



KLS

Diversidade de Criptógamas

Diversidade de Criptógamas

Thais Ribeiro Semprebom

© 2019 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

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Rafaela Benatti de Oliveira

Sônia Aparecida Santiago

Editorial

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Semprebom, Thais Ribeiro

S473d Diversidade de criptógamas / Thais Ribeiro Semprebom.
– Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.
184 p.

ISBN 978-85-522-1376-5

1. Célula vegetal. 2. Briófitas. 3. Pteridófitas.
I. Semprebom, Thais Ribeiro. II. Título.

CDD 580

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2019

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

Biologia das plantas.....	7
Seção 1.1	
Características da célula vegetal.....	9
Seção 1.2	
Ecologia vegetal.....	25
Seção 1.3	
Plantas e o ambiente.....	40

Unidade 2

Biologia dos fungos.....	55
Seção 2.1	
Biologia dos fungos.....	57
Seção 2.2	
Importância dos fungos.....	70
Seção 2.3	
Diversidade de fungos.....	82

Unidade 3

Biologia das algas e das plantas avasculares.....	97
Seção 3.1	
Biologia das algas.....	99
Seção 3.2	
Biologia das plantas terrestres avasculares.....	112
Seção 3.3	
Diversidade das plantas terrestres avasculares.....	124

Unidade 4

Biologia das plantas vasculares sem sementes.....	137
Seção 4.1	
Aspectos evolutivos das plantas vasculares.....	139
Seção 4.2	
Biologia das plantas vasculares sem sementes.....	150
Seção 4.3	
Diversidade das plantas vasculares sem sementes.....	162

Palavras do autor

Estamos cercados de formas de vida muito diferentes, algumas até muito estranhas, o que não significa que elas não estejam ao nosso redor a todo momento e em qualquer parte. Assim são, também, as plantas. Para muitas pessoas, elas são apenas adornos de casa, de um jardim ou mesmo da natureza como um todo. Para outros, elas sequer são consideradas seres vivos. As plantas são indissociáveis do nosso modo de vida e dos demais seres vivos e é com base nesta última consideração que o estudo da Botânica é imprescindível para ampliar a maneira como interpretamos o mundo vegetal e para entendermos qual o seu papel neste planeta cuja vida é tão rica.

A diversidade das plantas, das algas e dos fungos está aliada a uma história de eventos cruciais para a sobrevivência e surgimento de espécies e a conquista dos mais diferentes ambientes. É um pouco dessa história que vamos compreender aqui, além de associar os muitos grupos desses seres vivos a aspectos da nossa vida humana, que aprendeu a tirar proveito das plantas, algas e fungos.

O termo “criptógamas” significa “gametas ocultos” (*kryptos* = escondido; *gamos* = casamento, união sexuada) e, apesar de ser cada vez menos utilizado e não ter valor taxonômico, refere-se genericamente a plantas e a organismos semelhantes a plantas sem flores e que se reproduzem por esporos, ou sementes. Tradicionalmente, “algas” (grupo artificial, com representantes procariontes, protozoários e no reino das plantas) e fungos (Reino Fungi) foram alocados e são estudados neste grupo, mas suas particularidades serão discutidas em seções reservadas a eles. As plantas criptógamas costumam ser esquecidas, porque suas características não tendem a ser chamativas como as das plantas com flores, porém são muito importantes em diversos ambientes.

Na Unidade 1 deste livro vamos lhe oferecer subsídios para conhecer os principais aspectos das plantas e o que as define como tal, as características das células vegetais, tanto estruturais quanto metabólicas. Além disso, você será capaz de reconhecer as plantas como indivíduos e como parte integrante de um coletivo, como elas se estruturam e seu papel no ambiente.

A Unidade 2 está reservada para discutirmos o que são, como se organizam morfologicamente, como se desenvolvem, como se reproduzem e quão diversos são os fungos. Também conheceremos de que forma eles se associam a outros seres vivos e como são importantes em diversos aspectos ecológicos, econômicos e médicos, além de servirem como instrumento de pesquisa e desenvolvimento.

Na Unidade 3 conheceremos os principais aspectos biológicos e da diversidade das algas e das plantas avasculares, relacionando esses grupos a aspectos evolutivos que permitiram que as plantas conquistassem o ambiente terrestre.

Por fim, na Unidade 4 serão discutidas as características e a diversidade do grupo de plantas que já possuem um sistema condutor de água e seivas, mas ainda não apresentam sementes, flores e frutos.

Para que seu estudo seja proveitoso, consulte todas as unidades do livro, mas não se limite a ele: acesse os materiais indicados, amplie sua leitura na bibliografia referenciada e, principalmente, abra sua mente para (re)descobrir um mundo tão vivo quanto o nosso.

Unidade 1

Biologia das plantas

Convite ao estudo

Olá, caro aluno! Vamos começar nosso estudo conhecendo a organização interna das plantas e investigando sua menor porção estrutural e funcional: a célula.

Nesta primeira unidade vamos começar a estudar as plantas de dentro para fora. Você deverá entender as particularidades desse grupo; o que as torna diferentes dos demais seres vivos (é verdade que há semelhanças também); e como as plantas, sendo sésseis, conseguem e administram os recursos necessários à sua sobrevivência.

Além disso, entenderá como as plantas coabitam determinados ambientes, se há uma hierarquia entre elas, como se relacionam com diferentes espécies e como se distribuem pelo Brasil e pelo mundo.

Porém, não se esqueça de que as plantas, apesar de certa independência na sua natureza, estão ancoradas a substratos e sujeitas a alterações climáticas que influenciam seu desenvolvimento. Por fim, você vai poder entender e refletir sobre a nossa relação com o mundo vegetal: de que forma nos beneficiamos das plantas e como nossas ações interferem na vegetação? Você já havia pensado nisso?

Ao final desta unidade, você deverá ser capaz de interpretar as plantas como indivíduos particulares dentro de um grupo muito diverso e como indivíduos que, silenciosamente, dialogam com o mundo ao seu redor.

Na sua carreira como biólogo são várias as situações em que você pode ajudar as pessoas a entenderem as plantas e a dinâmica do mundo vegetal. Isso pode acontecer no âmbito particular, quando pessoas próximas lhe questionam sobre a importância do seu objeto de estudo, por exemplo, ou quando você participa da formação de outras pessoas nas Ciências Naturais. Faz parte da atividade de biólogo saber preparar atividades de extensão, elaborar um plano de aula a ser cumprido na escola ou ajudar uma pessoa a entender e/ou resolver um problema vivenciado nas mais diversas situações.

Caro aluno, para ajudá-lo a compreender de forma aplicada todos esses conteúdos de Botânica, analise o contexto hipotético a seguir: você acabou

de se formar como biólogo e conseguiu uma vaga temporária em uma empresa que presta consultoria em compensação ambiental, mediante caracterização de vegetal, e atua também em cursos sobre ecologia para escolas. Você percebeu que, para desempenhar as funções nesta empresa, teria que conhecer os principais aspectos das plantas e seu papel no ambiente. Logo pensou em resgatar seus conhecimentos, elaborando um painel que relaciona as características das plantas e seus habitats. Como uma de suas demandas será em uma escola de ensino médio, o painel poderia ser útil também para os alunos.

Quais estruturas vegetais poderiam ser usadas como exemplo no seu painel? De que forma você as relacionaria com o ambiente em que vivem?

Ao longo das seções desta unidade, descubra quais são as estruturas básicas das células vegetais e alguns aspectos do seu metabolismo: composição, fluxo de substâncias e obtenção de energia. Também entenda as plantas como indivíduos que fazem parte de uma população e de comunidades, relacionando seus aspectos ecológicos à estruturação do ambiente em que vivem, além de conhecer as diferentes formações vegetais do mundo e do Brasil. Por fim, saiba sobre a interação das plantas com os elementos abióticos do ambiente, da nossa relação com os vegetais e das consequências das nossas ações sobre esses seres vivos.

Então vamos conhecer o mundo particular das plantas, as bases do seu funcionamento e reconhecer as particularidades da flora de sua região. Afinal de contas, você estuda a vida e, como dissemos no início, o que seria da vida sem as plantas?

Bons estudos!

Características da célula vegetal

Diálogo aberto

De acordo com a teoria celular, as células representam as unidades estruturais e funcionais da vida. Embora os seres vivos multicelulares sejam todos formados por células, elas têm uma enorme variedade de formas, tamanhos, estruturas e funções, atreladas às suas posições no organismo. Apesar de tanta diferença e especialização, as células são, ao mesmo tempo, muito similares umas às outras em organização e propriedades bioquímicas. Nesta seção, ressaltaremos quais dessas características fazem com que as células vegetais se destaquem das células dos demais seres vivos.

Lembre-se de que você está ocupando, temporariamente, uma vaga em uma empresa de consultoria de compensação ambiental e que para realizar suas funções, precisa conhecer os principais aspectos das plantas e seu papel no ambiente.

Na empresa em que está trabalhando como biólogo você compõe uma equipe multidisciplinar, na qual terá a oportunidade do seu primeiro desafio. A equipe foi destinada a analisar a vegetação de uma área de preservação permanente (APP) e o objetivo do trabalho é gerar uma caracterização vegetal para futuras compensações ambientais. Seu papel nesta demanda está relacionado a análises dos danos vegetais vinculados ao desmatamento e à poluição da região.

Ao observar a área, logo você percebe um desequilíbrio na vegetação. Mas será que a poluição e o desmatamento podem interferir no metabolismo celular de uma planta? Em sua análise todos os dados metabólicos deverão ser considerados com as perdas vegetais qualitativas e quantitativas da região.

Recorra aos conhecimentos sobre estrutura e metabolismo energético das plantas para embasar seu laudo e sua apresentação. Não deixe o conhecimento parado, vamos lá, compartilhe-o com sua equipe!

Não pode faltar

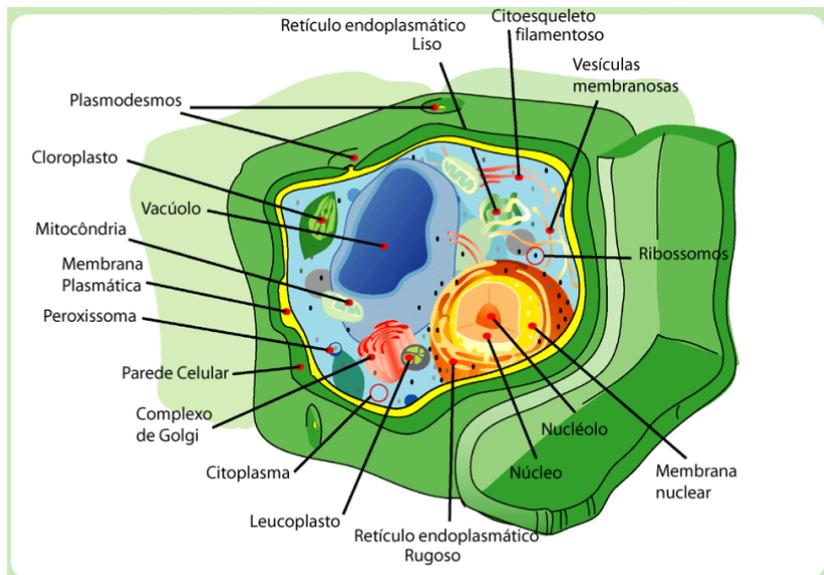
Estruturas da Célula Vegetal

A célula vegetal (Figura 1.1) pode ser dividida em **parede celular** e **protoplasto**, sendo que este consiste da parte viva da célula, da qual fazem parte a **membrana plasmática**, o **citoplasma**, o **núcleo** e as **organelas**. As células

isolam seus conteúdos internos do meio externo pela **membrana plasmática**, ou **plasmalema**, seletivamente permeável e que é muito parecida entre os grupos. Além de limitar, essa estrutura controla a entrada e a saída de materiais. Internamente à membrana, o citoplasma consiste no material que rodeia o núcleo e que contém um **citosol** fluido, no qual se encontram as organelas e o citoesqueleto, e que está sempre em movimento (**ciclose**, ou fluxo citoplasmático).

A **parede celular** é típica das células vegetais e é composta principalmente, mas não só, por celulose, sendo os **plastídios** e os **vacúolos** as estruturas diferenciais das células vegetais em relação às dos demais seres vivos. Portanto, esta seção vai se concentrar nessas três características. Uma outra diferença entre as células vegetais e as células animais é que a maioria das células vegetais não apresenta centríolos. Essas estruturas estão presentes apenas em células flageladas de algumas plantas, como musgos e hepáticas.

Figura 1.1 | Esquema de uma célula vegetal genérica e seus componentes



Fonte: adaptada de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plant_cell_structure_pt.gif#mw-jump-to-license. Acesso em: 27 ago. 2018.

Parede celular

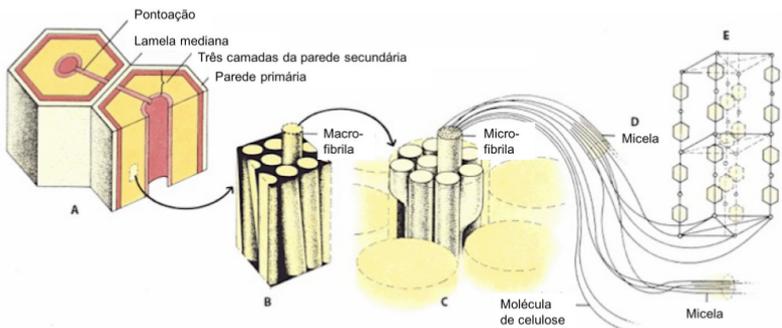
A presença da parede celular constituída por celulose e outros compostos nas células vegetais é uma das características proeminentes deste grupo de seres vivos. Além de **delimitar o protoplasto**, ela **determina o tamanho** e a **forma da célula**, e sua **rigidez** protege eventuais rompimentos da membrana

plasmática quando as dimensões celulares se alteram, como ocorre em decorrência da absorção de água. Em conjunto, as paredes celulares caracterizam a **textura dos tecidos** e até mesmo o **formato final dos órgãos**. O tipo e a função de cada célula também estão intimamente relacionados à estrutura da parede celular.

Diversas enzimas estão presentes nas paredes celulares, que têm funções de **transporte, absorção e secreção** de substâncias nas plantas. As paredes celulares participam da **defesa contra patógenos**, sinalizando sobre o ataque para a membrana plasmática, que produz substâncias antimicrobianas, chamadas **fitoalexinas**; ou pela deposição de substâncias (calose, suberina, lignina) que atuam como barreiras físicas que dificultam a invasão.

A parede celular vegetal tem como principal componente um polissacarídeo, a **celulose**, cujas cadeias longas e finas tendem a se unir, formando **microfibrilas** (2-20 ηm de diâmetro), que se enrolam umas nas outras para formar fios, como cabos, chamados **macrofibrilas** (0,5 m de diâmetro). Essa configuração confere à celulose uma resistência muito alta à tração, e a orientação das microfibrilas influencia a direção em que a célula vai se expandir durante seu crescimento.

Figura 1.2 | Detalhes da estrutura da parede celular vegetal



Fonte: adaptada de Evert e Eichhorn (2014, p. 148).

Além da celulose, compõem a parede celular os polissacarídeos, **hemiceluloses** e **pectinas**, as **proteínas estruturais** (glicoproteínas) e as **enzimas**. Essas moléculas formam uma matriz, na qual as microfibrilas de celulose estão embutidas. A **calose** é um polissacarídeo depositado entre a membrana e a parede celulósica, especialmente nos elementos de seiva do floema, em resposta a estresses mecânicos, bióticos ou abióticos.

Ao lado da celulose como importante componente estrutural na maioria das plantas, a **lignina** é um composto fenólico depositado na parede celular

de tecidos condutores e de sustentação, mas também tem relação com a defesa em resposta a ferimentos ou ataque de patógenos e parasitas. Ela impermeabiliza as paredes celulares do xilema, facilitando o transporte longitudinal de água, e confere rigidez à parede celular secundária.

