem envolver processos reprodutivos das plantas?



Para ver fotos reais e ilustrações das estruturas celulares e dos tecidos vegetais, acesse os recursos disponíveis na página do Laboratório de Anatomia Vegetal da UFSC, navegando no menu à esquerda do site.

LABORATÓRIO DE ANATOMIA VEGETAL (LAVEG). Florianópolis, 2015. Disponível em: <<http://laveg.paginas.ufsc.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

Também sugerimos a leitura das páginas 1 a 8 do artigo a seguir, no qual você poderá saber um pouco mais sobre os meristemas vegetais: conceitos, terminologia, comunicação e diferenciação celular são alguns dos tópicos abordados no texto.

RODRIGUES, Maria A.; KERBAUY, Gilberto B. Meristemas: fontes de juventude e plasticidade no desenvolvimento vegetal. **Hoehnea**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 525-549, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hoehnea/v36n4/v36n4a01.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

Desenvolvimento: morfogênese e diferenciação

O desenvolvimento da planta envolve processos integrados de diferenciação, morfogênese e crescimento (este último será discutido na Seção 2.3).

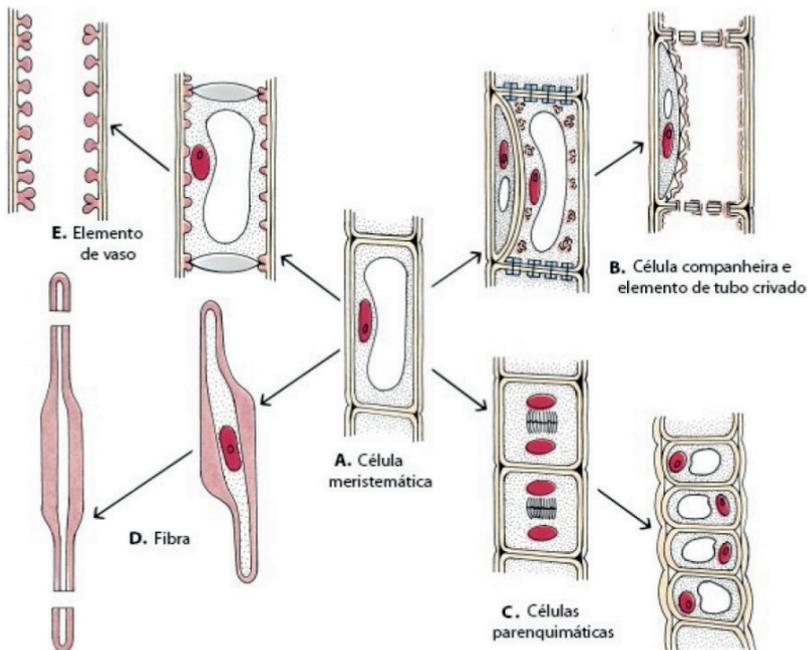
A **morfogênese** é o processo pelo qual a planta adquire uma **forma específica** durante o desenvolvimento. A morfologia da planta como um todo, ou de um determinado órgão, é determinada especialmente pela **maneira como as células se dividem e se expandem** e é consequência da diferenciação das células e dos tecidos.

Morfogênese e diferenciação são processos integrados, mas não necessariamente controlam um ao outro: provavelmente são controlados por diferentes genes, separadamente.

As células vegetais, de maneira geral, apresentam uma propriedade chamada de **totipotência**, isto é, possuem capacidade de se transformar em qualquer outro tipo celular, inclusive originar uma planta completa. O cultivo de plantas in vitro, por exemplo, leva

em consideração essa característica. Chamamos essa transformação de **diferenciação celular**, que é o processo gradual pelo qual as células geneticamente idênticas, ainda em crescimento, tornam-se diferentes entre si e daquelas das quais se originaram (células meristemáticas). Na diferenciação, células, tecidos ou órgãos assumem suas várias características estruturais e fisiológicas, como exemplificado na Figura 2.3.

Figura 2.3 | Desenho esquemático mostrando a diferenciação de uma célula meristemática em diversos tipos de células do sistema vascular



Fonte: Evert e Eichhorn (2014, p. 1003).

Além de se diferenciarem, as células vegetais podem se desdiferenciar (perder características adquiridas) ou se rediferenciar (adquirir novas características). Mas como determinar o destino de uma célula vegetal durante a diferenciação? Que tipo de célula será formada?

A diferenciação é um **processo controlado geneticamente**, porém a posição final de uma célula no órgão em desenvolvimento é determinante na sua identidade. Se essa posição mudar, a célula se diferenciará, adequando-se ao novo local, e isso ocorre porque as células informam sua posição por meio da comunicação entre si.

Sistema dérmico ou de revestimento

Na Seção 1.1 desta disciplina discutimos que a epiderme com cutícula e os estômatos foram características relevantes na colonização do ambiente terrestre pelas plantas. Essas estruturas fazem parte do sistema dérmico ou de revestimento.

Nas plantas, podemos identificar três sistemas de tecidos: **dérmico ou de revestimento, vascular e fundamental** (os dois últimos serão tratados na próxima seção). Esses sistemas podem ser formados por um ou mais tecidos.

O sistema de revestimento é constituído pela **epiderme**, encontrada em folhas, partes florais, frutos, sementes e até determinada fase de crescimento dos caules e raízes. As células epidérmicas podem ser comuns (justapostas, achatadas, sem cloroplastos) ou especializadas, como as células-guarda (com cloroplastos e controle da abertura dos estômatos), tricomas (pelos com funções diversas, como absorção, defesa, secreção) e outros.



Exemplificando

Algumas plantas epífitas, como bromélias, podem apresentar tricomas foliares que servem para absorção de água e nutrientes – lembre-se de que epífitas se apoiam sobre outras plantas, mas suas raízes não tocam o solo.

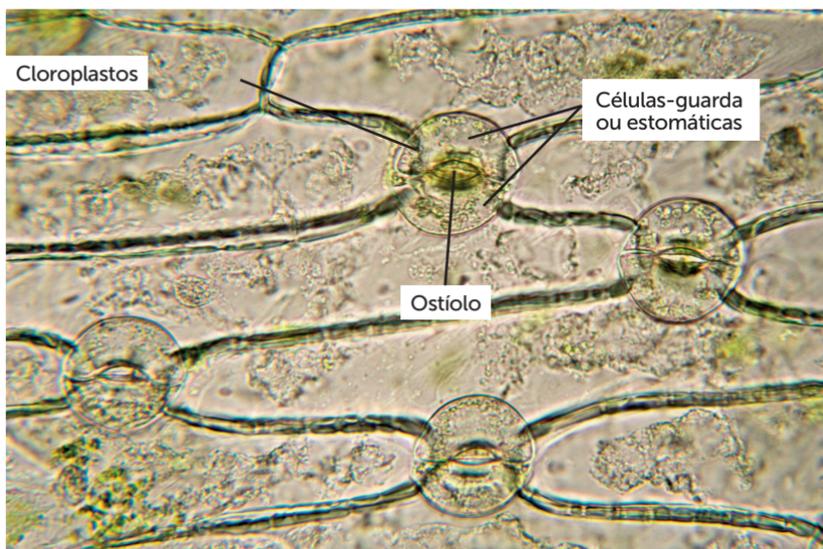
Plantas carnívoras têm pelos glandulares nas folhas, que secretam enzimas para digerir insetos. Há também pelos glandulares que liberam substâncias irritantes, como na urtiga.

A parede externa de células epidérmicas pode ser revestida por uma **cutícula** protetora e transparente, a qual serve para **evitar a perda de água**, constituída por **cera** e **cutina** (lipídios). A cera reflete luz, ajudando a reduzir um possível superaquecimento e perda excessiva de água por transpiração.

Nas regiões de absorção das raízes, a cutícula é bastante fina, porém pode se espessar nas partes mais velhas do órgão. Se você retomar a Seção 1.2, lembrará que os pelos radiculares são extensões de células epidérmicas e o velâmen, encontrado em raízes de plantas epífitas, também é derivado dessas células de revestimento.

Além de reduzir a perda de água, o sistema de revestimento também tem função de **proteção mecânica** (contra a invasão de patógenos), **trocas gasosas** e **controle de entrada e saída de água** entre os meios interno e externo, por meio dos **estômatos**. Os estômatos, mostrados na Figura 2.4, são complexos formados por duas células-guarda e um poro (ostíolo) e se encontram na epiderme de folhas e caules, incluindo flores, mas não em raízes.

Figura 2.4 | Fotomicrografia mostrando estômatos na epiderme foliar. Ao contrário da maioria das células epidérmicas, as dos estômatos contêm cloroplastos e podem armazenar amido



Fonte: adaptado de <<https://goo.gl/MBbv9W>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

Em raízes e caules, após o crescimento inicial, a epiderme é substituída pela **periderme**, um tecido de revestimento secundário. A periderme é formada pelo meristema **felogênio** (ou câmbio da casca), que produz o **súber**, um tecido de proteção morto, depositado na superfície do órgão, e a **feloderme**, constituída pelo meristema para o interior do órgão. O crescimento secundário será detalhado na Seção 2.3.

Sem medo de errar

Seu desafio para esta seção era organizar um material recebido pela escola em que você, hipoteticamente, trabalha, para ser utilizado nas aulas de Ciências, além de elaborar modelos tridimensionais para

ilustrar o estudo das células vegetais e facilitar o aprendizado de seus futuros alunos.

Para cumprir essas tarefas, você deve considerar que as células não devem ser representadas de forma fragmentada ou incompleta. Mas, como o objetivo é assimilar as características que diferenciam as células vegetais das animais ou bacterianas, por exemplo, uma estratégia é destacar as estruturas típicas das células das plantas. Portanto, deixar parede celular, vacúolo e plastídios (especialmente cloroplastos) em evidência é uma maneira de atingir esse objetivo.

Adicionalmente, você pode escolher materiais fáceis de conseguir e que lembrem, de algum modo, as características estruturais e funcionais dessas partes da célula. Por exemplo:

- Utilizar materiais fibrosos e enrijecidos, como sisal, fibra de coco e juta, para construir a parede celular, ajuda a lembrar sua composição de celulose, pectina, lignina, que conferem estrutura e resistência às células.

- Representar cloroplastos com material predominantemente verde, como referência à clorofila, e incluir grãos de arroz ou similares para indicar que esses plastídios podem armazenar grãos de amido.

- O vacúolo pode ser feito com uma bexiga preenchida com água e incluídos diversos objetos representando açúcares, aminoácidos, sais, antocianinas (objetos azuis e roxos) etc.

Para o estudo de meristemas, você precisará encontrar lâminas de microscópio que apresentem seções longitudinais de ápices caulinares e radiculares e que mostrem os grupos de células iniciais (veja a Figura 2.2) nos meristemas apicais desses órgãos.

Será interessante, também, encontrar lâminas com cortes que mostrem células já diferenciadas, que sejam evidentemente distintas de outras – estômatos e tricomas podem ser bons exemplos em tecidos dérmicos, em cortes foliares.

Espera-se que, com essa atividade, você consiga mobilizar os principais conhecimentos adquiridos durante o estudo desta seção e aplicá-los na elaboração de atividades que favoreçam o aprendizado de seus futuros alunos.

Observando por fora o que acontece por dentro

Descrição da situação-problema

O estudo das células vegetais e a organização dos tecidos pode parecer maçante, pela quantidade de novos termos e pela dificuldade, muitas vezes, de observar essas estruturas. Daí a importância de trazer para a realidade cotidiana dos alunos os conceitos aprendidos ao longo da disciplina.

Você deverá elaborar uma lista com algumas curiosidades sobre os vegetais que estejam relacionadas às estruturas celulares e ao tecido de revestimento das plantas. Os questionamentos a seguir poderão ajudar a iniciar sua lista.

- Do que são feitos o papel ou uma camiseta de algodão?
- Por que a maioria das folhas são verdes, mas existem folhas de cores diferentes, como a roxa?
 - Por que os frutos geralmente mudam de cor, amolecem e ficam adocicados durante o amadurecimento?
 - Por que a casca de uma maçã fica brilhante quando a polimos?

Resolução da situação-problema

É provável que seus futuros alunos já tenham ouvido falar que o papel é feito de celulose, “que vem da madeira” e a camiseta que estão usando é de algodão – uma planta. O que talvez eles não saibam é que a celulose é o principal componente da parede celular das células vegetais, incluindo as fibras de algodão da roupa.

Folhas que não são verdes possuem clorofila também, mas a concentração de outros pigmentos pode ser maior. Portanto, enxergamos roxas as folhas que contêm grande quantidade de antocianina ou em tons amarelados quando a folha produz mais carotenoides.

Embora o amadurecimento de frutos seja um processo mais complexo, nesse momento podemos dizer que, especialmente em frutos carnosos:

- A cor do fruto é modificada por um balanço de degradação da clorofila (frutos verdes) e síntese e acúmulo de outros pigmentos

(frutos coloridos), armazenados em plastídios ou em vacúolos da célula vegetal. Os próprios plastídios podem ser substituídos uns pelos outros (cloroplasto por cromoplastos, por exemplo). Pimentões verdes, amarelos e vermelhos, por exemplo, representam diferentes fases de maturação.

- A parte carnosa dos frutos maduros amolecem porque há digestão enzimática de componentes da parede celular, especialmente a pectina.

- O sabor adocicado dos frutos maduros é resultado da conversão do amido armazenado nas células em açúcares.

Por fim, ao polir a casca de uma maçã, estamos polindo uma camada cerosa que recobre a cutícula que reveste a epiderme do fruto.

Faça valer a pena

1. “O sistema hidráulico das plantas vasculares atuais consiste de poros regulados para a troca gasosa, (_____), um revestimento impermeável, (_____), para controlar a _____ para a atmosfera, uma cadeia de tubos (xilema) para distribuir água e um extenso sistema de raízes para retirar água subterrânea, muitas vezes profunda.”.

Fonte: Traduzido e adaptado de: DELWICHE, C. F.; COOPER, E. D. The Evolutionary Origin of a Terrestrial Flora. **Current Biology**, v. 25, n. 19, p. 899-910, out. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <<https://goo.gl/dLiJRM>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

O trecho se refere a algumas adaptações das plantas para que pudessem colonizar o ambiente terrestre e se refere ao sistema dérmico dos vegetais. Marque a alternativa que apresenta os termos que substituem os espaços na ordem correta:

- a) os estômatos; os tricomas; perda de água.
- b) os tricomas; a cutícula; perda de seiva.
- c) as células-guarda; a cutícula; perda de água.
- d) os estômatos; a membrana plasmática; perda de seiva.
- e) os estômatos; a cutícula; perda de água.

2. Durante o outono, as folhas de algumas espécies de plantas arbóreas e arbustivas perdem a coloração verde, que gradualmente é substituída por tons de laranja ou vermelho. Essa mudança no padrão de cor também pode ser percebida ao longo do amadurecimento de frutos.

Assinale a alternativa que oferece uma explicação plausível para os fenômenos descritos no texto:

- a) A produção de carotenoides, pigmentos verdes contidos nos cromoplastos, diminui, tornando-se evidente o pigmento clorofila, responsável pelos tons laranjas.
- b) A produção de carotenoides, pigmentos laranjas contidos nos cloroplastos, diminui, tornando-se evidente o pigmento clorofila, responsável pela cor verde.
- c) A produção de clorofila, pigmento verde contido nos cloroplastos, diminui, tornando-se evidentes os pigmentos carotenoides, responsáveis pelos tons laranjas.
- d) A produção de clorofila, pigmentos verdes contidos nos amiloplastos, diminui, tornando-se evidente o pigmento antocianina, responsável pelos tons laranjas.
- e) A produção de clorofila, pigmentos verdes contidos nos leucoplastos, diminui, tornando-se evidentes os pigmentos carotenoides, responsáveis pelos tons roxos.

3. “Os princípios teóricos da cultura de tecidos de plantas foram propostos ainda no século 19, com as teorias de **totipotência** de células vegetais. Mas só no início do século 20, em 1902, é que realmente apareceram os primeiros trabalhos de Haberlandt, com o **cultivo de tecidos** somáticos de várias espécies de plantas.” (KERBAUY, 1997, apud CANÇADO et al., 2009, p. 64, grifo nosso).

Fonte: CANÇADO, Geraldo M. A. et al. Cultivo de plantas in vitro e suas aplicações. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 30, n. 253, p. 64-74, nov. 2009.

O cultivo de tecidos vegetais in vitro é estudado há bastante tempo, oferecendo diversas aplicações, especialmente na biotecnologia. Em relação aos conhecimentos necessários para que essa técnica seja realizada e considerando os termos em destaque no texto, marque a alternativa que completa corretamente a frase: “Para que tecidos vegetais sejam cultivados in vitro...”:

- a) foi necessário saber que as células vegetais podem originar os mais variados tipos celulares por meio do processo de diferenciação celular.
- b) foi importante saber apenas que os tecidos vegetais precisam de um meio com nutrientes para se desenvolverem.
- c) não foi necessário conhecer sobre o destino de células meristemáticas, que se diferenciam em vários tipos celulares.
- d) foi necessário saber apenas que as plantas precisam de luz, por isso os vidros utilizados são transparentes.
- e) não foi importante conhecer meristemas vegetais, pois as plantas só se propagam sexuadamente.

Seção 2.2

Morfologia interna

Diálogo aberto

Caro aluno, lembre-se de que nesta unidade você foi convidado a organizar e indicar utilizações para um material doado ao laboratório da escola em que trabalha.

É muito interessante quando aprendemos a preparar um material histológico para estudar a morfologia interna das plantas. Melhor ainda se pudéssemos ensinar aos alunos como fazê-lo. No entanto, sabemos que no cotidiano escolar geralmente nos falta estrutura, material, capacitação técnica e tempo. Algumas vezes conseguimos preparar, nas aulas, algum material fresco para ser observado.

Por sorte, no material recebido pela escola, há uma grande quantidade de lâminas permanentes mostrando diversos tecidos dos diferentes órgãos vegetais. Para otimizar o uso desse material, ele deve estar organizado e identificado, para auxiliar os demais professores a saber o que há ali para mostrar. Portanto, você deve analisar cada lâmina ao microscópio e estabelecer uma forma de classificá-las para facilitar a busca e a utilização do material.

Para elaborar uma lista de lâminas para as aulas práticas de morfologia interna das plantas você precisa refletir sobre as seguintes perguntas:

- Que critérios você usaria para escolher as lâminas que melhor apresentam cada sistema de tecidos vegetais?
- Agrupe lâminas que mostrem bem a organização dos tecidos dos órgãos vegetativos: que estruturas você indicaria para identificar cada um deles?

Para organizar essas lâminas, você precisará se apropriar das particularidades dos sistemas de tecidos vegetais e da organização desses tecidos em raízes, caules e folhas.

Isso vai dar trabalho, mas não desanime! Pense em como ter esse material enriquecerá o aprendizado de tantos alunos!

Não pode faltar

Na Seção 2.1 falamos sobre o sistema dérmico, ou de revestimento das plantas, representado pela epiderme. Além do sistema dérmico, as plantas apresentam os sistemas fundamental e vascular, que serão tratados nesta seção. Daremos continuidade ao assunto falando sobre a morfologia interna (ou anatomia) e a organização dos sistemas nos diferentes órgãos vegetais.

Sistema fundamental

O sistema fundamental consiste em três tipos de tecidos fundamentais: o colênquima, o esclerênquima e o parênquima, sendo este último o mais comum dentre os três.

O **parênquima** é um tecido considerado primitivo, já presente nas plantas não vasculares – as algas e as chamadas briófitas só têm esse tecido. Células parenquimáticas estão presentes em quase todos os órgãos das plantas e se desenvolvem a partir do meristema fundamental, nos ápices do caule e da raiz. São **células vivas** que, mesmo após a diferenciação, mantêm a capacidade de divisão e são importantes nos processos de regeneração de lesões e formação de raízes e caules adventícios.



Refleta

Agora, reflita sobre a seguinte questão: de que forma você imagina que os conhecimentos sobre os tecidos e sistemas vegetais podem ser aplicados nos diversos aspectos da nossa vida?

As células parenquimáticas podem ter funções específicas, como fotossíntese, reserva, transporte, secreção e excreção. O parênquima é um tecido dividido em três grupos básicos: preenchimento (ou fundamental), clorofiliano e de reserva (as classificações podem variar entre os autores).

- **Fundamental ou de preenchimento:** caracterizado por haver poucos espaços intercelulares, é encontrado no córtex e na medula de caules e raízes, mas também no pecíolo e nas nervuras das folhas.
- **Clorofiliano:** consiste em células fotossintetizantes e é classificado, dependendo do formato das células e de sua organização, em

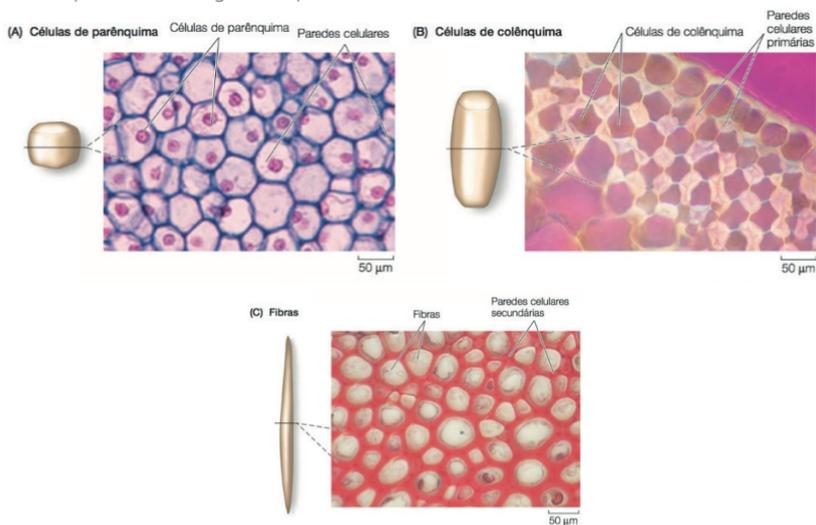
paliçádico, esponjoso ou lacunoso, entre outros. Essas classificações serão definidas mais adiante.

- **Reserva:** função de armazenamento de substâncias do metabolismo primário das plantas. É classificada conforme a substância armazenada: amilífero (grãos de amido), aerífero ou aerênquima (grandes espaços intercelulares, onde há acúmulo de ar) e aquífero (células volumosas, com vacúolo grande, que armazenam água).

O **colênquima** é um tecido de **sustentação** dos órgãos primários ou dos que estão na fase de crescimento em comprimento. É formado por **células vivas** com parede celular flexível, portanto encontradas, por exemplo, em caules de plantas herbáceas e pecíolos. As paredes celulares que constituem esse tecido são engrossadas nos ângulos, ricas em **pectinas** e, geralmente, com grande quantidade de cloroplastos. Com formas variadas, essas células também podem retomar a atividade meristemática e se converter, inclusive, em esclerenquimáticas, discutidas a seguir, se passarem por um processo de lignificação.

Veja na Figura 2.5 células do parênquima, do colrênquima e do esclerênquima.

Figura 2.5 | Células do tecido fundamental: (A) células de parênquima de pecíolo, com paredes celulares delgadas e uniformes; (B) células de colênquima de nervura foliar, com paredes celulares espessadas nos ângulos; (C) células de esclerênquima (fibras), com espessamento regular de paredes.



Fonte: adaptada de Sadava et al. (2009, p. 887).

O **esclerênquima** também é um tecido de **sustentação**, encontrado na periferia ou mais internamente nos órgãos, no corpo primário ou secundário das plantas. É formado por **células mortas** na maturidade, com paredes celulares espessadas, lignificadas ou não. Ao contrário do colênquima, esse espessamento costuma ser regular e homogêneo. É mais evidente em partes da planta que já pararam de crescer em extensão, já que têm lignina, que enrijece a parede celular.

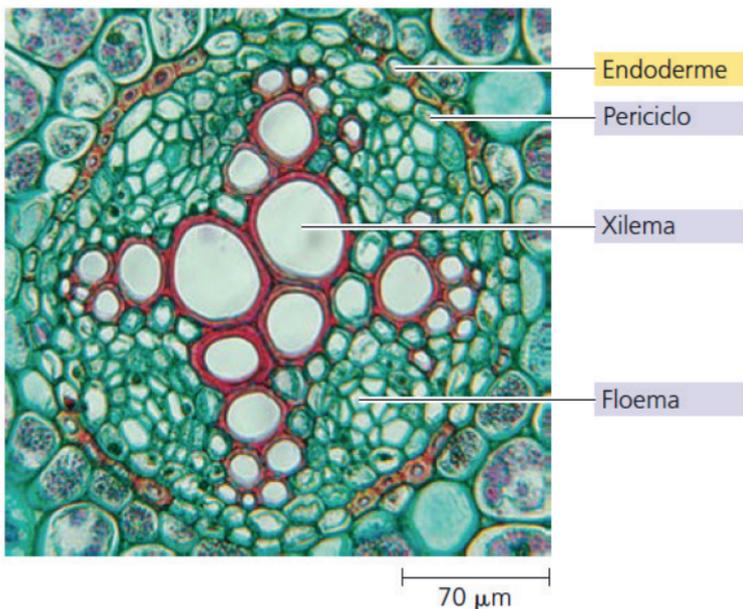
Destacam-se dois tipos celulares: as **fibras** e as esclereídes. As fibras são células alongadas, com extremidades afiladas, geralmente organizadas em feixes. As **esclereídes** têm formatos variados, encontram-se isoladas ou em grupos esparsos, podendo ser ramificadas.

Sistema vascular

O sistema vascular, mostrado na Figura 2.6, liga as regiões de absorção de água e de síntese de alimentos àquelas de crescimento, desenvolvimento e armazenamento. É formado por dois tecidos de condução: o **xilema** e o **floema** que, apesar de estarem geralmente juntos, diferem em estrutura e suas funções, também diferentes, são coordenadas. A forma como o sistema vascular se distribui na planta está relacionada com a variação no padrão dos diferentes tecidos.

Pode-se dizer que grande parte dos elementos do xilema morrem na maturidade, ou seja, ao final da diferenciação, enquanto as células maduras do floema, com poucas exceções, apresentam protoplastos, isto é, continuam vivas.

Figura 2.6 | Seção transversal de raiz, mostrando a organização central do tecido vascular (xilema e floema)



Fonte: Reece et al (2015, p. 762).



Pesquise mais

Acesse os recursos eletrônicos abaixo indicados para saber mais sobre os principais tecidos e sistemas vegetais. Além dos textos, os materiais são ricos em imagens que enriquecerão o estudo desta seção.

OLIVEIRA, Denise M. T.; MACHADO, Silvia R. **Álbum didático de anatomia vegetal**. Botucatu: Unesp - Instituto de Biociências de Botucatu, 2009. Disponível em: <http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/album_didatico_de_anatomia_vegetal.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2017.

SPRICIGO, Poliana. Transformações bioquímicas em frutos e hortaliças. **USP e-Disciplinas**. Sistema de Apoio às Disciplinas, São Paulo, [2016?]. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=985687>>. Acesso em: 2 dez. 2017.

O xilema é o principal tecido condutor de **água e sais minerais dissolvidos** e se distribui pelo corpo das plantas vasculares de forma ininterrupta. Além da função condutora, o xilema está envolvido na sustentação da planta e no armazenamento de substâncias.

Pode ser primário, que consiste no sistema celular axial, com células alongadas paralelamente ao eixo longo do órgão, ou secundário, que reflete o crescimento secundário, ou em espessura (detalhado na Seção 2.3).

As principais **células condutoras** do xilema são as **traqueídes** e os **elementos de vaso**. São células que morrem na maturidade, têm formato alongado e apresentam pontoações na parede celular (locais em que a parede é mais fina, permitindo a troca de substâncias). As traqueídes não são perfuradas, são menos especializadas na condução e têm papel na sustentação da planta. Os elementos de vaso apresentam uma ou mais perfurações, sobrepõem-se formando um vaso lenhoso, são mais especializados na condução de água, que flui tanto pelas pontoações da parede quanto através das perfurações.

O xilema também é constituído por **fibras**, que são células de sustentação mecânica, e células parenquimáticas de reserva, que armazenam amido, óleos etc.

O floema transporta **materiais solúveis** (orgânicos e inorgânicos), sintetizados nos órgãos produtores (folhas maduras, endosperma), para locais consumidores, de crescimento ativo ou regiões de uso e armazenamento (meristemas, folhas jovens, raiz, caule). Ocorre em toda a planta, junto ao xilema, e também pode ser primário ou secundário.

As principais **células condutoras** do floema são as **células crivadas** e os **elementos de tubo crivados**. São células que apresentam **áreas crivadas** nas paredes (pontoações modificadas), através das quais se interconectam os protoplastos vivos de células adjacentes. Têm formato alongado e geralmente não são lignificadas. As células crivadas são mais longas e menos especializadas na condução, pois apresentam poros de diâmetro pequeno nas áreas crivadas ao longo de toda a parede celular. Os elementos de tubo crivado são células mais curtas e mais especializadas na condução, já que apresentam **placas crivadas** nas paredes terminais, que são poros por onde fluem os líquidos, como um tubo.

O floema também é constituído por **fibras** e **esclereídes**, que são células de sustentação. As células parenquimáticas podem ser especializadas, como as companheiras, que estão associadas aos elementos de tubo e os auxiliam no fluxo de substâncias. Células parenquimáticas não especializadas podem conter substâncias de reserva (amido, tanino) ou exercer função excretora.

Anatomia dos órgãos vegetativos

Raiz

A raiz primária é delimitada por uma **epiderme** (Figura 2.7). Em todas as raízes (exceto as aéreas e de algumas plantas aquáticas), próximo à região de crescimento, há pelos radiculares que se desenvolvem a partir das células epidérmicas. Abaixo da epiderme encontra-se o **córtex**, com parênquima cortical com grandes espaços intercelulares.

Mais internamente está a **endoderme**, geralmente uniestratificada (com uma única camada celular), cujas células apresentam faixas impermeabilizantes, as estrias de Caspary. Algumas células da endoderme favorecem o fluxo de água, enquanto outras o restringem.

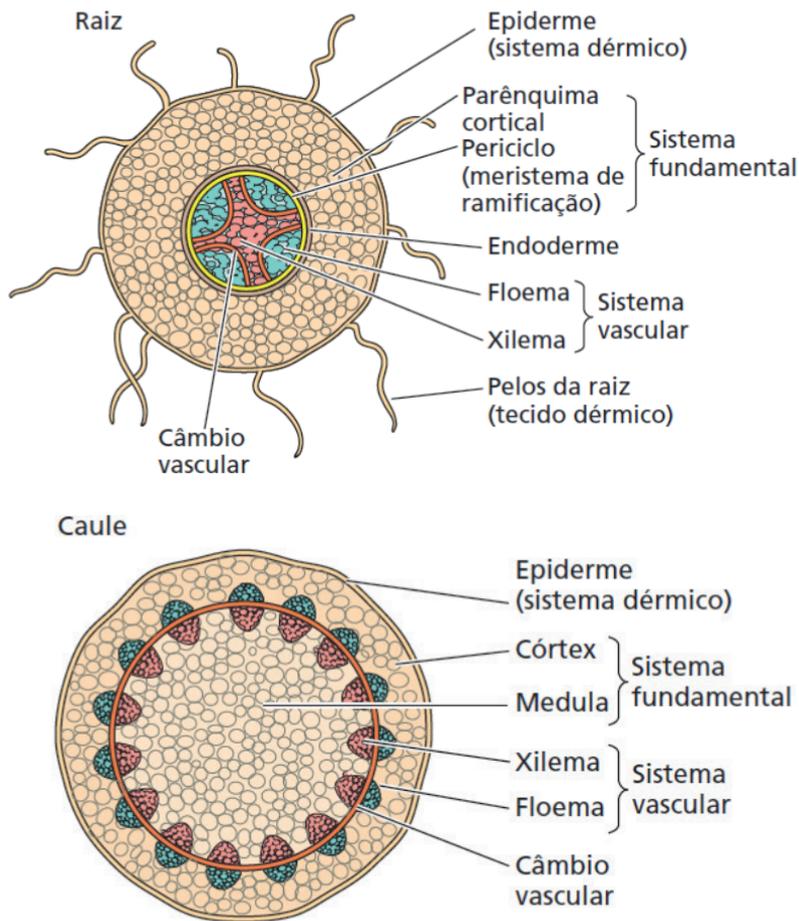
O **cilindro vascular**, na raiz, é formado pelo **periciclo**, a partir do qual se constituem as raízes laterais. Envolvido pelo periciclo está o sistema vascular da raiz, composto pelo xilema primário, alternado com o floema, porém o arranjo desses tecidos pode variar significativamente entre os grupos de plantas.

Caule

O caule primário também é estruturado em **epiderme** (uma ou mais camadas, revestida por cutícula) e **córtex**, mas, geralmente, sem endoderme diferenciada. A composição do córtex varia bastante entre as espécies, mas fibras e traqueídes são tipos celulares bastante proeminentes. Em seguida está a **medula**, formada por parênquima, mas que pode ficar oca durante o crescimento de algumas espécies (caules fistulosos, como no bambu e na embaúba).