Polímeros lipídicos insolúveis, como a **cutina** e a **suberina**, são encontrados nos tecidos de revestimento das plantas, formando uma matriz para as ceras. Essa união resulta numa barreira que previne a perda de água pelas partes aéreas das plantas. A cutina ajuda a compor as cutículas, juntamente com ceras e celulose nas superfícies epidérmicas. Já a suberina compõe a parede celular dos tecidos protetores secundários, como o súber (ou felema), além de restringir o movimento apoplástico (discutido ainda nesta seção) de água e solutos e de formar barreiras contra a invasão microbiana.

A espessura da parede celular depende da idade e das funções de cada célula, sendo geralmente mais finas em células jovens e mais grossas em células mais desenvolvidas. A deposição da parede celular pelo protoplasto é de fora para dentro, ou seja, a camada mais recente é aquela próxima ao protoplasto. As primeiras camadas celulósicas formadas compõem a **parede primária**, geralmente fina, unida às células adjacentes por regiões chamadas de **lamela média** (ou substância intercelular). A **parede secundária** é mais espessa e consiste nas camadas adicionais depositadas internamente à primária.

As paredes primárias, presentes nas células em crescimento e algumas células envolvidas em certos processos metabólicos, são compostas por cerca de 20% a 30% (massa seca) de celulose e são abundantes em proteínas estruturais. Já as paredes secundárias, em células que já não crescem mais, têm de 40% a 60% de celulose e poucas ou nenhuma proteína estrutural.

As paredes secundárias apresentam regiões sem deposição do material constituinte da parede, formando cavidades chamadas de **pontoações** (nas paredes primárias há campos de pontoações primárias). Através das pontoações passam os **plasmodesmos**, que conectam o protoplasto de células adjacentes realizando, assim, uma comunicação celular, com passagem de substâncias entre as células.

Plastídios

Componentes característicos de células vegetais, os plastídios são envolvidos por duas membranas, sendo que a interna é a principal barreira de permeabilidade entre o citossol e o estroma do plastídio. Nas regiões indiferenciadas das raízes e meristemas apicais das plantas encontram-se os proplastídios, estruturas pequenas, ainda sem pigmentos e com membrana interna parcial ou ausente, que darão origem aos plastídios. Essas estruturas são classificadas de acordo com o tipo de pigmento que contêm ou não contêm.

Cloroplastos são os locais onde ocorre a fotossíntese. Eles contêm os pigmentos **clorofila** (verde, predominante) e **carotenoides** (laranja) e encontram-se nas partes verdes das plantas. São especialmente numerosos nas folhas, sendo que a quantidade e o tamanho desses plastídios variam conforme a espécie e o tamanho da célula.

A estrutura dos cloroplastos é complexa: são organelas envolvidas por duas membranas e um terceiro sistema de membranas internas, os **tilacoides**, que parecem pequenos sacos achatados. Quando empilhados, os tilacoides formam um *granum* (no plural, *grana*), que se interconecta com outro *granum* por meio das chamadas **lamelas do estroma**, que não são empilhadas. Os espaços internos dos tilacoides definem um compartimento interno (espaço tilacoide) e toda essa rede de membranas está suspensa num material fluido, o **estroma**. Nas membranas dos tilacoides estão as proteínas e os pigmentos que participam da etapa fotoquímica da fotossíntese, e no estroma encontra-se a rubisco, enzima que atua na conversão do dióxido de carbono em ácidos orgânicos. A fotossíntese será considerada mais adiante nesta seção. Além de ser o local onde ocorre a fotossíntese, os cloroplastos também estão envolvidos na síntese de aminoácidos e dão lugar ao armazenamento temporário de amido.

Etioplastos são plastídios que se desenvolvem na ausência de luz, geralmente nas células foliares, mas que podem ser convertidos em cloroplastos sob luminosidade.

Os **cromoplastos** (*chroma*, cor) são plastídios com pigmentos de outras cores, que não o verde, como amarelo, laranja ou vermelho. Ou seja, altas concentrações de carotenoides que conferem cores a muitos frutos, flores, folhas de outono e até mesmo algumas raízes.

Os cromoplastos podem se desenvolver a partir de cloroplastos já formados, quando a clorofila e as membranas dos tilacoides desaparecem e os carotenoides se acumulam, um dos eventos que ocorre durante o amadurecimento de frutos. Esse processo de diferenciação pode ser reversível em algumas espécies: o pigmento caroteno é perdido, desenvolvem-se o sistema de tilacoides, a clorofila e o aparato fotossintético, retornando à condição de cloroplasto.

Leucoplastos são plastídios não pigmentados e podem estocar amido (amiloplastos simples, quando contêm apenas um grão de amido, ou compostos, quando há vários grãos), proteínas (proteínoplastos) e/ou lipídeos (oleoplastos).

Vacúolos

São estruturas delimitadas por uma membrana, chamada de **tonoplasto** ou membrana vacuolar. Apresentam múltiplas funções e variam em forma, tamanho e conteúdo, podendo haver um ou mais vacúolos em uma única célula. Algumas de suas principais funções são de **armazenamento** e **atividade lítica**.

Células meristemáticas geralmente têm vários pequenos vacúolos, os quais, durante o crescimento da célula, aumentam em tamanho e se fusionam em um único e grande vacúolo. Quando atingem a maturidade, algumas células podem ter de 90% a 95% do seu volume ocupado por um ou dois vacúolos, enquanto o conteúdo citoplasmático restante encontra-se pressionado contra a parede celular. Regiões do retículo endoplasmático agranular ou de vesículas derivadas do aparelho de Golgi podem se dilatar e originar novos vacúolos.



Refleta

Será que há vantagens para as células vegetais no fato de um vacúolo ocupar um volume tão grande do seu interior?

O tonoplasto é uma membrana seletivamente permeável, envolvida com a **regulação osmótica**, uma das funções atribuídas ao vacúolo, cuja pressão osmótica interna confere turgidez à célula. Para que as funções celulares sejam otimizadas, há um rígido controle da entrada e saída de material através do tonoplasto.

O conteúdo do vacúolo, chamado de **seiva ou suco vacuolar**, consiste de água e várias substâncias dissolvidas, que variam de acordo com o tipo de planta, órgão, célula, estágio de desenvolvimento e condição fisiológica. No geral, os componentes acumulados no vacúolo vêm de outras partes do citoplasma, não são produzidos ali, por isso é considerado um importante repositório de substâncias de reserva ou de produtos metabólicos. Em tecidos fotossintetizantes, por exemplo, açúcares produzidos durante o dia são estocados nos vacúolos de células do mesófilo e transportados para fora deles durante a noite a fim de serem distribuídos pela planta.

A **Desintoxicação do citoplasma** e a **defesa das plantas** podem ser consideradas funções adicionais dos vacúolos, pois eles **retiram do citoplasma metabólitos secundários tóxicos**, como nicotina e tanino, entre outros. Muitos desses compostos são tóxicos tanto para as plantas quanto para herbívoros, patógenos e parasitas, daí o papel na defesa. Os que não são podem ser hidrolisados e convertidos em derivados tóxicos, como cianeto, óleos de mostarda e agliconas.

Outras substâncias depositadas nos vacúolos são alguns pigmentos, como as antocianinas (azul, violeta, vermelho escuro, etc.), geralmente encontradas em células epidérmicas. As antocianinas, ao contrário das clorofilas e dos carotenoides, são solúveis em água, encontradas na solução do vacúolo, bem como os pigmentos chamados betalainas, responsáveis pelas cores vermelhas (betacianinas) e amarelas (betaxantinas) em algumas famílias de plantas.

Os vacúolos **líticos** estão envolvidos na quebra de macromoléculas e reciclagem de componentes como as proteínas. Em tecidos senescentes, plastídios e mitocôndrias podem ser absorvidos e degradados por vacúolos que contêm enzimas hidrolíticas e oxidativas, conhecidos como **autofagossomos**. Nesse contexto, se o tonoplasto é rompido, pode ocorrer a autólise do citoplasma, caso da morte celular programada (apoptose) de alguns tipos celulares. Devido a essa atividade lítica, os vacúolos têm funções comparáveis aos lisossomos de células animais.

Composição da Célula Vegetal

A composição da célula vegetal inclui os componentes da membrana plasmática: os **fosfolipídeos**, as **proteínas**, **carboidratos** (associados aos lipídeos e às proteínas), além dos compostos já mencionados da parede celular e dos **pigmentos** encontrados nos plastídios. Não nos esqueçamos dos ácidos nucleicos, DNA e RNA. Ainda assim, mais de 90% do conteúdo das células vegetais é água. De maneira geral, as células vegetais são compostas por moléculas orgânicas - carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos - e compostos inorgânicos, embora a composição química apresente variações entre as espécies e até mesmo entre as células de um mesmo organismo.



Assimile

Considerando o metabolismo das células de um organismo, os compostos encontrados nessas estruturas são classificados em:

- **Metabólitos primários:** são compostos essenciais ao funcionamento das células, como carboidratos simples, proteínas (aminoácidos), lipídeos e ácidos nucleicos. Encontrados em todas as células da planta.
- **Metabólitos secundários:** são produtos derivados do metabolismo primário, heterogêneos em sua distribuição e suas funções, podendo ser sinalizadores, defensores ou protetores. Alguns exemplos são os terpenoides, as substâncias fenólicas e compostos nitrogenados (alcaloide) e sulfurados. Podem ser compostos que conferem cor, sabor ou odor aos órgãos vegetais.

Os carboidratos (genericamente chamados de açúcares) são moléculas armazenadoras de energia e componentes estruturais das células, como já mencionados os constituintes da parede celular. A **celulose** é um exemplo de carboidrato estrutural; **sacarose** e **glicose** são exemplos de carboidratos transportados nas células vegetais; o **amido**, que é um polímero de glicose, é o mais abundante na forma de reserva, em grãos ou grânulos depositados nos amiloplastos ou nos cloroplastos.

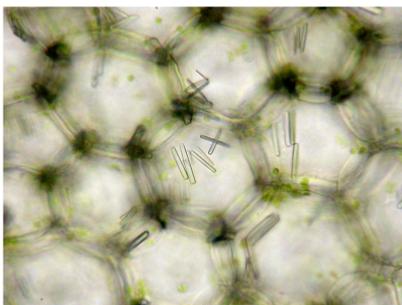
Nos cloroplastos, além do amido e da clorofila, geralmente encontra-se um composto de ferro chamado **fitoferritina** e **glóbulos lipídicos**. Os grãos de amido se acumulam em decorrência da fotossíntese e são produtos de armazenamento, considerados um dos carboidratos mais abundantes entre as plantas, ao lado da celulose.

Os lipídeos são compostos tipicamente de reserva de energia, mas há aqueles estruturais, como os de membrana e os componentes das ceras. Corpos lipídicos (oleossomos) podem ocorrer nos oleoplastos, como gotículas no citoplasma ou ligados à membrana (esferossomos). Uma grande quantidade de lipídeos acumula-se durante o desenvolvimento de sementes, como as de girassol, amendoim, gergelim e linhaça, servindo como fonte de energia e de carbono para a plântula em desenvolvimento. Frutos também podem conter abundância de óleos, mas são distribuídos pelo corpo da planta.

As **ceras** que recobrem as células epidérmicas (cutícula) de alguns órgãos aéreos das plantas são formadas por compostos de longas cadeias lipídicas. Juntamente com a **cutina** e a **suberina**, também lipídeos, elas ajudam a reduzir a perda de água pela superfície da planta, a germinação de esporos de fungos e a proliferação de bactérias. Os esteroides são lipídeos encontrados em menor quantidade nas plantas e podem compor as membranas.

Apesar de serem moléculas orgânicas abundantes nos seres vivos, nas plantas as **proteínas** compõem menos da metade da composição celular, devido à alta proporção de celulose. Geralmente encontradas em maior quantidade nas sementes de cereais e leguminosas, as proteínas podem representar uma reserva de aminoácidos para os embriões em processo de germinação, servir como

Figura 1.3 | Ráfides dentro de células de *Hypoestes phyllostachya*



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raphide.jpg>. Acesso em: 29 ago. 2018.

moléculas estruturais ou atuar como enzimas catalisadoras de reações químicas.

A seiva vacuolar é uma solução aquosa composta por íons inorgânicos (Ca^{2+} , Cl^- , K^+ , Na^+ , NO_3^- e , **açúcares**, ácidos orgânicos e **aminoácidos**. Em certos casos, substâncias podem se acumular no vacúolo em altas concentrações e formar cristais (Figura 1.3). É o caso do **oxalato de cálcio**, que se acumula sob diversas formas cristalinas: prismáticas, ráfides (formato de agulha, geralmente em feixes), drusas (agregados prismáticos em rosetas), estiloides (alongados), areia cristalina (microcristais).

Algumas células, especializadas em produzir esses cristais, são chamadas de **idioblastos**, mas a ocorrência não se restringe a elas. A formação dos cristais de oxalato de cálcio pode servir para evitar a intoxicação celular e também proteger contra a herbivoria, tornando o tecido impalatável.

Outra forma de inclusão de cálcio (carbonato de cálcio) são os **cistólitos**, formados externamente à membrana celular, em associação à parede celular e de ocorrência restrita a algumas famílias de plantas.

A deposição de sílica nas paredes celulares de algumas plantas, especialmente as da família das gramíneas (Poaceae) também está associada à resistência contra o ataque de patógenos e herbívoros, reforçando o caule.



Exemplificando

O conhecimento sobre acúmulo de substâncias nas plantas pode ser aplicado em diversos aspectos para o profissional das Ciências Biológicas. Reconhecer os cristais de oxalato de cálcio e os cistólitos é apenas um exemplo. Os padrões de deposição dessas substâncias costumam ser consistentes nos grupos taxonômicos, portanto, são elementos que auxiliam na identificação de plantas, incluindo aquelas que podem ser de interesse farmacêutico (farmacobotânica), como as drogas vegetais.

Como já mencionado, nas células vegetais também podem ser encontrados metabólitos secundários, como **substâncias fenólicas**, localizados nos vacúolos, no citoplasma ou na parede celular, como taninos. Embora suas funções não estejam bem estabelecidas, acredita-se que os taninos atuem como protetores contra infecções fúngicas e herbivoria, devido à sua adstringência. Plantas produzem e secretam quantidades consideráveis de polifenóis, incluindo taninos; além disso, podem impedir o crescimento de outras espécies vegetais ao seu redor, o que conhecemos como **alelopatia**.

FLUXO DE SUBSTÂNCIAS

O fluxo de substâncias em um organismo representa uma das formas de as células se comunicarem, o que é extremamente importante em organismos multicelulares, como as plantas. Com essa comunicação, as células vegetais sinalizam, por exemplo, sua posição, informação complementar à expressão gênica para que o tipo de célula (e, conseqüentemente, suas funções) seja determinado.

Considerando a membrana plasmática, recorde-se de que ela tem permeabilidade seletiva. Isso quer dizer que há um controle sobre o que atravessa para dentro ou para fora das células através da dupla camada fosfolipídica. O transporte de moléculas transmembrana pode ser:

Passivo: é espontâneo, a favor do gradiente de energia.

Ativo: não é espontâneo, ocorre contra o gradiente e há utilização de energia, especialmente a partir da hidrólise de ATP (adenosina trifosfato).

Mas como as substâncias chegam e passam de uma célula a outra, uma vez que são absorvidas pela planta?