Nos **feixes vasculares** do caule, o xilema primário é interno e oposto ao floema (lado externo do xilema), na maioria das plantas, mas padrões diferentes de distribuição dos vasos condutores podem ocorrer nos diferentes grupos vegetais.

Figura 2.7 | Representação esquemática da organização de raiz e caule, em corte transversal



Fonte: adaptado de Taiz et al. (2017, p. 6).

Folha

Nas folhas é possível observar os três sistemas de tecidos: dérmico ou de revestimento, fundamental e vascular.

A **epiderme** é contínua em toda a extensão da folha e pode apresentar apêndices epidérmicos, como os estômatos e tricomas, já discutidos na Seção 2.1. Em folhas de gramíneas pode haver as **células buliformes**, que têm função motora, auxiliando o dobramento da folha, o que ajuda a minimizar a perda de água.



Em relação à presença de estômatos na epiderme, as folhas, que são geralmente achatadas nas superfícies dorsal e ventral, podem ser classificadas em: **hipoestomáticas** (apenas na superfície abaxial ou inferior); **epiestomáticas** (apenas na superfície adaxial ou superior); **anfiestomáticas** (presentes em ambas as superfícies).

Essa distribuição diferencial geralmente está associada ao ambiente em que vive o vegetal, refletindo adaptações das folhas, principalmente quanto à disponibilidade de água: **xerófitas** (ambientes secos); **hidrófitas** (ambientes aquáticos); **mesófitas** (ambientes úmidos, solos com grande disponibilidade de água).

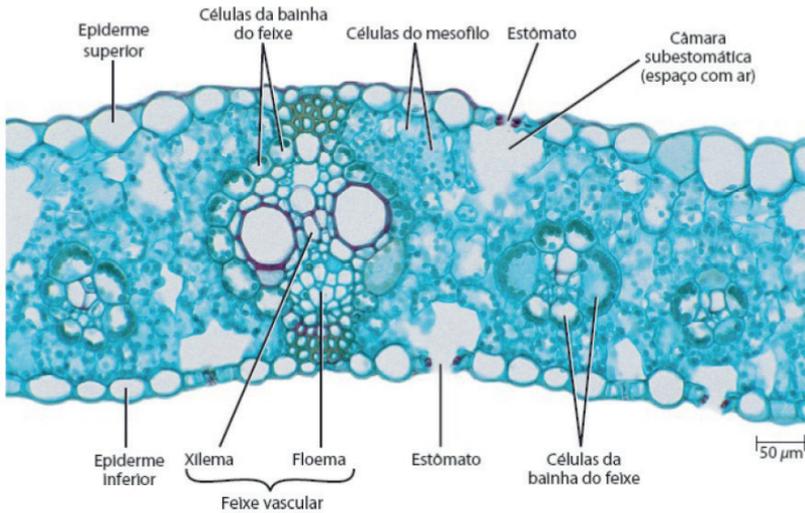
Chama-se **mesófilo** a região que compreende os tecidos entre a epiderme e o sistema vascular da folha e é composto de parênquima, geralmente clorofiliano. Esse parênquima geralmente é organizado em **paliçádico**, com células alongadas dispostas lado a lado, e **lacunoso**, com células de formas variadas e grandes espaços intercelulares que facilitam as trocas gasosas entre os meios interno e externo.

O **sistema vascular** é constituído pelo periciclo, xilema e floema primários. O floema geralmente está voltado para a superfície abaxial, e o xilema, para a adaxial.

Em muitas plantas, o limbo (lâmina foliar) apresenta uma **nervura** central unida a nervuras laterais. A nervura central se conecta ao traço do pecíolo (sistema vascular do pecíolo), o qual entra no caule e une-se ao sistema de caule principal, formando uma continuidade dos feixes vasculares.

Apesar de a estrutura geral das folhas (Figura 2.8) ser similar em todas elas, a organização dos seus componentes pode variar, de acordo com o ambiente em que a planta se encontra, especialmente em relação aos fatores abióticos disponíveis.

Figura 2.8 | Corte transversal de folha de milho



Fonte: Evert e Eichhorn (2014, p. 296).

Anatomia dos órgãos reprodutivos

Flores

Na Seção 1.3, vimos que as flores são, de maneira geral, modificações de folhas; os frutos e as sementes resultam da modificação do ovário e dos óvulos das flores, respectivamente. Portanto, não será nenhuma surpresa encontrar semelhanças entre a anatomia desses órgãos. Vamos, aqui, indicar apenas algumas generalidades da anatomia dessas partes reprodutivas.

Nas flores, as sépalas são anatomicamente semelhantes às folhas, com epiderme bastante fina, geralmente uniestratificada e estômatos presentes. O mesofilo apresenta parênquima clorofiliano, principalmente, e feixes vasculares, porém o número e a disposição dos feixes vasculares variam conforme o verticilo floral e entre as flores de diferentes plantas. Tais características também valem para as pétalas, porém estas, por sua função atrativa, têm **papilas epidérmicas** que liberam aromas e, no mesofilo, há **chromoplastos** com pigmentos diversos nas células parenquimáticas.

Fruto

A anatomia dos frutos é extremamente diversificada. A superfície (exocarpo) tem origem na epiderme do ovário e pode apresentar características como cutícula e estômatos. Muitos frutos apresentam células e **tricomas pegajosos**, envolvidos na aderência desses frutos em organismos dispersores. O mesocarpo é composto por parênquima de reserva, colênquima e esclerênquima como tecidos de sustentação.

Semente

A semente é resultante de um óvulo fecundado. Ao longo da formação e do desenvolvimento das sementes ocorrem inúmeras modificações dos seus componentes principais, portanto, uma análise detalhada de sua anatomia se torna extremamente complexa, pois depende tanto do tipo de semente quanto do seu estágio de maturação.

No geral, sementes em desenvolvimento apresentam apenas tecidos parenquimáticos e algumas sementes de leguminosas podem ter epiderme, colênquima e esclerênquima. Ao longo da germinação ocorre diferenciação dos tecidos vasculares, formação de tricomas e cutícula na epiderme, entre outros processos.



Exemplificando

Frutos com caroço, como manga, pêssego e azeitona, apresentam endocarpo geralmente com tecido esclerificado (esclerênquima), o que os torna rígidos. Peras são frutas com textura arenosa devido à presença de esclereídes, que são células esclerenquimáticas.



Pesquise mais

Nas páginas 392 a 404 do link indicado a seguir você encontra mais informações sobre a anatomia dos órgãos vegetativos das plantas.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. **Anatomia vegetal** [recurso eletrônico]. Disponível em: <http://portal.virtual.ufpb.br/biologia/novo_site/Biblioteca/Livro_4/7-Anatomia_Vegetal.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2017.

Nas páginas 135 a 147 do livro a seguir, disponível em sua biblioteca digital, você encontra mais detalhes e ilustrações sobre a anatomia dos órgãos reprodutivos das plantas.

CUTLER, David F.; BOTHA, Ted; STEVENSON, Dennis W. **Anatomia vegetal** [recurso eletrônico]: uma abordagem aplicada. Porto Alegre: Artmed, 2011.

Sem medo de errar

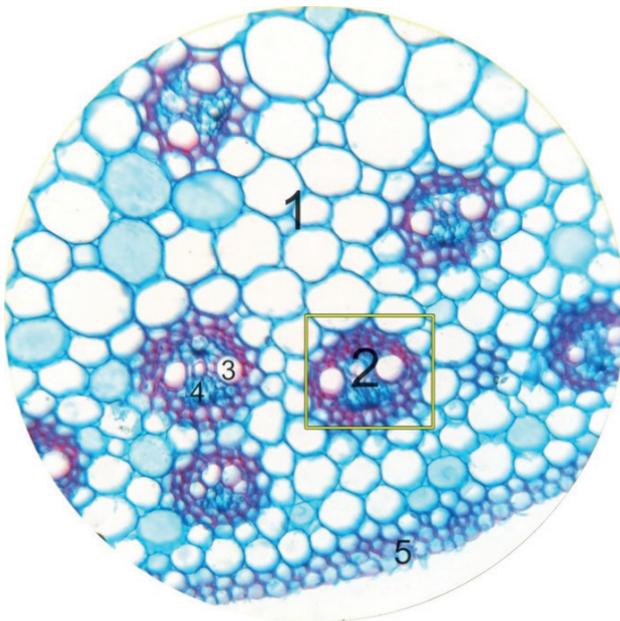
Sua atividade era otimizar o uso do material de laboratório recebido pela escola, organizando-o e identificando-o de forma a facilitar as aulas. Você deveria analisar as lâminas histológicas vegetais e separar algumas, conforme orientações.

Há diferentes formas de escolher material para apresentar os sistemas vegetais. Seguem duas sugestões:

a) Você pode separar lâminas que mostrem, isoladamente, cada um dos tecidos de cada sistema, por exemplo, o fundamental: o colênquima, com suas paredes celulares desigualmente espessadas; diferentes parênquimas, como o clorofiliano ou o amilífero; o esclerênquima, com espessamento homogêneo de parede celular.

b) Outra sugestão é escolher lâminas com cortes de órgãos mostrando a presença de mais de um tecido, como o exemplo a seguir, que é a seção transversal de um caule:

Figura 2.9 | Seção transversal de um caule



1 – Parênquima (tecido fundamental).

4 – Floema (tecido vascular).

2 – Feixe vascular (sistema vascular).

5 – Sistema dérmico ou de revestimento.

3 – Xilema (tecido vascular).

Fonte: adaptado de <<https://goo.gl/Mr2pzV>>. Acesso em: 2 dez. 2017.

Para comparar a organização dos sistemas vegetais em diferentes órgãos vegetativos, separe lâminas de caule, raiz e folha em corte transversal. Deve ser possível, ao observá-las, identificar que os tecidos dos três sistemas estão presentes ao longo do vegetal, porém organizados conforme as funções de cada parte.

Para identificar a raiz, deixe em evidência que os tecidos vasculares estão concentrados no centro de um corte transversal. Se possível, separe lâminas em que seja possível visualizar as estrias de Caspary. Caules apresentarão o sistema vascular organizados em feixes (conforme Figura 2.9). Tanto caules quanto raízes podem apresentar raízes laterais, mas se no seu material houver lâminas que mostrem a emergência dessas raízes, no caule ela ocorrerá se o corte tiver sido feito na altura de uma gema axilar (portanto, em um nó do caule), enquanto a raiz lateral que surge em raízes começará a se formar próxima ao centro do material.

A identificação de folhas será mais simples mostrando os tecidos vasculares nas regiões por onde passam as nervuras. Na epiderme poderão ser visualizados estômatos ou tricomas. Os parênquimas estão contidos no mesofilo e, preferencialmente, deverá ser possível diferenciar entre a organização paliádica e lacunosa.

Avançando na prática

Desvendando um mutante

Descrição da situação-problema

Enquanto analisava as lâminas do material doado para organizá-las, você teve um pouco de dificuldade em identificar a qual órgão pertencia um corte histológico.

Havia uma epiderme, um córtex parenquimático, endoderme evidenciada e até algumas células com estrias de Caspary. No centro, xilema e floema não estavam claramente organizados em feixes vasculares. Você percebeu, então, que faltavam as camadas celulares que costumam envolver o cilindro vascular.

Verificando nos arquivos enviados juntamente com as lâminas, você encontrou uma anotação dizendo que se tratava de um corte de órgão vegetativo, proveniente de uma planta mutante para uma característica relacionada às células ausentes.

Com essas informações, você conseguiria definir qual era a estrutura observada e a provável mutação dessa planta? Qual seria uma consequência direta da ausência dessa camada celular?

Resolução da situação-problema

Pela organização descrita, especialmente pela presença de estrias de Caspary, endoderme evidente e tecidos vasculares não organizados em feixes, é possível dizer que se trata de um corte de raiz. A camada celular que envolve o cilindro vascular e que está ausente é o periciclo, que fica mais internamente à endoderme. Portanto, essa planta mutante não formava o periciclo e, conseqüentemente, não seria capaz de desenvolver as raízes laterais.

Faça valer a pena

1. Meristemas vegetais produzem células que se dividem, se diferenciam e se especializam, tornando-se parte de diferentes tecidos. Tais células se diferenciam em três principais tipos de tecidos para constituir os sistemas: dérmico ou de revestimento, vascular e fundamental, que são compostos por células com características e funções bastante distintas.

Com base nas principais funções das células em diferentes tecidos, assinale a alternativa que indica qual tecido e tipo celular estão diretamente relacionados com a fotossíntese:

- a) Tecido vascular: xilema.
- b) Tecido dérmico: cutina.
- c) Tecido fundamental: parênquima clorofiliano.
- d) Tecido vascular: floema.
- e) Tecido fundamental: esclerênquima.

2. Parênquima é um tecido fundamental das plantas que pode ser classificado em fundamental (de preenchimento), clorofiliano ou de reserva, conforme sua localização no corpo da planta e do conteúdo das suas células. As características do parênquima também indicam algumas funções exercidas pelos órgãos em que se encontram.

Com base nas informações apresentadas, marque a alternativa que relaciona corretamente o tipo de parênquima que seria provavelmente encontrado no órgão indicado:

- a) Raízes: parênquima clorofiliano.
- b) Folhas: apenas parênquima aerífero.

- c) Tubérculos: parênquima amilífero.
- d) Sementes: parênquima condutor.
- e) Raízes: apenas parênquima aquífero.

3. Ao analisar a estrutura anatômica de uma folha coletada por um colega de estágio na botânica, uma aluna observou duas características marcantes: mesófilo com aerênquima bastante desenvolvido, formando grandes espaços intercelulares; estômatos apenas na face superior (adaxial). O colega não havia comentado sobre o local onde a folha foi coletada. Marque a alternativa que indica o possível local de coleta da folha e que contém os termos botânicos corretos para a planta e para a folha, respectivamente, segundo as características observadas pela aluna.

- a) Ambiente aquático; planta xerófita; folha hipoestomática.
- b) Ambiente seco; planta xerófita; folha anfiestomática.
- c) Ambiente úmido; planta hidrófita; folha hipoestomática.
- d) Ambiente aquático; planta hidrófita; folha epiestomática.
- e) Ambiente seco; planta mesófito; folha epiestomática.

Seção 2.3

Crescimento e desenvolvimento vegetal

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção iremos compreender como se dá o desenvolvimento da planta, desde a germinação de uma semente até o crescimento em diâmetro, observado em grande parte dos vegetais. O conteúdo sobre anatomia interna verificado nas seções anteriores vai precisar ser retomado, pois entenderemos como os tecidos se organizam ao longo do crescimento da planta.

Lembrando que, nesta unidade, você está sendo mobilizado para organizar um material recebido como doação pela escola na qual você trabalha, de forma que ele possa ser utilizado em aulas e exposições.

O último grupo de material recebido como doação não exige necessariamente a utilização de microscópios, mas pode servir para diferentes atividades que ilustrem o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Para organizar esse material, você terá de realizar uma tarefa, descrita a seguir.

Em algumas caixas haviam diversas amostras de madeira. Você deverá montar, com elas, uma xiloteca didática. Porém, não basta expor os pedaços de madeira aleatoriamente ou segundo um critério qualquer. Essa xiloteca precisa ser informativa. Para tanto, você deverá buscar responder às seguintes perguntas:

- O que a madeira representa no crescimento da planta?
- Que informações podemos obter analisando as diferentes partes, cores, texturas e marcas em uma madeira?
- Que produtos você mostraria para exemplificar derivados do crescimento secundário?
- Você pode, ainda, escolher algumas lâminas que mostrem como a madeira é constituída microscopicamente, separando esse material do acervo montado na seção anterior. Quais você escolheria?

Imagine que essa xiloteca pode servir tanto para a escola que receber o material quanto para uma exposição a visitantes.

Para resolver essa tarefa, você precisará consultar o conteúdo sobre crescimento secundário das plantas.

Não pode faltar

Assim como nós e todos os organismos multicelulares, as plantas também se desenvolvem em estágios, da fase juvenil até a adulta vegetativa e, depois, reprodutiva. Todas as mudanças que marcam os estágios ocorrem por meio de alterações fisiológicas e morfológicas que envolvem diferentes formas de crescimento das plantas – desde suas células, individualmente, até os complexos sistemas que constituem o vegetal. É sobre algumas dessas fases de crescimento que falaremos nesta seção.

Crescimento celular

Uma das principais formas de crescimento da planta é a **expansão celular**. Antes de atingir a maturidade, algumas células vegetais podem expandir seu volume em milhares de vezes! O crescimento celular é uma combinação da divisão das células (aumento em número) e da ampliação dessas células em tamanho – esse aspecto é irreversível.

Mas como essas células conseguem se expandir quando possuem uma rígida parede celular? Como essa barreira mecânica permite o crescimento celular sem perder sua integridade ou tornar-se fina?

Fatores internos e externos à célula, como luminosidade, disponibilidade de água, idade e tipo da célula e ações dos hormônios influenciam a taxa de expansão celular e da parede ou sua produção. Ou seja, para crescer, a célula precisa que as ligações entre as fibras de celulose de sua parede celular sejam afrouxadas, de modo a estender-se. Enquanto isso, a célula capta água e a destina ao vacúolo, principal fator que incrementa o volume celular.

O crescimento será interrompido quando a capacidade de extensão da parede reduzir, o que acontece durante a maturação da célula.



Assimile

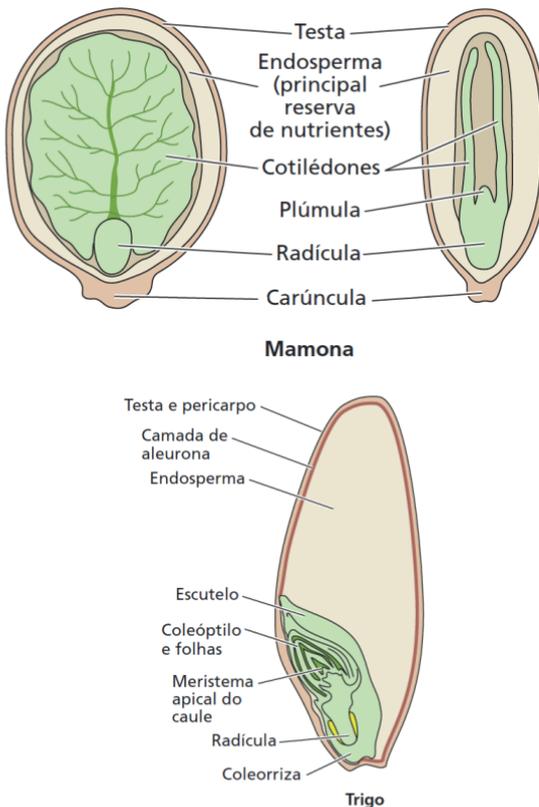
Chamamos de **desenvolvimento** o conjunto de mudanças pelas quais as células passam, produzindo tecidos, órgãos e, finalmente, organismos. Esse evento depende da informação genética do indivíduo, herdada de seus pais, mas pode sofrer influência do ambiente externo. A **plasticidade de desenvolvimento** é quando o organismo tem capacidade de modificar sua forma em resposta a condições ambientais.

Germinação de sementes e crescimento inicial

As sementes são estruturas reprodutivas derivadas dos óvulos, como já explicado na Seção 1.3. De maneira geral, as sementes são envoltas pela **testa**, uma camada de células mortas, que se desenvolve a partir dos tecidos do óvulo e protege o embrião, como esquematizado na Figura 2.10.

Além dessa camada protetora, as sementes armazenam nutrientes nos **cotilédones** (folhas modificadas) e no **endosperma**. O endosperma, por exemplo, reserva amido, proteínas e óleos, que são liberados durante a germinação, com o rompimento da parede celular de algumas células. A nutrição do embrião é necessária enquanto a planta não consegue absorver água, sais minerais e realizar fotossíntese sozinha.

Figura 2.10 | Esquema da estrutura das sementes de mamona e trigo, mostrando os embriões em desenvolvimento



Fonte: adaptada de Taiz et al. (2017, p. 515).

Dentro da semente se desenvolve o **embrião**, que é uma estrutura relativamente simples. Ele é formado por um eixo embrionário e um ou dois cotilédones. O eixo consiste em uma raiz embrionária, ou radícula, e um eixo caulinar, que contém os primórdios foliares ou plúmula. O eixo caulinar abaixo dos cotilédones é chamado de hipocótilo, enquanto aquele acima dos cotilédones é chamado de epicótilo.



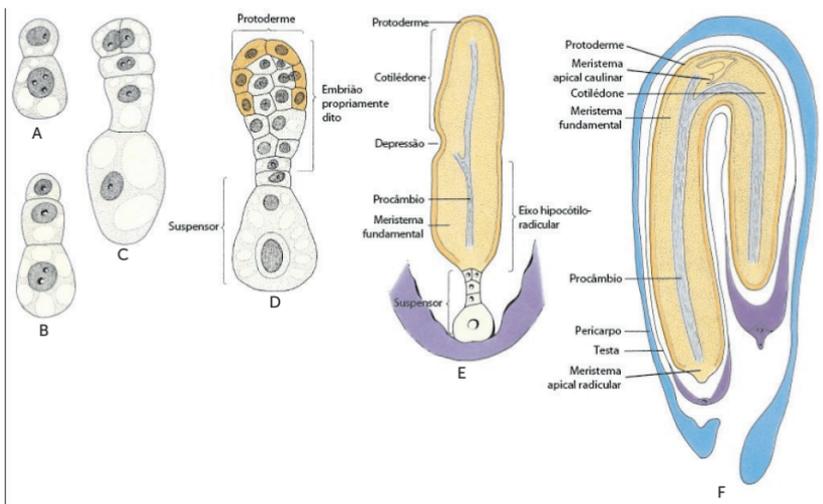
Exemplificando

O embrião de grãos de cereais tem algumas particularidades. O cotilédone é modificado numa estrutura chamada **escutelo**, que funciona como órgão de absorção e faz interface com o embrião e o endosperma. O escutelo se encontra em uma das laterais do eixo embrionário, com a radícula na extremidade inferior e a plúmula na extremidade oposta.

Como já explicado na Seção 2.1, os meristemas adicionam células ao corpo da planta. Entretanto, um vegetal não é apenas um amontoado de células dividindo-se e expandindo-se. Essas células irão se diferenciar, adquirir identidade e formar os tecidos ao longo do desenvolvimento do vegetal, compondo arranjos organizados.

Uma das fases de formação do indivíduo é a **embriogênese**. Durante essa fase, há uma organização de células que se diferenciam, conforme suas posições no embrião, e tornam-se especializadas funcionalmente para produzir os tecidos vegetais. Dentro da semente, então, um zigoto se transforma em um indivíduo complexo, como mostra a Figura 2.11.

Figura 2.11 | Desenho esquemático do desenvolvimento de um embrião: A-D: estágios iniciais, mostrando a polaridade do embrião em formação; E-F: organização dos tecidos formados quando o embrião alcança a maturidade



Fonte: Evert e Eichhorn (2014, p. 979).

O final da embriogênese é marcado por uma série de mudanças fisiológicas que capacitam o embrião a resistir a condições ambientais adversas, entrando em um estado de **dormência** (inatividade), caso necessário. Essa dormência pode ser uma resposta a fatores ambientais, morfológicos, químicos e até físicos. Por outro lado, o embrião também reconhece e interpreta quando o ambiente está favorável à retomada do crescimento, um processo chamado de **germinação**.

A germinação inicia-se, de fato, com a semente seca absorvendo água, fator essencial e necessário em quantidades adequadas, bem como condições ideais de temperatura, disponibilidade de oxigênio e, em certos casos, luminosidade. Antes da embebição, o embrião pode entrar numa fase chamada **quiescente**, em decorrência de uma desidratação e conseqüente diminuição do metabolismo no interior da semente. Isso garante a viabilidade do embrião por longos períodos, até que ele possa retomar seu crescimento.

A raiz é a primeira estrutura a emergir da maioria das sementes, o que é importante para ancorar a nova planta ao solo, iniciar a absorção de água e possibilitar o seu desenvolvimento. A partir desse momento de estabelecimento da plântula, a germinação já é considerada finalizada. Nesse período pós-germinação, o **crescimento**

inicial e **vegetativo** da plântula conta com uma mobilização das reservas nutricionais, contidas no endosperma de gramíneas ou nos cotilédones de plantas como o feijão.

Quando a parte aérea começa a se desenvolver, a nova planta se torna apta a realizar fotossíntese e assimilar água e nutrientes do solo, dando continuidade ao crescimento vegetativo. Em determinado momento do desenvolvimento individual da planta, uma combinação de estímulos internos e externos pode levar ao **desenvolvimento reprodutivo** que, em plantas floríferas, consiste na formação das flores.



Pesquise mais

Nas páginas 977 a 995 do livro a seguir, disponível na sua biblioteca digital, você encontra mais detalhes sobre a formação do embrião e a germinação da semente.

EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Raven | Biologia Vegetal**. Tradução de: Ana Claudia M. Vieira. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 1637 p.

Para conhecer os detalhes da expansão celular, consulte as páginas 393 a 400 do livro indicado a seguir.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal** [recurso eletrônico]. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

Crescimento primário e secundário

Para que a planta sobreviva, cresça e desenvolva-se, é essencial que a plântula tenha conseguido se estabelecer após a germinação. O crescimento dos vegetais pode ser classificado em primário e secundário.

Durante o **crescimento primário**, a planta se alonga em comprimento, especialmente pela adição de células nas extremidades de raízes e partes aéreas, fornecidas pelos meristemas. Esse tipo de crescimento ocorre em todas as plantas e resulta no corpo primário, que consiste em partes não lenhosas – muitas herbáceas são compostas inteiramente pelo corpo primário. Durante o crescimento primário, as raízes crescerão através do solo e a parte aérea vai proliferar, aumentando a exposição à luz.

Já no **crescimento secundário**, a planta cresce em circunferência, aumentando sua espessura. É o que acontece nas raízes e nos caules

de plantas lenhosas, como árvores e arbustos. O crescimento em largura ocorre a partir de meristemas laterais, o **câmbio vascular** e o **felogênio** (ou câmbio da casca), que origina a periderme.



Refleta

Plantas têm crescimento indeterminado (contínuo), enquanto animais têm crescimento determinado. É possível estabelecer um paralelo entre essas duas formas de crescimento, a ponto de determinarmos se uma delas é vantajosa sobre a outra?

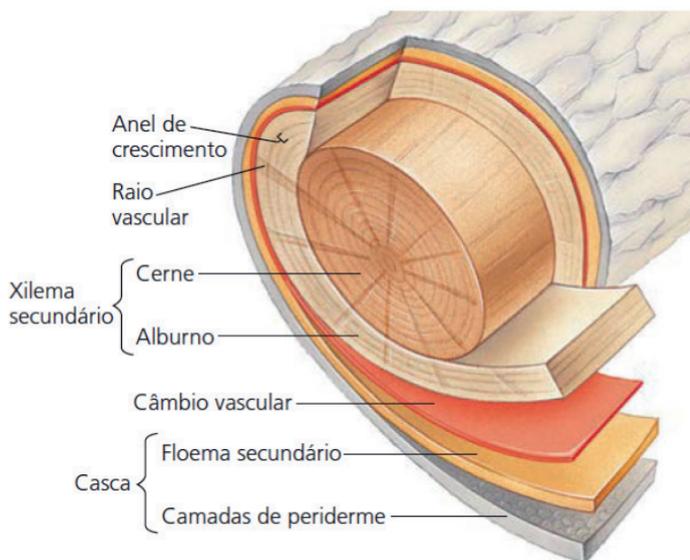
Crescimento secundário em caules

O câmbio vascular é um meristema que forma um tecido cilíndrico abaixo da superfície do órgão, produzindo o **sistema vascular secundário** (xilema e floema), para transporte de seiva a longa distância e suporte mecânico. Portanto, há um aumento do fluxo vascular e da sustentação das partes aéreas à medida que a planta cresce.

De maneira geral, quando células derivadas das iniciais do câmbio vascular são produzidas e deslocam-se em direção ao **exterior** do órgão, elas se diferenciam em **floema**; se elas se deslocam em direção ao **interior** do órgão, diferenciam-se em **xilema**. Essa dinâmica resulta no aumento em diâmetro do cilindro de xilema, o que faz com que o câmbio seja deslocado “para fora” e, conseqüentemente, o órgão cresça em circunferência. Como o diâmetro do câmbio também aumenta, novas células são adicionadas a ele.

Conforme uma planta lenhosa envelhece, o xilema secundário mais antigo (portanto, mais interno) deixa de transportar a seiva do xilema e forma uma região chamada de **cerne**, frequentemente mais escura. As camadas de xilema mais externas, condutoras e geralmente mais claras, compõem uma região denominada **alburno**. A organização dessas camadas é mostrada na Figura 2.12.

Figura 2.12 | Esquema da anatomia de caule de árvore, evidenciando a organização das estruturas formadas durante o crescimento secundário



Fonte: Reece et al. (2015, p. 768).

Quando o crescimento secundário se inicia, a epiderme da planta é empurrada para fora, rompe-se e desprende-se. Ela é então substituída pela **periderme**, mais espessa e resistente, que consiste em **felogênio**, **felema** e **feloderme**. O felogênio é o meristema que produz a periderme; o felema (ou súber) é um tecido morto de proteção, formado para o lado externo do felogênio; a feloderme é um tecido parenquimático vivo, desenvolvido para o lado interno do felogênio. Portanto, o felogênio produz um conjunto de camadas que geram uma barreira protetora para o órgão contra a perda de água e o ataque de patógenos.



Assimile

Em Botânica, a casca se refere aos tecidos externos ao câmbio vascular, incluindo a periderme e o floema.

Diferentemente do xilema, o floema secundário não se acumula em grande quantidade, porque ele se desprende conforme o caule

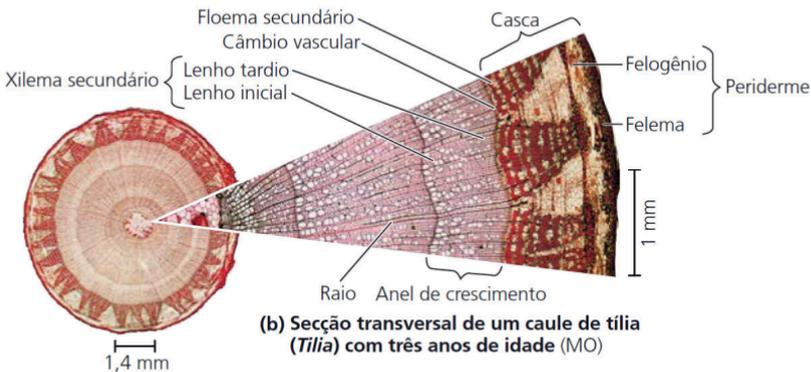
crece em circunferência. Apenas as camadas mais jovens, próximas ao câmbio vascular que as originaram, transportam seiva do floema, rica em carboidratos.

Da mesma forma, as camadas mais velhas da periderme se desprendem, causando o aspecto rachado e descascado de muitos troncos. Nesse processo, o felogênio é rompido e suas células meristemáticas se diferenciam em felema. Uma nova periderme é formada, a partir da produção de um novo felogênio.

Quando a periderme se forma, isso inclui a deposição de células do felema, que impedem trocas gasosas e de água. Os tecidos mais internos, formados por células vivas, precisam respirar. A troca gasosa é feita, então, por aberturas na periderme, chamadas **lenticelas**.

Pelo fato de serem sésseis, para sobreviver, as plantas precisam conseguir lidar com variações ambientais, como a sazonalidade climática. Em regiões de inverno rigoroso, elas podem passar por períodos de desidratação e congelamento, o que gera um estresse nos vegetais. Para lidar com essas variações, as plantas alternam entre períodos de dormência e de crescimento ativo. Nesses períodos, as células dos tecidos lenhosos podem passar por mudanças estruturais, como alterações na espessura da parede e no diâmetro, conforme as necessidades de transporte de água para as folhas. Essas mudanças estruturais resultam em regiões mais claras ou mais escuras, que são os chamados **anéis de crescimento**, os quais podem ser utilizados para determinar a idade aproximada de uma árvore quando observados em seções transversais do caule, como mostra a Figura 2.13.

Figura 2.13 | Corte transversal do caule de uma planta com três anos de idade, evidenciando os tecidos formados no crescimento secundário



Fonte: adaptada de Reece et al. (2015, p. 766).

Os anéis de crescimento em árvores de clima tropical são menos distinguíveis ou mesmo são ausentes, uma vez que as plantas desses locais geralmente não sofrem com sazonalidades climáticas tão regulares.

Em plantas que perdem suas folhas no período de inverno (deciduais), as escamas que protegem as gemas apicais (meristema apical do caule) caem na primavera para permitir um novo ciclo de crescimento primário. Esse crescimento resultará em novos nós e entrenós e as folhas que caíram deixam marcas ou cicatrizes, permitindo-nos identificar cada estação de crescimento. Enquanto o crescimento primário é responsável por alongar as partes aéreas, o crescimento secundário aumenta o diâmetro das regiões formadas nos anos anteriores.



Pesquise mais

Nas páginas 889 a 896 do livro a seguir, disponível na sua biblioteca digital, você poderá saber mais detalhes sobre os crescimentos primário e secundário das plantas.

SADAVA, David et al. Plantas e animais. In: _____. **Vida** [recurso eletrônico]: a ciência da biologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. v. 3.