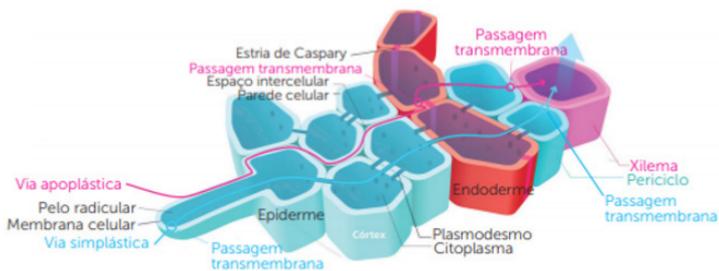
Como mencionado anteriormente, células contíguas são interconectadas pelos plasmodesmos, através dos quais há fluxo de substâncias entre as células, integrando praticamente o organismo inteiro. Esta não é a única forma pela qual as substâncias fluem pela planta. Além da rota transmembrana, há duas outras vias de transporte em nível celular:

Simplasto: composto pelos protoplastos contínuos, cujo transporte se dá internamente de uma célula a outra sem cruzar a membrana plasmática.

Apoplasto (ou espaço extracelular): envolve os espaços intercelulares e o fluxo de substâncias ocorre no *continuum* da parede celular. Neste mecanismo, as substâncias podem fluir sem chegar a atravessar a membrana de uma célula.

Quando a solução é absorvida do solo pela raiz, a água e os íons ali contidos podem atravessar a membrana plasmática e seguir o fluxo via simplasto ou seguir o caminho via apoplasto, ilustrados na Figura 1.4. Nas células da raiz, ao chegarem na endoderme, as soluções necessariamente precisam entrar no simplasto, pois nessa região as células apresentam uma camada lignificada ou suberizada ao seu redor (estria de Caspary) que impede a passagem de água e solutos via apoplasto. Passada essa barreira, água e íons podem entrar novamente no espaço extracelular e se difundir para dentro das células do xilema.

Figura 1.4 | Desenho esquemático mostrando as diferentes rotas de transporte de água e solutos do solo até o xilema



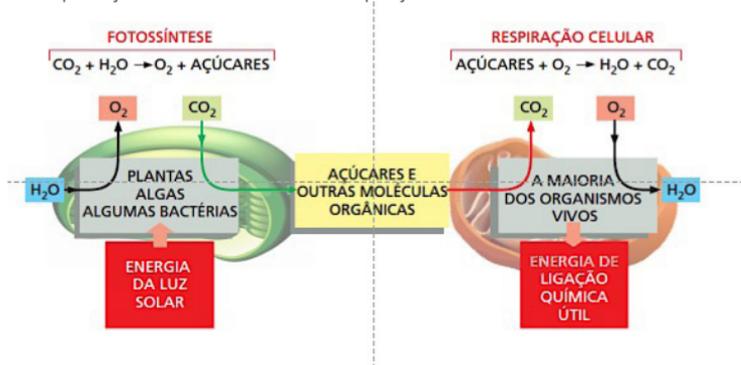
Fonte: adaptada de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/A_la_estela.svg?uselang=pt-br. Acesso em: 10 set. 2018.

RESPIRAÇÃO E FOTOSÍNTESE

O que mantém as células dos organismos vivos é a energia contida em moléculas orgânicas, liberada por reações químicas. Essa energia, necessária para os processos metabólicos, vem dos alimentos, sejam eles obtidos de forma autotrófica ou heterotrófica. Nas plantas, as estruturas que atuam no metabolismo energético são as **mitocôndrias** (assim como nos animais), responsável pela respiração celular, e os **cloroplastos**, onde ocorre a fotossíntese. As duas estruturas são compostas por dupla membrana (uma externa e outra interna) e possuem DNA próprio.

Como ilustrado na Figura 1.5, **fotossíntese e respiração são processos complementares**: o primeiro libera oxigênio que poderá ser utilizado no segundo, enquanto o gás carbônico liberado na respiração pode ser utilizado na fotossíntese para a produção de moléculas orgânicas.

Figura 1.5 | Relação entre a fotossíntese e respiração celular



Os cloroplastos captam CO_2 e liberam O_2 , enquanto as mitocôndrias consomem O_2 e geram CO_2 . Os açúcares produzidos nos cloroplastos são exportados para a mitocôndria, onde ocorre síntese da maior parte do ATP necessário ao metabolismo da célula vegetal, redistribuído para o resto da célula.

Fonte: adaptada de Alberts et al. (2017, p. 55).

No processo de fotossíntese, as plantas sintetizam moléculas orgânicas com a utilização de energia luminosa, a partir de moléculas inorgânicas, como o CO_2 e a H_2O . A concentração de CO_2 disponível para as plantas influencia diretamente na taxa de fotossíntese, já que é um substrato para que o processo ocorra. A energia armazenada nos compostos carbonados pode ser liberada para que as células vegetais realizem seus processos metabólicos e sirvam como fonte de energia para todos os seres vivos.

Já no processo de respiração aeróbica, carboidratos e outras moléculas orgânicas são fonte de energia para as células, uma vez que, em combinação com o O_2 , são usados para síntese de ATP, produzindo CO_2 e a H_2O .



Pesquise mais

Para se aprofundar a respeito do processo de transformação de energia que envolve as mitocôndrias (respiração), consulte o material a seguir, disponível em sua biblioteca virtual:

JUNQUEIRA, Luiz C. U.; CARNEIRO, José. Papel das Mitocôndrias na Transformação e no Armazenamento de Energia. In: JUNQUEIRA, Luiz C. U.; CARNEIRO, José. **Biologia Celular e Molecular**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. Cap. 4. p. 69-80.

Se as plantas utilizam substâncias retiradas do ambiente para realizar seus processos metabólicos, uma alteração na concentração dessas substâncias pode provocar mudanças significativas nas células vegetais. Leia o artigo sugerido para saber mais:

WALTER, Lidiane Cristine; ROSA, Hamilton Telles; STRECK, Nereu Augusto. Mecanismos de aclimação das plantas à elevada concentração de CO_2 . **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 9, p. 1564-1571, set. 2015.

Sem medo de errar

Nesta seção tratamos da estrutura das células vegetais, enfatizando aquelas que são mais características nas plantas. Além disso, conhecemos os principais componentes químicos dessas células e os processos relacionados ao metabolismo energético dos vegetais.

Em um relatório contendo os possíveis danos vegetais decorrentes de desmatamento e poluição de uma região de área de preservação permanente, você deveria mostrar como os fatores daquele ambiente poderiam interferir

no funcionamento celular de uma planta, considerando suas estruturas e o metabolismo energético.

Quando falamos em poluição, estamos nos referindo a uma interferência na qualidade de determinado ambiente. De acordo com os conteúdos estudados nesta seção, é possível estabelecer uma relação entre as principais funções das células vegetais, suas microestruturas e as possíveis alterações que poderiam ser ocasionadas pela poluição.

A fotossíntese é um dos processos vitais para a obtenção de energia de todos os seres vivos, a começar pelos próprios organismos fotossintetizantes, como as plantas. Se ela acontece mediante utilização de água e dióxido de carbono (obtidos, em primeira instância, do ambiente), alterações na qualidade do ar e da água poderão alterar o metabolismo fotossintético.

Concentrações aumentadas de CO_2 na atmosfera podem, inicialmente, aumentar a capacidade de fotossíntese das plantas, mas não se esqueça de que uma das leis básicas da natureza é o equilíbrio, a aclimação. Portanto, pode haver adaptações que reflitam nas estruturas relacionadas à fotossíntese, como esgotamento de enzimas necessárias às reações de fotossíntese, que poderão estar em atividade acelerada. Também por esse motivo, poderá haver um excesso de amido acumulado nos cloroplastos. Tais fatores podem diminuir o rendimento fotossintético. Não se esqueça de que se houver alteração no fluxo de carbono, o balanço entre fotossíntese e respiração pode mudar.

Caso haja problemas de contaminação dos solos e das águas, as substâncias dissolvidas podem entrar nas células das plantas. Isso pode ocasionar uma intoxicação do vegetal, que precisará evitar possíveis efeitos deletérios às células. As membranas (tanto do plasmalema quanto as membranas do cloroplasto e da mitocôndria) poderão sofrer ruptura, causando extravasamento do seu conteúdo, ou ter suas funções alteradas, já que compostos tóxicos podem se ligar às proteínas de membrana ou oxidar lipídeos, alterando a permeabilidade.

Substâncias tóxicas podem inativar enzimas, afetar a quantidade de pigmentos fotossintéticos, como a clorofila e os carotenoides, por interferir na sua biossíntese ou mesmo prejudicar o metabolismo respiratório, estimulando-o ou inibindo-o. A presença de substâncias tóxicas às plantas pode levá-las a um acúmulo nos vacúolos das células. Plantas intoxicadas podem apresentar folhas amareladas, enroladas e necrosadas, podendo até perdê-las.

Além disso, a fotossíntese ocorre com a utilização da energia luminosa. Porém cada espécie vegetal possui suas necessidades particulares de intensidade de luz à qual são submetidas para otimizar a fotossíntese. Caso a área

estudada apresenta manchas de desmatamento, isso pode significar que alguns espécimes estão recebendo mais luz do que precisam, levando a uma inibição ou redução da sua capacidade fotossintética. Se a APA estiver num local em que as plantas recebem iluminação artificial em excesso durante a noite (considerada poluição luminosa), a taxa fotossintética das plantas também poderá sofrer alterações.

Ao elaborar seu painel com os dados levantados, não se esqueça de ilustrar a área estudada e apresentar os problemas de poluição observados e as estruturas das células vegetais que poderão sofrer alterações morfoanatômicas e fisiológicas.

Avançando na prática

Como as plantas se defendem?

Descrição da situação-problema

Você, biólogo, trabalhando numa empresa que presta consultoria para estabelecimento e acompanhamento de jardins e hortas em escolas da cidade, foi destinado para analisar a horta de uma dessas escolas, cujas plantas apresentavam sinais de predação. Você observou que, naquela área, plantas estavam sendo comidas por algum animal, provavelmente lagartas, pelos padrões de injúria das folhas. Porém, nesse mesmo local, entre essas plantas, alguns indivíduos de espécies diferentes não apresentavam nenhum sinal de ataque.

Quais seriam as possíveis explicações para essa preferência das lagartas por uma ou outra planta e como você poderia começar a investigar se suas hipóteses estão corretas, com base nas estruturas celulares e sua composição?

Resolução da situação-problema

Há duas considerações iniciais sobre a situação descrita: as plantas comidas têm algo que agrada as lagartas e/ou as não-plantas intactas têm algo que desagrada esses animais, fazendo com que eles não se alimentem delas. Algumas plantas apresentam tolerância ou até mesmo resistência à herbivoria e há diversas estratégias que podem estar relacionadas.

Considerando as células vegetais, possivelmente essas estratégias incluem defesas químicas, como a produção e liberação de compostos voláteis que afastam (ou atraem) os herbívoros. Nicotina e tanino armazenados nos

vacúolos são exemplos de substâncias que podem ser tóxicas para os herbívoros. Em relação à defesa estrutural, folhas mais rígidas, resultantes de variações na composição das paredes celulares (celulose, lignina, deposição de sílica) também podem inibir a herbivoria.

Outra opção é a ocorrência de estruturas microscópicas dentro das células vegetais, como cristais de oxalato de cálcio, que tornam o tecido impalatável a alguns herbívoros.

Retirar amostras de tecidos das plantas injuriadas e das não injuriadas, com análise em microscópio e bioquímica, poderá ajudar a identificar estruturas e compostos presentes e/ou ausentes em ambos os casos, para definir o que poderia estar atraindo ou afastando as lagartas e até mesmo a identificar essas plantas, pois a composição celular pode ser bem particular a cada espécie.

Faça valer a pena

1. Todos os seres vivos têm como unidade estrutural e funcional as células. Independentemente de serem procarióticas ou eucarióticas, várias estruturas são comuns a quase todas as células. Entretanto, há características muito particulares que diferenciam os grupos de seres vivos em nível celular. Ao observar uma célula animal, uma fúngica e uma vegetal em microscópio e com acesso às informações de composição dessas células, qual conjunto de características determinariam quais dessas células pertencem a uma planta?

Assinale a alternativa correta.

- a) Parede celular de quitina; cloroplastos com grãos de amido; membrana plasmática.
- b) Ausência de parede celular; reserva de glicogênio; vacúolo.
- c) Parede celular de celulose; cloroplastos com grãos de amido; vacúolo.
- d) Parede celular de celulose; reserva de glicogênio; membrana plasmática.
- e) Parede celular de quitina; cloroplastos com grãos de amido; vacúolo.

2. Dietas vegetarianas são aquelas que não incluem nenhum tipo de carne, mas pessoas adeptas a esse tipo de alimentação geralmente consomem produtos derivados de animais, como ovos, leite e derivados, obtendo, assim, um aporte de proteína. Já as dietas consideradas veganas não incluem o consumo de produtos derivados de animais, baseando grande parte de sua alimentação em vegetais.

Considerando a composição dos vegetais, que alimentos podem ajudar a suprir as necessidades proteicas de uma pessoa que tem alimentação vegana?

- a) Sementes de cereais e leguminosas.
- b) Batata.

- c) Alface e rúcula.
- d) Frutas cítricas.
- e) Mandioca.

3.

“Há muito se sabe que vegetais têm a capacidade de medir a passagem do tempo. Mas quem “ajusta” o relógio das plantas? A luz tem papel crucial nesse processo, também influenciado pela temperatura e por sinais internos, como a energia produzida pelo vegetal na forma de açúcares [...]” (GARCIA, 2018, [s.p.]).

Com base em seus conhecimentos sobre a estrutura e o funcionamento das células vegetais e o excerto acima, assinale a alternativa que indica processo e estrutura diretamente envolvidos no ajuste do relógio biológico das plantas.

- a) A respiração celular, que ocorre nas mitocôndrias, indicaria o quanto de açúcar está sendo produzido pela planta.
- b) É a partir da fotossíntese, que ocorre nas mitocôndrias, que as plantas sintetizam lipídeos, os quais indicariam o consumo de oxigênio pela célula.
- c) A desintoxicação celular, que ocorre nos vacúolos, onde açúcares são degradados, liberando energia para a célula.
- d) É a partir da fotossíntese, que ocorre nos cloroplastos, que as plantas sintetizam açúcares, os quais sinalizariam o nível de energia.
- e) É na respiração celular, que ocorre nos cloroplastos, onde a síntese de açúcares sinalizaria a condição energética da célula.

Ecologia vegetal

Diálogo aberto

Você já fez um passeio pelos ambientes naturais de sua região e observou que tipos de plantas são predominantes ou como elas se distribuem? Já se perguntou como elas conseguiram se estabelecer ali, por que determinada espécie não ocorre ou como as espécies interagem entre si?

Agora que você já entendeu como as plantas são estruturadas em nível microscópico, vamos estudá-las, nesta seção, numa escala macroscópica, desde um indivíduo até a coletividade dos vegetais nos ambientes, entendendo um pouco mais sobre a dinâmica das plantas nessa relação com o espaço. Você já deve imaginar que este tema está intimamente relacionado à nossa compreensão dos ecossistemas, incluindo os diversos problemas ambientais atuais.

A ecologia é uma ciência multidisciplinar que procura entender a interação dos organismos entre si e com o ambiente. Dessa forma, apresentaremos alguns conceitos relacionados à ecologia de plantas, como as reconhecemos como indivíduos e grupos, e como os vegetais compartilham determinados ambientes. Também verificaremos que há uma hierarquia entre as plantas, de que forma interagem com diferentes espécies e como se distribuem pelo Brasil e pelo mundo.

Desta vez você foi escalado, na empresa em que está trabalhando, para conduzir um minicurso teórico-prático para alunos de ensino médio das escolas da região em que vivem, cujo objetivo principal é conhecer os ecossistemas locais. Na distribuição das funções entre os monitores, seu papel é ajudar os alunos a entenderem a estrutura da vegetação local e a reconhecerem algumas espécies-chave dos ecossistemas, além de identificarem as principais características do bioma em que se localizam.