Na página 766 do livro a seguir você encontra uma ilustração mostrando os crescimentos primário e secundário em um caule lenhoso, com legendas explicativas a partir de várias seções do caule.

REECE, Jane B. et al. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. 1488 p.

O artigo indicado a seguir mostra como o conhecimento acerca dos anéis de crescimento de árvores pode nos ajudar a compreender variações nas condições climáticas no passar dos anos.

FIORAVANTI, Carlos. Os círculos do tempo. **Revista Pesquisa Fapesp**, ed. 213, p. 40-45, nov. 2013. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/11/18/os-circulos-tempo/>>. Acesso em: 8 dez. 2017.

Sem medo de errar

Nesta seção, sua tarefa era organizar uma xiloteca didática para ilustrar uma fase do desenvolvimento vegetal: o crescimento secundário. Para isso, você poderia dividir essa exposição em dois momentos. O primeiro, utilizando materiais macroscópicos; o segundo, utilizando materiais que mostrassem microestruturas da madeira. Em ambos os

casos, o material exposto precisaria ser acompanhado de informações ao visitante.

Primeiramente, cabe destacar que xilotecas são, de maneira simplificada, coleções biológicas de amostras de madeira, organizadas de acordo com suas informações registradas. Xilotecas disponibilizam em seu acervo uma amostra da biodiversidade de um determinado local (ou de vários) e servem como referência para a identificação de madeiras e diversos aspectos do seu estudo.

Agora, vejamos as respostas às questões apresentadas no início na seção, que o ajudarão na organização da xiloteca.

- O que a madeira representa no crescimento da planta?

A madeira representa o crescimento secundário de plantas lenhosas e se refere, mais comumente, ao caule, geralmente chamado de tronco. Ela compreende desde a casca, parte mais externa, até os tecidos mais internos, como cerne e alburno (diferentes regiões do xilema).

- Que informações podemos obter analisando as diferentes partes, cores, texturas e marcas em uma madeira?

Analisar amostras de diferentes madeiras pode nos ajudar a ter uma ideia da idade das plantas, especialmente pela contagem dos anéis, que são marcas das estações de crescimento da planta, com relação à sazonalidade climática, principalmente. Entretanto, nem sempre essa contagem nos dá uma informação exata, principalmente em espécies tropicais, uma vez que estas não passam por estações climáticas marcantes.

Além disso, diferentes cores, texturas, padrão de casca e até cheiros auxiliam na identificação de espécies ou, ao menos, grupos de plantas que possuem aquele tipo de madeira. Marcas podem indicar injúrias sofridas pelo vegetal, sejam elas mecânicas, como cortes, ou relativas as infestações fúngicas, por exemplo.

- Que produtos você mostraria para exemplificar derivados do crescimento secundário?

Além das amostras de madeira propriamente ditas, sua xiloteca didática pode contar com objetos feitos de madeira, para ilustrar o interesse comercial que deriva do crescimento secundário das plantas. Utensílios de uso cotidiano, como colheres de pau, caixas organizadoras, objetos de decoração, cabos de vassoura, instrumentos

musicais, móveis (para a exposição, escolha pequenos, como bancos, mesinhas de centro etc.) são alguns exemplos.

- Você pode, ainda, escolher algumas lâminas que mostrem como a madeira é constituída microscopicamente, separando esse material do acervo montado na seção anterior. Quais você escolheria?

Para expor o material que mostre a microestrutura da madeira, você pode selecionar lâminas que evidenciem os diferentes tecidos formados durante o crescimento secundário, como o xilema e a periderme (retome a Figura 2.13). Lâminas que mostrem lenticelas também são interessantes, uma vez que essas estruturas, presentes na periderme, permitem a troca gasosa entre os ambientes interno e externo da planta, já que o felema, ou súber, também constituinte da periderme, é impermeável aos gases.

Por fim, você pode organizar sua xiloteca de acordo com vários critérios, como: expor as amostras de madeira em uma escala de cores; separar as amostras de acordo com sua localização geográfica ou biomas que representem; classificá-las conforme interesse econômico. Você pode, ainda, separar algumas amostras para serem manuseadas “às cegas”, quando o aluno ou visitante poderá tatear as diferentes texturas, sentir diferentes aromas e até batucar para ouvir diferentes sons produzidos pelas madeiras, por que não? Não se esqueça de deixar todas as informações à disposição de quem estiver fazendo uso do espaço. Seja criativo!

Avançando na prática

“Você colhe o que planta”. “Em se plantando, tudo dá”. Será?

Descrição da situação-problema

No título desta atividade temos duas expressões populares que se referem aos “frutos” colhidos por nosso esforço pessoal e à fertilidade da terra, respectivamente. Mas vamos desconstruir os ditados e trazê-los para a interpretação botânica.

Continuemos com o mesmo contexto de aprendizagem da unidade, no qual você deverá organizar o material recebido como doação à escola na qual trabalha. Imagine, que dentre esses materiais, havia inúmeras sementes. A fim de testar a viabilidade delas e organizá-las para utilizar em aulas, você decidiu germiná-las, plantando todas sob as mesmas condições de luz, temperatura, oxigenação, substrato, hidratação etc.

Passados alguns dias, várias sementes germinaram. Entretanto, outras não germinaram, mesmo após semanas. Você pode concluir que as sementes não germinadas estavam inviáveis e deveriam ser descartadas? Por quê?

Resolução da situação-problema

De maneira geral, a condição mais crítica para a germinação de uma semente é a disponibilidade de água. Porém, cada espécie tem suas condições ideais: algumas germinam em temperaturas mais baixas, enquanto outras precisam de um maior suprimento de oxigênio, por exemplo. Portanto, a primeira atitude a se tomar seria pesquisar quais as necessidades individuais das espécies que estavam na coleção.

No entanto, mesmo em condições consideradas ideais, as sementes podem passar por uma condição chamada de dormência, que é um período de inatividade metabólica para proteger o embrião de condições adversas à germinação. Algumas dessas sementes poderiam estar se protegendo da temperatura elevada, outras à baixa oxigenação. Outras, ainda, podem precisar passar por uma quebra da dormência física, pois o envoltório da semente pode ter características que impedem ou dificultam o acesso da água ou oxigênio até o embrião.

Portanto, apenas observar a não germinação das sementes não leva à conclusão de que elas estejam inviáveis: elas podem estar dormentes e, então, você precisaria investigar o que está causando esse estado em cada espécie e a maneira de quebrá-lo.

Faça valer a pena

1.



O termo [dendrocronologia] provém do grego *dendron* (que significa árvore), *kronos* (tempo) e *logos* (conhecimento). A relação entre os anéis [de crescimento] e as condições ambientais, faz com que os anéis funcionem como arquivos naturais que nos permitem identificar e datar um grande número de acontecimentos ambientais entre os quais, geadas, inundações, furacões, incêndios, sismos, erupções vulcânicas, pragas, aumento da concentração de CO₂ atmosférico etc.

Fonte: ANDRADE, Ana Paula; ALVES, F. L. Dendrocronologia. **Seta Água e Rios**, Lisboa, out. 2013. Disponível em: <http://www.seta.org.pt/ficha_56.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2017.

Com base nas informações citadas e em seu conhecimento sobre o desenvolvimento das plantas, assinale a alternativa que indica corretamente em que fase de crescimento e qual o tecido envolvido na formação dos anéis de crescimento:

- a) Crescimento primário – floema.
- b) Crescimento secundário – periderme.
- c) Embriogênese – xilema.
- d) Crescimento secundário – xilema.
- e) Germinação – testa.

2. O estabelecimento de uma plântula é um momento crítico para a sobrevivência do novo vegetal. Na literatura, encontramos menção ao tamanho da semente como fator importante nesse processo: sementes maiores seriam mais favoráveis à germinação e ao estabelecimento da plântula. Entretanto, outros trabalhos afirmam que tal relação não existe ou que ela dependeria de outros fatores além do tamanho da semente.

Se considerarmos a primeira hipótese como correta e isolarmos quaisquer outros parâmetros relacionados à semente e sua germinação, qual das explicações a seguir reforçaria a importância do tamanho da semente no estabelecimento da plântula?

- a) Sementes maiores teriam um envoltório mais fino, o que facilitaria a absorção de água pela semente durante a germinação.
- b) Sementes maiores garantiriam mais tempo para o desenvolvimento da plântula, pois teriam maior reserva de nutrientes.
- c) Sementes maiores teriam mais espaços intercelulares, aumentando a reserva de oxigênio.
- d) Sementes maiores teriam menor reserva de nutrientes, induzindo a plântula a antecipar a função fotossintética.
- e) Sementes maiores seriam dispersas mais facilmente, aumentando a taxa de germinação.

3. O anelamento é uma técnica na qual um anel é removido da casca do caule ou de ramos lenhosos. Essa técnica é utilizada para várias finalidades, como indução da regeneração natural de uma área, aumento do tamanho e da qualidade de frutos, mas também pode acontecer em decorrência da herbivoria de alguns animais. Se não houver brotamento de novos ramos

abaixo do nível de anelamento, quando feito no tronco principal, a planta provavelmente irá morrer, lentamente.



Fonte: Lamiot, 2007, licenciado sob *Licença GNU de Documentação Livre* via Wikimedia Commons. Disponível em: <<https://goo.gl/oeUX6a>>. Acesso em: 8 dez. 2017.

Assinale a alternativa que contém a relação correta entre a estrutura removida no anelamento e a consequência que leva a planta à morte:

- a) Floema – interrupção do transporte de água e oxigênio das raízes para a parte aérea.
- b) Xilema – aumento do transporte de açúcares para a parte aérea da planta.
- c) Felema – aumento do transporte de seiva do xilema.
- d) Floema – interrupção do transporte de carboidratos das folhas para as raízes.
- e) Cerne – interrupção das trocas gasosas no caule.

Referências

- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, Beatriz; CARMELO-GUERREIRO, Sandra Maria. **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. 438 p.
- BECK, Charles B. **An introduction to plant structure and development: plant anatomy for the twenty-first century**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 459 p.
- CUTLER, David F.; BOTHA, Ted; STEVENSON, Dennis W. **Anatomia vegetal** [recurso eletrônico]: uma abordagem aplicada. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- EVERT, Ray F. **Esau's plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Raven | Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 1637 p.
- FIORAVANTI, Carlos. Os círculos do tempo. **Revista Pesquisa Fapesp**, ed. 213, p. 40-45, nov. 2013. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/11/18/os-circulos-tempo/>>. Acesso em: 8 dez. 2017.
- FONSECA, Cristina N.; LISBOA, Pedro L. B.; URBINATI, Cláudia V. A Xiloteca (Coleção Walter A. Egler) do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 1, n. 1, jan.-abr. 2005. sér. Ciências Naturais, p. 65-140. Disponível em: <<http://scielo.iec.pa.gov.br/pdf/bmpegs/n1n1/v1n1a07.pdf>>. Acesso em: 8 dez. 2017.
- FONSECA, Marcos José de Oliveira et al. Evolução dos pigmentos durante o amadurecimento de mamão 'Sunrise Solo' e 'Golden'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S.l.], v. 29, n. 3, p. 451-455, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452007000300009&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 22 nov. 2017.
- KROGH, David. **Biology: a guide to the natural world**. 5. ed. San Francisco: Benjamin Cummings, 2011.
- LABORATÓRIO DE ANATOMIA VEGETAL (LAVEG). Florianópolis, 2015. Disponível em: <<http://laveg.paginas.ufsc.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2017.
- OLIVEIRA, Denise M. T.; MACHADO, Sílvia R. **Álbum didático de anatomia vegetal**. Botucatu: Unesp - Instituto de Biociências de Botucatu, 2009. Disponível em: <http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/album_didatico_de_anatomia_vegetal.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2017.
- RAGNI, Laura; GREB, Thomas. Secondary growth as a determinant of plant shape and form. *Seminars In Cell & Developmental Biology*. **Elsevier BV**, Aug. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.08.050>. No prelo.
- REECE, Jane B. et al. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. 1488 p.
- RODRIGUES, Maria A.; KERBAUY, Gilberto B. Meristemas: fontes de juventude e plasticidade no desenvolvimento vegetal. **Hoehnea**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 525-549, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hoehnea/v36n4/v36n4a01.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

SADAVA, David et al. Plantas e animais. In: _____. **Vida** [recurso eletrônico]: a ciência da biologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. v. 3.

SOUZA, Luiz A. **Morfologia e anatomia vegetal**: célula, tecidos, órgãos e plântula. Ponta Grossa: UEPG, 2003. 259 p.

SPRICIGO, Poliana. Transformações bioquímicas em frutos e hortaliças. **Usp e Disciplinas**: Sistema de Apoio às Disciplinas, São Paulo, [2016?]. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=985687>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

STEEVES, Taylor A.; SAWHNEY, Vipen K. **Essentials of developmental plant anatomy**. New York: Oxford University Press, 2017.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal** [recurso eletrônico]. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. **Anatomia vegetal** [recurso eletrônico]. Disponível em: <http://portal.virtual.ufpb.br/biologia/novo_site/Biblioteca/Livro_4/7-Anatomia_Vegetal.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2017.

Nutrição, regulação do crescimento e mecanismos de adaptação vegetal

Convite ao estudo

Agora que você já aprendeu como as plantas são, em termos de estruturas, nesta unidade focaremos na compreensão de como elas funcionam. Lembre-se sempre de que as divisões de estudo na botânica são meramente didáticas, afinal as formas e as funções das diferentes partes da planta estão intimamente relacionadas. Além disso, a planta é um organismo, ou seja, seu funcionamento precisa atender a todas as necessidades do indivíduo.

A partir da ideia de que as plantas, de maneira geral, não se deslocam, elas precisam otimizar suas funções a fim de obter do ambiente tudo o que precisam para viver, incluindo todas as etapas de crescimento, desenvolvimento e reprodução. Porém, esse mesmo ambiente está em constante mudança, o que requer que a planta se adapte a essas alterações, muitas vezes extremas. Algumas das funções da planta refletem em alterações que podemos observar facilmente, outras, nem tanto.

Suponhamos que você recebeu um convite para uma monitoria de um curso de curta duração, em que sua função é auxiliar no desenvolvimento de aulas teórico-práticas de fisiologia vegetal para alunos de ensino médio. Nesse contexto, ao longo desta Unidade você deverá ser capaz de desenvolver estratégias para testar alguns aspectos da fisiologia vegetal, elaborando maneiras de atestar, direta ou indiretamente, como a planta se relaciona com as condições do ambiente em que vive; demonstrar aspectos da nutrição geral das plantas; compreender que, assim como nos animais, os hormônios são sinalizadores importantes que regulam o funcionamento do corpo da planta. As plantas possuem

mecanismos de adaptação ao ambiente, não somente respondendo a estímulos externos, como também a controles internos do organismo. Você será desafiado a, sempre que possível, relacionar os conceitos aprendidos aos exemplos do nosso cotidiano, como explicar porque embrulhar certas frutas verdes com papel ou mantê-las em temperatura elevada auxiliam seu amadurecimento.

Você deverá desenvolver um material teórico para cada tema escolhido para os experimentos práticos e auxiliar os alunos no desenvolvimento do processo científico. Eles deverão ser capazes de fazer perguntas, elaborar hipóteses, executar os experimentos, anotar os resultados e interpretá-los. Procure oferecer o mínimo de respostas possíveis, mas forneça o máximo de ferramentas necessárias.

A Seção 3.1 trata da obtenção de recursos indispensáveis à sobrevivência da planta, bem como a distribuição dos mesmos dentro do vegetal. Na Seção 3.2, entenderemos como ocorre o controle das funções vegetais, mediadas pela ação de hormônios. Na Seção 3.3, conheceremos alguns mecanismos de adaptação das plantas ao ambiente.

Seção 3.1

Relações hídricas e nutrição vegetal

Diálogo aberto

Podemos fazer uma analogia de que a planta representa toda uma cadeia produtiva: é necessário adquirir os recursos de interesse, transportá-los e disponibilizados até a “fábrica”, em que os produtos serão elaborados. Em seguida, é preciso levar esses produtos aos centros de distribuição e, depois, aos consumidores finais.

Após conhecer a “estrutura” da fábrica, nas Unidades 1 e 2, entenderemos um pouco mais sobre como as plantas obtêm, transportam, processam e distribuem seus recursos, para manterem-se vivas e capazes de se desenvolver.

Lembre-se de que você foi convidado para uma monitoria, para auxiliar nas aulas teórico-práticas de fisiologia vegetal para alunos de ensino médio.

Você deverá esclarecer aos alunos do curso sobre esses temas, aliando a teoria à prática. Portanto, elabore atividades experimentais nas quais os alunos consigam verificar e responder a algumas perguntas sobre o tema, conforme sugestões a seguir.

- Um aluno comentou que comprou um vaso com planta para sua mãe, mas o guardou dentro do armário para não estragar a surpresa de aniversário e esperar que os botões se abrissem em flores. Após alguns dias sem mexer no vaso, ele relatou que a planta morreu.

- Quais experimentos os alunos poderiam montar e acompanhar para compreender o que pode ter acontecido para que a planta morresse, ou seja, o que ele precisaria fazer para que a planta sobrevivesse e se desenvolvesse?

- Existe relação entre os recursos que a planta precisava para viver ou os fatores que a levaram à morte são isolados entre si? Quais seriam essas relações?

- Quais são as partes das plantas responsáveis pelos processos envolvidos na obtenção de tais recursos?

- Nos fundos da escola, alguns funcionários cuidam de uma horta em que as plantas não estão no solo, mas sim em recipientes preenchidos com água. Porém, os alunos observaram que, às vezes, esses funcionários adicionam algum produto à água.

- Quais atividades práticas seriam adequadas para que os alunos verifiquem o que, além da água, as plantas retiram do solo (ou de outros substratos) para se nutrir?

- Como demonstrar a eles a necessidade de adubação dos substratos e quais são os principais nutrientes que as plantas necessitam?

- Como é possível cultivar hortaliças em hidroponia, como é o caso da horta da escola?

- Como os alunos poderiam saber quando uma planta está carente de nutrientes?

Para resolver essa atividade, leia sobre o transporte de água e solutos, a fotossíntese e a nutrição mineral.

Não pode faltar

A Seção é dedicada à nutrição geral das plantas: não só no que diz respeito à absorção de nutrientes a partir do ambiente, mas em como as plantas os transportam, os transformam e os translocam para os locais em que há uma alta demanda metabólica. De que maneira a planta é capaz de captar esses sais do ambiente? Quais são as necessidades nutricionais dos vegetais? Como as plantas convertem as substâncias retiradas do ambiente em recursos energéticos para manter o metabolismo?

Movimento e transporte de água e solutos

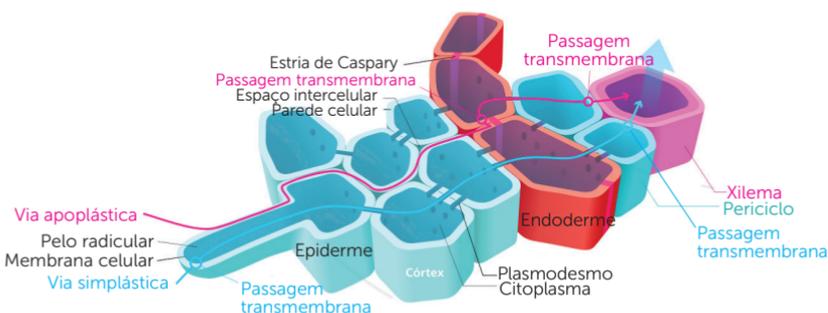
Como já sabemos, as plantas são organismos autótrofos: elas constroem moléculas orgânicas a partir de moléculas inorgânicas. Elas obtêm esses recursos porque drenam substâncias inorgânicas do ambiente, como gás carbônico atmosférico, água e nutrientes para construir sua estrutura física e fazer funcionar seu metabolismo e desenvolvimento.

Enquanto os minerais indispensáveis às plantas são fornecidos pelo solo, carbono, hidrogênio e oxigênio são provenientes da água e da atmosfera. Nas folhas, a absorção é restrita, devido à presença de cutícula e ceras que diminuem a perda de água por transpiração. No solo, os nutrientes minerais são dissolvidos pela água, formando uma solução, que será retirada pelas raízes em contato com o solo. Essa solução de água e sais minerais é a **seiva do xilema**.

Nas plantas vasculares, a água absorvida pelas raízes será transportada até as folhas via **xilema**, responsável pelo envio de nutrientes absorvidos pelas raízes até a parte aérea; a água perdida por transpiração precisa ser rapidamente repostada. A absorção de água ocorre principalmente pelas raízes mais finas, nas regiões em que há maior quantidade de pelos absorventes.

Uma vez absorvida do meio externo pela raiz, a solução (água e solutos) é transportada radialmente, do córtex até o xilema. Até atingir a endoderme, a água dentro da raiz pode seguir três vias: apoplástica, simplástica ou transmembrana, como mostra a Figura 3.1, explicadas em seguida.

Figura 3.1 | Desenho esquemático mostrando as diferentes rotas de transporte de água do solo até o xilema



Fonte: adaptada de: <<https://goo.gl/WXko9Q>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

- **Apoplástica:** a água flui entre as células, sem atravessar membranas. Apoplasto é o espaço entre as células, constituído pelas paredes celulares.
- **Simplástica:** a água flui pelas células, por meio dos plasmodesmos. Simplasto é o conjunto de citoplasmas interconectados por plasmodesmos.

- **Transmembrana:** a água flui de uma célula para a outra, atravessando membranas, podendo incluir também o tonoplasto (membrana do vacúolo).

O caminho da água pode alternar entre essas três rotas, mas isso acontece até a chegada na endoderme; depois, as estrias de Caspary bloqueiam a via apoplástica até atingir os vasos do xilema.

Quando há pouca transpiração, forma-se uma **pressão positiva da raiz**. A raiz absorve íons do solo, que são transportados e depositados no xilema; a presença dos íons gera um movimento da água do córtex para a região central da raiz, resultando em uma pressão hidrostática (força exercida pela água) positiva no xilema, ou seja, a solução de água e solutos é “empurrada” para cima na planta.

O movimento da água no xilema ocorre em razão de algumas forças e é explicado por um mecanismo chamado de **teoria da coesão-tensão**. A seiva é transportada a longas distâncias pelo fluxo de massa (movimento conjunto de moléculas), em resposta a um gradiente de pressão que aumenta quando há pressão negativa (tensão) dentro do xilema, devido à transpiração nas folhas, com perda de água. Pense quando você usa um canudo para beber algum líquido: com a sucção, a pressão na boca diminui, retira o ar de dentro do canudo. Então, a coluna de água sobe, pois, as moléculas de água estão aderidas umas às outras (coesão).

Ao chegar nas folhas, a água é distribuída pela lâmina foliar, sai do xilema e vai para as paredes das células vivas do mesofilo. Depois, passa para os espaços intercelulares já na forma de vapor e, por difusão, sairá da folha pelos estômatos. Dois fatores que podem alterar a taxa de transpiração foliar são: a diferença nas concentrações de vapor de água dentro e fora da folha e o quanto os estômatos permitem a passagem de vapor.



Assimile

A transpiração das plantas não é só uma perda de água na forma de vapor. É por causa dessa perda que ocorre o movimento de água pelo xilema!

A maior parte da transpiração ocorre nas folhas, principalmente via estômatos. Mais de 90% de toda a água absorvida é perdida por transpiração, enquanto a menor parte é usada no metabolismo e crescimento da planta.

Em resumo, pode-se dizer que o movimento de água nas plantas forma um *continuum*, pois é regulado a partir do solo, passando pela planta e, por fim, para a atmosfera.

Nutrição mineral

Os elementos que as plantas retiram do solo são chamados **nutrientes minerais** e são importantes para diversas funções biológicas dos vegetais, como a síntese de diversos compostos necessários ao seu desenvolvimento normal. Alguns desses elementos são chamados de **essenciais**, por contribuírem com o metabolismo ou comporem a estrutura da planta; quando ausentes, podem afetar criticamente o crescimento, o desenvolvimento ou a reprodução da planta, impedindo-a de completar o ciclo vital.

De acordo com as concentrações desses minerais no corpo das plantas, eles são classificados em **micronutrientes**, quando em pequenas quantidades, ou **macronutrientes**, quando em quantidades maiores. Apesar de vários elementos exercerem diversas funções, os micronutrientes geralmente atuam como cofatores enzimáticos (substâncias que auxiliam a função de enzimas), enquanto os macronutrientes podem compor moléculas orgânicas, exercer funções metabólicas, regular a pressão osmótica, dentre outras.



Refleta

Considerando que as plantas têm diferentes fases de desenvolvimento, como você imagina que sejam os requerimentos nutricionais dos vegetais nessas diferentes etapas?

Quando faltam nutrientes essenciais para a planta, ou estão em excesso, ela apresenta sinais de **distúrbio nutricional**. Esses sinais podem ser aparentes, como descoloração da folha, e refletirem em alterações estruturais e metabólicas às quais os elementos estão associados. As alterações nutricionais podem ser isoladas ou simultâneas para os vários elementos e surgirem uma em decorrência de outra.



Exemplificando

Os sinais de deficiência nutricional podem indicar qual ou quais elementos essenciais estão em concentrações alteradas na planta. Seguem alguns exemplos de deficiência de três macronutrientes, geralmente componentes de fertilizantes:

- **Nitrogênio:** inibição do crescimento vegetal; clorose (folhas amarelas); caules finos; folhas e caules púrpura, devido ao acúmulo de antocianina.
- **Fósforo:** crescimento atrofiado; folhas verde-escuras, com manchas necróticas; folhas malformadas.
- **Potássio:** clorose, seguida de necrose; folhas enroladas e/ou enrugadas; encurtamento de entrenós; caules finos e fracos; apodrecimento da raiz.

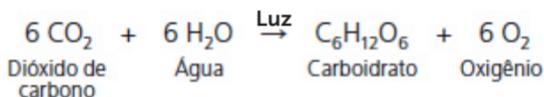
Embora uma grande parte dos nutrientes minerais seja retirada do solo pelas raízes, as plantas também conseguem absorver nutrientes pelas folhas, quando aspergidas com solução nutritiva. Além disso, muitos nutrientes não são prontamente disponíveis no solo para as plantas, sendo necessária a associação de microrganismos no solo, como bactérias fixadoras de nitrogênio e alguns fungos, para realizar essa liberação.

Fotossíntese

Considera-se que toda a vida na Terra tem como principal fonte de energia a que vem do Sol.

A palavra **fotossíntese** significa "síntese utilizando a luz" e ocorre em plantas, algas e algumas bactérias. Apenas organismos fotossintetizantes conseguem transformar energia luminosa em energia química, disponibilizando-a para os demais seres vivos. Eles conseguem, a partir de moléculas inorgânicas, como o gás carbônico (CO_2) e a água (H_2O), converter e armazenar a energia solar em moléculas orgânicas ricas em energia, principalmente açúcares, por meio da atividade fotossintética. Como resultado, há também a liberação de oxigênio, um subproduto das reações de fotossíntese.

A equação global da fotossíntese é representada da seguinte maneira:



Por trás dessa equação, aparentemente simples, a fotossíntese é um processo complexo que envolve várias reações bioquímicas e de conversão de energia.

A energia armazenada nas ligações químicas das moléculas de carboidrato produzidas vai ser usada pela planta em processos celulares, junto com sais inorgânicos obtidos do solo, para produzir vários compostos estruturais e metabólicos que não podem faltar para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais.

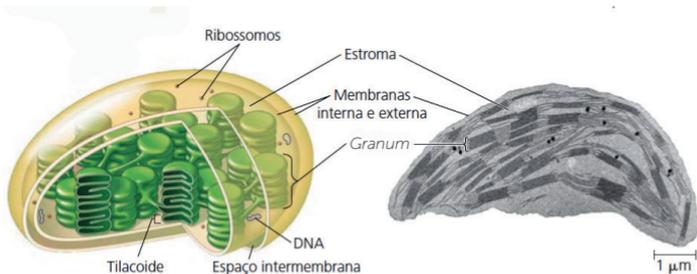
Em que local das plantas ocorre a fotossíntese?

Como vimos na Unidade 2, as células vegetais têm organelas chamadas **cloroplastos**, especialmente as do mesofilo, em que a fotossíntese é mais ativa. Os cloroplastos contêm **clorofilas**, que são os pigmentos verdes responsáveis pela absorção de luz. A clorofila nos parece verde porque ela absorve energia luminosa, especialmente vermelha e azul, porém reflete o verde, daí a cor do pigmento.

Os pigmentos das plantas são os primeiros locais de absorção da luz e funcionam como seus sensores de quantidade e de qualidade. Além da clorofila, os carotenoides são pigmentos ativos na fotossíntese e também estão nos cloroplastos. Ambos os pigmentos estão organizados nas membranas da organela, de forma a otimizar a absorção de luz. É essa absorção da energia radiante que vai impulsionar a conversão de CO_2 e água em moléculas orgânicas. Mas essa conversão é um processo que depende não só dos pigmentos, mas da integração de várias outras moléculas, incluindo proteínas.

As reações de fotossíntese acontecem em locais específicos dos cloroplastos. A Figura 3.2 mostra a estrutura dessa organela e os locais das reações serão mencionados adiante.

Figura 3.2 | Cloroplasto. À esquerda, esquema mostrando as partes da organela. À direita, fotomicrografia eletrônica de transmissão



Fonte: adaptada de Reece (2015, p. 111).

Os **tilacoides** são membranas internas, achatadas e empilhadas (uma pilha de tilacoides é chamada de *granum*, plural grana). O **estroma** é uma região aquosa que envolve os tilacoides. No estroma há enzimas e substratos que participarão de uma das etapas da fotossíntese e de outras vias metabólicas que acontecem dentro dos cloroplastos.

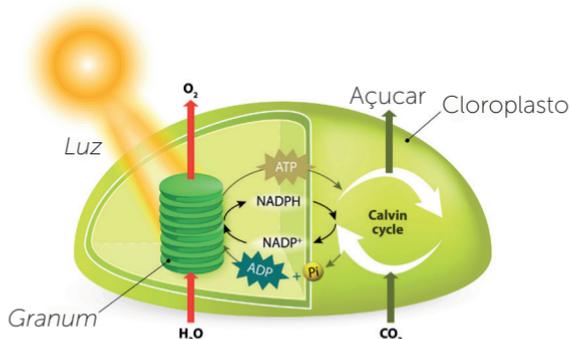
A fotossíntese costuma ser didaticamente dividida em duas etapas integradas e que estão ilustradas na Figura 3.3.

Na **etapa fotoquímica** ocorrem as reações que transformam a luz em energia química, nos tilacoides. A energia luminosa absorvida pelos pigmentos fotossintéticos “quebra” as moléculas de água (um processo chamado de **fotólise da água**). Os elétrons são extraídos da molécula e há produção de ATP e NADPH.

Na **etapa bioquímica**, que acontece no estroma do cloroplasto, ocorrem as reações enzimáticas necessárias à fixação do CO_2 e síntese de carboidratos, sendo o ATP e o NADPH, formados na etapa fotoquímica, os fornecedores de energia para esses processos.

A fixação de carbono é a incorporação do CO_2 atmosférico em compostos orgânicos e isso ocorre ao longo de uma sequência de reações químicas que, em conjunto, são chamadas de **ciclo de Calvin-Benson** (em homenagem aos pesquisadores que desvendaram as principais etapas do ciclo). Os produtos gerados no ciclo de Calvin-Benson serão convertidos em sacarose, no citosol, ou em amido, no próprio cloroplasto, acumulado em grânulos quando presentes em grãos, por exemplo. Durante a noite, o amido armazenado é usado para produzir sacarose.

Figura 3.3 | Visão geral da fotossíntese, mostrando a etapa fotoquímica, à esquerda, que ocorre nos tilacoides; e a etapa bioquímica, à direita, que ocorre no estroma do cloroplasto



Fonte: adaptada de: <<https://goo.gl/yi4qiT>>. Acesso em: 4 jun. 2018.

Uma vez que a fotossíntese envolve uma série de reações químicas, com diversos reagentes e produtos, é natural que ela seja afetada por alguns fatores, como concentração de CO_2 , temperatura e luminosidade.

Parte do que a planta produz na fotossíntese é utilizada como fonte de energia nos processos metabólicos. Por exemplo, o CO_2 produzido na respiração pode ser aproveitado na fotossíntese. Ao contrário, o O_2 liberado na fotossíntese pode ser aproveitado na respiração. Ambos os processos ocorrem durante o dia, mas apenas a respiração ocorre durante a noite.

Chamamos de **ponto de compensação da luz** (ou ponto de compensação fótico) quando há um equilíbrio entre absorção e liberação de O_2 em uma dada intensidade luminosa. Nessa situação, não há trocas gasosas entre a planta e o ambiente, pois tudo que a respiração produz, a fotossíntese absorve e vice-versa.



Pesquise mais

Entenda a natureza física da luz e os detalhes sobre os primeiros eventos da fotossíntese nas páginas 89 a 99 do livro a seguir, disponível na sua biblioteca digital.

MAJEROWICZ, Nidia. Fotossíntese. In: KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. Cap. 5. p. 82-133.

Para saber mais sobre a etapa bioquímica da fotossíntese, leia as páginas 204 a 217 do livro a seguir.