Antes de ir a campo, a fim de alinhar o curso com os demais participantes, você deve visitar os locais escolhidos para reconhecê-los e apresentar à equipe uma proposta de atividade, indicando:

- Formas de condução do tema e abordagem dos conceitos relativos à ecologia de plantas.

- Modos de identificar a estrutura e o crescimento dos indivíduos, das populações e da comunidade.

- Caracterização dos ecossistemas.
- Espécies-chave presentes na comunidade vegetal local.
- Estratégias adaptativas das plantas àquele ambiente.

Apresente sua proposta no formato de plano de aula, relacionando-a aos conteúdos a serem abordados e aos objetivos a serem alcançados. Além disso, reflita sobre quais recursos didáticos serão utilizados e como eles serão aliados à metodologia para atingir os objetivos esperados.

Tenha em mente os conceitos relativos à ecologia que precisarão ser esclarecidos, a formação vegetal do local de visitação e o bioma no qual ele está inserido.

Vamos lá, entenda a estrutura vegetal dos ambientes para poder interagir com as plantas de forma consciente.

Não pode faltar

Ecologia de plantas

A ecologia vegetal não está separada da ecologia geral quando falamos do estudo das rela es entre seres vivos e os ambientes que habitam, procurando padrões, processos e explica es para o ecossistema em estudo. Porém, há aspectos que podem ser estudados de forma mais específica em rela o a como as plantas habitam os ambientes e interagem com ele em diferentes escalas, como flutua es na luminosidade, crescimento t pico das plantas, suas rela es com animais herbívoros, entre vários outros.



Assimile

Em ecologia há uma hierarquia biológica, em que cada organismo vivo em um ecossistema   considerado um **indivíduo**. Quando indivíduos da mesma espécie estão numa mesma área ao mesmo tempo, configuram uma **popula o**. O conjunto de todas as popula es interagindo constitui uma **comunidade**, que, agrupadas e com os elementos físicos do ambiente, formam um **ecossistema**.

O conceito de indivíduo vegetal não   simples de definir, e precisa ser elaborado caso a caso. Em certas situa es, um indivíduo será uma planta totalmente isolada das demais; em outras, poderá ser considerado um ramo que está enraizando e se tornando independente da planta de origem. As características do local em que um indivíduo está e suas varia es diárias ou

anuais (especialmente climáticas), a presença e a identidade de plantas vizinhas ou outros seres vivos ali encontrados exercem influências importantes sobre como aquele indivíduo é e como ele se comporta. Além disso, plantas da mesma espécie variam em tamanho, morfologia e desenvolvimento. Medimos o tamanho dos indivíduos a partir de diferentes parâmetros, como altura, biomassa, número de ramos ou folhas, área foliar. Em árvores, mede-se o diâmetro do tronco, a área e o volume da copa. Portanto, definir um indivíduo, em ecologia vegetal, depende muito do que está sendo estudado.

Em relação ao crescimento, as plantas adicionam unidades repetidas (módulos) ao seu corpo, que são acrescentados ou perdidos, o que influencia em sua forma e tamanho. Com essas mudanças, o indivíduo pode ter alterada sua capacidade de interagir com o meio físico e com outros seres vivos, tanto positiva quanto negativamente.

Plantas têm crescimento em altura (primário) e, especialmente as lenhosas, em diâmetro (secundário), sendo que a competição pela captação de recursos é um dos fatores que afetam o crescimento de um indivíduo.



Refleta

A disposição das partes do vegetal (caules, folhas, etc.) ao longo do seu desenvolvimento resulta na sua **arquitetura**, muito diversa entre as plantas. Indivíduos de uma mesma espécie sempre exibirão a mesma arquitetura?

O sucesso de desenvolvimento das plantas em um determinado ambiente ou a uma condição específica tem relação com as **estratégias** vegetais. As respostas a esses ambientes ou condições dependem da bioquímica e da fisiologia dos indivíduos, que refletem em sua morfoanatomia.

As plantas podem apresentar diversas estratégias para se adequarem a um ambiente e terem vantagem competitiva, como a **alelopatia** – produção de substâncias químicas que matam ou inibem o crescimento de plantas vizinhas. A **facilitação** é um exemplo de interação positiva entre as plantas, ao menos durante um período de sua vida: plantas adultas, chamadas de berçário, podem proteger (por acaso) as menores da herbivoria e podem facilitar seu crescimento ao aumentar a umidade do solo e reduzir temperatura e intensidade luminosa.

As **respostas adaptativas** às condições do ambiente em que vivem os indivíduos também determinam sua sobrevivência e a forma como se desenvolvem (mais detalhes na Seção 1.3). Há plantas que são resistentes à herbivoria ou tolerantes aos seus efeitos negativos, minimizando-os. Os

vegetais podem ter estruturas que os defendam da herbivoria, como tricomas (pelos), secreção de compostos nocivos, revestimentos rígidos, estruturas e compostos impalatáveis ou tóxicos (mencionados na Seção 1.1). Plantas parasitas aproveitam-se de outras plantas para delas obter água e substâncias nutritivas.

Outras características adaptativas ao ambiente podem ser a hipertrofia de lenticelas, que aumentam a capacidade de oxigenação de plantas em ambientes alagáveis, a expulsão do excesso de sal através de poros nas folhas de espécies de ambientes salinos e a defesa contra patógenos (produção de compostos letais, obstrução do floema), para citar alguns exemplos.

Populações e comunidades

Populações

Embora uma população seja o conjunto de indivíduos de uma mesma espécie, as propriedades de uma população e as dos seus indivíduos não são as mesmas. No entanto, a **dinâmica** de crescimento e reprodução dos indivíduos refletem no crescimento (ou declínio) da população.

Os fatores que interferem no **crescimento** de uma população podem ou não depender da quantidade de indivíduos que habitam uma determinada área (**densidade**). Como as plantas são sésseis, elas normalmente competem com seus vizinhos mais próximos dentro da população. Essa **competição** por recursos pode ser indireta (exploração, como a disputa pelos nutrientes) ou direta (interferência, como a disputa por espaço ou a alelopatia).

A capacidade de sobrevivência de indivíduos da população aumenta quando as plantas apresentam adaptações ou interações que estimulem seu crescimento e/ou incrementam sua capacidade competitiva. Por exemplo, ciclos de vida curtos (rápida colonização), tolerância à baixa luminosidade (crescimento em locais sombreados) e **relações mutualísticas** são características, em geral, benéficas às plantas. Já a **predação** (herbivoria) e o **parasitismo** terão efeito contrário, prejudicando os indivíduos afetados da população, dependendo do grau de ataque ou infestação – há plantas que conseguem se desenvolver mesmo quando predadas ou parasitadas.



Pesquise mais

Nas páginas 1383 a 1393 do material indicado na sua biblioteca virtual, há conceitos e exemplos sobre as principais interações dos vegetais:

competição, mutualismo e predação.

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E.; ZEDLER, P. Dinâmica de Comunidades e Ecossistemas. In: _____. **Raven | Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

A forma de dispersão das populações (aumento de uma população já existente ou surgimento de uma nova) também pode ser considerada no tamanho populacional. A dispersão se dá por meio de sementes e grãos de pólen ou de fragmentos vegetais que são capazes de se estabelecer e crescer em um novo local, tornando-se plantas maduras.

As taxas de crescimento das populações vegetais variam em decorrência de fatores que ocorrem ao acaso, que afetam os indivíduos e, consequentemente, as populações. Exemplos desses eventos são variações sem padrão na umidade do ambiente, ou incêndios ocasionais, que podem até mesmo extinguir pequenas populações que já se encontravam ameaçadas.

Quando analisamos quantos indivíduos estão presentes em uma população e quais eles são (sementes, plântulas, juvenis, adultos), estamos descrevendo a sua **estrutura**. Além de não serem iguais (e até mesmo por isso), os indivíduos não têm as mesmas chances de sobreviver e de se reproduzir. Portanto, na análise da estrutura de populações vegetais é importante associar a idade aos estágios de desenvolvimento das plantas (Figura 1.6) para se determinar sua taxa de sobrevivência e reprodução.

Figura 1.6 | Palmeiras em diferentes estágios de desenvolvimento: infante (seta amarela), jovem (seta rosa) e adulto (seta vermelha)



Fonte: adaptada de iStock .

Comunidades

Ao caminharmos em uma floresta, percebemos as mudanças na composição da vegetação, nas espécies presentes ao longo do caminho, com limites às vezes identificáveis, outras vezes não tão claros. Uma das formas de se reconhecer uma comunidade vegetal é identificar sua **fisionomia**, ou seja, sua estrutura ou aparência, que se relaciona com as condições ambientais daquele determinado local.

A estrutura de uma comunidade pode ser analisada verticalmente, quando avaliamos a composição de árvores, arbustos e herbáceas, por exemplo, estabelecendo os estratos vegetais. Outras formas de se descrevê-las é medir a riqueza (número) de espécies que ali ocorrem e qual sua abundância relativa.

A composição das comunidades também é impactada pela maneira como os indivíduos vegetais interagem entre si e com outros seres vivos, como já explicado para as populações. A herbivoria também pode ser um fator limitante do crescimento de comunidades: quando ela não ocorre de forma intensificada, permite que espécies competitivas cresçam e ocupem espaço significativo que, em outra situação, poderia ser tomado por espécies maiores e menos atacadas. Uma infecção por patógeno pode atacar e eliminar os indivíduos de uma única espécie de determinada comunidade.



Exemplificando

Alguns materiais que podem ser usados para medir características da vegetação são: parcelas que delimitam áreas, construídas com madeira ou canos de PVC; régua graduada, trena e fita métrica; paquímetro.

É importante também conhecer o local estudado, localizá-lo em um mapa, ter em mãos GPS, bússola e outros equipamentos que auxiliem sua localização.

Sucessão de espécies vegetais

Você já observou ou imagina o que acontece com a vegetação de uma área que era usada, por exemplo, para a agricultura e que depois, passado um tempo, foi abandonada?



Assimile

A **sucessão** é um processo no qual ecossistemas que sofreram alterações intensas podem, ao longo do tempo, passar por mudanças espontâneas

e retornar a condições muito próximas à original, desde que não sofram recorrentes perturbações.

As **perturbações** que causam distúrbios na estrutura e na composição dos ecossistemas, das comunidades ou das populações vegetais variam em escala (intensidade, tamanho e frequência) e na forma como alteram a estrutura daquele ambiente. Elas podem ser resultantes de atividades naturais, como inundações, queimadas espontâneas, tempestades (chuvas, nevascas, furacões, etc.), secas extremas, herbivoria intensa, deslizamentos, ou de atividades antrópicas destrutivas, como queimadas e desmatamento.

Sucessão primária é o processo de colonização por plantas de áreas consideradas estéreis, cujo substrato sofreu alterações. Um exemplo é a colonização de rochas por líquens, que desagregam as rochas, tornando aquele ambiente adequado à instalação de musgos e, em seguida, plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas. A **sucessão secundária** (Figura 1.7) refere-se à recolonização de substratos que já haviam sido povoados, como uma área que foi desmatada e cujo solo abriga sementes capazes de germinar.

Figura 1.7 | Imagem aérea evidenciando a sucessão secundária em um antigo pasto



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sere_de_sucess%C3%A3o_em_floresta.jpg. Acesso em: 18 set. 2018.

O estabelecimento das novas plantas também pode decorrer de oportunidades, como a abertura de clareiras numa floresta (desmatamento ou atividade animal). Com uma maior entrada de luz, germinam sementes que estavam acumuladas no solo (**banco de sementes**) ou que foram trazidas por animais e vento, e plântulas que já haviam iniciado o seu desenvolvimento crescem.

Em um processo de sucessão vegetal, espécies **pioneiras ou iniciais** são as que têm crescimento rápido: são os primeiros colonizadores, que alteram o substrato, tornando-o adequado para que outras espécies também se estabeleçam. As espécies que se desenvolvem após as pioneiras são chamadas de

intermediárias e antecedem o estágio **clímax**, aquele no qual a comunidade tende a atingir o equilíbrio em sua composição, que é complexa. O que não significa que as mudanças deixem de acontecer.



Exemplificando

O conhecimento sobre as dinâmicas de populações e comunidades e sobre os processos de sucessão de espécies vegetais e sua previsibilidade são ferramentas importantes na ciência da **ecologia da restauração**. Podemos aplicar esse conhecimento na restauração ecológica para recuperar ambientes perturbados da melhor maneira possível.

Formações vegetais e os biomas

Quão diversas são as vegetações do nosso país e do mundo?



Assimile

Biomas são regiões biogeográficas cujas características vegetais (fisionomia) diferem entre si, têm forte relação com o clima (principal fator), o solo e o relevo local, além de fornecerem pistas sobre a fauna da região.

Os elementos da natureza que compõem um bioma interagem, formando tipos dominantes de vegetação. Mesmo nos biomas distribuídos ao longo do planeta, haverá diferenças entre as espécies vegetais encontradas, conforme as condições e os recursos de cada local.

Embora haja variações de classificação na literatura, os principais biomas ou ecorregiões terrestres são 14: florestas (pluvial tropical, decidual tropical, espinhosa, perenifolia temperada, decidual temperada), savana tropical, deserto quente, chaparral, deserto frio, montanhas altas, taiga, tundra ártica, campo temperado e gelo.



Pesquise mais

Para detalhes sobre os principais biomas do mundo, explore as páginas 418 e 419 do material indicado, na sua biblioteca virtual.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. Biomas. In: _____. **Ecologia vegetal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

O vídeo sugerido abaixo, entre 1min53s e 15min19seg, mostra as principais características da vegetação, clima e fauna dos biomas brasileiros.

USPCDCC. **Biomas Brasileiros**. 2014.

No Brasil encontramos alguns desses biomas, sendo seis principais, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004), descritos a seguir.

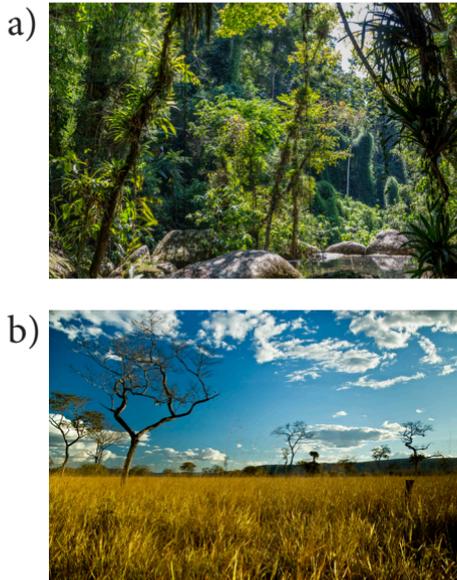
A Amazônia e a Mata Atlântica, Figura 1.8 (A), são florestas pluviais tropicais, com plantas de tamanhos variados, incluindo árvores com dezenas de metros de altura e copas densas, que criam um ambiente sombreado. Trepadeiras e epífitas (bromélias, orquídeas e outras) fazem parte dos tipos vegetais que procuram regiões mais altas para ter acesso à luz.

Caatinga e Cerrado, apresentados na Figura 1.8 (B) são considerados savanas. No geral, as árvores e arbustos são bastante esparsos, mas é possível encontrar áreas onde esses tipos de plantas quase não aparecem, predominando campos livres, dominados por herbáceas, incluindo gramíneas. Ao mesmo tempo, há locais com florestas fechadas, com árvores de baixo e médio porte.

O Pampa, Figura 1.8 (C), representa um campo temperado (também chamado de estepe), caracterizado pelo domínio de gramíneas e outras herbáceas, mas há formações florestais, especialmente em margens de rios.

O Pantanal é considerado uma região de transição, apresentando vegetação variada, com espécies típicas dos biomas adjacentes (Amazônia e Cerrado), bem como vindas de outros locais, como a Mata Atlântica.