BUCHANAN, Bob B. Fotossíntese: Reações de Carboxilação. In: TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**: [recurso eletrônico]. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. Cap. 8. p. 203-243.

Na reportagem (página 18) a seguir você pode saber um pouco mais sobre a história e a importância da fotossíntese para nosso planeta e conhecer alguns de seus aspectos bioquímicos.

CHALOUB, Ricardo Moreira. Fotossíntese: Reações luminosas? Não..., mas requerem luz. **Ciência Hoje**, v. 56, n. 331, p.18-23, nov. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/AfybdG>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

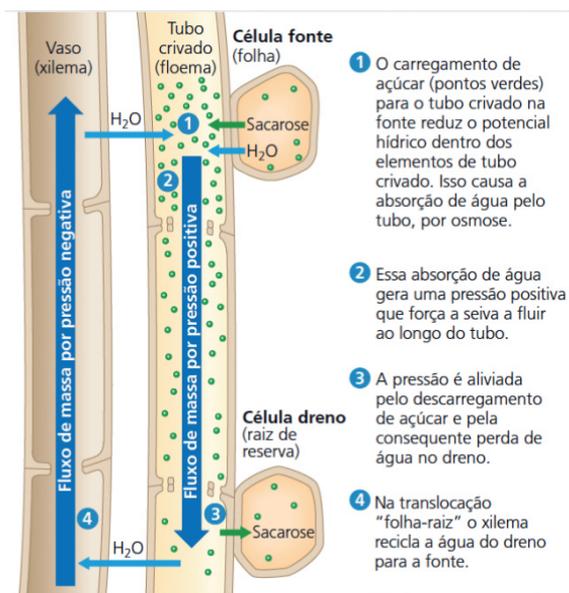
Translocação pelo floema

O floema é responsável pela translocação dos produtos da fotossíntese entre os órgãos da planta. Esse transporte não é

realizado em uma direção preferencial nem é determinado pela ação da gravidade, mas sim em um sentido fonte-dreno. Por exemplo, das folhas maduras ou de órgãos de reserva (que são fontes, geralmente áreas de síntese) os nutrientes são enviados às partes vegetais em crescimento (que são drenos, áreas de consumo). Ao longo do desenvolvimento da planta, desde a sua formação inicial, a localização das fontes e do dreno pode mudar, conforme as necessidades do vegetal em determinada fase de crescimento.

Pelo floema são transportados carboidratos e outros solutos, como: potássio, cálcio, aminoácidos, proteínas, hormônios vegetais, entre outros, além de água em abundância. A essa composição, produzida por meio da fotossíntese, dá-se o nome de seiva do floema.

Figura 3.4 | Modelo esquemático mostrando o transporte de sacarose, via floema, da célula-fonte até a célula-dreno e a integração com o fluxo nos vasos xilemáticos



Fonte: Reece (2015, p. 795).

Xilema e floema são diferentes em estrutura e em função, mas ambos desenvolvem pressões internas, positivas e negativas, que afetam o movimento de água e solutos.

A absorção da sacarose gera um gradiente de pressão hidrostática entre a fonte e o dreno; quando essa pressão aumenta, a água do

xilema é enviada para o floema. Quando esse açúcar é metabolizado nas células-dreno, sua concentração diminui, mantendo o gradiente para que mais açúcar seja absorvido.

Os mecanismos apresentados nesta seção são generalizados. Existem particularidades para determinados grupos de plantas, entre espécies de um mesmo grupo e até ajustes que ocorrem ao longo da vida de um vegetal ou das condições do ambiente. Por fim, apesar de serem apresentados de forma isolada, para fins didáticos, o metabolismo é todo integrado: a alteração em uma das etapas pode levar à mudanças em todos os processos a ela relacionados.

Sem medo de errar

No início da seção você foi convidado a sugerir atividades experimentais que ajudassem a esclarecer duas dúvidas trazidas pelos alunos, sobre os vegetais.

A primeira dúvida era sobre a morte de uma planta, que ficou dias guardada dentro de um armário. A planta estava em um vaso, mas não recebeu água ou luz ao longo desse tempo.

Para entender o que pode ter levado a planta à morte, seus alunos poderiam realizar um experimento em que plantas iguais fossem submetidas a diferentes variações, sendo que uma das situações deveria simular a planta do aluno. Mantendo-as sob as mesmas condições de plantio e temperatura, por exemplo, as plantas poderiam ser agrupadas e tratadas conforme a sugestão a seguir:

Grupos	CONDIÇÕES			
	Iluminação		Hidratação	
	Luz	Escuro	Com água	Sem água
Grupo 1	+		+	
Grupo 2	+			+
Grupo 3		+	+	
Grupo 4		+		+

Apenas a hidratação deveria ser realizada diariamente. As condições em que a planta do aluno ficou corresponderiam ao Grupo 4 (sem luz e sem água). Após alguns dias, os alunos deverão

observar e concluir que luz e água (Grupo 1) são necessárias para a sobrevivência e o bom desenvolvimento das plantas. Quando um desses componentes falta (Grupos 2 e 3), a planta pode até sobreviver por alguns dias, mas, provavelmente, apresentará sinais que indicam que seu desenvolvimento está comprometido (folhas murchas e com perda de coloração, por exemplo).

A relação entre os recursos necessários à sobrevivência da planta é que água e luz são necessários para que o vegetal consiga absorver os nutrientes do solo (nutrição mineral) e realizar a fotossíntese (nutrição orgânica). A água é obtida principalmente pelas raízes, enquanto a luz é captada principalmente pelas folhas das plantas.

A segunda dúvida era em relação ao cultivo de plantas em hidroponia, na horta que fica nos fundos da escola.

A hidroponia é uma técnica de cultivo de plantas sem solo, apenas em contato com a água, acrescida de uma solução nutritiva – o “produto” que os alunos observaram que era adicionado à água. Uma solução nutritiva contém sais inorgânicos necessários às plantas, os quais naturalmente são retirados do solo.

Para verificar essa necessidade, os alunos poderiam realizar uma atividade em que plantas iguais recebessem soluções nutritivas contendo diferentes concentrações ou tipos de sais. O controle seria oferecer a um grupo de plantas apenas água destilada, que contém uma quantidade mínima de sais.

Cada espécie de planta tem as suas necessidades nutricionais particulares, porém, todas precisam de macro e micronutrientes, sendo que nitrogênio, fósforo e potássio, cloro e ferro são alguns dos principais. Quando adubadas, as plantas recebem um aporte de nutrientes; a solução nutritiva seria uma forma de adubação, no caso da hidroponia.

A hidroponia só é possível se a planta receber, além da água e dos nutrientes, iluminação e, claro, conseguir captar o gás carbônico atmosférico para realizar a fotossíntese.

Para identificar possíveis carências nutricionais, os alunos devem observar se as plantas apresentam sinais como clorose, enrolamento de folhas, caules finos e fracos, manchas necróticas, entre outros.



Você pode saber mais sobre hidroponia no artigo *Cultivo Hidropônico: uma prática eficiente e de alta rentabilidade*. Disponível em: < <http://www.esalq.usp.br/cprural/boapratica/mostra/97/cultivo-hidroponico-uma-pratica-eficiente-e-de-alta-rentabilidade.html>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

E sobre deficiência nutricional em plantas de tomate no artigo disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/deficiencias.htm>. Acesso em: 31 jan..

Avançando na prática

Seiva sob pressão ou tensão?

Descrição da situação-problema

Ainda considerando a monitoria para a qual você recebeu convite, chegou a hora de demonstrar para seus futuros alunos quais as principais formas de transporte da seiva xilemática nas plantas.

Quais atividades você poderia realizar para demonstrar esse transporte e quais informações você levaria para debater os resultados observados?

Resolução da situação-problema

Existem duas propostas para o transporte ascendente de água e nutrientes (seiva do xilema) nas plantas: a pressão positiva da raiz e a pressão negativa resultante da transpiração.

Uma forma de demonstrar as duas formas de transporte é cortar o caule de plantas herbáceas (de pequeno porte), como o feijoeiro, em momentos diferentes do dia, como pela manhã e ao meio-dia. É necessário que haja diferença na umidade relativa do ar.

Quando as condições forem de baixa transpiração para a planta (manhã, por exemplo), provavelmente haverá formação de uma gota (seiva) na superfície da região em que o corte foi feito. Isso ocorre porque, com baixa ou nenhuma transpiração, prevalece a pressão positiva da raiz, ou seja, a seiva é "empurrada" da raiz para as partes mais altas da planta. A gutação, fenômeno observado em algumas

plantas, em que há perda de água líquida por aberturas nas margens de folhas, também é um exemplo da pressão positiva da raiz.

Já em momentos do dia em que a transpiração da planta é aumentada (ao meio-dia, por exemplo), dificilmente a gota se formará. Isso ocorre porque, em condições de alta transpiração, prevalece sobre a seiva do xilema a pressão negativa (tensão), ou seja, a seiva está sendo “puxada” para a parte aérea. Ao cortar o caule, essa força cessa e a seiva que estava subindo, volta a descer.

Faça valer a pena

1. A imagem a seguir exhibe gotas líquidas saindo da margem de uma folha, fenômeno que ocorre em algumas plantas e é chamado de gutação. A gutação ilustra o transporte da (I), que sai por poros chamados de hidatódios, por ação da (II).



Fonte: <<https://goo.gl/vhH5u6>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

Assinale a alternativa que substitui corretamente os números I e II do texto acima.

- a) (I) seiva do xilema; (II) pressão positiva de raiz.
- b) (I) seiva do floema; (II) pressão positiva de raiz.
- c) (I) seiva do xilema; (II) transpiração.
- d) (I) seiva do floema; (II) transpiração.
- e) (I) seiva do xilema; (II) fotólise.

2. “Nos sistemas agrícolas de alta produtividade dos países industrializados, uma grande proporção da biomassa da cultura deixa a área de cultivo e o retorno dos resíduos da cultura à terra em que ela foi produzida torna-se difícil, na melhor das hipóteses”.

TAIZ, Lincoln et al. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*: [recurso eletrônico]. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 130.

Qual seria uma consequência da remoção dos restos vegetais após a colheita, em termos nutricionais, e o que precisaria ser feito para que as próximas plantas se desenvolvam adequadamente?

- a) Nenhuma consequência, pois o desenvolvimento das novas plantas depende apenas da qualidade das sementes.
- b) Os restos vegetais retirados poderiam devolver ao solo importantes nutrientes que seriam aproveitados pelas novas plantas. Seria necessário, portanto, repor esses nutrientes no solo por meio da aplicação de fertilizantes.
- c) Os restos vegetais retirados devolveriam gás carbônico ao solo, importante para a fotossíntese. Seria necessário, portanto, injetar esse gás no solo por meios artificiais.
- d) Os restos vegetais retirados poderiam devolver ao solo importantes nutrientes que seriam aproveitados pelas novas plantas. Seria necessário, portanto, aplicar herbicidas ao solo.
- e) Nenhuma consequência, pois o desenvolvimento das novas plantas depende apenas da hidratação adequada, por meio da irrigação.

3. Organismos fotossintetizantes, como as plantas, produzem energia utilizando água, luz e gás carbônico. Para que isso seja possível, uma série de reações químicas ocorrem dentro das células e um dos primeiros eventos da fotossíntese é a decomposição da molécula de água, com a ajuda da luz.

Escolha a alternativa que relaciona corretamente as informações sobre a etapa destacada no texto e o local em que ela ocorre.

- a) A fixação da água incorpora mais um átomo de oxigênio à molécula e ocorre na etapa fotoquímica, no estroma do cloroplasto.
- b) A fotólise da água separa os átomos de oxigênio da molécula e ocorre na etapa bioquímica, no estroma do cloroplasto.
- c) A liberação do carbono presente na molécula de água ocorre na etapa bioquímica, no tonoplasto.
- d) A fotólise da água produz gás oxigênio e ocorre na etapa fotoquímica, nos tilacoides do cloroplasto.
- e) A formação da molécula de água ocorre durante o ciclo de Calvin-Benson, no estroma do cloroplasto.

Seção 3.2

Hormônios vegetais

Diálogo aberto

Caro aluno,

Nesta seção iremos conhecer os grupos de substâncias que regulam todas as atividades nas plantas ao longo do seu ciclo de vida: os hormônios vegetais. O que você sabe sobre esse assunto? De que forma esses conhecimentos são aplicados na nossa vida?

Lembre-se de que você deve imaginar que está participando de uma monitoria e que os alunos podem apresentar diversas dúvidas relacionadas ao tema abordado nesta seção.

O que controla o desenvolvimento vegetal e diversos tipos de adaptações das plantas? Se, por um lado, o estudo dos chamados hormônios vegetais apresenta uma dificuldade por não ser possível observá-los diretamente, por outro, eles estão envolvidos em eventos com os quais convivemos ou já ouvimos ao menos falar. A obtenção dessas substâncias para atividades experimentais em escolas pode não ser uma tarefa simples ou acessível, mas você pode ajudar os alunos do curso a interpretar “comportamentos vegetais” por meio de observações e investigações.

Suponha que seus alunos tragam as situações a seguir. Indique como você os ajudaria a explicá-las utilizando os conhecimentos acerca dos hormônios vegetais. Você deve preparar atividades práticas ou de investigação para cada item. Não se esqueça de indicar o material, os procedimentos e os resultados esperados com base na fundamentação teórica.

- Minha avó tira um galho de uma planta, coloca-o na terra e outra planta completa se desenvolve. Como isso é possível?
- O jardineiro da escola às vezes corta alguns galhos das plantas. Por que elas não morrem e, ao contrário, parecem ficar mais “cheias”?
- Lá em casa, quando colocamos frutas na geladeira elas costumam durar mais do que quando as deixamos na fruteira, que normalmente amadurecem muito rápido. Por que isso acontece?

E como algumas frutas são transportadas a longa distância sem chegarem estragadas ao destino?

Essas são algumas sugestões, porém você também pode fazer um levantamento das dúvidas dos alunos em relação ao que observam nas plantas e avaliar a possibilidade de desenvolver atividades que supram a curiosidade deles.

Para realizar esta atividade, você deve compreender quais as principais funções dos cinco hormônios vegetais apresentados no texto e, também, a maneira como alguns desses hormônios podem atuar em conjunto, intensificando ou inibindo as ações uns dos outros. Uma investigação mais aprofundada pode te auxiliar a ampliar as discussões com seus alunos.

Mãos à obra!

Não pode faltar

Ao longo da Unidade 2, pudemos entender como as plantas crescem e se desenvolvem. Nesta Seção, nosso objetivo é identificar quais são os componentes que controlam todas as fases do ciclo de vida das plantas.

Regulação do crescimento e desenvolvimento

As funções celulares em um organismo são coordenadas por mensageiros químicos, chamados **hormônios**.



Assimile

Os chamados hormônios vegetais regulam o ambiente interno da planta, controlando suas respostas às condições ambientais externas e ao momento do desenvolvimento do indivíduo. Atribuem-se os termos **hormônio vegetal** ou **fitormônios** para substâncias naturalmente produzidas pelas plantas, enquanto as sintéticas são chamadas de reguladores de crescimento e agem de forma similar aos hormônios.

De forma semelhante aos hormônios animais, os vegetais **atuam em baixas concentrações**; podem ser produzidos em um órgão da planta, mas atuar em outro, movendo-se pelo corpo do vegetal de diferentes formas; **apresentam efeitos diversos e integrados**. Entretanto, os hormônios vegetais são menos variados

que os animais, atuam na maioria das células e desencadeiam uma variedade de respostas, promovendo, inibindo ou modificando diversos processos morfofisiológicos.

São muitas as funções exercidas pelos fitormônios, as quais refletem profundamente no crescimento e desenvolvimento vegetal, incluindo: divisão, crescimento e diferenciação celular; formação, estabelecimento e desenvolvimento dos órgãos; determinação sexual e reprodução; respostas a fatores bióticos e abióticos; dentre outros.

Os hormônios podem interagir entre si. Por exemplo, a abscisão foliar (queda da folha) ocorre pela ação integrada da auxina e do etileno, dois dos cinco hormônios vegetais mais conhecidos. Essa interação pode ser positiva (efeitos adicionais ou conjuntos) ou negativa (efeito inibitório). O acúmulo e os efeitos de cada fitormônio podem ser modulados por fatores ambientais, de desenvolvimento ou pela atividade de outros hormônios.

A ação de um hormônio pode ser diferente de órgão para órgão. Um único processo fisiológico pode resultar da ação de vários hormônios, ao mesmo tempo que um único hormônio pode atuar em diversos processos. Por essa razão, muitas vezes, o entendimento do modo de ação de um hormônio depende da compreensão dos efeitos de outro(s) hormônio(s) e é por isso que, embora haja uma divisão didática do conteúdo apresentado nesta seção, em diversos momentos a explicação de um hormônio “invade” a de outros.

Além dos já mencionados auxina e etileno, outros fitormônios são: citocininas, giberelinas e ácido abscísico – os cinco clássicos, que serão abordados nesta seção. Entretanto, outros hormônios vegetais têm sido descobertos e estudados, como jasmonatos, brassinoesteroides, ácido salicílico e estríngolactonas.

Não perca a ideia de que **a planta funciona de forma integrada**, sendo que os hormônios vegetais não fogem a essa “regra”.



Refleta

Qual você considera que seja o grande papel dos hormônios no ciclo de vida das plantas?

Hormônios vegetais: auxina

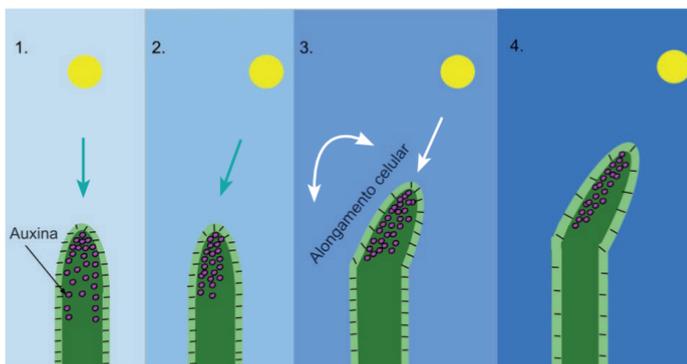
Auxina deriva da palavra grega *auxein*, que significa “crescer”, e o termo é utilizado para se referir a um grupo de compostos relacionados que foram identificados como promotores de crescimento, dos quais o AIA (ácido 3-indolacético) é a mais abundante naturalmente.

A produção de auxina ocorre em regiões em que as células se dividem rapidamente, como o meristema do ápice caulinar, folhas jovens, frutos e sementes em desenvolvimento. Em menores quantidades, também há produção de auxina nos ápices das raízes e em folhas mais velhas.

O transporte da auxina é principalmente polar, ou seja, em uma única direção, do ápice para a base das plantas. Esse transporte envolve gasto de energia, não depende da ação da gravidade e, nas raízes, ocorre pelas células parenquimáticas do xilema. Entretanto, há uma parcela do transporte que é floemático e apolar.

A auxina promove a **expansão celular**, o que resulta no crescimento da planta. Um exemplo disso é que quando a plântula é iluminada de um lado, a auxina se redistribui, se acumula no lado sombreado, estimulando o alongamento celular e resultando na curvatura em direção à fonte de luz, como ilustra Figura 3.5.

Figura 3.5 | Esquema demonstrando a migração da auxina para o lado sombreado do ápice caulinar, o alongamento das células nessa região e o consequente crescimento curvado em direção à fonte de luz



Fonte: adaptada de: <<https://goo.gl/UV28JT>>. Acesso em: 1 fev. 2018.

Como a auxina auxilia no crescimento celular? Há hipóteses de que a auxina acidificaria a região da parede celular, deixando-a mais extensível, afrouxando-a e permitindo a expansão da célula. Além disso, a auxina parece se envolver em processos que dão continuidade ao crescimento celular, após a expansão da parede, como atividades enzimáticas, indução da síntese de outros hormônios ou aumento na absorção de solutos.

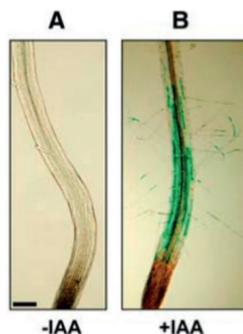
As gemas laterais das plantas podem permanecer dormentes por longos períodos ou até mesmo por toda a vida da planta, enquanto o ápice caulinar é local de contínuo crescimento, como já abordado na Seção 2.1. Essa inibição que o ápice caulinar exerce sobre as gemas laterais é conhecida como dominância apical e a auxina produzida no ápice caulinar é a responsável. Se o ápice caulinar é removido, o fluxo de auxina ali produzido é interrompido, a dominância é quebrada e as gemas laterais podem retomar seu crescimento, conforme mostra a Figura 3.6.

A dominância apical permite que a planta cresça em altura, mas inibe o desenvolvimento dos ramos laterais e a produção de flores e frutos. O jardineiro da escola, como observou seu aluno, realiza a poda das plantas para reduzir a dominância apical e estimular o crescimento dos ramos laterais.

As raízes laterais são formadas a partir de células do periciclo (Seção 2.2), que respondem aos sinais da auxina e se dividem. Outros hormônios, como citocininas e etileno, também estariam envolvidos nessa sinalização. A **formação de raízes adventícias** também conta com a sinalização de auxina. O fato de a avó do seu aluno conseguir uma planta nova a partir de um galho é um exemplo disso. Quando o galho, (ou uma folha) é cortado, o transporte de auxina é interrompido e ela se acumula na região próxima ao corte, induzindo o enraizamento adventício.

Ainda em relação à raiz, as auxinas regulam o desenvolvimento dos pelos absorventes, juntamente com o etileno (Figura 3.6).

Figura 3.6 | Indução do crescimento de pelos absorventes em um mutante sensível à auxina, em que A não recebeu tratamento com auxina e B recebeu o hormônio exogenamente (de fonte externa). Em B é possível ver os pelos formados.



Fonte: Lee & Cho (2006, p. 1605).

Em interação com o etileno, a auxina está relacionada à perda natural de folhas, flores e frutos, conhecida como **abscisão foliar**. A auxina parece retardar ou acelerar o destacamento dos órgãos, dependendo do estágio de desenvolvimento de cada um.

Outros efeitos fisiológicos atribuídos à auxina são a filotaxia (posicionamento das folhas no caule) e a formação do gancho apical no desenvolvimento do eixo caulinar.



Pesquise mais

Para saber mais sobre os hormônios vegetais não abordados nesta seção, leia as páginas 202 a 210 do livro indicado. VIEIRA, Elvis Lima et al. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: Edufma, 2010. 230 p. Disponível em: <<https://goo.gl/CaxQoH>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

Conheça um pouco sobre o histórico da descoberta de cada hormônio vegetal ao ler as páginas 417 a 421 do livro a seguir.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**: [recurso eletrônico]. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.



Exemplificando

Ao ajustar suas concentrações, algumas auxinas sintéticas são utilizadas em herbicidas, para controle de ervas daninhas. Dois tipos de auxinas sintéticas, conhecidas como 2,4-D e 2,4,5-T, eram os compostos ativos do "agente laranja", uma mistura utilizada como desfolhante na Guerra do Vietnã, para revelar o esconderijo dos vietnamitas e interferir na produção de alimentos.

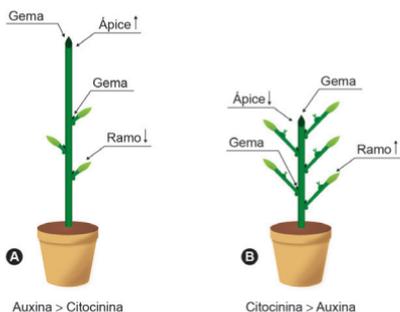
Hormônios vegetais: citocinina e giberelina

Citocininas

A citocinina é produzida principalmente nas raízes, mas também em outros tecidos meristemáticos. Uma vez produzidas na raiz, são transportadas para a parte aérea, via xilema, compondo a seiva xilemática. Embora essa seja a principal forma de transporte, elas também são encontradas na seiva do floema, aparentemente para auxiliar na retomada do crescimento de partes jovens da planta, especialmente após períodos de dormência.

As citocininas atuam no controle de algumas etapas da **divisão celular**, mas também na **diferenciação** das mesmas. Desta forma, essa classe hormonal também se relaciona com a formação de gemas caulinares e com a **quebra da dominância apical**, já explicada anteriormente e demonstrada na Figura 3.7.

Figura 3.7 | Efeitos fisiológicos das auxinas e citocininas nas plantas. Em A, a auxina está exercendo a dominância apical; Em B, o ápice foi retirado, a dominância apical quebrada e a citocinina atua no crescimento dos ramos



Fonte: elaborada pela autora.

Citocininas e auxinas estimulam a proliferação da grande maioria de tipos de células vegetais, mas as ações desses dois hormônios são, muitas vezes, antagônicas. Por exemplo, enquanto as auxinas promovem o crescimento de raízes laterais, as citocininas inibem esse processo. Elas promovem o crescimento de ramos na parte aérea, enquanto as auxinas derivadas do ápice inibem a produção de citocinina nas gemas laterais.

Outros efeitos fisiológicos atribuídos às citocininas são a germinação de sementes e a inibição da senescência (envelhecimento) das folhas.

Giberelinas

Giberelinas são, na verdade, uma família de centenas de compostos quimicamente semelhantes. Apenas alguns deles são biologicamente ativos em plantas, sendo o ácido giberélico (GA3) o mais bioativo. De maneira geral, elas são abreviadas por GA e numeradas na sequência em que são descobertas.

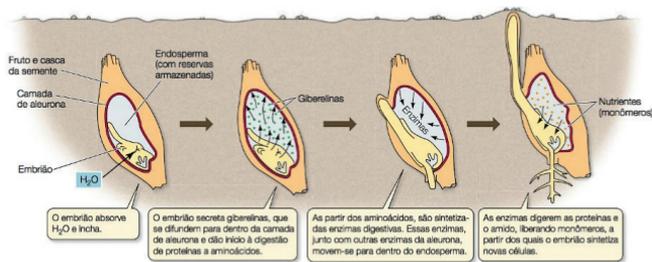
As sementes e frutos em desenvolvimento e os tecidos vegetativos de crescimento rápido, como os entrenós e as folhas jovens, são os principais locais de produção de giberelinas. Fatores externos, como luz e temperatura, interferem na produção desse hormônio.

Em relação ao transporte, há evidências tanto de que as giberelinas sejam produzidas próximas ao seu local de ação na planta, quanto de que há vários tipos de transporte em diferentes tecidos, envolvendo ou não os sistemas vasculares.

Um efeito de destaque das giberelinas nos vegetais é seu **estímulo sobre o alongamento caulinar**, em plantas intactas. Esse efeito é especialmente observado em plantas anãs, que têm seus entrenós alongados em decorrência da atividade de giberelinas aplicadas a elas. Supõe-se que isso ocorre em conjunto com as auxinas e atue na expansão celular. Auxinas e giberelinas também estão envolvidas no estabelecimento de frutos, incluindo o desenvolvimento de frutos partenocárpicos (ver Seção 1.3).

Outro efeito fisiológico marcante das giberelinas é a promoção da **germinação de sementes**. Em sementes de cereais, elas são produzidas pelo embrião e estimulam a produção de enzimas que degradam moléculas orgânicas do endosperma e dos cotilédones. O embrião absorve essas moléculas e as utiliza para seu crescimento. Veja o processo na Figura 3.8.

Figura 3.8 | Mobilização das reservas da semente pelo embrião, sob ação das giberelinas



Fonte: Sadava et al. (2009, p. 937).

Em ação conjunta à citocinina, mas de forma antagônica, as giberelinas promovem um controle da população de células no meristema apical caulinar. Enquanto as citocininas mantêm a atividade do meristema, as giberelinas se relacionam à maturação e ao alongamento das células, eventos que dependem das concentrações relativas entre os dois hormônios no tecido.

Outros efeitos fisiológicos atribuídos às citocininas são a diferenciação foliar, a transição da fase juvenil para a fase madura e iniciação e desenvolvimento floral, incluindo a determinação sexual.



Exemplificando

As giberelinas podem ter uso agrônômico e comercial. Quando aplicadas às uvas em crescimento, induzem o alongamento do pedúnculo, os cachos crescem mais, há mais espaço entre as bagas, que ficam maiores e, muitas vezes, sem sementes. Essa aplicação em macieiras promove maior crescimento dos frutos.

Hormônios vegetais: ácido abscísico e etileno

Ácido abscísico

O ácido abscísico foi assim nomeado porque, inicialmente, era considerado inibidor de crescimento, promotor de dormência de gemas e da abscisão das folhas de algumas árvores. Sabe-se, atualmente, que esse hormônio tem um efeito indireto sobre a abscisão foliar, aumentando a síntese de etileno (o responsável pela abscisão), mas o nome foi mantido.

A síntese do ácido abscísico ocorre em praticamente todas as células vivas da planta e está presente em todos os órgãos, tecidos e seivas. Esse hormônio regula diversos processos nas plantas, geralmente relacionados à atividade dos outros hormônios. Atua, especialmente, em respostas a estresses ambientais e germinação de sementes.

Figura 3.9 | Propágulo de mangue ainda preso à planta-mãe



Fonte: <<https://goo.gl/r5tKXa>>. Acesso em: 1 fev. 2018.

O ácido abscísico contribui para **proteger a planta contra estresses hídricos**, principalmente controlando a perda de água pelas folhas. Ele regula a transpiração estomática, controlando a abertura dos estômatos.

Esse hormônio também é um **inibidor da germinação de sementes** e induz dormência. Também evita a viviparidade, que é a germinação precoce nos frutos que ainda estão conectados à planta-mãe. A viviparidade ocorre em algumas espécies de mangue (Figura 3.9), que possuem sementes com baixas concentrações de ácido abscísico ou são insensíveis a ele. A dormência de gemas também é um efeito fisiológico atribuído ao ácido abscísico, especialmente em resposta a determinadas condições ambientais, inibindo o crescimento vegetativo.

Enquanto o ácido abscísico inibe a germinação, as giberelinas estimulam esses processos. Portanto, esses hormônios têm efeitos antagônicos. O ácido abscísico inibe a produção das enzimas que degradam as moléculas orgânicas de reserva nas sementes, enquanto as giberelinas induzem essa produção.

Etileno

O etileno é um hormônio gasoso, sintetizado por quase todos os tecidos vegetais, sendo que sua produção também se dá em resposta a ferimentos, estresses abióticos e bióticos, como o ataque de patógenos. Por ser um gás, difunde-se entre as células dos tecidos, portanto, seu transporte não depende do sistema vascular. Ele pode difundir-se para fora da planta, inclusive por meio de algumas estruturas protegidas por ceras, como a casca de certos frutos.

Um dos efeitos mais conhecidos do etileno é a promoção do **amadurecimento de frutos**, atuando nos processos que alteram a cor, a textura, o amolecimento, entre outros. O transporte e o armazenamento de frutos maduros é muito delicado, por isso, geralmente eles são colhidos verdes e, em sequência, tratados com a aplicação de etileno para finalizar o amadurecimento.

Como a produção de etileno pela planta é dependente de gás oxigênio, alguns frutos são armazenados após a colheita em câmaras com baixa disponibilidade de O₂. Assim, a síntese de etileno é inibida e, conseqüentemente, os frutos demoram mais para amadurecer. Essa estratégia também pode ser utilizada para transportar e armazenar

frutos sem que eles se estraguem rapidamente.

Por ser gasoso, o etileno liberado por frutos maduros pode ser liberado para o ar, influenciando o amadurecimento de frutos que estejam próximos. A temperatura também interfere na produção do etileno, por isso seu aluno observou que os frutos dentro da geladeira demoram mais para amadurecer do que aqueles que ficam na fruteira, em temperatura ambiente.



Exemplificando

Você já ouviu dizer que “riscar o mamão” ou embrulhar esses frutos em jornal faz com que amadureçam mais rapidamente? O ferimento do corte da casca do mamão aumenta a produção de etileno e, ao colocar o fruto em embalagens fechadas, o etileno liberado fica confinado, ampliando seus efeitos sobre o amadurecimento do fruto.

O etileno também influencia as **respostas das plantas ao estresse**. Por exemplo, plantas alagadas podem sofrer com a redução de O_2 ; base de caules e raízes dessas plantas podem apresentar hipertrofia das lenticelas (Figura 3.10), processo associado ao etileno no aumento da captação de O_2 para que seja enviado às regiões submersas.

Figura 3.10 | Lenticelas hipertrofiadas (estruturas brancas) na base do caule de planta submetida ao alagamento (direita). A planta da esquerda foi mantida em solo drenado.



Fonte: elaborada pela autora.

Um exemplo de interação do etileno com outros hormônios é o da **abscisão de órgãos** (folha, flores, frutos). Enquanto o etileno desencadeia a abscisão, a auxina regula esse processo por meio do controle da sensibilidade das células ao etileno, nas regiões da planta em que os órgãos se destacam. As auxinas também parecem estimular a síntese de etileno nos vegetais (relembre a ação desfolhante das auxinas sintéticas).

Outros efeitos fisiológicos atribuídos ao etileno são a senescência de folhas e flores, a formação de pelos absorventes nas raízes (Figura 3.6) e a formação de raízes adventícias, em conjunto com as auxinas.