Figura 1.8 | Formações vegetais de biomas brasileiros: Mata Atlântica (A), Cerrado (B) e Pampa (C)





Fonte: iStock .

Sem medo de errar

Sua tarefa era apresentar um plano de aula para ser aplicada a alunos de ensino médio, visando conhecer e reconhecer a vegetação dos ecossistemas do bioma em que se encontram, priorizando o ponto de vista ecológico.

A melhor forma de conduzir este tema é visitar os ambientes naturais disponíveis que tenham uma composição vegetal suficiente para que os conceitos sejam abordados e sua estrutura, compreendida. Você pode introduzir o tema abordando os conceitos ecológicos gerais (muitas vezes exemplificados predominantemente com animais) e, juntamente com os alunos, aplicá-los às plantas.

Considerando a estrutura de um plano de aula, sua proposta deve seguir o exemplo adiante.

Conteúdos

Gerais: ecologia vegetal e formações vegetais.

Específicos: conceitos ecológicos (indivíduos, populações, comunidades, ecossistemas, sucessão ecológica); dinâmica e estrutura de populações e comunidades; interações vegetais; formações vegetais e biomas.

Objetivos

Gerais: Conhecer ecossistemas locais sob o ponto de vista ecológico.

Específicos: Reconhecer, nos ecossistemas visitados, indivíduos que compõem populações e comunidades; compreender medidas que determinam o tamanho e o crescimento dos indivíduos, das populações e da comunidade; caracterizar a vegetação dos ecossistemas, identificando espécies representativas e estratégias adaptativas das plantas ao ambiente.

Recursos didáticos

Visita a uma reserva florestal (ou zona rural com área de preservação ambiental, jardim botânico, etc.); instrumentos de medida; material para delimitar área de estudo; máquina fotográfica; bloco de anotações.

Metodologia

Apresentação aos alunos de um mapa que localize e contextualize a área a ser visitada; indicação do que devem encontrar e procurar quando estiverem no local.

Após um reconhecimento inicial do ambiente, realizar paradas estratégicas para abordar os conceitos de ecologia aplicados às plantas. Pedir que os alunos identifiquem um único indivíduo vegetal e expliquem seus critérios (uma planta isolada das demais, um broto que está prestes a se tornar independente, etc.), além de identificar se ele está sofrendo alguma influência aparente do ambiente ou das plantas vizinhas ou, ainda, se é como ele se diferencia de outros indivíduos da mesma espécie (morfologia, tamanho).

Os alunos medem a planta escolhida e anotam os resultados (se possível, identificam a espécie da planta), indicando parâmetros como altura, diâmetro de caule, número de ramos e folhas, entre outros. Caso haja plantas muito altas, sugerir que os alunos façam estimativas das medidas ou escolham plantas viáveis para a tarefa.

Ainda em relação aos indivíduos, observar com os alunos se é possível indicar alguma estratégia de adaptação da planta ao ambiente em que ela está (plantas com marcas de herbivoria mas que seguem saudáveis, presença de espinhos ou tricomas, parasitismo, epifitismo, revestimento enrijecido, entre outros).

Delimitar a área na qual os alunos estão realizando a atividade e pedir para identificarem se há várias plantas da mesma espécie para discutir o conceito de população. Conversar sobre como aquela população poderia aumentar ou ser reduzida, mediante a possibilidade de competição por recursos; disputa por espaço; se as plantas crescem melhor na sombra ou sob luminosidade mais intensa; se há plantas que apresentam sinais de herbivoria intensa ou de doenças; se há sementes germinando sobre o solo; se a região sofre perturbações ocasionais, como queimadas, alagamentos, pisoteio ou pastagem animal.

Pedir que os alunos analisem a estrutura da população: avaliar se há muitos indivíduos da espécie naquele local (densidade); qual a altura e estágio de vida.

Discutir o conceito de comunidade vegetal, observando a estrutura da área delimitada: quantas e quais espécies diferentes estão presentes; avaliar a fisionomia; verificar a ocorrência de diferentes estratos vegetais e qual a altura predominante das plantas. Comparar as observações da área delimitada com as regiões no entorno e verificar se é possível identificar diferenças entre as comunidades do local visitado.

Repetir algumas análises realizadas em relação à população: observar se há sinais aparentes de que as diferentes espécies de plantas interagem entre si, como trepadeiras e epífitas; se espécies maiores são mais ou menos predadas ou infectadas do que as menores.

Identificar o tipo de formação vegetal da área visitada (floresta, campo, savana, restinga, manguezal), observando a altura média das plantas predominantes e o espaçamento entre os indivíduos. Relacionar as características climáticas da região com a predominância de determinada vegetação (as plantas são sempre verdes e com folhas ou são aquelas que perdem as folhas em época de seca e apresentam caules que armazenam água). Verificar se as plantas apresentam adaptações ao tipo de solo e regime de águas do local (raízes-escora ou respiratórias em ambientes alagáveis, folhas com glândulas de sal em ambientes salinos). Identificar se há plantas típicas do bioma.

Ao final, você pode reunir os dados e registros realizados durante a atividade com os alunos a fim de compor um painel para ilustrar as características das plantas encontradas naquele habitat.

Avançando na prática

Pinheiros do campo

Descrição da situação-problema

Você recebeu um convite para fazer parte de uma comissão julgadora de um concurso que vai avaliar projetos relacionados à preservação e recuperação de ambientes naturais. Os projetos vencedores receberão auxílio financeiro e consultoria para serem colocados em prática. Os resumos dos projetos passarão por uma pré-seleção e serão distribuídos para os avaliadores de diferentes atuações profissionais, para que os pareceres sejam encaminhados e, só então, as propostas completas sejam analisadas.

Você recebeu o seguinte resumo para avaliar:

Somos uma empresa empenhada em recuperar pequenas áreas degradadas, a partir da revegetação do local, num processo de sucessão primária. O objetivo

do nosso projeto é recuperar uma área de campo, situado no bioma Pampa, que sofreu uma grande interferência devido a um incêndio e que, anteriormente, era usada para pastagem de gado. Pretendemos plantar duas mil mudas de uma única espécie de pinheiro, escolhida por sua capacidade de crescer em ambientes sombreados, para restaurar a comunidade vegetal.

Como biólogo, o seu parecer seria favorável ou contrário à continuidade do projeto no concurso? Que argumentos conceituais e procedimentais você usaria para basear seu parecer, a partir dos seus conhecimentos sobre Ecologia Vegetal?

Resolução da situação-problema

O parecer para este pré-projeto, da forma como foi apresentado, deve ser negativo para prosseguir nas fases do concurso. O conceito de sucessão primária está incorreto, já que diz respeito ao estabelecimento de plantas em um solo novo. O que o projeto está propondo baseia-se no conceito de sucessão secundária, pois seria uma recolonização de uma área que já havia sido anteriormente ocupada. Além disso, o local se encontra em uma formação de campo, no Pampa, e era usada como pastagem, o que sugere que havia predominância de gramíneas baixas e outras plantas herbáceas. Portanto, o uso de pinheiros e de árvores de grande porte, não simularia as condições originais da vegetação local. Em um campo, as plantas recebem intensa luminosidade, não sendo este o ambiente adequado para plantas que se desenvolvem melhor em sombra, como a espécie escolhida. Por fim, o projeto cita a utilização de uma única espécie para recuperar a comunidade vegetal, mais uma vez indicando um conceito errado, que deveria ser de população (o que seria igualmente inadequado para o projeto, se o objetivo fosse recuperar a riqueza de espécies).

Faça valer a pena

1. Observou-se que uma espécie de planta A, ao ser cultivada ao lado de uma espécie B, tinha seu crescimento intensamente afetado. Ambas as espécies tinham água e luz disponíveis, o solo era frequentemente adubado e elas não interagiam fisicamente. A fim de descobrir o que estava interferindo no crescimento das plantas A, as duas espécies foram usadas em experimentos e descobriu-se que a espécie B produzia uma substância química que afetava negativamente o crescimento da espécie A.

Marque a alternativa que indica o tipo de estratégia apresentada pela espécie B.

- a) Facilitação.
- b) Herbivoria.

- c) Parasitismo.
- d) Mutualismo.
- e) Alelopatia.

2. A estrutura de uma comunidade vegetal pode mudar ao longo do tempo, muitas vezes em decorrência de distúrbios ambientais. Após uma perturbação, a comunidade pode ou não retomar seu equilíbrio e o sequencial aparecimento ou desaparecimento de espécies na comunidade ao longo do tempo descreve processos de sucessão ecológica.

A foto ao lado mostra uma planta crescendo em meio a rochas vulcânicas.



Fonte: iStock .

Com base no texto e nos seus conhecimentos sobre sucessão ecológica, marque a alternativa que indica qual processo está ilustrado pela foto.

- a) Sucessão primária, pois a vegetação atingiu um estado de equilíbrio.
- b) Sucessão secundária, pois a planta está recolonizando um ambiente onde havia plantas anteriores.
- c) Sucessão primária, pois a planta está colonizando um solo em formação.
- d) Sucessão secundária, pois a planta está colonizando um solo em formação.
- e) Sucessão primária, pois a planta está recolonizando um ambiente onde havia plantas anteriores.

3. Um trabalho revelou que os **baobás africanos** (*Adansonia digitata*) (I), encontrados nas **savanas africanas** (II), estão morrendo. Os pesquisadores utilizaram técnicas para estudar a **idade e a arquitetura** (III) da espécie e sugeriram que essas árvores vivem por muitos anos devido à produção de novos caules, que se fusionam ao longo do tempo. Durante o estudo, **algumas das árvores** (IV) morreram e os pesquisadores suspeitam que as mortes estejam associadas a **mudanças nas condições climáticas** (V) que afetam a região (PATRUT et al., 2018).

Os trechos em destaque e identificados por I, II, III, IV e V se relacionam a conceitos aprendidos em Ecologia Vegetal.

Marque a alternativa que indica corretamente quais conceitos se relacionam com cada trecho destacado, respectivamente.

- a) I - população; II - perturbação; III - indivíduos; IV - tamanho e crescimento; V - biomas.
- b) I - indivíduos; II - biomas; III - tamanho e crescimento; IV - perturbações; V - população.
- c) I - indivíduos; II - biomas; III - população; IV - tamanho e crescimento; V - perturbações.
- d) I - população; II - biomas; III - tamanho e crescimento; IV - indivíduos; V - perturbações.
- e) I - biomas; II - população; III - indivíduos; IV - perturbações; V - tamanho e crescimento.

Plantas e o ambiente

Diálogo aberto

Você já cultivou plantas e precisou pensar em terra, água, luz, adubação, temperatura do ambiente? Já parou para pensar em como os recursos ambientais são importantes para as plantas, mas que cada espécie tem suas necessidades específicas?

Lembre-se de que, como funcionário de uma empresa de consultoria ambiental, você precisa entender o universo vegetal e sua relação com o ambiente para analisar situações e, quando necessário, sugerir soluções para problemas que envolvem as plantas.

Após realizar a caracterização vegetal da área de preservação permanente (APP), observando a interferência da poluição no metabolismo vegetal para a empresa em que está atuando, você se reuniu com a equipe para conhecer os dados recolhidos pelos colegas sobre os componentes abióticos da região de estudo. Eles apresentaram conclusões sobre estrutura, acidez, acúmulo de matéria orgânica e características minerais do solo; análises sobre luminosidade, índice pluviométrico, temperatura e outras particularidades do clima da região; presença de ambientes aquáticos e suas características.

Você deve, agora, analisar esses dados junto aos seus e voltar à área estudada para elaborar um laudo complementar ao seu trabalho inicial. Avalie como a vegetação do local se relaciona com os componentes ambientais da região, partindo das seguintes perguntas:

A vegetação reflete o ambiente em que ela está e/ou é capaz de alterá-lo? De que forma?

Essa relação está ligada às características macroscópicas das plantas ou também aos seus aspectos morfofisiológicos, interação com outras espécies?

Há características das plantas e do ambiente que podem ser consequência das ações antropogênicas que ocorrem no entorno do local?

Caro aluno, com todos os ensinamentos desta unidade crie seu próprio painel relacionando as características das plantas e seu habitat.

Solo e vegetação

Epífitas são plantas que obtêm água e nutrientes sem estarem enraizadas no solo. Porém, a maioria das plantas retiram do solo esses recursos – necessários ao metabolismo e crescimento –, geralmente na forma de íons, por meio das raízes.

O solo é composto por componentes químicos orgânicos e inorgânicos (minerais), porém suas propriedades químicas e físicas são continuamente alteradas pelos seres vivos. Isso inclui as plantas, que mudam a quantidade e a distribuição de ar e de água do solo, além de liberarem material para o substrato. Por outro lado, os organismos do solo alteram a química do ambiente, afetando positiva ou negativamente as plantas.

A **matéria orgânica** é imprescindível para a nutrição vegetal. Os componentes orgânicos do solo incluem as diversas formas de vida que o habitam, as quais originam material decomposto e em decomposição, contribuindo para a formação de húmus (Figura 1.9).

Figura 1.9 | Serrapilheira acumulada sobre o solo



As partes vegetais não mais ligadas à planta formam a **serrapilheira**, cuja decomposição e mineralização recoloca os nutrientes no solo, disponibilizando-os para as plantas. A conversão da serrapilheira depende de uma série de reações e condições do material que pode ser decomposto e do meio, como acidez e umidade. Por outro lado, a acidez do solo também é determinada pelo suprimento de íons H^+ liberados pela matéria orgânica.

Fonte: iStock .

Microrganismos também participam da reciclagem de nutrientes utilizados por plantas. Algumas bactérias se relacionam benéficamente com as raízes; outras participam da decomposição de matéria orgânica, aumentando a disponibilidade de nutrientes. Algumas espécies de fungos se relacionam mutualisticamente com raízes, tendo papel importante na nutrição vegetal (ver Seção 2.2).

Os elementos que as plantas retiram do solo (e da atmosfera) farão parte da sua estrutura ou agirão no seu metabolismo. Aqueles dos quais as plantas precisam para viver são chamados **nutrientes minerais essenciais** – necessários em grandes quantidades (macronutrientes) ou em quantidades muito pequenas (micronutrientes ou elementos-traço). O nitrogênio, por exemplo, presente no solo, tanto na forma orgânica quanto inorgânica, é requerido para a fotossíntese, o crescimento, o desenvolvimento e a reprodução. Sua disponibilidade no solo pode limitar a planta na realização dessas funções.

O **grau de acidez** no ambiente da planta é um fator importante que influencia no crescimento vegetal e determina as espécies que podem nele se estabelecer. Esse fator interfere na disponibilidade dos nutrientes, já que, dependendo da acidez, certos minerais podem se ligar mais ou menos às partículas do solo ou apresentarem-se em uma forma não assimilável pelas plantas. Ou seja, a absorção de um ou outro nutriente pelas plantas pode depender da acidez do solo.

Nutrientes estarão mais disponíveis para as plantas geralmente em solos com acidez moderada. Embora haja respostas diferentes das espécies em relação à acidez do solo, árvores de florestas são, no geral, tolerantes a solos ácidos (com influência da serrapilheira produzida), enquanto plantas de campo se encontram em solos mais alcalinos.

Clima e vegetação

Como já abordado na Seção 1.2, o clima exerce forte influência sobre o tipo de vegetação predominante em um determinado local, já que, em geral, as plantas se encontram em habitats que oferecem recursos específicos. Diversos parâmetros climáticos podem ser analisados em relação ao desenvolvimento das plantas, como luminosidade, regime de chuvas, temperatura (abordados nesta seção), entre outros.

• Luminosidade

A radiação luminosa pode significar fonte de energia, estímulo para o desenvolvimento ou um fator estressante para as plantas. Germinação, crescimento e processos fisiológicos são sinalizados a partir da luz, especialmente a radiação solar.