Sem medo de errar

No diálogo aberto desta seção, você ficou responsável por ajudar seus alunos a entenderem algumas observações que eles fizeram, de fenômenos envolvendo plantas. Além disso, você deveria, quando possível, sugerir atividades práticas para que os alunos verificassem esses fenômenos acontecendo. Como comentado, obter substâncias reguladoras do crescimento vegetal para atividades escolares nem sempre é fácil. Portanto, indique atividades simples que possam ser realizadas sem o auxílio dessas substâncias.

A primeira pergunta se relacionava à propagação vegetativa a partir de uma parte retirada da planta. Um modelo em que esse evento pode ser facilmente observado é o enraizamento adventício em folhas de violeta ou estacas de *Coleus*. Corte algumas folhas da violeta e mergulhe o pecíolo em água, tampando a boca do recipiente e mantendo a umidade. Se utilizar *Coleus*, faça o mesmo com as estacas. Após algumas semanas, será possível verificar o surgimento de raízes e, então, transplantar as mudas para substrato sólido para que a planta continue se desenvolvendo.

O enraizamento adventício é controlado principalmente pelas auxinas (a aplicação de auxinas na água das mudas pode acelerar o enraizamento). Ao realizar o corte no pecíolo ou no caule das plantas sugeridas, o transporte de auxina será interrompido próximo à região cortada e induzirá a formação das raízes adventícias.

A segunda dúvida dos alunos era sobre o porquê de o jardineiro da escola cortar os galhos das plantas e como elas, ao invés de

morrerem, pareciam ficar mais vistosas. Realizar um experimento com poda de plantas é mais delicado, pois é necessário conhecer as técnicas corretas. Nesse caso, seria interessante que os alunos fizessem uma entrevista com o jardineiro da escola, para conhecer o trabalho de poda e os objetivos da técnica, além de acompanhar o desenvolvimento de algumas plantas após o corte.

A explicação fisiológica relativa aos hormônios vegetais para a poda de plantas se relaciona com a dominância apical. No ápice caulinar é produzida a auxina, que é transportada para as regiões inferiores da planta e inibe o desenvolvimento das gemas laterais. Ao retirar o ápice, acaba o transporte de auxina e as citocininas induzem o crescimento das gemas laterais, formando novos ramos.

A terceira dúvida era sobre o amadurecimento diferencial de frutos em temperatura ambiente (fruteira) e reduzida (geladeira). Os alunos também queriam saber como transportar frutos a longas distâncias sem que estraguem.

Para a primeira pergunta, você pode propor um experimento utilizando bananas, para observar o amadurecimento desses frutos em diferentes condições de temperatura. Para isso, providencie bananas verdes (de preferência provenientes do mesmo cacho) e sacos de papel. Coloque algumas bananas nos sacos de papel, levando-os à geladeira; faça o mesmo com os sacos que serão deixados à temperatura ambiente. Preferencialmente realize essa atividade em dias quentes.

Após aproximadamente sete dias, observe o que aconteceu com as bananas. Compare o amadurecimento dos frutos da geladeira aos da temperatura ambiente. O esperado é que as bananas deixadas na geladeira não amadureçam, pois baixas temperaturas inibem a produção de etileno, hormônio responsável pelo amadurecimento de frutos. Você também pode realizar a atividade sem colocar as bananas em sacos; eles potencializam os efeitos do etileno, pois uma parte do hormônio ficará retida na embalagem, próximo ao fruto.

O amadurecimento é um processo que envolve diversas mudanças complexas no fruto, como amolecimento, mudança de cor e de sabor.

Desvendando outro mutante

Para uma sequência de aulas práticas, seus alunos receberam algumas sementes de tomate para que germinem e acompanhem o desenvolvimento das plantas. Um lote das sementes era selvagem, ou seja, exibiam características consideradas normais para a variedade. O outro lote era de um tomate mutante deficiente no hormônio ácido abscísico.

A partir dessas informações, os alunos colocaram as sementes para germinar e deveriam elaborar hipóteses justificadas sobre as seguintes características do tomateiro mutante:

- As sementes mutantes germinariam facilmente ou seria necessário um tratamento para a quebra de dormência?
- As folhas do tomateiro mutante seriam vigorosas ou murchas?
- O que provavelmente aconteceria com as sementes dentro dos frutos maduros?

Coloque-se no lugar de seus alunos e procure resolver essa atividade.

Resolução da situação-problema

Apesar de termos aprendido que as ações dos hormônios vegetais podem ser integradas, vamos analisar as informações da atividade isolando o fator conhecido: mutantes com deficiência de ácido abscísico.

Esse hormônio é conhecido por inibir a germinação de sementes. Portanto, se o mutante não recebe o estímulo do ácido abscísico, é provável que as sementes germinem facilmente, pois não há um indutor de dormência.

O ácido abscísico também controla a perda de água, regulando a transpiração estomática. Sem o hormônio, esse controle não existe, portanto, as folhas perderão água facilmente e ficarão murchas.

Por fim, possivelmente, as sementes começariam a germinar ainda dentro de frutos maduros, pois o ácido abscísico também ajuda a evitar a germinação precoce, chamada viviparidade.

Se quiser saber mais sobre mutantes deficientes em aba, consulte o artigo de Castro et al. (2008), indicado nas referências desta seção.

Faça valer a pena

1. “[...] genes não bastam para entender a fisiologia das plantas. [...] os responsáveis por moldar boa parte das características e das funções vitais são os hormônios, que até recentemente eram muito pouco conhecidos – até que pesquisadores começaram a usar mutantes. Para estudar os hormônios vegetais, [...] cria tomateiros com mutações que os tornam insensíveis à ação dessas substâncias.”

Fonte: adaptado de GUIMARÃES, Maria. Novo modelo: Tomateiros mutantes ajudam a desvendar genes e hormônios que regulam a vida das plantas. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, 135. ed., p.52-55, maio 2007. Disponível em: <<https://goo.gl/LGzR1y>>. Acesso em: 19 nov. 2017. Enunciado:

Assinale a alternativa que traz uma informação correta sobre os hormônios vegetais.

- a) Atuam em altas concentrações, apenas de forma isolada e sempre no mesmo local de síntese.
- b) Os mutantes não servem para estudar hormônios vegetais, porque os hormônios atuam nos vegetais apenas quando aplicados exogenamente (de fonte externa).
- c) Cada hormônio vegetal é responsável por apenas um efeito fisiológico e a atuação de dois hormônios nunca se sobrepõem.
- d) Atuam em baixas concentrações, de forma isolada ou em conjunto, no local de síntese ou em outro órgão da planta.
- e) Todos os hormônios vegetais são transportados na planta da mesma maneira, embora sejam produzidos em locais diferentes.

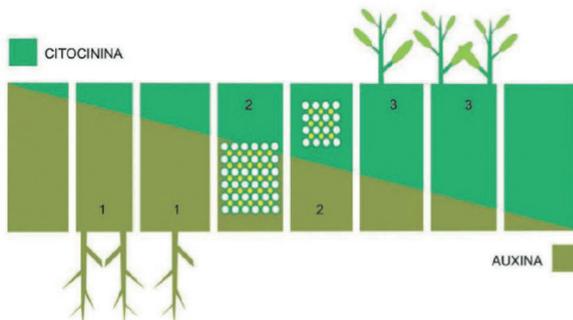
2. “[...] é um hormônio encontrado nas raízes das plantas, em folhas jovens, nas sementes em fase de germinação, frutos e demais locais. Essa molécula também é promotora da germinação da semente. No momento em que se inicia a absorção de água do meio pela semente, o embrião é induzido a produzir [...] desencadear a germinação e, conseqüentemente, o crescimento da planta.”

ANDRADE, Daniela. Hormônios no tratamento de semente aumentam o enraizamento do feijoeiro. *Campo & Negócios: Grãos*, Uberlândia, n. 146, abr. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/ZEVzTN>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

A descrição do texto indica que se trata de qual hormônio vegetal?

- a) Giberelina.
- b) Etileno.
- c) Auxina.
- d) Citocinina.
- e) Ácido abscísico.

3. Analise o esquema abaixo. Nele, cada retângulo representa uma parte de tecido vegetal cultivado *in vitro*, com diferentes quantidades de auxina e citocinina adicionadas ao meio de cultura. Os números representam formação de raiz (1), calos (2) ou caules (3).



Fonte: Kerbauy (2008, p. 226).

Com base no esquema, marque a alternativa correta sobre o papel dos hormônios auxina e citocinina:

- A formação de raízes ou caules dependeu das proporções relativas dos hormônios. Maior proporção de auxina favoreceu a formação da parte aérea; maior proporção de citocinina favoreceu a formação de raízes.
- O ideal para induzir a formação de órgãos nas plantas é oferecer ao tecido cultivado quantidades iguais de auxina e citocinina.
- Concentrações maiores de auxina ou de citocinina estimulam a divisão das células da planta, formando os calos.
- O esquema mostra que, quando cultivados, esses explantes responderam com diferença temporal aos hormônios: primeiro à auxina, formando raízes, depois à citocinina, formando a parte aérea.
- A formação de raízes ou caules dependeu das proporções relativas dos hormônios. Maior proporção de auxina favoreceu a formação de raízes; maior proporção de citocinina favoreceu a formação da parte aérea.

Seção 3.3

Mecanismos de adaptação ao ambiente

Diálogo aberto

Caro aluno,

Você já parou para refletir sobre se e como as plantas se movimentam ou como controlam o seu florescimento e outros eventos cruciais do ciclo de vida delas? Pois é sobre esses eventos que iremos abordar nesta seção.

Ao dar continuidade ao exercício de se colocar no papel de monitor(a) de um curso, em que você precisa ajudar seus alunos a resolver questões teórico-práticas sobre a fisiologia das plantas, veja quais serão os questionamentos a serem resolvidos ao longo da seção.

Quais são os comportamentos das plantas em relação aos estímulos externos? Há também envolvimento de fatores endógenos nesses processos? As plantas percebem o passar dos dias?

Nesta etapa do curso talvez não haja tempo hábil para desenvolver algumas atividades práticas por completo, o que não invalida a investigação de alguns dos fenômenos questionados ou que sejam apresentados delineamentos experimentais e resultados para serem analisados e interpretados. Neste momento, seus alunos estão muito mais atentos às plantas, não apenas em como elas são, mas perceberam que elas apresentam alguns comportamentos e já conseguem estabelecer relação com os conteúdos estudados anteriormente. Considere os possíveis questionamentos dos alunos e indique como você explicaria a teoria ou, quando for o caso, qual atividade prática montaria para ajudar os alunos a investigarem as possíveis respostas.

- Em plantações de uva e maracujá, sempre existem suportes sobre os quais as plantas crescem, apesar de também estarem ligadas ao solo. Como as plantas conseguem subir nesses suportes?
- Nós discutimos, em uma aula anterior, que as plantas precisam de luz. Então, como as sementes que estão enterradas no solo, sem luz, conseguem germinar?
- Na natureza, as sementes caem no solo aleatoriamente, em diferentes posições. Por que a raiz sempre cresce para baixo e o

caule para cima?

- Como as plantas “sabem” quando é o momento de florescer?

Para solucionar essas questões, você precisará se inteirar sobre os tipos de movimentos que as plantas fazem, sobre o fotoperiodismo e a floração. Não se esqueça de estabelecer relações com os aspectos morfológicos e anatômicos das plantas.

Não pode faltar

Em diversos momentos deste material, mencionamos que o caráter sésbil (sem locomoção, fixo) das plantas faz com que elas precisem se ajustar às variações ambientais que vivenciam. Nesta seção, vamos entender alguns mecanismos de adaptação das plantas a esse ambiente.

Movimentos vegetais

Ao se tratar de movimento de plantas, não se pode confundir com seu deslocamento. Algumas plantas flutuantes e não fixas se deslocam com a corrente da água, mas de forma passiva. Plantas se movimentam, embora, muitas vezes, não consigamos perceber e, mesmo assim, esse fenômeno está limitado a algumas partes das plantas.

Dentre os principais movimentos das plantas estão os **tropismos**, que são respostas aos estímulos ambientais de forma direcionada e que refletem um crescimento assimétrico do eixo caule-raiz. Quando o crescimento é em direção ao estímulo, trata-se de **tropismo positivo** e, quando em direção contrária ao estímulo, é dito **tropismo negativo**.

O caule e a raiz de uma plântula se desenvolvem em sentidos opostos, a favor (raiz) ou contra (caule) a gravidade. O crescimento em resposta a essa força é chamado de **gravitropismo**. O gravitropismo negativo permite que os órgãos aéreos cresçam em direção à luz, para que possam realizar fotossíntese, como ilustrado na Figura 3.11; o positivo direciona a raiz para o solo, de onde irá retirar água e sais minerais.

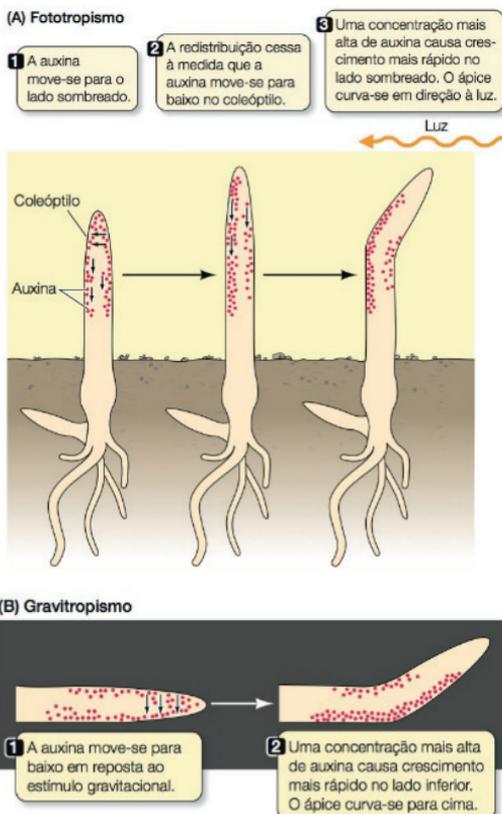
O gravitropismo envolve uma redistribuição da auxina, o que é demonstrado em caules orientados horizontalmente: esse hormônio se acumula na região inferior, estimulando o alongamento das células neste lado; o lado superior cresce mais lentamente, então o caule curva-se para cima. Diferentemente do caule, quando uma raiz é posicionada horizontalmente e a auxina é deslocada para o lado inferior, o alongamento das células nesta região é inibido; as células do lado superior crescem mais rapidamente, então a raiz cresce para baixo.

Já o movimento da planta orientado pela luz é chamado **fototropismo**. A partir do momento que recebe o estímulo luminoso, o caule responde e cresce em direção à luz, o que otimiza a absorção de luz e é chamado de fototropismo positivo, como mostra a Figura 3.11. As raízes, ao contrário, crescem em direção oposta à luminosidade, portanto exibem fototropismo negativo.

No fototropismo, a luz recebida pelo caule faz com que a auxina migre para o lado mais sombreado, estimulando o alongamento das células dessa região. O lado sombreado então cresce e o caule curva-se para o lado de onde vem a luz.

O fototropismo é regulado por fotorreceptores chamados **fototropinas**, que percebem a luz (explicadas mais adiante).

Figura 3.11 – Fototropismo (A) e gravitropismo (B) em ápices caulinares, mostrando a redistribuição de auxina e consequentes curvaturas.



Fonte: Sadava et al. (2009, p. 941).

Um terceiro tipo de tropismo que as plantas exibem é o **tigmotropismo**, que é o crescimento orientado pelo toque. É essa a estratégia observada em plantações de chuchu, uva e maracujá, por exemplo, que se enrolam em estruturas que possam servir de suporte durante o crescimento dos caules.

As respostas também podem ser chamadas de **nastismos**, quando não direcionadas em relação ao estímulo. O crescimento diferencial nas partes superior e inferior de folhas, por exemplo, faz com que elas se curvem para baixo (epinastia) ou para cima (hiponastia), respectivamente. Os órgãos podem se movimentar quando há variação de temperatura (termonastia) ou se enrolar caso falte água (hidronastia). Se o estímulo for mecânico, mas a resposta não for orientada em relação a ele, então ela é chamada de tignonastia. As folhas de algumas espécies dobram-se à noite (nictinastia) e fecham-se durante o dia (fotonastia).



Exemplificando

Algumas plantas conhecidas que apresentam movimentos násticos são:

- Tignonastia: a planta chamada dormideira ou sensitiva (*Mimosa pudica*) fecha rapidamente seus folíolos ao ser tocada.
- Termonastia: na vitória-régia (*Victoria amazônica*), as flores fecham-se durante o dia e abrem-se à noite.

Ritmos circadianos

Os períodos de luz (dia) e escuro (noite) a cada 24 horas são consequência da rotação da Terra. Esses ciclos são acompanhados por mudanças diárias no meio ambiente, levando os seres vivos a diversas adaptações que acompanham essas mudanças com comportamentos rítmicos.



Assimile

Definem-se como **ritmos circadianos** (*circa* = "cerca de"; *diem* = "dia") as oscilações biológicas em um ciclo de **aproximadamente 24h**, que persistem mesmo na ausência de sinais externos. Esses ritmos permanecem mesmo em condições contínuas de luminosidade e temperatura, indicando que eles não são apenas respostas aos estímulos ambientais, mas sim processos biológicos endógenos, ou seja, originados internamente na planta.

Os chamados relógios circadianos estão presentes em organismos de todos os reinos de seres vivos e regulam diversos aspectos do vegetal: sua fisiologia, sua biologia molecular e desenvolvimento. Alguns desses aspectos são movimentos de folhas e pétalas, que mudam de posição durante o dia e a noite; abertura e fechamento estomático; alterações metabólicas diárias, incluindo a fotossíntese e a respiração.

Não sendo uma resposta direta e única à presença ou à ausência de luz, os ritmos circadianos contam com os chamados **osciladores endógenos**, que funcionam como um marca-passo interno. Esse oscilador regula os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem em determinados momentos do dia.

Graças à existência dos ritmos circadianos, os organismos não somente respondem às variações cíclicas do ambiente, mas podem se antecipar a elas, preparando-se fisiologicamente para condições críticas ao desenvolvimento, como a chegada da luz logo pela manhã.

Dentre os processos das plantas que se relacionam aos ritmos circadianos, alguns são tratados ao longo desta unidade, como o nictinastismo, o termonastismo, a fotossíntese e a floração.



Pesquise mais

Para saber mais sobre como as raízes percebem a gravidade, leia sobre a hipótese do amido-estatólito, nas páginas 530 a 532 do livro a seguir.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**: [recurso eletrônico]. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

Os ritmos biológicos são estudados por uma área chamada de cronobiologia. O texto a seguir é uma revisão dos principais conceitos e achados da cronobiologia vegetal: SALLES, I. S.; BUCKERIDGE, M. S. Cronobiologia vegetal: aspectos fisiológicos de um relógio verde. Revista da Biologia, 2012. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/revista/node/112>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

Fotoperiodismo e fitocromos

A relação dos vegetais com a luz vai além do processo de fotossíntese e o ciclo claro/escuro é um dos mais influentes sobre os ritmos de um vegetal. A luz solar atua como um sinal que regula o metabolismo e o desenvolvimento das plantas, desde a germinação da semente até o desenvolvimento de frutos e a senescência

dos órgãos. A baixa luminosidade pode reduzir o crescimento e a reprodução das plantas, que percebem gradientes e pequenas diferenças na composição da luz.

Essa influência da luz sobre o desenvolvimento das plantas é chamada **fotomorfogênese**. Alguns dos eventos estimulados pela luz são a abertura do gancho apical após a germinação, a expansão dos cotilédones e das primeiras folhas, a formação dos cloroplastos e de elementos do aparato fotossintético, a floração, entre outros.

Quando as plantas crescem no escuro, são chamadas de **estioladas**: apresentam caule mais alongados, ápice em forma de gancho, cotilédones dobrados, clorofila ausente, o que deixa as folhas não expandidas de cor amarelo pálido. Ao transferir essas plântulas para a luz, inicia-se a fotomorfogênese e as plântulas desestiolam.

As moléculas que recebem a luz nas plantas, promovendo a morfogênese, são chamadas **fotorreceptores**; estes absorvem determinado comprimento de onda luminosa e usam a energia para iniciar uma resposta. Os fotorreceptores são sensíveis à quantidade, qualidade, intensidade e duração da exposição à luz.

Comumente os fotorreceptores que controlam as respostas fotomorfogênicas das plantas, tanto as vegetativas quanto as reprodutivas, são divididos em quatro classes, de acordo com a faixa de absorção do espectro luminoso (os valores de comprimento de onda absorvidos pelos fotorreceptores podem apresentar ligeiras variações na literatura):

- **Fitocromos**: absorvem principalmente vermelho (650-680 nm, forma Fv) e vermelho-extremo (710-740 nm, forma Fve); absorvem também azul (425-490 nm).

- **Criptocromos**: têm picos de absorção no azul (425-490 nm) e na banda do UVA - ultravioleta A (320-400 nm).

- **Fototropinas**: absorvem principalmente luz azul (400-500 nm).

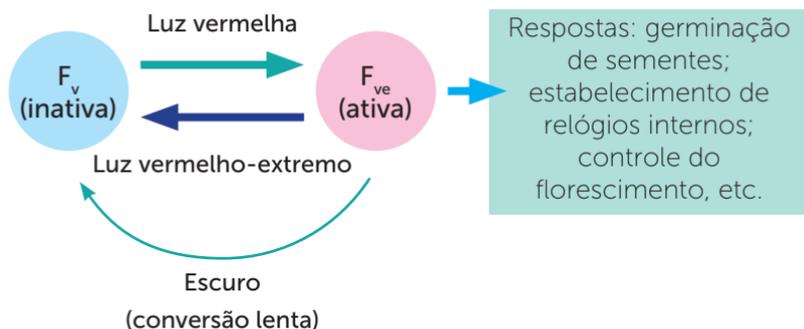
- **Fotorreceptores de luz na banda do UVB**: ultravioleta B (280-320 nm).

Neste material destacaremos os fitocromos, que são os fotorreceptores mais bem conhecidos e considerados mais importantes na promoção da fotomorfogênese.

A forma do fitocromo Fve é a fisiologicamente ativa e é instável; a forma Fv é fisiologicamente inativa e é produzida no escuro,

nos tecidos. As duas formas do fitocromo são interconvertíveis, propriedade chamada de fotorreversibilidade. Isso significa que, ao ser irradiado com luz no comprimento de onda vermelho, F_v é convertido em F_{ve} e este pode voltar à forma F_v no escuro ou por irradiação com luz vermelho-extremo, como indicado na Figura 3.12.

Figura 3.12 – Representação esquemática da conversão entre as duas formas dos fitocromos sob determinados estímulos luminosos.



Fonte: Baseado em Reece (2015) e Kerbauy (2008).



Assimile

Os organismos podem perceber a duração do dia, uma característica chamada de **fotoperiodismo**. Já a duração do dia (período claro) em relação à noite (período escuro) em um ciclo de 24 horas é chamado fotoperíodo, cuja percepção envolve os fitocromos.

O fotoperiodismo permite respostas sazonais a eventos que ocorrem em certos momentos do ano e, junto com os ritmos circadianos, responde a ciclos de claro e de escuro. Algumas dessas respostas relacionadas ao fotoperíodo são: a floração, a indução, a dormência, a brotação de gemas e a formação de órgãos de reserva, mas isso depende da espécie e da fase do ciclo vital.

Em relação aos efeitos da luz sobre a germinação, existe um evento chamado **fotoblastia**. As sementes de algumas espécies germinam apenas quando estimuladas pela luz, sendo chamadas de fotoblásticas positivas. Sementes cuja germinação é inibida pela luz são chamadas de fotoblásticas negativas e são a maioria dentre as espécies vegetais.

As relações entre luz e florescimento serão abordadas no próximo tópico.

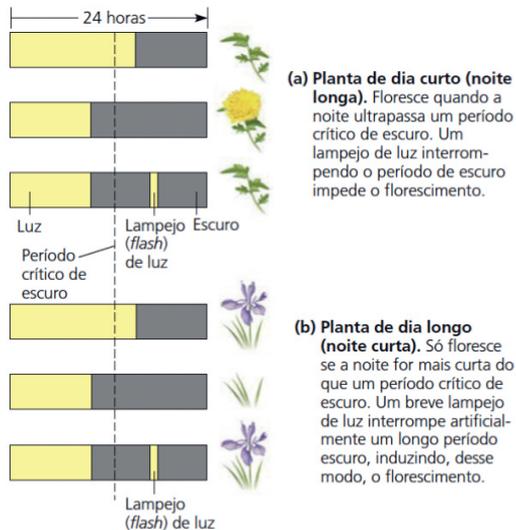
Floração

A floração decorre da transição, em plantas adultas, da fase vegetativa para a fase reprodutiva, e reflete várias mudanças fisiológicas nos vegetais que envolvem, por exemplo, a reestruturação de meristemas.

Costumamos associar a floração das plantas às estações climáticas que, no geral, indicam mudanças de luminosidade, temperatura e umidade no ambiente. Mas de que maneira as plantas percebem e respondem aos estímulos ambientais para que haja o florescimento? Ou será que há fatores internos que também regulam essa etapa do desenvolvimento reprodutivo de uma grande parte das plantas?

A floração é regulada por sistemas internos da planta e externos a ela. Dependem apenas dos estímulos ambientais tornaria as plantas muito vulneráveis a mudanças bruscas. As alterações anuais no fotoperíodo são detectadas por muitas plantas, que conseguem controlar a floração de acordo com o comprimento do dia, como mostra a Figura 3.13. Tais plantas sensíveis ao fotoperíodo são classificadas, geralmente, da seguinte forma:

Figura 3.13 – Florescimento em plantas de dia curto e de dia longo em relação aos períodos de claro e escuro em 24h.



Fonte: Reece (2015, p. 853)

- **Plantas de dia longo (PDL):** florescem quando o período de escuro é menor que o período de luz e também poderão florescer se um longo período de escuro for interrompido por uma pequena exposição à luz. Nessas plantas, o florescimento é estimulado quando, em um ciclo de 24 horas, o comprimento do dia exceder o comprimento crítico do dia, cuja duração varia entre as espécies.

- **Plantas de dia curto (PDC):** florescem quando o período de escuro é maior que o comprimento crítico do dia.

- **Plantas de dias neutros (PDN):** não têm a floração regulada pelo fotoperíodo, portanto florescem em qualquer condição de comprimento do dia.

Apesar de serem denominadas plantas de dias longos ou curtos, elas monitoram o fotoperíodo pelo comprimento da noite. O período escuro é tão importante na indução floral que, se ele for interrompido por uma breve exposição à luz, pode se tornar ineficaz. Ao contrário, se um dia longo for interrompido por uma breve exposição à luz, não anula a percepção da planta pelo dia longo.

Um outro fator determinante para a floração de algumas plantas é a temperatura, e a **vernalização** é um dos processos relacionados a esse fator. A vernalização é um processo metabólico ativo que minimiza a repressão do florescimento por um tratamento de frio dado a uma semente hidratada ou a uma planta em crescimento. Plantas que dependem da vernalização, se não receberem tal tratamento, não florescerão ou terão florescimento atrasado.

A umidade parece ser outro fator que influencia a floração de algumas plantas, como o cafeeiro, que precisa passar por um estresse hídrico para induzir a floração, ainda que o florescimento ocorra apenas após a reidratação da planta.

Componentes endógenos que também são considerados importantes para estimular a floração são hormônios, a nutrição mineral e a disponibilidade de açúcares. O balanço de nutrientes pode favorecer ou inibir a floração, dependendo da espécie e dos nutrientes considerados. O papel dos açúcares no controle da floração ainda não está bem estabelecido, embora a sacarose pareça ser essencial nesse processo.

As giberelinas parecem ter grande influência no florescimento, especialmente em plantas de dia longo. O etileno, que inibe a

floração da maior parte das espécies, promove o florescimento do abacaxi (*Ananas comosus*).



Refleta

Sabemos que o cultivo de flores é um nicho comercial bastante explorado no mundo todo. Você considera que a manipulação das plantas com flores (indução do florescimento, alteração no padrão de cores, etc.), para que elas se tornem comercialmente atrativas, deve obedecer a um limite?

Sem medo de errar

No início desta seção você deveria pensar em como responder, de forma teórica ou prática, a alguns questionamentos sobre adaptações das plantas ao ambiente em que vivem.

A primeira questão era sobre a capacidade de algumas plantas conseguirem subir em suportes e crescer sobre eles, como em videiras e maracujazeiros.

É senso comum dizer que plantas não se movimentam. Elas podem não se deslocar ou não se movimentar em escalas às quais estamos acostumados, mas não se pode negar que elas se movimentam. Dentre os fatores que levam as plantas a esse tipo de comportamento está o toque, o estímulo mecânico. Plantas como as citadas possuem uma resposta chamada tigmotropismo. Elas possuem gavinhas, estruturas já estudadas na Unidade 2, que ao tocarem em um suporte, têm crescimento diferencial e acabam se enrolando ao redor dele.

A segunda questão era sobre a capacidade de sementes germinarem na ausência de luz, no solo, enquanto aprendemos que as plantas precisam de luz para sobreviver e se desenvolver.

A luz exerce diversas influências sobre o desenvolvimento vegetal, mas essa influência pode ser, inclusive, inibitória de alguns processos nas plantas. Na germinação das sementes, ocorre um evento chamado fotoblastia, que se relaciona com os efeitos da luz sobre a germinação. Sementes que germinam no escuro, como aquelas abaixo da superfície do solo, são chamadas de fotoblásticas negativas.

A terceira pergunta questionava a regularidade do crescimento do eixo da planta após a germinação, com o caule sempre se

projetando para cima e a raiz, sempre para baixo.

Assim que emergem da semente, o caule e a raiz ajustam seu crescimento em resposta à ação da gravidade. A raiz, por crescer para baixo, a favor da gravidade, apresenta um movimento chamado de gravitropismo positivo; o caule, por crescer para cima, contra a gravidade, exibe gravitropismo negativo.



Uma forma de ilustrar o gravitropismo em caules e raízes emergentes é realizar uma atividade prática de curta duração e de fácil observação, veja a seguir:

Material:

- Duas placas transparentes (de vidro ou de acrílico);
- Quatro sementes (de milho ou de feijão, por exemplo);
- Algodão ou papel toalha o suficiente para recobrir uma das placas;
- Elástico ou barbante para amarrar as placas;
- Um pote de sorvete.

Procedimentos:

1. Cubra uma das placas com o algodão ou o papel toalha. Deixe uma sobra em uma das laterais (o papel/algodão "sai" da placa).
2. Posicione, sobre o algodão ou papel, as quatro sementes, de forma que cada uma delas fique orientada em uma direção.
3. Umedeça o algodão ou papel.
4. Coloque a outra placa sobre as sementes e amarre as duas placas com firmeza, de modo que as sementes fiquem presas e não caiam.
5. Posicione o conjunto dentro do pote de sorvete, com a sobra de papel/algodão em contato com o fundo. As placas devem

ficar o mais vertical possível, apoiadas na lateral do pote.

6. Coloque um pouco de água no fundo do pote, apenas o suficiente para umedecer a semente de papel/algodão. Mantenha o nível de água ao longo do experimento, pois o papel/algodão irá absorvê-la e hidratar as sementes.
7. Observe e anote os resultados de germinação (raiz e parte aérea) diariamente.

Independentemente da posição em que foram colocadas, deverão exibir o mesmo padrão de crescimento dos órgãos: caule para cima e raiz para baixo.

A última questão versava sobre o momento em que uma planta “percebe” que precisa florescer.

O principal sinal ao qual as plantas respondem com florescimento é a relação entre a duração dos períodos claros e escuros dentro de 24 horas (fotoperíodo). Há plantas que precisam de mais horas de claro do que de escuro e essas são classificadas como plantas de dia longo. Ao contrário, algumas espécies florescem quando o período de claro é menor que o de escuro – são as chamadas plantas de dia curto. Algumas plantas não exibem esses padrões, florescendo independente do fotoperíodo, sendo chamadas de plantas de dias neutros.

Avançando na prática

Ciência desde a infância

Descrição da situação-problema

Uma de suas alunas do curso, ao longo das aulas, lembrou de uma atividade realizada enquanto ela ainda estava nos anos escolares iniciais. Sua então professora pediu que eles plantassem feijões em três diferentes condições:

1. Germinadas e crescidas sob luz ambiente.
2. Germinadas na luz, mas crescidas totalmente no escuro, em uma caixa vedada.
3. Germinadas na luz, mas crescidas dentro de uma caixa fechada, com um buraco na lateral.

Todas as sementes foram deixadas sobre uma mesa da sala de

aula durante alguns dias e umedecidas igualmente. Após o tempo determinado, qual foi o resultado encontrado por sua aluna nos feijões crescidos em cada condição? Explique-os.

Resolução da situação-problema

Apesar de ser uma atividade simples, ela ilustra alguns aspectos da dependência das plantas no crescimento dos fatores ambientais. Neste caso, o que diferia entre os tratamentos era a disponibilidade da luz.

Na condição 1, os feijões devem ter crescido normalmente, expandindo suas primeiras folhas, que se tornaram verdes.

Na condição 2, as plântulas devem ter crescido de forma alongada, delgada, com folhas pequenas, amareladas e pálidas, adaptações que chamamos de estiolamento, que ocorre na ausência de luz.