A irradiação varia conforme o ponto do planeta e a época do ano (comprimento do dia), mas nos ambientes onde as plantas se encontram também há um gradiente de iluminação. Em relação à cobertura vegetal, dependendo da densidade da folhagem, da arquitetura da planta e da posição das folhas em relação à radiação incidente, esta pode ser atenuada, sendo mais intensa nas

partes mais altas da vegetação (copas) e diminuindo conforme penetra nas partes mais baixas.

De acordo com a quantidade e a qualidade da radiação predominante no local, as plantas podem apresentar **adaptações** para modular ao aproveitamento de luz:

- **Adaptações modulativas:** rápidas e reversíveis. Posicionamento do limbo foliar em relação à radiação incidente, abertura e fechamento das flores, deslocamento de cloroplastos, abertura estomática.



Refleta

Quais seriam as vantagens do acompanhamento da trajetória solar de folhas em espécies nativas de deserto? Considere que se trata de um ambiente que já é muito iluminado.

- **Adaptações modificativas:** geralmente irreversíveis, ocorrem durante a morfogênese. Ramificação intensa, folhas com densa venação e células com muitos cloroplastos ocorrem em plantas que crescem sob intensa radiação. Espécies que crescem sob fraca radiação podem ter longos entrenós, folhas finas e com grande superfície, além de folhas aveludadas ou com iridescência azul, características que intensificam a captura de luz para a fotossíntese.



Exemplificando

Modular e interpretar o crescimento das plantas sob condições artificiais de luz, a partir dos conhecimentos sobre a influência da luminosidade sobre a vegetação, faz parte do cotidiano de diversas linhas de pesquisa na área de ciências biológicas, a exemplo de plantas cultivadas na agricultura.

- **Adaptações evolutivas:** fazem parte do genótipo das plantas e influenciam na distribuição das espécies. A seleção e a capacidade de adaptação levaram a uma diferenciação ecológica entre plantas de sol, de sombra ou adaptadas aos extremos de radiação.

Algumas espécies produzem folhas diferentes em relação à intensidade luminosa, até em um mesmo indivíduo (folhas no topo ou no interior de copas de árvores). As “folhas de sol” geralmente são menores e mais grossas do que “folhas de sombra”.

- **Precipitação**

A dinâmica das chuvas de uma região influencia a vegetação, já que resulta em diferentes condições hídricas do solo, afetando os tipos, a quantidade, o crescimento e o desenvolvimento das plantas naquele local. Os padrões de precipitações intensas influenciam as taxas de fotossíntese e transpiração (trocas gasosas), consequentemente alterando a produtividade dos vegetais, além de alterar a atividade microbiana do solo, que, como já mencionado, está relacionada à ciclagem dos nutrientes.

A umidade também é importante, pois, além de ser condição crítica para certas plantas, pode reter muito calor quando em condições de saturação.

- **Temperatura**

A **temperatura** influencia o crescimento e o desenvolvimento das plantas, o que pode ser um fator limitante para muitos organismos. A tolerância difere entre as espécies, mas pode ser diferente nos tecidos e órgãos de um mesmo indivíduo. As temperaturas ótimas para que os processos fisiológicos ocorram nas plantas também não são sempre as mesmas.

Outro fator a se considerar é o gradiente de temperaturas às quais uma planta pode ser submetida: a temperatura do ar nem sempre é a mesma daquela na superfície do solo ou no interior dele. Essas diferenças podem representar um fator estressante para uma planta jovem, cujas folhas ainda estão próximas ao sol (onde o ar se aquece de forma intensa), enquanto plantas que já cresceram em altura podem exibir um considerável aumento do crescimento.



Assimile

Plantas adaptadas a baixas temperaturas são chamadas de **psicrófilas**, enquanto **termófilas** são aquelas que sobrevivem a altas temperaturas. No entanto, a maioria das espécies se encontram no meio termo, as **mesófilas** (SCHULZE; BECK; MÜLER-HOHENSTEIN, 2005).

Temperaturas muito altas afetam (reversivelmente) membranas celulares, a conformação de proteínas e o equilíbrio metabólico dos vegetais. Algumas características das plantas podem indicar suas adaptações contra um superaquecimento: folhas recortadas aquecem menos, enquanto folhas com tricomas refletem mais radiação (logo, reduzem a temperatura). A posição da folha também pode reduzir a absorção da radiação, e cascas espessas de troncos os protegem do calor do fogo. Fisiologicamente, a fotossíntese é um

dos primeiros processos afetados pelo excesso de calor, já que as membranas dos tilacoides são sensíveis a essa condição.

O extremo oposto, temperaturas baixas, pode levar à desidratação dos tecidos vegetais. Isso ocorre, por exemplo, pelo congelamento da água líquida presente nos solos (e nos próprios tecidos da planta), que fica pouco ou nada disponível para ser absorvida pelas raízes. Baixas temperaturas também deixam o metabolismo mais lento, enrijecem as membranas celulares, que têm sua função prejudicada, e diminuem o suprimento de nutrientes.

Habitats aquáticos

Em ambientes aquáticos, as plantas podem ser flutuantes ou estar enraizadas, com folhas totalmente submersas, flutuando na superfície ou emergindo acima da linha d'água. Plantas aquáticas enraizadas retiram os nutrientes do substrato, embora possam absorvê-los da água.

Plantas submersas enfrentam obstáculos na obtenção de luz para a fotossíntese, já que a água reduz a velocidade da luz, prejudicando indivíduos que crescem mais profundamente. Na água, a radiação térmica é absorvida muito próxima à superfície, mas materiais dissolvidos, partículas do solo e outros elementos alteram a turbidez da água, que determina maior ou menor absorção da radiação.

Plantas aquáticas geralmente têm folhas mais finas e com formato de fita, o que aumenta a proporção de área de superfície em relação ao volume, assegurando que um maior número de células seja capaz de realizar fotossíntese. Além disso, os cloroplastos, nessas células, ficam mais próximos à superfície das folhas.

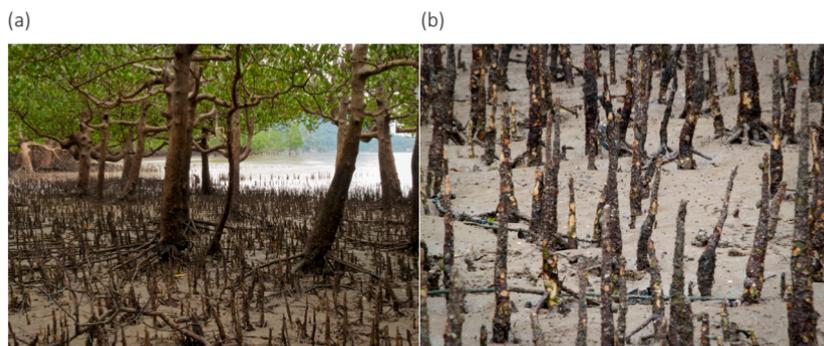
As plantas aquáticas submersas têm o desafio de absorver CO_2 para realizar a fotossíntese, já que na água a difusão de gases é limitada. A absorção desse gás pode ser facilitada dependendo das condições de acidez do meio ou por meio de enzimas que convertem íons bicarbonato, presentes na água, em CO_2 .

Em relação ao oxigênio, as plantas que vivem em ambientes alagados podem ser tolerantes a baixas concentrações desse gás. Outras podem apresentar tecidos especiais cheios de ar, como o **aerênquima**, que facilitam a troca de gases com a atmosfera para a respiração, o transporte dos gases nas plantas e auxiliam na flutuação.

Plantas que habitam águas salobras ou salinas precisam estar adaptadas não apenas à quantidade elevada de sal, mas também à dificuldade de

assimilação de água pelas raízes. Algumas espécies de plantas de manguezal, por exemplo, possuem **glândulas excretoras de sal** nas folhas e apresentam **concentrações elevadas de solutos** para que a água possa se difundir para os tecidos da planta. Árvores de manguezal também podem apresentar raízes aéreas respiratórias (**pneumatóforos** - Figura 1.10), já que esse ambiente alagado tem pouco oxigênio disponível – há trocas de gases por pequenos poros, as **lenticelas**.

Figura 1.10 | Raízes respiratórias em árvores de manguezal: A) visão geral; B) detalhe



Fonte: iStock .

O homem e as plantas

Sabemos que a Terra está passando por mudanças, muitas delas resultado da atividade humana, o que afeta tanto os ecossistemas naturais quanto os sistemas agrícolas. As ações antropogênicas têm efeito sobre a biodiversidade do planeta, levando à perda da diversidade de espécies, extinção de populações, por meio de modificações nos padrões climáticos, uso indevido dos solos, entre outros fatores. Isso tudo inclui a perda da diversidade de plantas e outras alterações que as afetam negativamente.

Os vegetais estão expostos a quantidades crescentes de **poluentes**, apresentando injúrias como: descoloração foliar, necrose de tecidos e em órgãos, morte dos indivíduos, perda de produtividade e de fertilidade, alterações estruturais (lenho, folhagem, ramificação) que levam à mudança da fisionomia das plantas. Fechamento estomático, alteração da transpiração e redução das trocas gasosas são alguns dos processos fisiológicos afetados.

As **concentrações aumentadas de CO₂ atmosférico**, além do que é natural, ajudam a reter mais calor na superfície da Terra (efeitos das altas temperaturas nas plantas já foram discutidos nesta seção). Isso resulta de diversas atividades humanas, dentre elas o corte de árvores, os incêndios florestais, a extração e a queima de combustíveis fósseis. Árvores que deixam de existir não capturam o

CO₂ da atmosfera, enquanto árvores queimadas ou em decomposição liberam rapidamente o carbono que acumularam durante sua existência.

O desmatamento e os incêndios, para abertura de estradas, campos agrícolas e construção de cidades, resultam na **fragmentação de habitats**, afetando intensamente a biodiversidade local. Como resultado, o microclima é alterado, principalmente nas bordas das florestas: maior influência de ventos, alta luminosidade e temperatura, redução da umidade. A sobrevivência e a reprodução das espécies locais podem diminuir se não forem adaptadas às novas condições. Já aquelas que são adaptadas podem sobreviver e aumentar as populações, mas isso inclui plantas invasoras, que podem alterar a dinâmica da comunidade.

As espécies de **plantas invasoras e exóticas**, geralmente introduzidas por humanos, podem ser uma ameaça às espécies nativas e comunidades naturais. Uma vez que elas se estabelecem em um local novo, ocupam espaço, podem aumentar a competição interespecífica, alteram a estrutura e a diversidade da vegetação nativa, modificam a ciclagem de nutrientes nativa, ou seja, interferem no funcionamento do ecossistema como um todo.

Também como consequência do lançamento de várias substâncias que podem se tornar poluentes na atmosfera está a **chuva ácida**, que danifica as partes das plantas de diversas maneiras, além de contribuir para lançar componentes potencialmente tóxicos no solo e lixiviação de nutrientes. Já a **deposição de nitrogênio** em excesso no ambiente aumenta a acidez do solo, promove o desenvolvimento anormal de órgãos vegetais (raízes finas ou perda delas), interfere na absorção de outros nutrientes e reduz a tolerância das plantas a fatores estressantes. Padrões alterados de herbivoria, por exemplo, podem indicar efeitos da saturação de nitrogênio no ambiente.

Se a interferência do homem no ambiente continuar crescendo, a distribuição de espécies vegetais (e de outros seres vivos) será profundamente alterada, podendo resultar no total desaparecimento de algumas espécies. Nem mesmo áreas protegidas poderão continuar eficazes, caso o quadro não seja revertido.



Pesquise mais

O artigo indicado a seguir traz informações sobre as definições que envolvem o conceito de plantas invasoras, bem como uma discussão ecológica e exemplos brasileiros.

MATOS, Dalva M. Silva; PIVELLO, Vânia R. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres: alguns casos brasileiros. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 61, n. 1, p. 27-30, 2009.

O conteúdo multimídia a seguir explica como as árvores podem ajudar na compreensão da poluição na cidade.

ALISSON, Elton. Árvores revelam evolução da poluição ambiental em São Paulo. **Agência Fapesp**, 14 ago. 2018.

Sem medo de errar

Sua tarefa nesta seção era analisar dados sobre os componentes abióticos da área da APP que estava em estudo, coletados por seus colegas de equipe. Com os resultados apresentados, você precisava avaliar de que forma a vegetação do local se relacionava com os fatores ambientais da região.

Considerando que uma APP é protegida por lei (Código Florestal - Lei nº 4.771/1965), para a preservação dos recursos naturais ali presentes, a vegetação do local deve sim refletir o ambiente no qual ela está inserida. Isso inclui considerar as alterações da região provocadas pela própria vegetação.

A vegetação participa, por exemplo, da formação e da transformação do solo, já que as plantas liberam material orgânico para o substrato (serrapilheira), que entrará em decomposição, formando o húmus. O processo de decomposição envolve microrganismos presentes no solo e altera a química do local. As plantas também alteram a dinâmica de disponibilização de nutrientes para o solo ao se relacionarem com alguns microrganismos ali presentes. Plantas retiram água do solo, o que altera a quantidade desta substância e de ar presentes entre as partículas.

A presença de vegetação também interfere na luminosidade do local, uma vez que plantas maiores e/ou com copas mais frondosas formam sombra e limitam a entrada de luz disponível para plantas mais baixas. Portanto, se na APP há áreas de formação florestal, a vegetação deverá ser composta de espécies que toleram as variações de luminosidade ou são adaptadas a esta condição. Tanto características morfológicas visíveis quanto processos fisiológicos estão relacionados com a relação planta-ambiente.

Outro ponto que indica que os aspectos da vegetação estão de acordo com a região estudada da APP é a capacidade das plantas de se desenvolverem bem em relação à precipitação, que interfere na fisiologia de cada indivíduo, mas também a estrutura e a dinâmica do solo.

Com os dados levantados sobre a temperatura do local, é possível avaliar se o crescimento e o desenvolvimento das plantas são influenciados por este fator ambiental, já que cada espécie e até mesmo um único indivíduo pode apresentar maior ou menor tolerância às faixas de temperatura. A taxa de crescimento dos indivíduos, o tamanho e a forma das folhas, estruturas especiais e outras características morfológicas, bem como padrões celulares e processos fisiológicos, podem indicar o quanto as plantas são adaptadas, tolerantes ou estressadas pelas temperaturas às quais são submetidas.

Caso haja vegetação aquática ou em margens de rios dentro da APP, as espécies desses locais também devem refletir o ambiente em questão, apresentando adaptações que lhes permitam retirar nutrientes da água e/ou do solo alagado, captar a luminosidade dentro da água – no caso das plantas aquáticas –, absorver CO_2 da água ou apresentar estruturas especializadas para aumentar a troca gasosa acima da superfície da água ou do solo encharcado. Novamente, aspectos morfoanatômicos e fisiológicos indicam especializações das plantas para ambientes aquáticos.

Regiões da APP que estejam em contato com ambiente urbano ou que estejam em restauração devido à degradação provocada pelos humanos podem apresentar características que indicam interferência da atividade antropogênica. Por exemplo, detecção da perda de diversidade pode refletir o uso incorreto do solo ou alterações intensas nos padrões climáticos.

Plantas com injúrias em órgãos e tecidos ou com alterações estruturais e fisiológicas podem indicar exposição intensa a poluentes, que foram afetadas por chuva ácida ou submetidas ao excesso de nitrogênio no ambiente. Clareiras e áreas desmatadas em recuperação podem ser consequência de desmatamento, o que pode ocasionar aumento na quantidade de CO_2 atmosférico, maior exposição de outras plantas à luminosidade e ao vento, redução da umidade e fragmentação dos habitats, prejudicando espécies que não sejam adaptadas às novas condições.

Avançando na prática

Ecoturismo não é só passeio

Descrição da situação-problema

Ecoturismo é uma das possíveis atuações do biólogo. Essa atividade econômica alia os conhecimentos sobre ecossistemas com o turismo, promovendo a conscientização ambiental e a preservação dos recursos naturais.