Na condição 3, as plântulas devem ter crescido em direção ao buraco da caixa, por onde entrava luz. Esse movimento em direção ao estímulo luminoso é conhecido como fototropismo positivo.

Faça valer a pena

1.



Cientistas da Universidade de Edimburgo identificaram a genética que controla o metabolismo das plantas e o chamado "relógio interno" que regula o ritmo biológico diário. [...] os investigadores conseguiram detectar um total de 12 genes que, ao atuarem em conjunto em determinados momentos do dia, preparam a planta para as horas de sol ou de noite. Esta investigação pode ter profundas implicações na agricultura, já que o gene que controla a dormência também está ligado à florescência. Os resultados foram replicados por outra equipa baseada em Barcelona.

Em causa, está a compreensão do chamado 'ciclo circadiano [...]'

Fonte: Esclarecida a genética do ciclo diário das plantas. *Diário de Notícias*. Mar. 2012. Disponível em: <<https://www.dn.pt/ciencia/biosfera/interior/esclarecida-a-genetica-do-ciclo-diario-das-plantas-2354805.html>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

Marque a alternativa que explica corretamente o que seria o ciclo (ou ritmo) circadiano.

- a) Movimentos que a planta faz em direção à luz.
- b) Fatores externos, como a umidade, que sinalizam o florescimento.
- c) Movimentos que a planta faz em direção contrária à gravidade.
- d) Atividades que ocorrem em um ciclo de aproximadamente 24 horas.
- e) Necessidade de luz para que sementes germinem.

2.



Ao germinar no solo, a semente desenvolve um coleóptilo [...] que cresce verticalmente para cima enquanto as raízes se orientam para baixo. Essa resposta originalmente chamada de geotropismo por estar mergulhada na Terra (geo), foi alterada por sugestão da Nasa para (I) por ser a linguagem correta para descrever a resposta de crescimento vegetal estimulada pela força da (II), e que realmente representa um (III).

A resposta da raiz [...] é chamada de (I) positivo, enquanto que a resposta do coleóptilo [...] é chamada de (I) negativo. Esses tropismos opostos sugerem então uma pergunta: Como cada parte da planta “sabe” que deve crescer para cima ou para baixo?

A responsável por essa decisão é a (IV). A concentração desse hormônio vegetal é diferente nas duas metades superior e inferior de mudas de plantas orientadas horizontalmente. Tanto a raiz como o coleóptido contém maior quantidade de auxina nas metades inferiores e concentrações mais baixas nas metades superiores.

Adaptado de: COLLINS, Matt. Gravitropismo versus fototropismo. *Scientific American Brasil*. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/gravitropismo_versus_fototropismo.html>. Acesso em: 02 dez. 2017.

Assinale a alternativa que completa corretamente os números I, II, III e IV, respectivamente.

- a) gravitropismo – luz – nastismo – auxina.
- b) gravitropismo – gravidade – tropismo – auxina.
- c) fototropismo – gravidade – tropismo – giberelina.
- d) tigmotropismo – toque – nastismo – auxina.
- e) fototropismo – luz – tropismo – etileno.

3. A floração é uma etapa do desenvolvimento de muitas plantas que marca a passagem da fase adulta vegetativa para a fase adulta reprodutiva. A produção de flores nas plantas envolve regulação interna do organismo, independente de fatores ambientais, mas também pode depender de condições ambientais específicas a cada espécie.

Escolha a alternativa que faz uma relação correta dos fatores que podem levar ao florescimento das plantas.

- a) A indução da floração está relacionada com o fotoperíodo, portanto, envolve a ação dos fitocromos.
- b) A floração envolve fatores endógenos, como a temperatura, e externos, como os ritmos circadianos.
- c) A indução da floração está relacionada com a umidade do ambiente, num processo chamado vernalização.
- d) A indução da floração se relaciona com o fotoperiodismo, que é a resposta da planta à temperatura do ambiente.
- e) A floração envolve apenas a ação de fatores exógenos, como os hormônios vegetais.

Referências

- BELK, Colleen; MAIER, Virginia Borden. **Biology: science for life with physiology**. 4. ed. [s.l.]: Pearson Education, 2013. 717 p.
- CASTRO, Paulo R. C. et al. Ácido abscísico (ABA) no aumento da produtividade do tomateiro mutante "Sitiens". **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 83, n. 3, p. 208-213, 2008. Disponível em: <http://www.fealq.org.br/ojs/index.php/revistadeagricultura/article/view/1490/pdf_1117>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- CHALOUB, Ricardo Moreira. Fotossíntese: Reações luminosas? Não..., mas requerem luz. **Ciência Hoje**, v. 56, n. 331, p.18-23, nov. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/AfybdG>>. Acesso em: 10 nov. 2017.
- EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **RAVEN, Peter H. Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- HUBBARD, Katherine; DODD, Antony. Rhythms of Life: The Plant Circadian Clock. **The Plant Cell**, [s.l.], v. 28, n. 4, p.1-10, abr. 2016. American Society of Plant Biologists (ASPB). <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.116.tt0416>. Disponível em: <<http://www.plantcell.org/content/plantcell/suppl/2016/05/05/28.4.tpc.116.tt0416.DC1/TPPB33LectureNotes.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2017.
- KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- LEE, Sang Ho; CHO, Hyung-Taeg. PINOID Positively Regulates Auxin Efflux in Arabidopsis Root Hair Cells and Tobacco Cells. **The Plant Cell Online**, [s.l.], v. 18, n. 7, p.1604-1616, 9 jun. 2006. American Society of Plant Biologists (ASPB). Disponível em: <<http://www.plantcell.org/content/18/7/1604>>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- REECE, Jane B. et al. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.
- REECE, Jane B. et al. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.
- SADAVA, David et al. **Vida [recurso eletrônico]: a ciência da biologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. (v. 3. Plantas e animais).
- SADAVA, David et al. **Vida [recurso eletrônico]: a ciência da biologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. (v. 3. Plantas e animais).

SALLES, Ivan S.; BUCKERIDGE, Marcos S.. Cronobiologia vegetal: aspectos fisiológicos de um relógio verde. **Revista da Biologia**, v. 9, n. 3, p.45-49, dez. 2012. Revista da Biologia, Reitoria da Universidade de Sao Paulo. <http://dx.doi.org/10.7594/revbio.09.03.08>. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/revista/node/112>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**: [recurso eletrônico]. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**: [recurso eletrônico]. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**: [recurso eletrônico]. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VIEIRA, Elvis Lima et al. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: Edufma, 2010. 230 p. Disponível em: <[http://www.univale.br/sites/biblioteca/biblioteca_online_agronegocio/livrosbiblioteca/Manual de Fisiologia Vegetal.pdf](http://www.univale.br/sites/biblioteca/biblioteca_online_agronegocio/livrosbiblioteca/Manual%20de%20Fisiologia%20Vegetal.pdf)>. Acesso em: 19 nov. 2017.

WILLIAMS, M. E. Introduction to phytohormones. **The Plant Cell**, v. 22, p.1-9, 2010.

Diversidade e sistemática das plantas

Convite ao estudo

Você se lembra de ter ouvido falar sobre os grandes grupos de plantas ou, muitas vezes, de ter memorizado as principais características deles durante o período escolar? Já parou para se perguntar como as plantas podem ser tão diferentes em forma, tamanho, presença ou ausência de certas estruturas?

Nesta unidade, trataremos de entender como o conhecimento das formas externas, das estruturas internas e do funcionamento das plantas, assuntos estudados nas unidades anteriores, servem a uma ciência que organiza as plantas e nos ajuda a compreender as relações entre os grandes grupos e a perceber a importância dessa organização toda.

Como organizar todas as informações a respeito da grande diversidade da vida? A taxonomia e a sistemática são ferramentas que, de certa forma, permitem integrar dados de todos os campos de estudo da biologia: morfoanatomia, desenvolvimento, fisiologia, genética, entre outros. Com respeito à Botânica, não é apenas uma forma de organizar e classificar os grupos de plantas, mas sim de procurar entender a relação entre esses grupos, especialmente num sentido evolutivo.

Os professores do seu curso estão organizando uma feira de ciências, cujo objetivo é divulgar os ramos da Biologia para a comunidade universitária e a cidade. Você está em um grupo de alunos responsáveis por demonstrar as áreas de Taxonomia e Sistemática de plantas. Lembre-se de que os visitantes são leigos, não estão familiarizados com termos científicos, portanto, você e seu grupo, futuros professores, devem atentar-se para a utilização da terminologia correta e adequada,

porém, deverão ser capazes de transpor a linguagem científica para a compreensão popular.

Alguns aspectos dessa área de estudo que seu grupo deverá apresentar na feira são: diferenciar e explicar taxonomia e sistemática; aspectos evolutivos que são considerados no agrupamento dos vegetais; informar que, ao longo do tempo, foram desenvolvidos diversos sistemas de classificação das plantas, baseados em diferentes aspectos desses seres vivos; explicar como funciona a nomenclatura universal dos vegetais; apresentar as características principais e as formas de classificação das plantas com e sem sementes; contextualizar a importância dos grupos de plantas para a humanidade.

Na primeira seção serão abordadas: a sistemática das plantas, incluindo a taxonomia, bem como uma visão geral dos aspectos evolutivos dos vegetais. Na segunda seção nos dedicaremos a conhecer a diversidade e a classificação das plantas que não têm sementes. Por fim, na terceira seção serão apresentadas as plantas com sementes, sua diversidade, classificação e a relação que temos com os vegetais.

Seção 4.1

Sistemas de classificação dos vegetais

Diálogo aberto

Caro aluno, até o momento nós aprendemos o que são, como são e de que forma funcionam as plantas. Já deu para perceber que elas são muito diversificadas. Mas o que fazer com tantas informações disponíveis sobre as plantas? Você já considerou estabelecer grupos para os vegetais? Ou já sabe como isso é feito?

Organizar informações é facilitar o acesso a elas. Quando conhecemos, classificamos e organizamos os seres vivos, facilitamos o estudo dos grupos e dispomos de recursos essenciais à sua preservação; e quando falamos da diversidade vegetal, não é diferente.

Nesta seção, serão introduzidos alguns conceitos básicos da sistemática, uma ciência que, a grosso modo, classifica e organiza os vegetais. Vamos ver como funciona esse sistema e algumas regras que regem a nomenclatura botânica.

Para estudo desta unidade, você deve considerar que fará parte de uma ação de divulgação científica para a comunidade, no formato de feira de ciências, e que, portanto, deverá pensar em como organizar as informações para que elas sejam corretamente passadas aos visitantes, de forma acessível à sua compreensão.

Seu grupo recebeu três estandes para apresentar a taxonomia e a sistemática botânica na feira. Para garantir que todos os elementos do grupo passem as mesmas informações aos visitantes, elabore e apresente um roteiro que servirá de base para a apresentação no primeiro estande, considerando que:

- Deverão explicar aos visitantes as diferentes formas de organizar e classificar as plantas bem como as regras de nomenclatura aplicadas a elas.
- Deverão esclarecer qual a importância de se estudar sistemática.
- Deverão apresentar um breve panorama dos aspectos evolutivos das plantas – os quais são úteis em sua classificação.

Para elaborar esse roteiro e planejar sua apresentação, procure se informar sobre os fundamentos da sistemática vegetal, a taxonomia e os aspectos evolutivos das plantas.

Não desanime com a grande quantidade de novos termos apresentados! A palavra-chave é: organização.

Não pode faltar

Fundamentos da sistemática vegetal

A **sistemática**, de forma ampla, é uma ciência descritiva e comparativa, que agrupa os organismos baseando-se em similaridades estruturais e outros caracteres, ao mesmo tempo que busca as relações evolutivas entre eles. Para isso, ela pode se valer de todos os campos de estudo da biologia: morfologia, anatomia, desenvolvimento, paleontologia, fisiologia, genética, entre outros.



Assimile

Sistemática é uma ciência que estuda a história evolutiva da diversidade biológica. Ela inclui descobrir, descrever e interpretar essa diversidade, estabelecendo uma compreensão histórico-evolutiva sobre os diversos fenômenos biológicos bem como os organismos neles envolvidos. Isso envolve adquirir, analisar e sintetizar as informações sobre as plantas.

O objetivo geral dos estudiosos da sistemática, chamados sistematas, é **desvendar os ramos da árvore evolutiva da vida**, que apresenta as relações genealógicas entre os seres vivos conectados a uma única espécie ancestral. Podemos dizer que os sistematas se pautam nos princípios da evolução para descobrir a filogenia da vida.

Um ponto importante na sistemática é a origem de uma similaridade, que pode indicar a herança de um antepassado comum; refletir a adaptação de organismos não aparentados a um ambiente semelhante ou, ainda, a origem de uma diferença que pode se relacionar a histórias evolutivas separadas ou as adaptações a ambientes muito diferentes de organismos próximos.

Quando estruturas possuem uma origem comum, mas não necessariamente a mesma função, são chamadas de **homólogos**. Por sua vez, quando função e aparência externa são semelhantes, porém, com origens distintas, as estruturas em questão são denominadas **análogas**.



Folhas, cotilédones, brácteas e partes florais são estruturas homólogas, pois são modificações de um mesmo tipo de órgão (folha), mas têm funções e aparências diferentes.

Espinhos de cactos e de espinheiro-branco são estruturas análogas, pois o primeiro tem origem na modificação de uma folha, enquanto o segundo é um caule modificado.

Figura 4.1 – Espinhos de cactos (A) e espinheiro-branco (B), estruturas análogas



Fonte (A): <<https://goo.gl/fqR6cc>>; (B) <<https://goo.gl/d6NjwN>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

Sistemas de classificação e nomenclatura botânica

Quando nos propomos a organizar alguma coisa, precisamos estabelecer critérios. Por exemplo: você guarda sua roupa por cores, tipos de roupa ou estações de uso? Separaria as cartas de um baralho por cor, naipe ou valores? Classificar plantas também depende de critérios e, dependendo deles, são distinguidos três sistemas de classificação: artificial, natural e filogenético.

Os **sistemas artificiais** se baseiam em um ou poucos caracteres para classificar os organismos, como, por exemplo, a morfologia externa dos órgãos ou o hábito da planta. Os **sistemas naturais** consideram uma maior quantidade de caracteres, estabelecendo relações entre eles, ainda sem um caráter evolutivo. Os **sistemas filogenéticos**, usados atualmente, não apenas informam, mas também refletem relações evolutivas entre os organismos estudados, agrupando os táxons de acordo com ancestralidade e descendência incluindo o maior número de dados naturais possíveis.

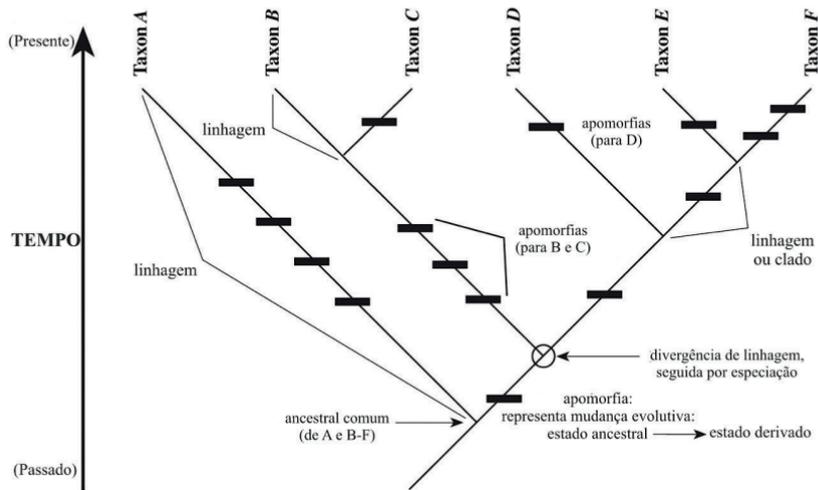
O desenvolvimento de técnicas moleculares permitiu uma comparação dos genes dos organismos, levando a dados que indicam

com mais propriedade as relações evolutivas entre esses organismos.

A filogenia é frequentemente representada por um cladograma, também chamado de árvore evolutiva ou árvore filogenética. Trata-se de um diagrama de ramos que representa um modelo das relações evolutivas em um grupo de organismos, resumindo as relações entre ancestrais e descendentes. Essa representação gráfica é resultado da interpretação de um ou vários pesquisadores em conjunto.

Em um cladograma, exemplificado na Figura 4.2, as linhas representam **linhagens**. Cada ramo de um cladograma indica uma divergência de linhagens **a partir de um ancestral comum**. Também são marcados os **caracteres que sofreram modificações** e a posição em que eles provavelmente se originaram. Além disso, cladogramas podem apresentar uma escala de tempo relativa (ou seja, um evento ocorreu antes ou depois de outro, mas não indica quando, ou por quanto tempo, de maneira exata).

Figura 4.2 | Exemplo de cladograma ou árvore filogenética para seis táxons (A-F)



Fonte: Traduzido e adaptado de Simpson (2010, p. 14).

Uma classificação filogenética precisa reconhecer apenas grupos monofiléticos. Um grupo **monofilético** (também chamado **clado**) inclui um ancestral e todos os seus descendentes. Reconhece-se um grupo monofilético pelas suas **sinapomorfias**, que são **caracteres derivados compartilhados** que se originaram no ancestral comum

de um grupo e são observadas em todos os seus membros. Quando um caráter é novo em um grupo, ou seja, diferente da população ancestral, é chamado de derivado ou **apomórfico** (a condição derivada é chamada apomorfia) e indica o estabelecimento de uma nova linhagem.

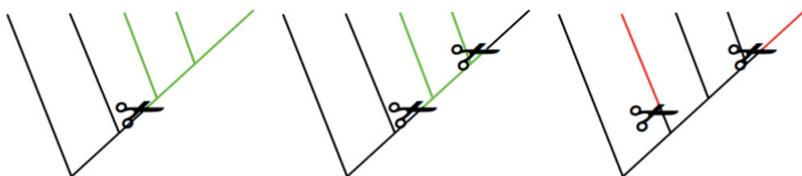
Conforme avançam os estudos e mais informações são adicionadas, muitas vezes um grupo taxonômico deixa de ser monofilético. Então ele passa a ser parafilético ou polifilético. Um **grupo parafilético** (que não recebe nome formal) inclui o ancestral comum e, alguns, os descendentes desse ancestral. Quando um grupo contém membros de dois ou mais diferentes ramos, cada um com um ancestral diferente, ele é chamado **grupo polifilético**. Uma ilustração dos três grupos pode ser conferida na Figura 4.3.



Exemplificando

Para facilitar a compreensão, imagine que um grupo monofilético poderia ser "retirado" de um cladograma com apenas um "corte". Grupos parafiléticos e polifiléticos precisariam de, ao menos, dois "cortes" para serem isolados.

Figura 4.3 | (A) Grupo monofilético, com o ancestral comum e todos os seus descendentes (em verde). (B) Grupo parafilético, com o ancestral comum de alguns (em verde), mas não de todos os seus descendentes. (C) Grupo polifilético, com dois ou mais ancestrais



Fonte: adaptado de Shipunov (2016, p. 31).



Refleta

Se você fosse responsável por criar um novo sistema de classificação, quais critérios levaria em consideração para organizar as plantas?

Uma ferramenta importante dentro da sistemática é aquela que, seguindo algumas normas, se ocupa em identificar, descrever, denominar e classificar os organismos, chamada **taxonomia**. Para as

plantas, as normas dos nomes científicos são indicadas pelo Código Internacional de Nomenclatura Botânica, que também é responsável pelas regras de nomenclatura de protistas fotossintetizantes e fungos.

A organização taxonômica é hierárquica e, no geral, são aceitos sete níveis taxonômicos (ou categorias) principais, do mais alto para o mais específico: reino, filo, classe, ordem, família, gênero e espécie. Em plantas, antes se atribuía “divisão” para filo, portanto não é incomum encontrarmos essa categoria. Cada grupo dentro de uma categoria é chamado de táxon (latim: *taxon*; plural: *taxa*). Por exemplo, gênero é uma categoria e espécie é outra categoria. *Phaseolus* é um táxon dentro da categoria gênero, e *Phaseolus vulgaris* é um táxon dentro da categoria espécie.

A categoria família, em plantas, inclui nomes que terminam em –**aceae** (há exceções) e, na categoria ordem, os nomes terminam em –**ales**. Veja os exemplos na Figura 4.4. Denominação de espécies seguem um **sistema binomial** (com dois nomes), que teve início no século XVIII com o trabalho do naturalista sueco Carlos Lineu (1707-1778). O nome de uma espécie consiste de duas partes: **gênero e epíteto específico**, nesta ordem. O nome genérico pode ser apresentado sozinho, se ele estiver representando todas as plantas que pertencem àquele gênero, mas um epíteto específico não tem significado quando escrito de forma isolada.

Figura 4.4 | Principais categorias taxonômicas aceitas pelo Código Internacional de Nomenclatura Botânica e exemplos de táxons para o guaranazeiro (*Paullinia cupana* Kunth).

CATEGORIA	TAXON
Reino	Plantae
Filo = Divisão	Tracheophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordem	Sapindales
Família	Sapindaceae
Gênero	<i>Paullinia</i>
Espécie	<i>Paullinia cupana</i>



Fonte: <<https://goo.gl/ziw1GG>>; <<https://goo.gl/Udygms>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

O nome científico de uma espécie deve estar sempre *em itálico* (ou sublinhado, quando manuscrito), sendo que o gênero traz a primeira letra em caixa alta, mas o epíteto específico sempre começa com letra minúscula. Além disso, o nome genérico pode

ser abreviado pela primeira letra, desde que seu nome completo tenha sido apresentado uma primeira vez e que outro gênero que comece com a mesma letra não tenha sido citado. Por exemplo: *Phaseolus vulgaris* ou *P. vulgaris*.

Devido ao seu contexto histórico e por ser uma língua que não sofre mais alterações, o Latim foi adotado como idioma para a nomenclatura botânica. Dessa forma, independentemente do local de origem, um nome botânico em latim (ou latinizado) deverá ser compreendido em todas as partes do mundo, evitando conflitos idiomáticos. Além disso, os nomes científicos botânicos estão associados a um autor, geralmente a pessoa que validou aquele nome. Por exemplo: *Phaseolus vulgaris* L. é o nome científico de uma espécie de feijão, que foi primeiramente publicado por Lineu (nem sempre o nome é abreviado).

Figura 4.5 | Exemplo da nomenclatura científica binomial para o feijão



Fonte: elaborada pela autora.



Pesquise mais

Leia mais sobre os fundamentos da sistemática vegetal e a nomenclatura botânica nas páginas 3 a 14 da apostila indicada:

YAMAGISHI-COSTA, J. et al. **Apostila Sistemática de Criptógamas**. Uberlândia, [s.d.]. Disponível em: <http://www.criptogamas.ib.ufu.br/sites/criptogamas.ib.ufu.br/files/file/Apostila_de_Sistemática_de_Criptogamas2.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2017.

O projeto Flora Brasiliensis traz um banco de dados e imagens on-line com mais de 20 mil espécies, a maioria de ocorrência no Brasil. Tem como base o livro homônimo.

Flora brasiliensis On-line. Disponível em: <<http://florabrasiliensis.cria.org.br/>>. Acesso em: 8 dez. 2017.

Aspectos evolutivos dos vegetais

As plantas, assim como todos os organismos vivos, têm uma longa história evolutiva, com incontáveis mudanças no decorrer do tempo. Como já abordado na Seção 1.1, uma das teorias mais aceitas, fundamentada em evidências morfológicas, bioquímicas e moleculares dos registros fósseis e dos grupos atuais, é a de que as plantas terrestres evoluíram das algas verdes.

As plantas terrestres compartilham diversas novidades evolutivas que resultaram das adaptações na transição do ambiente aquático para o terrestre. Todas elas compartilham, por exemplo, apomorfias como parede celular celulósica ou um tipo particular de cloroplasto, que difere daquele das algas pardas, por conter clorofila b (além da clorofila a, que é um caráter ancestral), tilacoides empilhados (grana) e estocar amido.

Paredes celulares resistentes, contribuindo para o suporte dos vegetais, e estruturas especializadas para ancorar os indivíduos aos substratos rochosos próximos ao ambiente aquático foram aquisições importantes. A partir disso, a competição por recursos, especialmente água e luz, ajudou a direcionar a evolução dos vegetais e o aumento de tamanho seria uma forma de se destacar. Porém um aumento de tamanho corporal requer a necessidade de conduzir, de forma eficiente, água e nutrientes para todas as partes da planta. Esse “problema” foi resolvido com o desenvolvimento do sistema vascular, o que originou o grupo hoje chamado de traqueófitas ou plantas vasculares.

A divisão de tarefa entre os diferentes órgãos das plantas contribuiu para solucionar a questão da relativa imobilidade dos vegetais (ou seja, do fato de não se deslocarem de um local a outro): raízes ancoram a planta e retiram água e nutrientes do solo; caules suportam os principais órgãos fotossintetizantes, que são as folhas.

Além da obtenção de água, outro aspecto associado à evolução das plantas é a diminuição da perda dessa água. Uma estrutura importante, nesse sentido, é a epiderme recoberta pela cutícula que, por outro lado, dificulta as trocas gasosas entre os ambientes interno e externo da planta. Entram, aí, os estômatos.

Algumas adaptações reprodutivas também devem ser consideradas, como a resistência dos esporos aos ambientes secos e gametas protegidos contra a desidratação. Nas espermatófitas

as sementes permitiram uma certa independência da água do ambiente, já que elas protegem o embrião da seca e de predadores bem como o alimentam com suas reservas. Óvulos surgiram e grãos de pólen evoluíram, representando adaptações ao ciclo de vida. O pólen se diferencia estrutural e funcionalmente dos esporos, uma vez que transferem os gametas diretamente para o óvulo.

Visão geral dos grupos de plantas verdes

Ao longo deste livro estão sendo consideradas plantas verdes as chamadas embriófitas ou plantas terrestres (que possuem alguns representantes aquáticos). Uma das principais sinapomorfias das plantas verdes é o embrião protegido por tecidos da planta parental, daí o nome “embriófitas”.

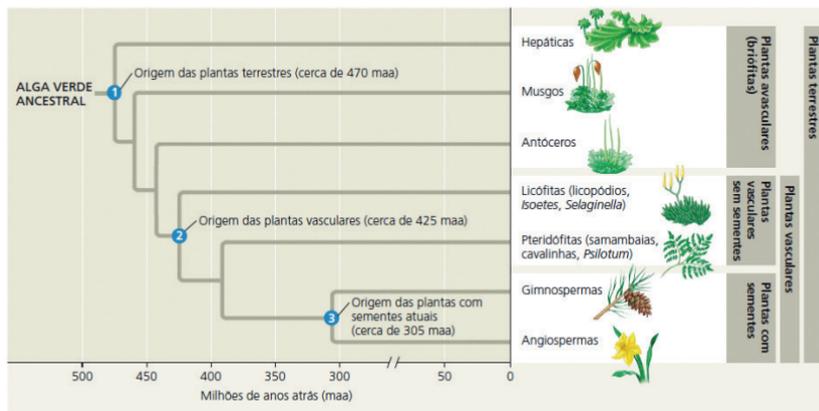
As plantas verdes possuem ciclo de vida com duas gerações, um estágio embrionário, estruturas protetoras de gametas e cutícula. Além desses caracteres morfológicos, trata-se de um grupo monofilético, ou seja, todas as plantas verdes descendem de um único ancestral comum a todas elas e formam um ramo na árvore evolutiva – fato sustentado por análise de caracteres de DNA.

De maneira geral, as plantas verdes são divididas em dois grupos: um menor, que inclui as hepáticas, os antóceros e os musgos, e um maior, que engloba as traqueófitas ou plantas vasculares.

Uma parte das traqueófitas inclui plantas com flores, chamadas de Angiospermas, que são as mais importantes para os ecossistemas terrestres e para a relação humana com os vegetais. O grupo que inclui hepáticas, antóceros e musgos é avascular e comumente chamado de “briófitas”. No entanto, acredita-se que esse grupo seja parafilético, sendo os musgos mais próximos das traqueófitas do que das hepáticas e dos antóceros. Observe a Figura 4.6, que mostra uma relação evolutiva entre os grupos de plantas.

Observe que o cladograma apresenta uma conformação diferente dos mostrados nas figuras anteriores. Os dois tipos de representação são aceitos.

Figura 4.6 | Esquema mostrando uma hipótese atual sobre a filogenia dos vegetais



Fonte: Reece (2015, p. 617).

O mesmo acontece com o grupo que costumamos chamar de “pteridófitas”, que são as plantas vasculares sem sementes. As samambaias são mais próximas das plantas com sementes do que dos licopódios, portanto, “pteridófita” seria um grupo parafilético.

Em relação às gimnospermas, parece ainda não haver consenso: alguns autores consideram esse grupo como monofilético, enquanto outros o interpretam como sendo parafilético.

Ou seja, apenas as Angiospermas são genuinamente um grupo monofilético, o qual compreende a maior parte da diversidade de plantas verdes como um todo.

Cada um dos grupos de plantas verdes será abordado nas próximas seções desta unidade.

Sem medo de errar

Nesta seção você deveria elaborar um roteiro para preparar o estande do seu grupo numa feira de Ciências. O tema era Taxonomia e Sistemática Botânica. Nesse roteiro, alguns pontos deveriam ficar claros para uniformizar a apresentação dos integrantes do grupo e estão descritos a seguir.

Para esclarecer qual a importância de se estudar sistemática, você pode fazer analogias com critérios de organização que as pessoas têm em suas casas: como organizam os utensílios domésticos, por

exemplo, suas roupas, os calçados no armário ou os livros na estante. O estudo e a preservação da biodiversidade vegetal serão mais completos, corretos e compreensíveis se conhecermos o máximo possível das espécies vegetais e organizarmos essas informações, a fim de que elas estejam acessíveis.

Estudar Sistemática também nos permite entender as mudanças evolutivas que as plantas tiveram ao longo de sua história na Terra, como:

- Estruturas que permitiram que elas se ancorassem ao solo e, dele, retirassem água e sair minerais (raízes).
- Sustentação para suas folhas e seu crescimento em altura, aumentando sua capacidade fotossintética enquanto distribuíssem água e nutrientes de forma eficiente pelo corpo (caules e sistema vascular).
- Estruturas que minimizassem a perda de água por evaporação (epiderme com cutícula).
- Estruturas que controlassem a troca gasosa sem aumentar a perda de água (estômatos).
- Estruturas reprodutivas que protegiam o embrião do dessecação (sementes), entre outras.

Não se esqueça de apresentar exemplos do nosso cotidiano, como apresentar nomes científicos de plantas que utilizamos na alimentação, ou que são representantes da nossa flora, e imagens que mostrem as estruturas mencionadas. Seguem algumas sugestões.

- Pergunte a um visitante se ele já tentou colher um pé de mandioca na época da colheita (ou uma cenoura, uma beterraba. O importante é escolher uma raiz, mas quanto mais resistência a raiz oferecer à força exercida, melhor será a ilustração) e se foi fácil tirá-la do solo. Provavelmente ele dirá que não foi fácil, então, associe essa informação à ancoragem da raiz ao solo. O nome científico da mandioca é *Manihot esculenta* Crantz.

- Você também pode perguntar aos visitantes se eles sabem qual a árvore considerada símbolo do Brasil. Pode ser que alguns respondam que é o pau-brasil; além do nome, sempre ouvimos as histórias sobre a exploração dessa árvore na época da colonização do país. No entanto, a árvore-símbolo do nosso país é o ipê-amarelo.

Pau-brasil e ipê-amarelo são árvores lenhosas e podem atingir cerca de 15 m e 30 m, respectivamente, podendo ser utilizadas para ilustrar como as plantas, na sua história evolutiva, puderam crescer em altura e habitar ambientes diversos. O nome científico do pau-brasil é *Paubrasilia echinata* (Lam.) Gagnon, H.C.Lima & G.P.Lewis (também conhecida como *Caesalpinia echinata* Lam., nome anterior) e o do ipê-amarelo é *Handroanthus albus* (Cham.) Mattos.

- Outra sugestão é comentar sobre os nomes científicos dos vegetais que compõem o prato típico brasileiro: arroz (é uma gramínea, do gênero *Oriza*, sendo uma das mais conhecidas a espécie *Oryza sativa* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), alface (*Lactuca sativa* L.), e tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Você também pode adaptar o exemplo para a culinária típica de sua região.

Faça valer a pena

1. Você comprou um xampu que continha extrato da planta conhecida como babosa na composição, pois ouviu dizer que era um bom hidratante para os cabelos. Ao analisar o rótulo, viu que, dentre os componentes, estava a “Aloe Vera” e você sabia que esse era o nome científico da babosa. Assinale a alternativa correta sobre a informação contida no rótulo do xampu.

- a) O nome científico está grafado corretamente, mas deveria trazer, obrigatoriamente, a família à qual pertence a espécie.
- b) O nome científico está grafado de forma incorreta. Deveria ter sido escrito em itálico: *Aloe Vera*.
- c) O nome científico está grafado de forma incorreta. Deveria ter sido escrito em itálico e com a primeira letra do epíteto específico minúscula: *Aloe Vera*.
- d) O nome científico está grafado corretamente, nenhuma alteração deveria ser feita.
- e) O nome científico está grafado de forma incorreta. Deveria ter sido escrito com a primeira letra do gênero para minúscula: aloe Vera.