Júlia é uma bióloga que atua em uma empresa de ecoturismo litorâneo e atualmente é responsável pelo treinamento dos novos funcionários. Apesar de distribuir os módulos da capacitação entre profissionais de áreas específicas, ela é quem ministra o treinamento sobre manguezais. Ela precisa garantir que os profissionais tenham conhecimento sobre o ecossistema, para que possam passar as informações corretas e claras para os visitantes.

Para se organizar, Júlia precisa elaborar um quadro que elenque partes do manguezal para ser apresentado aos novos funcionários em uma visita técnica, com o objetivo de instruí-los sobre a relação das plantas desse ecossistema com o meio em que vivem. Como poderia ser esse quadro? Quais estruturas das plantas ela pode usar como exemplo? O que cada uma dessas estruturas indica sobre o ambiente onde essas plantas crescem?

Resolução da situação-problema

Os manguezais são ecossistemas estuarinos, que sofrem influência das variações de marés. Portanto, além de o solo ser constantemente encharcado, as plantas têm suas partes temporariamente submersas, e a salinidade desse ambiente é alta. Algumas plantas de manguezal apresentam estruturas adaptadas a essas condições.

Quadro 1.1 | Partes do manguezal

Estruturas vegetais	Relação com o ambiente
Raízes respiratórias (pneumatóforos)	Auxiliam nas trocas gasosas, devido à baixa difusão dos gases na água. Essas raízes se projetam para fora do solo e têm poros “respiratórios”, as lenticelas, que permitem a difusão do oxigênio para dentro da planta.
Folhas com glândulas de sal	Ambiente com alta salinidade. As glândulas expulsam o excesso de sal de seu interior.
Folhas de uma mesma espécie com espessuras variadas	Plantas de diferentes alturas. Podem ter diferenças morfoanatômicas entre as folhas que recebem maior radiação luminosa (geralmente mais grossas) e aquelas que se encontram nas partes sombreadas (mais finas).
Alterações morfológicas em folhas, caules e ramificações	Possível sinal de intoxicação decorrente de poluentes que chegam com as águas do rio e do mar.

Fonte: elaborado pela autora.

1. Os solos são formados por partículas degradadas de rochas, componentes orgânicos e inorgânicos. As proporções entre esses componentes resultam em textura e estrutura do solo, cujas partículas são envoltas por uma solução de água e solutos. Os solos são particularmente importantes para as plantas, embora muitas delas não se beneficiem diretamente desse substrato.

Assinale a alternativa que traz informações corretas sobre a relação solo-planta.

- a) Os solos são o substrato de fixação e sustentação de grande parte das plantas, além de fornecerem água e nutrientes orgânicos e inorgânicos que são absorvidos pelas plantas.
- b) Os solos servem apenas como substrato de fixação e sustentação das plantas terrestres, mas não têm papel relevante na nutrição vegetal.
- c) A matéria orgânica depositada no solo é proveniente da desagregação de rochas, enquanto os elementos inorgânicos vêm da serrapilheira e do húmus.
- d) As plantas podem se desenvolver bem em qualquer grau de acidez do solo, já que este parâmetro não influencia na disponibilidade de nutrientes para serem absorvidos pelas raízes.
- e) Os solos são importantes para sustentação e nutrição das plantas, mas os vegetais não são capazes de alterar as características do solo.

2. A história de vida de uma planta, incluindo sua fisiologia e morfologia, está limitada à sua sobrevivência em uma faixa de condições ambientais. As atividades humanas estão diretamente ligadas a diversas mudanças em todos os ambientes da Terra, que podem causar até mesmo a extinção de espécies. Sobre as variáveis ambientais que afetam a distribuição e a sobrevivência das plantas e que podem ser consequência das ações humanas, leia as afirmativas a seguir.

Indique a alternativa correta.

- a) A fragmentação de habitats pode ser consequência da transformação de ecossistemas nativos em terras agrícolas ou urbanas, rodovias, passagens de linhas de transmissão, dentre outras.
- b) O aumento nas concentrações atmosféricas de CO₂ não é prejudicial às plantas, já que elas precisam desse gás para realizar a fotossíntese.
- c) Não há problemas em introduzir novas espécies vegetais nos ecossistemas, pois são todas plantas, e elas não se prejudicam, desde que haja luz e água para todas.
- d) Todo tipo de chuva é benéfico às plantas, pois fornece água ao ambiente. Mesmo as chuvas ácidas são importantes, já que muitas plantas se beneficiam da acidez do solo.
- e) É aceitável liberar no ambiente compostos nitrogenados, pois o nitrogênio é um nutriente essencial para as plantas, portanto, quanto mais, melhor.

3. Apesar da grande diversidade de espécies vegetais, todas elas compartilham mais ou menos a necessidade dos mesmos recursos para crescer e se desenvolver: água, luz, CO_2 e O_2 , dentre outros. Fatores climáticos, como temperatura, intensidade luminosa, vento e chuvas, exercem influência sobre o desenvolvimento das plantas e da vegetação como um todo, independentemente do ecossistema em que se encontram.

Marque a alternativa que faz uma afirmação correta sobre a relação das plantas com os fatores ambientais aos quais estão submetidas.

- a) Apesar de ser uniforme ao longo do ano, a luminosidade afeta diferentemente as plantas de uma vegetação florestal, já que é mais intensa nas partes mais altas da vegetação e menos intensa na região mais perto do chão.
- b) A precipitação é importante para repor parte da água no solo, disponível para as plantas. Já a umidade do ar sempre irá tornar o ambiente ao redor da planta mais fresco, reduzindo a temperatura do local.
- c) Plantas aquáticas com folhas submersas precisam ser adaptadas para conseguir captar a luz solar, já que a água reduz a velocidade da luz, diminuindo sua disponibilidade para as plantas.
- d) Temperaturas muito altas podem prejudicar as plantas, afetando suas células, proteínas e metabolismo, mas temperaturas muito baixas não oferecem riscos ao desenvolvimento de nenhum vegetal.
- e) Plantas aquáticas têm facilidade para incorporar CO_2 e O_2 , já que esses gases se difundem facilmente na água. Portanto, vegetais aquáticos não precisam ter adaptações específicas à sobrevivência na água.

Referências

- AHARONI, A.; GALILI, G. Metabolic engineering of the plant primary–secondary metabolism interface. **Current Opinion In Biotechnology**, [S.l.], v. 22, n. 2, p. 239-244, abr. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2010.11.004>. Acesso em: 28 set. 2018.
- AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. **New Phytologist**, [S.l.], v. 165, n. 2, p. 351-372, fev. 2005. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1469-8137.2004.01224.x>. Acesso em: 12 set. 2018.
- ALBERTS, B. et al. **Biologia molecular da célula**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biomás**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomass.html>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. The pleiomorphic plant MTOC: an evolutionary perspective. **Journal Of Integrative Plant Biology**, [S.l.], v. 49, n. 8, p. 1142-1153, ago. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00538.x>. Acesso em: 28 set. 2018.
- CONFORTO, E. C.; ANDREOLI, R. P. **Fisiologia vegetal**: apostila de aulas práticas. São José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista, 2014.
- ENGELHARDT, I. C. et al. Depth matters: effects of precipitation regime on soil microbial activity upon rewetting of a plant-soil system. **The Isme Journal**, [S.l.], v. 12, n. 4, p.1061-1071, 23 fev. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41396-018-0079-z>. Acesso em: 12 nov. 2018.
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. **Raven: biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- GARCIA, R. Um relógio com muitos ponteiros. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, 15 ago. 2018. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2018/08/15/um-religio-com-muitos-ponteiros/>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia vegetal**. Tradução: Fernando Gertum Becker et al. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- HOGARTH, P. J. Mangroves and their environment. In: _____. **The biology of mangroves and seagrasses**. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 2015. p. 8-43.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de biomás e de vegetação**. 2004. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomas.shtm>. Acesso em: 17 set. 2018.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: Carlos Henrique B. A. Prado. São Carlos: Rima, 2000.
- OLIVEIRA, A. A.; PRADO, P. I. Estrutura vegetal do PEIC. **Ecologia Vegetal BIE 312**, IB – USP, [S.l., s.d.]. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/ecovegetal/peic.html>. Acesso em: 20 set. 2018.
- PATRUT, A. et al. The demise of the largest and oldest African baobabs. **Nature Plants**, [S.l.], v. 4, n. 7, p. 423-426, 11 jun. 2018.
- PEREIRA, I. M. **Descrição e análise da vegetação arbórea**. [s.d.]. Disponível em: <http://files.pereiraim.webnode.com.br/200000005-bf03dc0f7f/aula%206%20-%20an%C3%A1lise%20da%20vegeta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

PEREIRA, K. D. et al. Morphological and physiological changes on *Schizolobium parahyba* VAR. *Amazonicum* (*huber ex ducke*) barneby plants intoxicated by glyphosate. **Cerne**, [S.l.], v. 23, n. 2, p. 267-274, jun. 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602017000200267. Acesso em: 12 set. 2018.

RICKLEFS, R.; RELYEA, R. **A economia da natureza**. Tradução: Ana Claudia M. Vieira et al. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

SANTOS, F. A. M. **Ecologia de populações de plantas: estrutura e dinâmica de populações**. 2014. Disponível em: <https://www2.ib.unicamp.br/profs/fsantos/bt682/2014/Aula10/Aula10-EstruturaDinamica.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

SCHULZE, E.; BECK, E.; MÜLLER-HOHENSTEIN, K. **Plant ecology**. Heidelberg: Springer, 2005.

SONG, B.; NIU, S.; WAN, S. Precipitation regulates plant gas exchange and its long-term response to climate change in a temperate grassland. **Journal Of Plant Ecology**, Oxford Academic, v. 9, n. 5, p. 531-541, 8 fev. 2016. Disponível em: <https://academic.oup.com/jpe/article/9/5/531/2222618>. Acesso em: 2 out. 2018.

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

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WAYNE, R. **Plant cell biology**. [S.l.]: Elsevier, 2009.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF). **Terrestrial ecoregions**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.worldwildlife.org/biome-categories/terrestrial-ecoregions>. Acesso em: 17 set. 2018.

_____. **Biomass brasileiros**. [s.d.]. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/biomass/. Acesso em: 17 set. 2018.

Unidade 2

Biologia dos fungos

Convite ao estudo

O estudo dos fungos é denominado micologia. Esses organismos são importantes de maneiras muito variadas, sendo diversos em forma, tamanho, modo de vida e outras particularidades. Antigamente considerados plantas, os fungos são sésseis como elas, mas guardam semelhanças também com animais. Alguns são multicelulares, enquanto outros são unicelulares, e por aí começamos a caracterizá-los.

Nesta unidade vamos conhecer os principais aspectos da biologia e da diversidade dos fungos, entendendo também como os aspectos biológicos do grupo se tornaram importantes ferramentas para o desenvolvimento tecnológico de importância médica e econômica, além do seu papel ecológico.

Os fungos estão presentes em uma grande diversidade de ambientes e fazem parte da vida humana, seja por meio de doenças, pelo uso na alimentação ou como instrumento do desenvolvimento tecnológico, dentre outras possibilidades. Compreender a diversidade e a biologia desse grupo nos ajuda a entender seu papel na natureza, a evitar doenças causadas por esses organismos, além de explorar diversas formas pelas quais podemos tirar proveito dos potenciais biológicos dos fungos.

Imagine que você foi contratado como biólogo por uma empresa de bioprospecção especializada em fungos. A empresa tem parcerias com universidades, escolas e outras empresas para que sua área de atuação seja ampla, atendendo a diversas demandas.

Todos os funcionários passam por um período de experiência, durante o qual precisam participar das atividades em diferentes departamentos da empresa para entender como ela funciona e, junto com a administração, definir em qual deles melhor se encaixa após esse período. Portanto, esteja preparado para lidar com atividades diversificadas, que poderão acontecer em laboratórios, onde você precisará aprender a cultivar fungos; planejar e conduzir experimentos que envolvam a investigação dos potenciais biológicos do grupo; atender a estudantes de ensino médio e graduação que desejam conhecer o mundo dos fungos e conhecer possibilidades profissionais na área; auxiliar grupos de pesquisa a identificar fungos coletados e interpretar dados gerados nas pesquisas em andamento.

Você já consegue enumerar quantos aspectos do seu cotidiano apresentam relação com os fungos?

Na Seção 2.1 iremos conhecer a biologia dos fungos: como eles são, como se alimentam, quais são as condições para seu crescimento, de que formas se reproduzem e quais são seus papéis ecológicos. Na Seção 2.2 entenderemos algumas das interações que os fungos realizam com outros seres vivos, perceberemos por que o grupo é importante ecologicamente na medicina e na economia, além de conhecermos um pouco sobre o que a ciência tem estudado e desenvolvido a partir dos fungos. Na Seção 2.3 conheceremos a diversidade dos fungos, apresentando suas principais classificações, aliadas aos diferentes aspectos biológicos dos organismos que pertencem a este grupo.

Biologia dos fungos

Diálogo aberto

Caro aluno, o que você sabe sobre o modo de vida dos fungos e seu papel nos ecossistemas? Com certeza você já viu um fungo, mas o que faz com que consiga identificar um?

Tão importante quanto reconhecer que os fungos são importantes para a natureza e para a humanidade é conhecer sua biologia e reconhecer que sua fisiologia é essencial para entendermos não só o modo de vida desses organismos, mas de que maneira podemos explorar suas particularidades.

Lembre-se de que você está passando por um período de experiência na empresa de bioprospecção de fungos, durante o qual você participará de atividades em diversos setores da empresa. Sua primeira atuação é no setor de cultura de fungos, onde, entre suas funções, você precisará cultivar e controlar o crescimento de fungos em meio de cultura, estabelecendo colônias que serão usadas nos estudos. Após leitura de bibliografia, você estabeleceu um conjunto de condições de cultivo para uma espécie sobre a qual não tinha muitas informações disponíveis; você sabia apenas que ela é filamentosa, não-dimórfica e que se reproduz de forma sexuada, produzindo esporos.

Ao meio de cultura você adicionou glicose, micronutrientes, uma fonte de proteína e inibidores de crescimento de bactérias, para evitar contaminação. As placas de cultivo foram vedadas com várias camadas de filme plástico e, após inocular o fungo, você colocou-os para crescer em câmaras de temperatura controlada a 25 °C, em lotes identificados como A e B.

Você acompanhou o crescimento da colônia a cada dois dias, durante duas semanas, e percebeu que não houve estabelecimento do fungo no lote A e apenas algumas hifas cresceram no lote B. Você notou que o lote A apresentava contaminação bacteriana. Talvez por inexperiência sua, tenha havido algum problema na manipulação do lote A, e então você resolveu testar as condições de algumas placas de cultivo, encontrando as seguintes medições no meio de cultura:

Tabela 2.1 | Resultado de medição de pH dos meios de cultura

Lote	Temperatura (°C)	Acidez do meio (pH)
A	25	8,5
B	25	5,0

Fonte: elaborada pela autora.

Embora você saiba que precisará realizar outros testes, o que já pode concluir que tenha acontecido de errado, impedindo o crescimento dos fungos? Que informações adicionais sobre a espécie você pode inferir a partir da revisão das condições de cultivo que você estabeleceu? O que você poderia mudar para realizar novos testes de crescimento dos fungos dessa espécie?

Esta seção te ajudará a resolver esse problema ao descrever os aspectos básicos das células e da morfologia dos fungos, focando no modo de nutrição, crescimento e reprodução de fungos filamentosos e dos unicelulares.

Não pode faltar

Os fungos são organismos unicelulares ou multicelulares que apresentam algumas características compartilhadas com outros grupos de seres vivos, mas há aspectos típicos da estrutura celular desses organismos que os diferenciam dos demais eucariontes, colocando-os em um reino dos seres vivos separadamente dos demais, o reino Fungi.