2. As fotos abaixo mostram três plantas, com destaque para suas folhas: as da esquerda são modificadas para capturar insetos; as folhas do meio lembram pétalas; as da direita são modificadas em espinhos para reduzir a perda de água e proteger o cacto contra a herbivoria.

Apesar de serem muito diferentes em forma e função, todas essas folhas têm a mesma origem.



Fonte: <<https://goo.gl/C1AZFg>>; <<https://goo.gl/TTScbf>>; <<https://goo.gl/87CVE3>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

Marque a alternativa que explica e denomina corretamente a condição apresentada por essas folhas.

- a) São estruturas homólogas, pois têm uma origem comum, embora sejam adaptadas de forma diferente em cada espécie.
- b) São estruturas homólogas, pois têm uma origem distinta, mas funções e aparência externa semelhantes.
- c) São estruturas análogas, pois têm uma origem comum, embora sejam adaptadas de forma diferente em cada espécie.
- d) São estruturas análogas, pois têm uma origem distinta, mas funções e aparência externa semelhantes.
- e) São estruturas homólogas, pois têm uma origem comum e funções e aparência externa semelhantes.

3. José não tinha certeza se havia entendido corretamente a explicação da professora sobre cladogramas, durante a aula de sistemática vegetal. Para fazer uma autoavaliação, resolveu elaborar um resumo, começando pela definição:

“Um cladograma é um diagrama que apresenta os grupos de organismos apenas considerando os caracteres que são diferentes entre eles, sem representar relações evolutivas entre os grupos”.

Depois, levou o resumo para a professora corrigir e ela o informou que a definição estava incorreta.

Marque a alternativa que indica qual seria a forma correta de corrigir o resumo de José.

- a) “Um cladograma é um diagrama que apresenta os grupos de organismos

considerando apenas a aparência dos integrantes e não indica relações evolutivas entre os grupos.”

b) “Um cladograma é um esquema que apresenta os grupos de organismos considerando suas características diferentes e indicando relações evolutivas entre os grupos.”

c) “Um cladograma é um diagrama que apresenta os grupos de organismos considerando características compartilhadas entre eles, mas sem indicar relações evolutivas entre os grupos.”

d) “Um cladograma é um esquema que apresenta os grupos de organismos considerando apenas a aparência dos integrantes, indicando relações evolutivas entre os grupos.”

e) “Um cladograma é um diagrama que apresenta os grupos de organismos considerando características compartilhadas entre eles, indicando relações evolutivas entre os grupos.”

Seção 4.2

Diversidade das plantas sem sementes

Diálogo aberto

Depois de conhecer as plantas por fora e por dentro, entender como elas conseguiram se estabelecer nos mais diversos ambientes da Terra, sejam mínimas em tamanho ou gigantescas árvores, chegou o momento de conhecer um pouco da sua diversidade e de como elas são organizadas de acordo com suas características morfoanatômicas, fisiológicas e moleculares. Você consegue, agora, dar uma volta pelo jardim e olhar para as plantas de uma forma diferente do que antes? Esperamos que sim!

Lembre-se de que o objetivo geral desta unidade é que você consiga interpretar a forma como os grupos de plantas são organizados e compreender a relação existente entre eles. O que coloca essas plantas em um mesmo grupo? O que as torna diferentes a ponto de serem alocadas em diferentes cladogramas?

Na seção anterior, você e seu grupo deveriam organizar um estande na feira de ciências e explicar ao público algumas noções de sistemática e taxonomia botânica. Seguindo esse panorama, agora vocês estão em um segundo estande, no qual seu grupo deverá apresentar aos visitantes as plantas terrestres sem sementes. Para integrar diversidade e filogenia, após a explicação teórica sobre as plantas sem sementes, sugira que os visitantes “montem” um cladograma de acordo com o que conhecem e aprenderam.

Desenvolva uma atividade interativa nesses termos:

- Elabore um cladograma interativo.
- Utilize imagens diversas dos diferentes grupos de plantas sem sementes ou, até mesmo, leve exemplares vivos para que a interação dos visitantes seja ainda mais expressiva: quais exemplos você selecionaria e por quê?
- Justifique a escolha do sistema de classificação que vocês utilizaram e não se esqueça de associar os termos mais atualmente aceitos àqueles com os quais os visitantes têm mais familiaridade.

Para resolver essa tarefa, você precisará se familiarizar com a diversidade das plantas avasculares e vasculares sem sementes e com a forma como elas são classificadas filogeneticamente.

Não pode faltar

Nesta seção começaremos a caracterizar os grandes grupos de plantas terrestres. Saiba, no entanto, que, apesar de cada grupo apresentar características em comum, cada um deles é composto por outros subgrupos que têm suas particularidades. Aqui, iremos ressaltar as características gerais, mas não se esqueça de buscar informações mais detalhadas.

Caracterização e diversidade das plantas avasculares

Comumente chamadas de plantas não vasculares, plantas avasculares ou, ainda, “briófitas”, **musgos**, **hepáticas** e **antóceros** (Figura 4.7) são plantas de **pequeno porte**, raramente atingindo mais do que poucos centímetros. Elas, geralmente, habitam **locais úmidos**, sobre troncos de árvores, ou margeando pântanos e cursos d’água. Entretanto, muitas espécies podem ser encontradas em desertos secos, incluindo locais de frio intenso, como a Antártida, e sobre rochas expostas que podem se tornar muito quentes. Embora essencialmente terrestres, algumas espécies são completamente aquáticas e outras se encontram sobre rochas banhadas pela água do mar.

As plantas avasculares são consideradas colonizadoras primárias em rochas e solos expostos, assim como os líquens, e são, também, sensíveis à poluição do ar.

Figura 4.7 | Representantes das plantas avasculares: (A) hepáticas (*Marchantia* sp.); (B) musgos (*Polytrichum* sp.); (C) antóceros (*Anthoceros* sp)

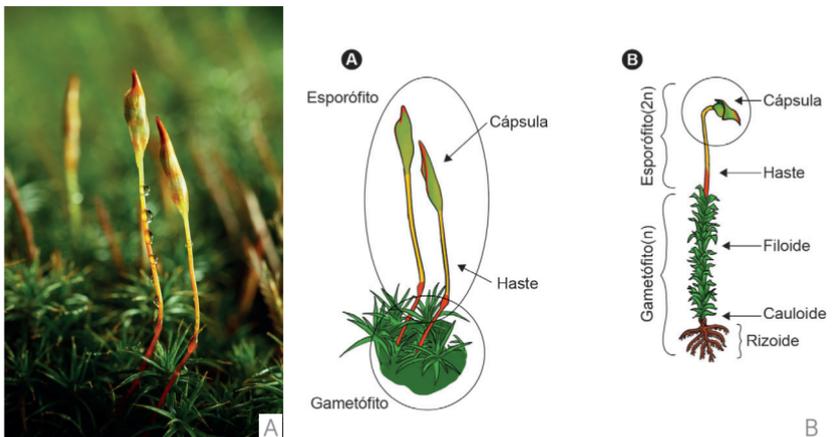


Fonte: (A) <<https://goo.gl/BwAbDj>>; (B) <<https://goo.gl/4RNUMF>>; (C) <<https://goo.gl/qCa9Ac>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

Como o nome indica, as plantas avasculares diferem das vasculares por **não possuírem tecidos vasculares** condutores de água e substâncias nutritivas (xilema e floema). A condução é feita célula a célula e as paredes dessas células não são lignificadas. O **gametófito** dessas plantas pode ser **folhoso** ou **taloso**. As talosas têm corpo tipo talo, que é achatado e considerado uma forma ancestral. Esses talos podem ser finos, facilitando a captação de água e de CO₂, mas algumas hepáticas podem ter poros na superfície para aumentar a entrada de CO₂ e evitar a perda de água. Porém estômatos verdadeiros (com células-guarda que controlam a abertura e o fechamento estomático) são encontrados apenas em musgos e antóceros.

Algumas hepáticas e os musgos possuem estruturas semelhantes a folhas e caules, comumente chamados **filoides** e **cauloides**, respectivamente, mostrados na Figura 4.8. Tais estruturas, ao contrário das plantas vasculares, não têm xilema nem floema e ocorrem na fase gametofítica, não na esporofítica. Essas plantas se prendem ao substrato por estruturas denominadas **rizoides**, que lembram raízes em aspecto, mas não absorvem água e sais, o que ocorre ao longo das superfícies expostas do gametófito. Alguns musgos têm células especializadas na condução de água, chamadas **hidroides** e **leptoides**.

Figura 4.8 | (A) Esporófitos de musgo sobre gametófitos. (B) Esquema mostrando as partes de um musgo



Fonte: (A) <<https://goo.gl/eRXaA2>>; (B) adaptada de <<https://goo.gl/A7GqTh>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

As hepáticas receberam esse nome devido ao seu formato, que lembra o do fígado. É um grupo com cerca de 8 mil espécies de plantas, geralmente pequenas, que podem ser talosas ou folhosas e são as filogeneticamente mais próximas às algas verdes.

Os musgos compõem um grupo com cerca de 13 mil espécies. Os gametófitos são, geralmente, folhosos e, provavelmente, as plantas avasculares mais conhecidas.



Exemplificando

Nem tudo o que é chamado de “musgo” pertence ao grupo de plantas avasculares. Alguns organismos que recebem essa denominação são, na verdade, líquens (musgos-das-renas), plantas vasculares (*Tillandsia*, uma bromélia) ou até mesmo invertebrados briozoários (musgos do mar).

O esfagno (*Sphagnum*) é um musgo de grande importância econômica, comumente utilizado como substrato para plantas, devido à sua capacidade de absorver água e reter umidade.

Os antóceros formam a linhagem menos diversificada das plantas avasculares, contando com menos de 400 espécies e considerado o mais próximo das plantas vasculares; são talosos e encontrados em ambientes semelhantes aos delas, mas possuem estômatos, como os musgos.

Assim como as plantas vasculares, as avasculares possuem alternância das gerações gametofíticas e esporofítica, que possuem diferenças morfológicas. Nas avasculares, o gametófito é a forma maior, dominante, duradoura, fotossintetizante; o esporófito é menor, efêmero, nutricionalmente dependente do gametófito parental, além de não ser ramificado e apresentar um único esporângio.

Algumas plantas avasculares podem se reproduzir assexuadamente, por fragmentação ou produção de gemas (ou propágulos), originando novos gametófitos completos. Na reprodução sexuada, elas produzem anterídios, que são os gametófitos masculinos, e os arquegônios, que são os gametófitos femininos. Nos anterídios estão os anterozoides (gametas masculinos), que são biflagelados e nadam para alcançar o arquegônio, dentro do qual está uma oosfera (gameta feminino) – daí a necessidade de água líquida para a reprodução das plantas avasculares.

Uma vez que houve fecundação, o zigoto diploide fica retido no arquegônio, onde será nutrido, passará por mitoses e dará origem a um embrião multicelular. Esse embrião se desenvolverá em um esporófito diploide, dentro do qual há células que se dividirão por meiose, produzindo esporos haploides. Os esporos, ao serem liberados e encontrarem condições adequadas, germinarão e formarão novos gametófitos, completando o ciclo de vida.



Refleta

Você considera adequada a classificação das plantas avasculares como terrestres, mesmo que elas tenham dependência da água para a reprodução?

Classificação e filogenia das plantas avasculares

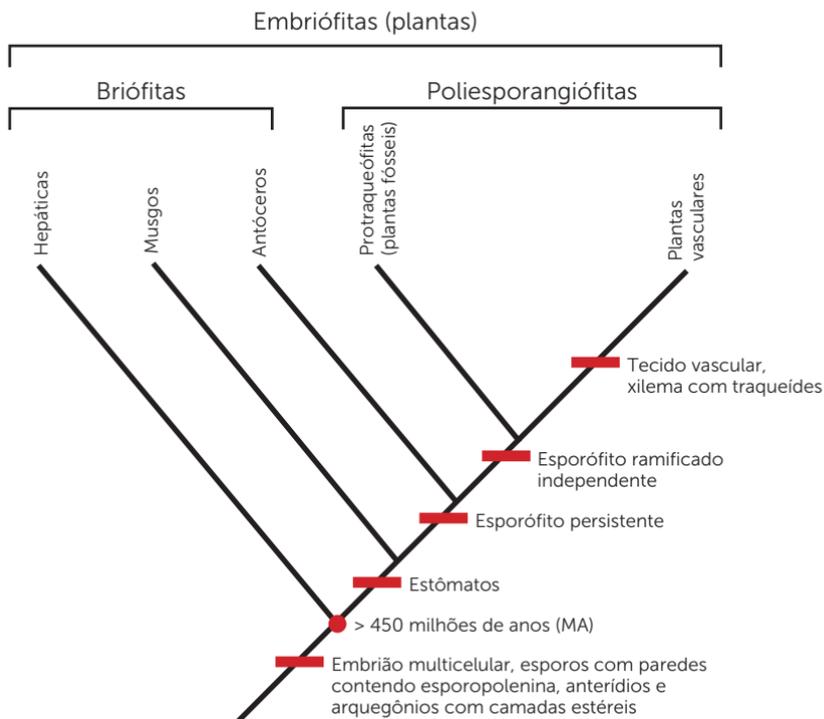
Na evolução das plantas, as três linhagens de plantas avasculares se divergiram antes das plantas vasculares: Marchantiophyta (hepáticas), Bryophyta (musgos) e Anthocerotophyta (antóceros) (Figura 4.9).

“Briófitas” é um termo informal usado para se referir a organismos com habitats ou adaptações semelhantes, mas trata-se de um grupo parafilético (veja Seção 4.1) e, quando usado, deve ser escrito entre aspas.

Estômatos seriam uma apomorfia (condição derivada) compartilhada entre os musgos e os antóceros, colocando esses dois grupos mais próximos às plantas vasculares. Um esporófito alongado e aéreo, também encontrado nesses dois grupos, seria um possível precursor do caule aéreo e esporófito das plantas vasculares.

Alguns caracteres que distinguem os principais clados são mostrados a seguir.

Figura 4.9 | Cladograma de embriófitas (plantas terrestres), evidenciando uma das hipóteses das relações filogenéticas entre as linhagens das plantas avasculares (“briófitas”)



Fonte: Evert e Eichhorn (2014, p. 719).



Pesquise mais

Para saber mais sobre as plantas avasculares, você pode consultar as páginas 137 a 147 do material a seguir:

CHOW, F. et al. (Org.). **Introdução à Biologia das Criptógamas**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo - Departamento de Botânica, 2007. Disponível em: <http://felix.ib.usp.br/apostila_cripto.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2017.

Explore o site a seguir para obter outras informações sobre as plantas avasculares e vasculares sem sementes, além de imagens dos representantes de cada grupo.

YAMAGISHI-COSTA, J. et al. **Sistemática de Criptógamas**. Disponível em: <<http://www.criptogamas.ib.ufu.br/node/5>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Caracterização e diversidade das plantas vasculares sem sementes

As plantas vasculares sem sementes são bastante diversas, com cerca de 12 mil espécies que ocupam florestas, troncos e ramos de árvores e outros ambientes geralmente úmidos. Há representantes terrestres, epífitos e, mais raramente, aquáticos. Alguns deles são mostrados na Figura 4.10.

As plantas vasculares, com ou sem sementes, compartilham algumas apomorfias, como: esporófitos independentes nutricionalmente e maiores do que os gametófitos, além de serem ramificados e produzirem mais esporos que as plantas avasculares; paredes celulares lignificadas; esclerênquima; xilema e floema com células especializadas no transporte de água e nutrientes; endoderme; raiz com função de fixação e absorção.

Essas plantas apresentam raízes, caules e folhas como especialização evolutiva, no entanto, apesar de possuírem xilema e floema, não desenvolveram crescimento secundário. Em relação a essas características, pode haver exceções.

Figura 4.10 | Representantes das plantas vasculares sem sementes: (A) licopódio (*Lycopodium* sp.); (B) samambaia; (C) avenca; (D) Cavalinha (*Equisetum* sp.)



Fonte: (A) <<https://goo.gl/Lwoqrl>>; (B) <<https://goo.gl/N45Gvu>>; (C) <<https://goo.gl/kfb7CJ>>; (D) <<https://goo.gl/pkvgAt>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

As plantas vasculares podem ser divididas em licófitas e eufilófitas, e estas últimas incluem dois grupos principais: as monilófitas (apresentadas a seguir) e as espermatófitas (ver Seção 4.3). As plantas

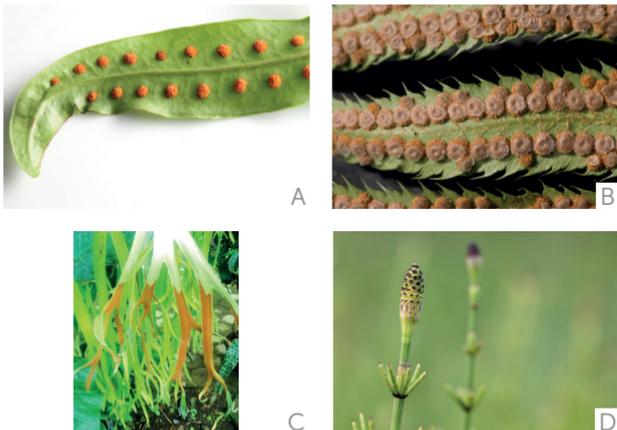
vasculares sem sementes incluem as licófitas e as monilófitas.

As licófitas contribuem com cerca de mil espécies que apresentam algumas particularidades, como ápice da raiz dicotômico (o meristema apical da raiz pode originar duas raízes), ausência de raízes laterais e presença de folhas chamadas **microfilas**, que são, em geral, pequenas e têm uma única venação (nervura) não ramificada. O grupo é representado pelos licopódios e pelos grupos que contêm um único gênero cada um, Selaginella e Isoetes.

As monilófitas (samambaias e cavalinhas), ao contrário das licófitas, possuem raiz monopodial, ou seja, sem a dicotomização do ápice da raiz, apresentam raízes laterais e folhas chamadas **megafilos**, com mais de uma venação por folha (venação ramificada) e maiores que os microfilos. Licófitas e monilófitas também se diferenciam pelas posições em que as células de xilema se formam na raiz.

Nas samambaias (cerca de 9 mil espécies), que podem ter de poucos centímetros a vinte metros de altura, é muito comum a ocorrência de folhas com formas variadas, grandes e bastante divididas. Na face abaxial das folhas encontram-se os **soros**, que são os aglomerados de esporângios, encontrados em diversos arranjos e formatos. Alguns exemplos são mostrados na Figura 4.11. O grupo das cavalinhas (gênero Equisetum) se diferencia por apresentar caules ocos, articulados, folhas reduzidas a escamas inseridas nos nós e esporângios agrupados (estróbilos) nos ápices caulinares.

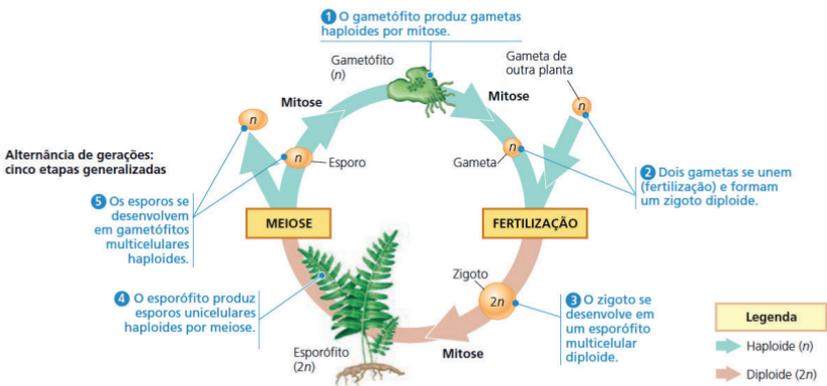
Figura 4.11 | Soros em samambaia (A e B), chifre-de-veado (C) e estróbilos de cavalinha (D)



Fonte: (A) <<https://goo.gl/2z2aRv>>; (B) <<https://goo.gl/MGipc9>>; (C) <<https://goo.gl/Kci7HP>>; (D) <<https://goo.gl/9BrBJV>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

O ciclo de vida apresenta predominância da fase esporofítica, iniciada a partir de um embrião localizado no gametófito. Nas samambaias, os gametófitos são pequenos (menos de 1 cm), possuem, em geral, um formato de coração, onde estão os arquegônios e os anterídios (portanto, bissexuais), como mostra a Figura 4.12. A reprodução sexuada, nas monilófitas, também é dependente de água, pois o anterozoide móvel precisa nadar para chegar à oosfera. Portanto, essas plantas precisam crescer em ambientes com abundância de água.

Figura 4.12 | Ciclo de vida de uma samambaia, evidenciando a alternância entre as gerações gametofítica e esporofítica



Fonte: Reece (2015, p. 614).



Assimile

Tanto as plantas avasculares quanto as vasculares sem sementes possuem ciclo de vida com alternância de gerações heteromórficas, ou seja, com esporófito e gametófito diferentes entre si. Nas avasculares, a geração gametofítica é a predominante e o esporófito se liga a ela, sendo nutricionalmente dependente. Nas vasculares sem sementes, a geração predominante é a esporofítica.

Classificação e filogenia das plantas vasculares sem sementes

As plantas vasculares sem sementes, anteriormente chamadas “pteridófitas”, pertencem a dois clados monofiléticos com representantes atuais: Lycopodiophyta (licófitas) e Monilophyta (monilófitas).

As licófitas pertencem a uma linhagem de plantas cujo registro fóssil é subsequente às primeiras plantas vasculares e as atuais são relativamente pequenas e herbáceas, compostas por três famílias: Lycopodiaceae, Selaginellaceae and Isoetaceae.

O clado eufilófito, como mencionado anteriormente, inclui todas as outras plantas vasculares existentes: as monilófitas e as plantas vasculares com sementes. Dentro das monilófitas são consideradas cinco linhagens, três das quais são genericamente chamadas de “samambaias”, principalmente pela similaridade das folhas: grandes, geralmente muito divididas e frondosas (muitas vezes chamadas de fronde).



Assimile

Lembre-se que os termos “briófitas” e “pteridófitas” não são considerados nomes válidos na classificação filogenética, embora sejam utilizados informalmente para se referir às plantas avasculares e às plantas vasculares sem sementes, respectivamente.



Pesquise mais

Nas páginas 618 a 628 do livro indicado você encontra mais informações sobre as plantas avasculares e vasculares sem sementes, com destaque para os ciclos reprodutivos desses grupos nas páginas 619 e 624.

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

No portal Reflora você pode realizar buscas para conhecer melhor a diversidade das plantas brasileiras.

Reflora. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Sem medo de errar

Nesta seção sua tarefa era organizar uma atividade interativa para que os visitantes da feira de Ciências pudessem praticar os conhecimentos teóricos disponibilizados no estande sobre plantas avasculares e vasculares sem sementes.

Existem diversas possibilidades de se trabalhar com esse tema numa feira, seguem algumas sugestões:

- Levar plantas reais e utilizar materiais diversos para que os visitantes montem o cladograma interativo.

- Utilizar painéis imantados e elaborar peças magnéticas com as figuras das plantas.

- Utilizar programas de computador para desenvolver a atividade ou utilizar ferramentas simples, como deixar figuras preparadas em um PowerPoint e deixar que o usuário as organize.

Independentemente da ferramenta escolhida, pense quais plantas seriam utilizadas para representar cada um dos dois grupos, especialmente, se possível, espécies que ocorram na sua região:

- Avasculares: musgos diversos, hepáticas e antóceros, se disponíveis. Em todos os casos, procure selecionar exemplares (ou imagens deles) que mostrem as fases gametofítica e esporofítica.

- Vasculares sem sementes: samambaias diversas, avenca, renda portuguesa, chifre-de-veado são plantas utilizadas como ornamentação e que podem ser levadas no vaso. Cavalinhas, caso não encontre exemplares vivos, podem ser apresentadas na versão desidratada, utilizada para fazer chá. Procure selecionar plantas que estejam sem os soros e com os soros visíveis em diferentes fases de maturação. Se possível, apresente exemplos em que os esporos sejam agrupados de formas contrastantes: em aglomerados arredondados, como nas samambaias, e espalhados pela face abaxial da folha, como em chifre-de-veado. Como os gametófitos são mais difíceis de serem visualizados, devido ao tamanho ou pelo fato de alguns ficarem enterrados, você pode destacar as características do esporófito: variedade e tamanho das folhas, tipos e disposição dos soros, etc.

Você pode se basear na literatura para escolher cladogramas que mais se adequem à atividade, mas não se esqueça de deixar claro que a classificação vai além das características observáveis das plantas (teoricamente, eles já terão passado pelo primeiro estande, trabalhado na Seção 4.1). Entretanto, dado o caráter da feira de ciências, a morfologia externa é a que mais subsidiará o visitante nas suas escolhas. De qualquer modo, estimule-os a pensar nos ambientes em que essas plantas são encontradas, na necessidade de água para a reprodução, no tamanho dos representantes, e assim por diante.

É desejável que as plantas avasculares sejam separadas em hepáticas, antóceros e musgos, mas é possível que algum visitante as coloque todas juntas e digam que são “briófitas” (ou “pteridófitas” no grupo das samambaias). Se isso ocorrer, aproveite a chance de esclarecer o porquê desses nomes não serem filogeneticamente corretos, mas é provável que eles se lembrem dos termos aprendidos em outras épocas ou de forma descontextualizada. Não se esqueça de indicar que os termos atuais mais corretos são, respectivamente, plantas avasculares e plantas vasculares sem sementes, de forma simplificada.

Avançando na prática

Construindo um fitotério

Descrição da situação-problema

Suponha que a escola em que você trabalha disponibilizou um espaço para que você desenvolva um ambiente que possa auxiliar no estudo da botânica. Após avaliar o espaço, você assumiu que ele seria adequado para montar um pequeno fitotério (coleção com plantas vivas) para dar suporte a algumas aulas, porém, com tamanho limitado. Decidiu, então, montar o fitotério apenas com exemplares de plantas sem sementes e de pequeno porte.

Descreva como você imagina esse fitotério, considerando:

- Condições de umidade.
- Componentes que sirvam de substrato e apoio para as plantas, considerando seus hábitos.
- Exemplares de plantas a serem cultivados.

Além disso, um colega sugeriu que fossem colocadas orquídeas para deixar o fitotério mais colorido. Você iria acatar essa sugestão? Explique.

Resolução da situação-problema

Embora as plantas avasculares e vasculares sem sementes possam habitar ambientes relativamente diversos, elas têm em comum a dependência da água para a reprodução. Portanto, o ambiente deverá ser úmido o suficiente para suprir essa necessidade das plantas. Não esqueça, claro, da luminosidade no local.

As plantas poderão ser colocadas sobre galhos de árvores úmidas e pequenas rochas, além do próprio solo. Dependendo do porte de algumas espécies, elas poderão servir de suporte para outras espécies, uma vez que há representantes epífitos nesses grupos.

As plantas que poderão compor esse fitotério podem ser: diversas espécies de musgos, hepáticas e antóceros, para representarem as plantas avasculares; samambaias diversas, incluindo avenca, chifre-de-veado e cavalinha, para representarem as vasculares sem sementes.

As orquídeas não poderiam fazer parte do fitotério, uma vez que você decidiu que apenas plantas sem sementes seriam incluídas na coleção. As orquídeas são plantas que pertencem ao grupo das Angiospermas, que representam plantas com flores, frutos e sementes.

Faça valer a pena

1. Pesquisando sobre as plantas avasculares, um aluno seu leu a seguinte informação: “As ‘briófitas’ são os anfíbios do Reino Vegetal e descendem das primeiras plantas terrestres”. Ele achou a comparação curiosa e, então, continuou sua pesquisa, listando as seguintes informações sobre as “briófitas”:

- I. Possuem vasos condutores de água e nutrientes.
- II. Dependem da água para a reprodução.
- III. Podem atingir cerca de 20 metros de altura.

Marque a alternativa que informa corretamente sobre as plantas vasculares e que poderia ter inspirado a comparação das plantas avasculares com os anfíbios.

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

2. Você recebeu um material para utilizar em aula com seus alunos durante as aulas de plantas vasculares sem sementes. O material estava bastante completo e descrevia as principais características e principais aspectos reprodutivos desse grupo de plantas. Porém, a seguinte ilustração do ciclo de vida de uma samambaia estava com a legenda incompleta:



Fonte: adaptado de <<https://goo.gl/pHYSY7>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

Quais as legendas corretas para as estruturas indicadas por A e B, respectivamente?

- A: gametófito, produtor de anterozoides e oosferas; B: esporófito, fase predominante produtora de esporos.
- A: esporófito, produtor de anterozoides e oosferas; B: gametófito, fase predominante produtora de esporos.
- A: esporófito, produtor de esporos; B: gametófito, fase predominante produtora de anterozoides e oosferas.
- A: gametófito, fase predominante produtora de esporos; B: esporófito, produtora de anterozoides e oosferas.
- A: gametófito, fase predominante produtora de anterozoides e oosferas; B: esporófito, fase transitória produtora de esporos.

3. Quando se trata de analisar a filogenia das plantas, é preciso levar em consideração os aspectos evolutivos que agrupam certos representantes e os que diferenciam outros, originando novas linhagens. Alguns caracteres podem, inclusive, evoluir de forma independente em vários grupos.

Sobre a filogenia das plantas avasculares e vasculares sem sementes, assinale a única informação correta.

- a) Hepáticas, musgos e samambaias possuem estômatos que controlam as trocas gasosas foliares.
- b) Megafilos estão presentes em musgos e licófitas, mas não em samambaias.
- c) Tecidos condutores verdadeiros estão presentes em licófitas e monilófitas, mas não em hepáticas, musgos e antóceros.
- d) Esporófitos persistentes são encontrados a partir dos musgos.
- e) Licófitas e monilófitas são clados anteriormente conhecidos como briófitas.

Seção 4.3

Diversidade das espermatófitas

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta última seção conheceremos um pouco mais sobre dois outros grandes grupos de plantas: as gimnospermas e as angiospermas. Os nomes podem ou não lhe soar familiares, mas com certeza você já conhece representantes desses grupos. Já enfeitou um pinheiro no natal ou usou pinhas para decorar a mesa da ceia? Estes são, também, os cultivos agrícolas mais importantes na alimentação humana?

Nesta unidade você e seu grupo estão participando de uma feira de ciências e no último estande, mas não menos importante, seu grupo terá duas missões:

1) Como você montará um cladograma que ilustre a filogenia atual das Espermatófitas, usando plantas populares em cada táxon mostrado, sem esquecer de relações evolutivas? Como fará com que os visitantes entendam o sentido do cladograma?

2) Quais perguntas você fará para que os visitantes associem a diversidade das Espermatófitas à importância que essas plantas representam para o homem? Quais respostas você espera para avaliar se os visitantes compreenderam o tema e quais exemplos levaria para ilustrar que as plantas oferecem recursos aos seres humanos?

Para resolver essas duas tarefas, você precisará mobilizar os conteúdos apresentados na caracterização, diversidade e filogenia das espermatófitas (com ênfase nas gimnospermas) e das angiospermas, além da relação do homem com as plantas.

Não pode faltar

Devido ao fato das sementes protegerem o embrião contra danos mecânicos, desidratação e, em certos casos, predação, bem como serem as estruturas dispersoras da reprodução sexual nas plantas que as contêm, elas são consideradas uma das mais importantes características evolutivas das plantas vasculares. Tais características foram essenciais para que essas plantas dominassem inúmeros ambientes e se tornassem os principais representantes da flora atual.

Caracterização, diversidade e filogenia das espermatófitas

Como já mencionado, as plantas com sementes são chamadas de espermatófitas (Spermathophyta) e constituem uma linhagem monofilética cuja maior novidade evolutiva é a **semente**. Essa estrutura contém a informação genética necessária para constituir uma nova planta, assim como os esporos, porém, são mais complexas que estes.

As sementes têm adaptações para serem dispersas de diversas formas (vento, água, animais), de forma a serem levadas para longe da planta mãe, até que encontrem um local apropriado para seu crescimento. Essas adaptações, combinadas à reserva alimentar e ao tecido protetor do embrião em desenvolvimento, oferecem vantagens para que as sementes se desenvolvam em muitos e diferentes ambientes, de forma que a evolução dessa estrutura permitiu que as plantas se distribuíssem e se estabelecessem em uma grande variedade de habitats.

Porém as sementes não evoluíram de forma isolada. Outras estruturas surgiram nas plantas vasculares com sementes de forma a incrementar seu sucesso reprodutivo e sua capacidade de conquistar o ambiente terrestre. Uma dessas estruturas foi o **grão de pólen** (Figura 4.13). Tecnicamente, um grão de pólen é o gametófito masculino imaturo (não completamente diferenciado no momento de sua dispersão) e extremamente reduzido. Ele carrega consigo, pelo ar ou pelos animais, células espermáticas, que irão se encontrar com óvulos e originar sementes – começa assim a independência da água para transportar o gameta masculino até as oosferas.

O processo em que um grão de pólen se aproxima de um megagametófito (gametófito feminino), dentro de um óvulo, é

chamado de **polinização**. Ao entrar em contato com um óvulo, o microgametófito (gametófito masculino) dentro do grão de pólen se desenvolve, produzindo duas células espermáticas e um **tubo polínico**. Esse tubo cresce dentro do óvulo e transfere as células espermáticas para a oosfera, assegurando a fecundação. O óvulo, que é basicamente um esporângio especializado, permanece ligado à planta parental até que a semente esteja madura. As plantas com sementes têm, portanto, **duas fases de dispersão**: o pólen e a semente – a dispersão por esporos era única nas plantas sem sementes.

Além das sementes, as espermatófitas possuem outra apomorfia: o **estelo**. Trata-se de um sistema vascular primário (ou seja, anterior ao crescimento secundário), contendo um único anel de feixes vasculares.

Figura 4.13 – (A) Estames cobertos por grãos de pólen e grãos aderidos aos estigmas de uma flor; (B) Abelha recoberta por grãos de pólen ao visitar uma flor. Insetos, como as abelhas, são importantes agentes polinizadores; (C) Grão de pólen, visto ao microscópio, no início do alongamento do tubo polínico



Fonte: (A) <<https://goo.gl/8ZvD1m>>; (B)<<https://goo.gl/Zij7rc>>; <<https://goo.gl/ttQZPV>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

Análises cladísticas com base em múltiplas sequências gênicas indicam uma forte evidência de que as espermatófitas são compostas por dois grupos-irmãos: as **gimnospermas** (Gimnospermae) e as **angiospermas** (Angiospermae).

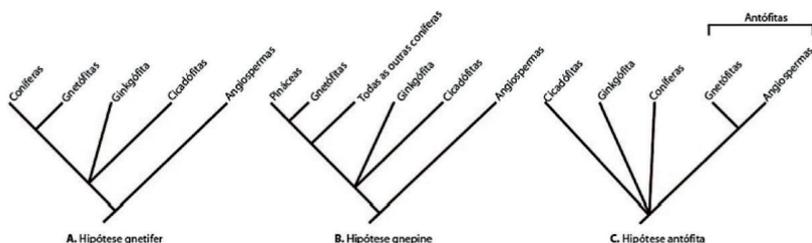
Gimnospermas

O termo “gimnosperma” indica que, no momento da polinização, os óvulos não estão encerrados em um carpelo (*gymnos* nu + *sperm*, semente = “semente nua”) – eles ficam expostos na superfície de estruturas chamadas esporófilos ou análogas a eles. As gimnospermas são plantas com sementes, mas sem flores, e, atualmente, há representantes pertencentes a quatro grupos: Coniferophyta, Gnetophyta, Cycadophyta e Ginkgophyta, com cerca de 840 espécies.

Características em comum entre os grupos são: ciclo de vida com alternância de gerações, cujos esporófitos são grandes e independentes, enquanto os gametófitos são reduzidos (gerações heteromorfas).

Embora ainda incertos, alguns estudos das relações filogenéticas das gimnospermas colocam as Cycadophyta como linhagem mais basal, seguida pelas Gynkgophyta e depois Coniferophyta, enquanto as Gnetophyta são, por vezes, incluídas como grupo-irmão das coníferas ou, até mesmo, dentro desse grupo. Outras hipóteses consideram as gnetófitas como monofiléticas, mas nunca como ancestral de qualquer angiosperma (Figura 4.14).

Figura 4.14 – Três hipóteses das relações entre as cinco principais linhagens vivas de plantas com sementes. (A) Gnetófitas seriam mais próximas das coníferas; (B) Gnetófitas estariam entre as coníferas; (C) Gnetófitas estariam mais relacionadas às angiospermas.



Fonte: Evert & Eichhorn (2014, p. 824).

As Coniferophyta, ou **coníferas** (também conhecidas como Pinophyta) são as mais abundantes e disseminadas gimnospermas vivas, com cerca de 70 gêneros e aproximadamente 630 espécies. Esse grupo é muito valorizado economicamente e, dentre seus representantes mais familiares estão os pinheiros, as gigantescas sequoias, cedros, os gêneros *Araucaria* e *Podocarpus*, além de muitos outros exemplos.

Consistem de árvores muito ramificadas ou arbustos com folhas geralmente resistentes à seca. As espécies que vivem no hemisfério norte geralmente são simples, frequentemente com o formato de escamas ou agulhas; já as que vivem no hemisfério sul podem ter folhas mais largas, até mesmo com formato de fitas.

Os óvulos das coníferas se desenvolvem em estruturas chamadas de **cones** ou **estróbilos**, que podem ter formato de cerejas ou

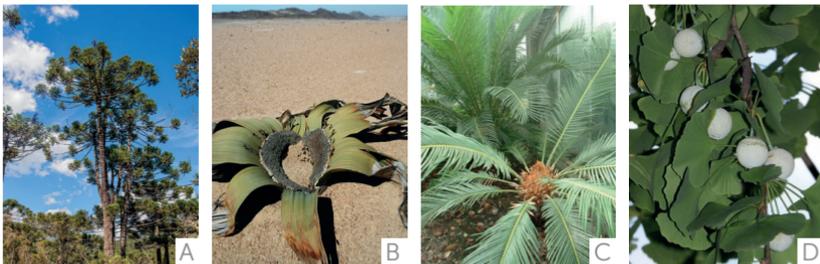
serem estruturas com aspecto lenhoso. Na maioria das espécies, os estróbilos masculinos e femininos são estruturas separadas, mas que ocorrem no mesmo indivíduo (ao que se nomeia **monoico**); porém, podem ocorrer em indivíduos diferentes (**dioicos**).

No hemisfério sul ocorrem três gêneros da família Araucariaceae, distribuídos pela América do

Sul, Australásia e Sudeste da Ásia, A espécie de *Araucaria angustifolia* (Figura 4.15 A), conhecida como pinheiro-do-paraná, tem uma das madeiras consideradas mais valiosas na América do Sul. Sua semente, o pinhão, é apreciada como iguaria, quando cozida ou assada e até mesmo usada como matéria-prima para a produção de bolos, pães e outros pratos típicos especialmente da região Sul do Brasil.

Outro grupo de coníferas que se destaca é o das sequoias, sendo a espécie *Sequoia sempervirens*, uma das mais altas plantas atuais, alcançando mais de 100 metros de altura. Também são considerados os seres vivos mais longevos, com indivíduos datados com mais de mil anos.

Figura 4.15 – Representantes dos quatro grupos de gimnospermas



Legenda: (A) *Araucaria angustifolia*, uma conífera ocorrente na Mata Atlântica do Brasil; (B) *Welwitschia mirabilis* no deserto, uma gnetófito; (C) Cicadófito do gênero *Cycas*. (D) Detalhe de ramos curtos com folhas e sementes carnosas de *Ginkgo biloba*, uma ginkgófito.

Fonte: (A) <<https://goo.gl/5aDQKx>>; (B) <<https://goo.gl/gU23Wn>>; (C) <<https://goo.gl/r7KXwi>>; (D) <<https://goo.gl/TBbW74>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

As Gnetophyta, ou **gnetófitas**, consistem em um grupo de apenas três gêneros atuais: *Gnetum*, *Ephedra* e *Welwitschia* (cerca de 71 espécies), os quais têm pouco em comum entre si. *Gnetum* é representado por árvores e trepadeiras encontradas nos trópicos úmidos. Elas possuem folhas grandes e coriáceas, o que as torna parecidas com as angiospermas, porém, sem flores. *Ephedra* inclui

arbustos ramificados, com folhas muito reduzidas e escamiformes, encontrados em regiões áridas e desérticas. *Welwitschia* conta com apenas uma espécie – *Welwitschia mirabilis* (Figura 4.15 B), encontrada nos desertos da Namíbia e no Sudoeste da África. A maior parte dessa planta fica enterrada em solo arenoso, enquanto a parte exposta consiste em um disco maciço e lenhoso que produz apenas duas folhas em forma de fita.

As Cycadophyta, ou **cicadófitas** (Figura 4.15 C) estão representadas por 11 gêneros e, aproximadamente, 300 espécies encontradas em regiões tropicais e subtropicais. As plantas desse grupo são, em sua maioria, baixas, com caule ereto, geralmente sem ramificação lateral e lembram palmeiras, por terem suas folhas funcionais agrupadas no ápice do caule. Nesse grupo, os estróbilos masculinos e femininos crescem em plantas diferentes e a polinização conta com a participação de insetos.

O grupo das Ginkgophyta, ou **ginkgófitas**, possui uma única espécie atual, *Ginkgo biloba* (Figura 4.15 D), nativa de algumas regiões da China, mas plantada no mundo todo como árvore urbana. Ela é bastante ramificada, lenhosa, com ramos longos e ramos curtos, folhas com formato de leque e venação dicotomicamente ramificadas e atingem cerca de 30 metros ou mais de altura. As fêmeas de *Ginkgo* não possuem cones; suas estruturas reprodutivas consistem de um eixo com dois óvulos terminais e, assim como as cicadófitas, são dioicas.

Em relação à reprodução, ainda, as cicadófitas e as ginkgófitas apresentam gametas masculinos móveis, uma característica ancestral. Por sua vez, as coníferas e as gnetófitas apresentam, como apomorfia, a perda da motilidade dessas células.



Pesquise mais

Acesse a referência abaixo para conhecer sobre a diversidade de gimnospermas no Brasil.

SOUZA, V. C. Introdução: As gimnospermas do Brasil. In: FORZA, R.C. et al. (Org.). **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Vol. 1. Rio de Janeiro: Scielo Books, 2010. p. 75-77. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/z3529/pdf/forzza-9788560035083-09.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2017.

Caracterização e diversidade das Angiospermas

As **angiospermas** (também chamadas de Anthophyta, Angiospermae or Magnoliophyta), são plantas com flores e representam a maior parte das plantas terrestres atuais, tanto em número (95%) quanto em diversidade. Estima-se que haja, pelo menos, 350.000 espécies de angiospermas, com cerca de 405 famílias e mais de 14 mil gêneros.

Neste grupo há representantes de poucos milímetros de comprimento a dezenas (até centenas) de metros de altura; terrestres e aquáticas; epífitas e parasitas; enfim, em qualquer lugar e nos mais variados formatos, tamanhos e hábitos, além de ser o grupo de plantas economicamente mais importante. As plantas deste grupo, além de sementes, contam com características exclusivas, como flores, frutos e um ciclo de vida distinto.

Tradicionalmente, as angiospermas foram divididas em dois grandes grupos: Eudicotyledonae (**eudicotiledôneas**, com mais de 200 mil espécies, é o maior clado das plantas com flores) e Monocotyledonae (**monocotiledôneas**, com mais de 60 mil espécies), embora haja linhagens menores, com poucos representantes (Figura 4.16). Devido a mudanças nas regras taxonômicas, as dicotiledôneas não são mais uma categoria formal.

O termo "monocotiledônea" se baseia no fato de que o embrião de todas as plantas desse grupo possuem apenas um cotilédone (folha modificada para armazenamento e nutrição do embrião) enquanto as demais angiospermas possuem dois. Há cerca de 2755 gêneros e mais de 60 mil espécies de monocotiledôneas adaptadas a uma grande variedade de habitats, incluindo plantas epífitas, desérticas e suculentas, além de espécies aquáticas.

Muitas espécies de eudicotiledôneas são lenhosas, mas há uma grande variedade de herbáceas.

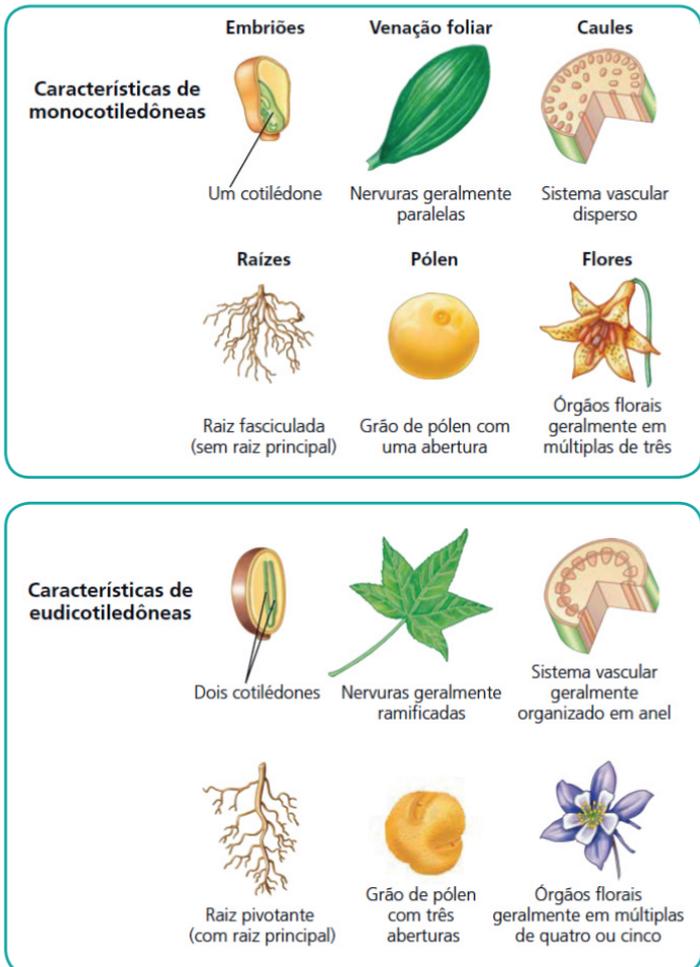
Por sua vez, as monocotiledôneas não apresentam lenho, são essencialmente herbáceas, embora alguns grupos, como os das palmeiras e dos bambus, tenham caules fibrosos que podem lembrar árvores.

As **folhas** das eudicotiledôneas, diferentemente das gimnospermas, são largas e com um padrão de venação complexo. Folhas de monocotiledôneas são alongadas a partir da base, a maioria com

venação paralela no comprimento; a base delas envolve o caule, formando uma bainha.

As **raízes** das monocotiledôneas são sempre adventícias (fasciculadas, ver Seção 1.2). Os **caules** típicos de monocotiledôneas contêm numerosos feixes vasculares dispersos no interior, enquanto as eudicotiledôneas têm um número menor de feixes, arranjados em um anel.

Figura 4.16 | Principais diferenças morfoanatômicas entre monocotiledôneas e eudicotiledôneas



Fonte: Reece et al. (2015, p. 643).



Para saber os detalhes do ciclo de vida das angiospermas, leia, da página 875 a 888, o livro a seguir, encontrado em sua biblioteca virtual.

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. RAVEN, P. H. **Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Visite a filogenia atualizada das angiospermas segundo o sistema APG (Grupo de Filogenia das Angiospermas).

STEVENS, Peter F. **Angiosperm Phylogeny Website**: Version 14. 2017. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/treeapweb2s.gif>>. Acesso em: 30 dez. 2017.

Você também pode baixar este pôster bem ilustrado com exemplos de flores de vários grupos:

BYNG, J. W. et al. The phylogeny of angiosperms poster: a visual summary of APG IV family relationships and floral diversity. **Plant Gateway**. 2018. Disponível em: <<http://www.plantgateway.com/download/2124/>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

Classificação e filogenia das Angiospermas

As angiospermas são monofiléticas, o que se torna evidente uma vez que compartilham muitas características únicas. Várias apomorfias as diferenciam das outras plantas terrestres, como:

- Flores.
- Estames com dois pares de sacos polínicos.
- Gametófito masculino reduzido com três células (o menor número dentre as plantas).
 - Sementes envolvidas por um carpelo e formação de frutos.
 - Gametófito feminino reduzido com oito núcleos.
 - Fertilização dupla: uma célula espermática se funde à oosfera, produzindo o zigoto; outra se funde a dois núcleos polares, dentro do óvulo, formando o endosperma triploide.
- Elementos de tubos crivados e células companheiras no floema.

As distintas e contrastantes características encontradas em eudicotiledôneas e monocotiledôneas refletem diferentes abordagens de crescimento e sobrevivência. As monocotiledôneas, com seu cotilédone único e outras características, possuem um ancestral em comum. O mesmo é válido para as eudicotiledôneas,

cuja monofilia é bem estabelecida por uma apomorfia típica: o grão de pólen possui três aberturas (sulcos ou poros – pólen triaperturado), sendo uma característica derivada típica.

A filogenia de angiospermas mais utilizada atualmente é a do sistema de classificação APG, sigla em inglês para “Grupo de Filogenia das Angiospermas”. Esse sistema se baseia em diversos critérios filogenéticos, não apenas em dados morfológicos e bioquímicos. É resultado da colaboração de diversos grupos de pesquisa em vários países e é atualizado conforme novas informações sobre as plantas ficam disponíveis. Sua primeira versão foi elaborada em 1998 (APG I) e, atualmente, está na versão APG IV (2016).

As plantas e o homem

A relação dos humanos com as plantas é antiga, começando, provavelmente, por conta da nossa **alimentação**, com a coleta de grãos e frutos e, posteriormente, com o cultivo de vegetais. O cultivo levou à domesticação das plantas que, juntamente com a seleção daquelas com características mais desejáveis, determinou o surgimento de um leque de variedades. Porém esse processo fez com que os vegetais cultivados se tornassem, de certa forma, dependentes dos humanos e estes, das plantas.



Refleta

A manipulação das plantas para uso de nosso interesse não é uma prática nova. Nosso conhecimento sobre elas se expande quanto mais investigamos os vegetais. O que você considera que deve ser levado em conta para aliar conhecimento, conservação (de espécies e do ambiente) e crescimento populacional, relacionados à pesquisa atual sobre as plantas?

A colheita e o processamento dos vegetais também mudaram conforme novas ferramentas surgiram. Pão, vinho e cerveja são alguns exemplos de alimentos mais antigos produzidos a partir do processamento vegetal, enquanto o linho foi uma das primeiras plantas utilizadas para aproveitamento de **fibras** (tecelagem).



Exemplificando

As plantas têm importância ornamental, medicinal e econômica. Economicamente, plantas como soja e feijão são de grande valor, juntamente com trigo, arroz, milho, que podem ser consideradas a base da alimentação humana atualmente, estando entre as mais cultivadas no planeta.

Os recursos produzidos pelas plantas são, em primeiro lugar, utilizados para finalidades próprias, como reserva alimentar ou substâncias repelentes de insetos e outros herbívoros. No entanto, conforme aumenta o conhecimento humano sobre os vegetais, muitos desses recursos tornam-se interessantes às nossas atividades. Carboidratos, proteínas, vitaminas, dentre outros, são **recursos nutricionais** oferecidos pelas plantas; de muitas delas são extraídos óleos para diversas finalidades.

Se pararmos para pensar, facilmente conseguiremos associar o uso de plantas a determinados povos: quanto aprendemos sobre o uso de plantas pelos indígenas por meio de lendas, como a do guaraná e a da vitória-régia; quando discutimos sobre a mandioca – ou seria aipim – aproveitada de tantas formas; ou, ainda, sobre como os indígenas usam as plantas para fins medicinais. Não é difícil associarmos a cultura do chá aos chineses. Quantas vezes, ao estudarmos História, contaram-nos sobre as grandes expedições em busca de especiarias indianas?

As especiarias derivam de partes vegetais aromáticas, muitas vezes ricas em óleos essenciais. As folhas de plantas herbáceas (algumas lenhosas), por sua vez, são muito utilizadas como ervas aromáticas. A cenoura e a beterraba, entre outras, são plantas bianuais: durante a primeira estação de crescimento, estocam nutrientes para se prepararem para a estação reprodutiva (produção de flores e sementes). Para nossa alimentação, colhemos essas raízes ao final da primeira estação de crescimento, mas impedimos que esses vegetais completem sua reprodução.



Conforme sua sobrevivência ao longo das estações de crescimento (ciclo reprodutivo), as plantas podem ser classificadas em:

- **Anuais:** vivem por apenas uma estação de crescimento.
- **Bianuais:** vivem ao longo de duas estações de crescimento.
- **Perenes:** permanecem vivas ano após ano, embora suas folhas possam morrer ao final de cada estação de crescimento, rebrotando em seguida.

As plantas também são muito usadas com finalidades **medicinais**, consumidas de diversas formas com este objetivo. Você já parou para ler e pesquisar sobre os componentes dos medicamentos? Vários fármacos são provenientes de algum vegetal.

São muitas as formas com as quais nos relacionamos com as plantas, além das que foram aqui citadas. Conhecê-las nos leva a dar mais importância ao meio ambiente como um todo. Agora pare e pense: como você via as plantas antes deste curso e como as vê agora? Sempre que possível, pare e observe uma planta, reflita sobre tudo o que aprendeu e levante outras tantas curiosidades mais. Uma última sugestão: espalhe seus conhecimentos!



O artigo indicado a seguir traz uma reflexão sobre a importância do estudo da botânica e inclui diversos aspectos históricos e contemporâneos da relação entre as plantas e o homem.

SALATINO, A; BUCKERIDGE, M. Mas de que te serve saber botânica?.

Estudos Avançados, [s.l.], v. 30, n. 87, p.177-196, ago. 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v30n87/0103-4014-ea-30-87-00177.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2017.

Sem medo de errar

Nesta seção você deveria, com seu grupo, considerar duas atividades para receber os visitantes da feira de ciências no último estande de sua responsabilidade.

Na primeira atividade, deveria usar plantas familiares para montar

um cladograma, mostrando a filogenia atual das espermatófitas. Uma vez que há diferentes hipóteses sobre a posição filogenética exata de alguns grupos, especialmente entre as gimnospermas, você poderia se basear nos cladogramas apresentados na Figura 4.14. Um incremento seria dividir o ramo das angiospermas em dois grupos, o das monocotiledôneas e o das dicotiledôneas.

Não é necessário, numa atividade como essa, representar as linhagens menores das angiospermas nem as categorias, como ordens ou famílias – embora você possa selecionar algumas mais conhecidas, como:

Monocotiledôneas:

- lírio (ordem Liliales, família Liliaceae).
- gramíneas, como trigo, arroz, aveia, milho (ordem Poales).
- gengibre (ordem Zingiberales, família Zingiberaceae).
- bromélias (ordem Poales, família Bromeliaceae).
- orquídeas (ordem Asparagales, família Orchidaceae).
- palmeira ráfis (ordem Arecales, família Arecaceae).

Eudicotiledôneas:

- dente-de-leão (ordem Asterales, família Arteraceae).
- rosa (ordem Rosales, família Rosaceae).
- violeta (ordem Malpighiales, família Violaceae).
- leguminosas, como feijões, vagens e ervilhas (ordem Fabales, família Fabaceae).
- hibisco (ordem Malvales, família Malvaceae).
- brócolis, couve, repolho, couve-flor (ordem Brassicales, família Brassicaceae), todos são variedades da espécie *Brassica oleracea*. Saiba mais em: <http://www.cpra.pr.gov.br/arquivos/File/Brassica_oleracea.pdf>. Acesso em: 31 dez. 2017).

As sugestões acima são de plantas fáceis de transportar e até mesmo cultivar, ou adquirir em hortifrutis, mas você pode pesquisar por outros exemplos, inclusive adequando-os à sua realidade local, aos seus hábitos alimentares e culturais.

Para representar as gimnospermas, como são plantas de porte maior, sendo mais difíceis de transportar, utilize imagens ou modelos de algumas espécies ou grupos. Alguns pinheiros ainda

em fase inicial de crescimento podem ser levados em vaso, ou as cicas, que podem estar presentes em algum jardim próximo. Outra sugestão é levar apenas partes, como ramos, estróbilos, pinhões, conforme disponibilidade.

O importante é esclarecer que todas as plantas apresentadas têm sementes e grãos de pólen (sempre que possível, mostre essas estruturas). No caso das angiospermas, procure levar exemplares que apresentem flores, quando possível, frutos e folhas cujas nervuras paralelas ou reticuladas sejam identificáveis, incluindo todas essas características para explicar o cladograma.

Na segunda atividade, você deveria avaliar o conhecimento dos visitantes a respeito da importância das espermatófitas para a humanidade, levando em conta possíveis informações dadas por eles ao responderem as perguntas que seu grupo elaborou. Além disso, deveria mostrar exemplos que ilustrassem recursos vegetais utilizados por nós.

São inúmeros os exemplos de perguntas que podem ser feitas nesse caso e você pode começar explorando o próprio ambiente em que estão. Seguem algumas sugestões:

- Pergunte se sabem do que é feita a roupa que estão usando. Pelo menos algumas pessoas deverão estar vestindo peças feitas de algodão, ainda que a composição não seja pura. Quem sabe, até, algum visitante esteja com peças de linho?

- Peça que listem o que já comeram naquele dia e verifique se ingeriram algum tipo de vegetal (suas partes), seja ele folha, raiz, semente, caule, flor.

- Ofereça, no estande, alguns tipos de chás e mostre as partes vegetais usadas para cada tipo de preparo. Pergunte se costumam tomar chás e para quais finalidades, como medicamento ou simplesmente por gosto. Pães também servem de exemplo.

- Peça que assinem uma lista de presença utilizando um lápis e relacione o objeto ao uso da madeira. Cadeiras e mesas de madeira, se disponíveis, também podem servir.

Outros exemplos que podem ser demonstrados é a presença de plantas na composição de medicamentos (leve bulas, destaque as informações relevantes), bebidas (leve os rótulos ou as embalagens), papel (mostre a embalagem da resma com a informação "celulose"),

produtos de higiene ou cosméticos.

Mostre imagens de obras de arte (impressas ou em equipamento multimídia) que ilustrem a relação do homem com as plantas. Dois exemplos: o pintor francês Jean-François Millet (1814-1875), com obras que retratam trabalhadores rurais – veja “O semeador”, disponível em: <<http://www.mfa.org/collections/object/the-sower-31601>>. Acesso em: 31 dez. 2017; e o pintor holandês Vincent van Gogh (1853-1890), com séries dedicadas a diversos aspectos das plantas.

Avançando na prática

Classificando as plantas conforme o uso humano.

Descrição da situação-problema

Imagine que você seja autorizado a elaborar um sistema de classificação vegetal usando apenas a forma como utilizamos as plantas ao longo da história da humanidade. Que critérios você utilizaria para determinar grandes grupos e linhagens dos vegetais? Cite aspectos que colocariam algumas dessas linhagens próximas umas às outras.

Resolução da situação-problema

Não há uma única forma de resolver esse desafio, afinal de contas, a nossa relação com as plantas é bastante variada e em constante transformação. Seguem algumas reflexões.

Alguns grupos de plantas poderiam ser estabelecidos de acordo com o tipo de uso que fazemos dos vegetais: um grupo de plantas que pode ser utilizado para alimentação, outro grupo para aproveitamento de fibras, outro para ornamentação, por exemplo. Dentro do grupo de alimentação, poderia haver linhagens em que apenas raízes fossem aproveitadas, ou somente folhas, somente caules, somente flores, e grupos nos quais mais de uma parte da planta fosse útil como alimento. No grupo de aproveitamento de fibras, poderia haver uma divisão entre fibras de tecelagem e fibras para fabricação de papel.

Um outro grupo poderia conter apenas plantas que produzem substâncias tóxicas aos seres humanos, enquanto outro grupo

consideraria plantas das quais extraímos metabólitos utilizados medicinalmente. Saber quais linhagens produzem determinados tipos de fármacos poderia facilitar a busca por novas substâncias de interesse dessa categoria.

É claro que esse tipo de classificação é apenas hipotético, mas ele mostra que podemos pensar nas plantas de tantas formas diferentes quanto à sua diversidade, ainda não conhecida por completo.

Faça valer a pena

1. Quando estudamos aspectos evolutivos dos grandes grupos de plantas, alguns desses grupos se destacam por terem conseguido se estabelecer em ambientes terrestres mais diversos e sobreviver, inclusive, a condições de secas. Duas importantes conquistas evolutivas foram a semente e o grão de pólen.

Marque a alternativa que indica corretamente qual a importante conquista das plantas atingida com a aquisição de sementes e pólen, relacionada ao seu desenvolvimento e disseminação.

- a) Produção de flores.
- b) Reprodução dependente de água.
- c) Dispersão de frutos.
- d) Reprodução independente de água.
- e) Polinização e dispersão de sementes pelo vento.

2. Numa aula prática de botânica, os alunos precisavam analisar algumas partes de plantas e classificá-las em monocotiledôneas, eudicotiledôneas ou gimnospermas. Dentre o material disponibilizado, estavam: folhas, raízes, estróbilos e lâminas com cortes transversais de caules mostrando os eixos vasculares.

Marque a alternativa que mostra as estruturas que seriam colocadas no grupo das gimnospermas, monocotiledôneas e dicotiledôneas, respectivamente.

- a) Folhas largas e com nervuras paralelas – estróbilos – caules com eixos vasculares dispersos.
- b) Estróbilos – raízes pivotantes – caules com eixos vasculares dispersos.
- c) Raízes fasciculadas (adventícias) – caules com eixos vasculares dispersos – estróbilos.
- d) Folhas compostas – estróbilos – folhas com nervuras paralelas.
- e) Estróbilos – folhas com nervuras paralelas – caule com eixos vasculares organizados em um anel.

3. “Para rastrear a paternidade do milho, botânicos liderados por John Doebley, da Universidade do Wisconsin, reuniram mais de 60 amostras de teosinto de todo o seu alcance geográfico no hemisfério Ocidental e compararam seu perfil genético com todas as variedades de milho. Eles descobriram que todos os milhos eram geneticamente mais similares a um tipo de teosinto do vale do rio Balsas, no sul do México, sugerindo que essa região foi o “berço” da evolução do milho. Eles estimaram que [...] ocorreu há cerca de 9 mil anos.”

FERREIRA, T. As origens do milho. In: The New York Times. Tradução de Thiago Ferreira. **Gazeta do Povo**. 2010. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/mundo/as-origens-do-milho-0r5nwjs03cz6mffkjvbie08y6>>. Acesso em: 30 dez. 2017.



De cima para baixo: teosinto; híbrido teosinto-milho; milho.

Fonte: <<https://goo.gl/necmqx>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

O teosinto é uma gramínea selvagem. De acordo com o que você estudou sobre a relação dos homens com as plantas, marque a alternativa que indica o que pode ter levado o teosinto a se desenvolver no milho tal como o conhecemos hoje.

- a) Domesticação, por meio de sucessivas seleções e cruzamentos de variedades de teosinto.
- b) Seleção natural. Apenas os teosintos que se pareciam com o milho atual sobreviveram ao longo do tempo.
- c) Transgenia. Alguns genes do teosinto foram inseridos no milho atual, com técnicas modernas de laboratório.
- d) O teosinto é apenas um milho que não se desenvolveu por falta de nutrição adequada.
- e) Mutação espontânea. Os genes responsáveis pelo tamanho do teosinto foram modificados ao acaso.

Referências

- BYNG, J. W. et al. The phylogeny of angiosperms poster: a visual summary of APG IV family relationships and floral diversity. **Plant Gateway**. 2018. Disponível em <<http://www.plantgateway.com/download/2124/>>. Acesso em: 25 jan. 2018.
- CHOW, F. et al. (Org.). **Introdução à Biologia das Criptógamas**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo - Departamento de Botânica, 2007. Disponível em: <http://felix.ib.usp.br/apostila_cripto.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2017.
- COPPETEC. **Programa REFLORA**. Disponível em: <<https://goo.gl/Ut41FE>>. Acesso em: 28 mar. 2018.
- CRIA. **Flora Brasiliensis**. 2005. Disponível em: <<https://goo.gl/DjNv4d>>. Acesso em: 2 abr. 2018.
- ESSIG, F. B. **A brief history of plant life**. New York: Oxford University Press, 2015. 281 p.
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven | Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- JUDD, Walter S. et al. **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- REECE, Jane B. et al. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.
- SALATINO, A.; BUCKERIDGE, M. "Mas de que te serve saber botânica?". **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 30, n. 87, p.177-196, ago. 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/ea/v30n87/0103-4014-ea-30-87-00177.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2017.
- SHIPUNOV, Alexey. **Introduction to Botany: Lecture notes**. Minot, 2016. 172 p. Disponível em: <http://ashipunov.info/shipunov/school/biol_154/>. Acesso em: 28 ago. 2017.
- SIMPSON, Michael G.. **Plant systematics**. 2. ed. [S.l.]: Academic Press, 2010.
- SOUZA, V. C. Introdução: As gimnospermas do Brasil. In: FORZA, R.C. et al (Org.). **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**: [online]. Vol. 1. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010. p. 75-77. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/z3529/pdf/forzza-9788560035083-09.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2017.
- STEVENS, Peter F. **Angiosperm Phylogeny Website**: Version 13. 2017. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>>. Acesso em: 30 dez. 2017.
- THE PLANT LIST. 2013. Disponível em <<http://www.theplantlist.org/>>. Acesso em: 2 abr. 2018.
- WILLIS, K. J.; MCELWAIN, J. C. **The evolution of plants**. New York: Oxford University Press, 2002.
- YAMAGISHI-COSTA, J. et al. **Apostila Sistemática de Criptógamas**. Uberlândia, [s.d.]. Disponível em: <http://www.criptogamas.ib.ufu.br/sites/criptogamas.ib.ufu.br/files/file/Apostila_de_Sistemática_de_Criptogamas2.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2017.

ISBN 978-85-522-0578-4



9 788552 205784 >