Assim como as plantas, as células fúngicas têm uma **parede celular** que isola o protoplasto do meio externo, define forma e crescimento celular, entre outras propriedades. Nos fungos, a parede celular é composta por diferentes polissacarídeos que variam conforme o grupo taxonômico, mas o mais importante é a **quitina**, também presente no exoesqueleto de insetos e outros artrópodes. Além dos polissacarídeos, as paredes celulares fúngicas contêm proteínas e algumas têm até mesmo o pigmento melanina.

Outras características compartilhadas e exclusivas serão mencionadas ao longo desta seção.

Morfologia dos fungos

Existem muitas variantes morfológicas no grupo dos fungos e algumas espécies, chamadas **dimórficas** ou **polimórficas**, podem adotar morfologias diferentes dependendo das condições ambientais. É o caso do *Paracoccidioides brasiliensis*, fungo que causa a doença paracoccidioidomicose e, filamentosos, atua de forma infectante, quando na faixa de temperatura ambiente (22 a 28 °C), e leveduriforme, atua de forma parasitária, quando na temperatura de 35 a 37 °C. Nesta seção consideraremos apenas as formas mais comuns: fungos filamentosos e leveduras unicelulares.

Os fungos filamentosos podem ser didaticamente divididos em macrofungos (cogumelos em geral) e microfungos (bolores). São formados por estruturas finas e alongadas, chamadas **hifas** (Figura 2.1 A), que se ramificam

e se agregam em uma rede denominada **micélio**. Essas estruturas carregam esporos para a reprodução e disseminação e, nos macrofungos, formam os **esporocarpos ou esporomas** (antigos corpos de frutificação). Os esporocarpos podem se formar acima ou abaixo da superfície do solo. Parte das hifas fixam os fungos ao substrato e crescem para buscar nutrientes.

As hifas podem ser **septadas** ou **asseptadas** (ou cenocíticas). As septadas são divididas por paredes (septos) que podem ser perfuradas, comunicando os protoplastos de células adjacentes. Os septos oferecem suporte estrutural à hifa e proteção contra danos, quando bloqueados por organelas cristalinas chamadas corpo de Woronin ou outros materiais que podem, por exemplo, conter um vazamento do conteúdo interno da célula.

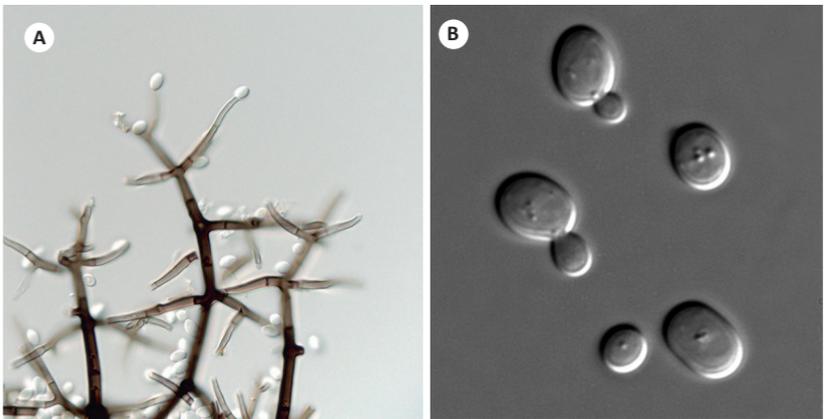


Assimile

Os fungos não apresentam tecidos verdadeiros. Nos fungos multicelulares, as células formam as hifas e conjuntos de hifas formam os micélios.

As leveduras são unicelulares, geralmente ovaladas e isoladas umas das outras. Uma das espécies mais conhecidas é a *Saccharomyces cerevisiae* (Figura 2.1 B), comumente chamada de levedo ou fermento biológico. As colônias variam em cor, textura e geometria, facilmente observáveis quando em cultivo em laboratório.

Figura 2.1 | A) Hifas de um fungo filamentososo. As setas indicam septos. B) Leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*), fungos unicelulares. Os asteriscos (*) indicam células se reproduzindo assexuadamente por brotamento.



Fonte: A) adaptada de iStock. Disponível em: <https://www.istockphoto.com/br/foto/conidiophores-de-fungo-desconhecido-gm462593241-32996338> ID da foto: 462593241 B) adaptada de Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:S_cerevisiae_under_DIC_microscopy.jpg. Acesso em: 12 out. 2018.

Nutrição e fisiologia dos fungos

A fisiologia dos fungos se refere ao conjunto de processos ao longo do ciclo de vida desses organismos, inclusive sua morte. Em resumo: os fungos, assim como animais e ao contrário das plantas, não realizam fotossíntese; são **quimiorganotróficos**, ou seja, usam matéria orgânica para seu metabolismo. A maioria das espécies se desenvolvem bem em condições de calor, acidez, umidade e oxigenação. A reprodução pode ser sexuada ou assexuada.

Com base na obtenção de energia relativa à disponibilidade de oxigênio (O_2), os fungos podem ser classificados principalmente em aeróbios obrigatórios (O_2 é essencial), fermentativos obrigatórios (O_2 não é necessário) ou fermentativos facultativos (obtem energia tanto pela respiração aeróbica quanto por fermentação).

As células fúngicas dispõem de vacúolos que compartilham características semelhantes às dos lisossomos (animais) e vacúolos vegetais. Têm diversas funções que auxiliam a ajustar o metabolismo, tais como degradar componentes celulares; armazenar íons e metabólitos; controlar a homeostase e a acidez do citoplasma; regular o crescimento (ciclo) e a morte celular (apoptose).

A forma como diferentes fatores atuam sobre a fisiologia dos fungos, especialmente seu crescimento, será discutida a seguir.

Nutrição

Os fungos são organismos **heterotróficos**, mas em função da rigidez das paredes celulares quitinosas, eles não conseguem fagocitar partículas. Para se alimentar, realizam **digestão extracelular**, secretando enzimas (exoenzimas) que degradam a fonte de alimento em moléculas menores, que poderão ser absorvidas. Com poucas exceções, os fungos têm necessidades nutricionais simples e muitos são considerados **oligotróficos** – crescem com restrição nutricional e absorvem compostos voláteis da atmosfera. Muitos fungos podem hidrolisar proteínas (secretando enzimas proteases) para liberar aminoácidos úteis ao seu crescimento.

Para obter energia e carbono, precisam **fixar compostos orgânicos**, especialmente carboidratos, como glicose, amido, celulose e outros. Os fungos podem produzir amilases extracelulares, permitindo a absorção de amido, e também são capazes de degradar celulose. Embora usem a madeira como maior fonte de celulose, nem todos os fungos degradam a lignina. Uma vez que carboidratos complexos são quebrados em formas mais simples, os fungos podem absorvê-los e usar a energia para produzir biomassa. Há fungos que realizam a **fermentação** para obter energia, utilizando glicose para produzir álcool etílico, como é o caso das leveduras.

Assim como animais e bactérias, nos fungos a energia é armazenada principalmente na forma de glicogênio, um polissacarídeo. Entretanto, lipídios também servem como reserva de carbono. Os lipídios desempenham uma importante função de armazenamento em alguns fungos.

Por não serem capazes de fixar nitrogênio, os fungos são considerados não-diazotróficos. Assim, precisam assimilar compostos nitrogenados inorgânicos, como nitratos, ou orgânicos, tais como aminoácidos.

Crescimento e reprodução dos fungos

Crescimento

Em seu processo evolutivo, os fungos exploraram diversos habitats e cada espécie precisa de condições ótimas e particulares de crescimento, mas algumas generalizações podem ser feitas.



Refleta

Secagem, defumação e adição de sal ou açúcar são métodos tradicionais usados para preservar alimentos. Qual é a explicação para que essas técnicas evitem a proliferação de fungos nesses alimentos?

A maioria dos fungos se desenvolve bem em **ambientes com elevada umidade**, mas suportam ampla variação na disponibilidade de água, necessária para a obtenção de nutrientes e germinação de esporos. Em geral são pouco resistentes ao estresse hídrico, apesar de haver estruturas de grande resistência à falta de água.

A faixa de temperatura de crescimento dos fungos também é ampla, mas **a maioria se desenvolve bem em condições intermediárias, em uma média de 25 °C** (mesófilos). Alguns são termófilos, desenvolvendo-se bem na faixa de 30-50 °C, enquanto outros são psicrófilos, pois crescem abaixo dos 20 °C. Há, ainda, fungos que são termotolerantes, que suportam temperaturas muito altas.

Em relação à acidez do meio em que vivem, **a maioria dos fungos é acidófila**, crescendo bem na faixa de pH entre 4 e 6. Há espécies capazes de se desenvolver em condições mais ácidas ou mais alcalinas. Assim como para as plantas, a disponibilidade de nutrientes para os fungos é afetada conforme a acidez do substrato.

Com uma alta taxa de crescimento, os fungos filamentosos crescem a partir dos ápices das hifas. Elas podem se ramificar lateralmente, geralmente

em regiões afastadas do ápice de crescimento, próximas aos septos, preenchendo espaços do substrato de forma eficiente. Enquanto houver nutrientes disponíveis e as condições ambientais forem favoráveis, o crescimento dos micélios é indeterminado.



Exemplificando

Conhecer as condições ótimas de crescimento dos fungos auxilia no processo de cultivo desses organismos em laboratório, oferecendo diversas possibilidades para as áreas de pesquisa e desenvolvimento. Da mesma forma, induzir a morte dos fungos auxilia em processos industriais, como na pasteurização de alimentos e na medicina ou agricultura, para controle de fungos patógenos, dentre outros exemplos.

Reprodução

Os fungos se reproduzem de forma **sexuada ou assexuada**, na maioria das vezes produzindo **esporos** (Figura 2.2). Os esporos podem ser transportados pelo ar, onde são capazes de permanecer suspensos por longos períodos de tempo, pela água ou aderidos aos corpos de animais. Isso explica a ampla distribuição de espécies de fungos pelos mais diversos ambientes da Terra.

O núcleo da maioria das hifas de fungos filamentosos e leveduras é haploide, embora as células de algumas espécies sejam capazes de se multiplicar tanto na fase haploide quanto na diploide. As leveduras geralmente têm um único núcleo por célula, mas as hifas podem ter um núcleo ou mais. Nos fungos, a membrana nuclear permanece intacta durante o ciclo celular, em contraste com a maioria dos demais eucariotos.

O **processo sexual** envolve três fases principais:

- 1) **Plasmogamia:** ocorre a fusão de protoplastos entre duas células haploides, geralmente uninucleadas e de organismos diferentes. A célula resultante terá dois núcleos haploides (célula dicarionte), que podem se manter separados por muito tempo, dividindo-se e produzindo micélios dicarióticos.
- 2) **Cariogamia:** ocorre a fusão dos núcleos, resultando em uma única célula diploide.
- 3) **Meiose:** regenera o estado haploide, convertendo a célula diploide em quatro haploides (esporos sexuais).

As duas primeiras fases representam a fertilização (ou singamia) e esse

tipo de ciclo ocorre em grande parte dos fungos. Embora as três fases sejam universais na reprodução sexuada dos fungos, há diferenças nos eventos que ocorrem entre cada uma, resultando em diversos ciclos de vida.

Nas hifas, a reprodução sexuada se inicia quando duas hifas se encontram e se fundem, atraídas por moléculas sinalizadoras que podem ser chamadas de “feromônios”. A união de hifas de diferentes micélios contribui para a variação genética.

Figura 2.2 | Ciclo de vida geral dos fungos, representando as reproduções sexuada e assexuada.



Fonte: Reece et al. (2015, p. 652).

Os esporos também ocorrem na **reprodução assexuada**, quando produzidos por mitose. Nos fungos filamentosos, as hifas germinam e formam um micélio reprodutivo. Os esporos podem se encontrar em uma estrutura reprodutiva terminal, em forma de vesícula ou saco, chamada **esporângio**, ou são produzidos em células de hifas das quais emergem livres, chamadas **conidióforos**. Algumas hifas podem se fragmentar, também resultando em reprodução assexuada.

As leveduras, unicelulares, se reproduzem assexuadamente por **brotamento** (Figura 2.1B), ou por **fissão** simples. Na fissão, há a formação de um septo que divide a células em duas de igual tamanho. No brotamento, a célula-mãe produz um pequeno crescimento lateral e um septo se forma para separar o broto.



Pesquise mais

No vídeo a seguir você poderá ver o aspecto das leveduras em microscópio, além de acompanhar o processo de brotamento de muitas delas. Veja do minuto 1 ao minuto 3:30 (0:01:00-0:03:30).

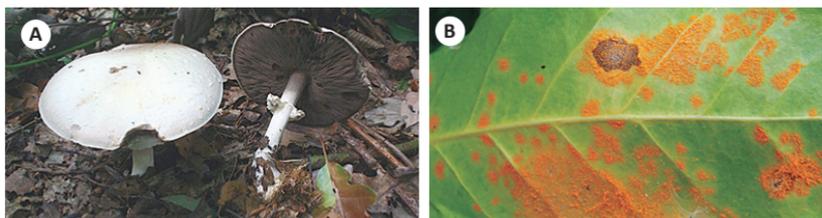
UMASS AMHERST LIBRARIES. Budding of Yeast Cells. 11 maio 2016.

Ecologia de fungos

Os fungos são ubíquos no ambiente natural, sendo encontrados não só em ecossistemas terrestres, mas também nos oceanos e na atmosfera. Sua diversidade de estratégias alimentares se relaciona com os papéis ecológicos que os fungos exercem, podendo ser divididos em três principais grupos:

- **Simbiontes mutualistas:** mantêm relações com organismos não-fúngicos, em que ambos se beneficiam (líquens e micorrizas, discutidos na Seção 2.2).
- **Saprófitos:** ao degradar a matéria orgânica de plantas e animais mortos, atuam como **decompositores**, participando da **ciclagem de nutrientes** (carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre, etc.) e disponibilizando-os para outros organismos (Figura 2.3 A)
- **Parasitas:** vivem dentro ou sobre outros organismos vivos, dos quais retiram nutrientes. Podem ter hifas especializadas para a absorção, chamadas **haustórios**. Alguns fungos parasitas causam doenças em plantas (Figura 2.3 B) e animais (patogênicos), mas também têm seu aspecto positivo: ao infectar e matar árvores velhas, por exemplo, permitem penetrar maior luminosidade em uma floresta, o que pode beneficiar plantas mais jovens, ou abrem clareiras que podem ser colonizadas por outras espécies. Isso ajuda a regular o ecossistema e aumentar a diversidade vegetal local (veja a discussão sobre sucessão ecológica na Seção 1.2).

Figura 2.3 | A) Fungo do gênero *Agaricus*, saprófito. B) *Hemileia vastatrix*, fungo parasita de plantações de café (ferrugem do café).



Fonte: A) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Agaricus_essettei_170926w.JPG. B) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hemileia_vastatrix_Leaf_symptoms.png. Acesso em: 12 out. 2018.

As formas de dispersão dos fungos pelos diferentes ambientes são bastante variadas. Além do vento, da água e de animais, como já mencionado, fatores como condições climáticas, velocidade de dispersão, distância e barreiras geográficas influenciam a forma como esses seres vivos se propagam. Apesar de estarem presentes em diferentes ambientes, há espécies de fungos que têm distribuição bastante limitada.

As características dos micro-habitat também influenciam a distribuição espacial dos fungos, com diferenças de topografia, luminosidade, comunidade vegetal e combinações entre esses fatores. A luz, por exemplo, pode se relacionar com o desenvolvimento dos esporocarpos de macrofungos e a comunidade vegetal é determinante na disponibilidade desse recurso, além de afetar a umidade local e a composição da matéria orgânica disponível. Além disso, algumas interações entre fungos e vegetais são específicas, limitando a distribuição de certas espécies.



Pesquise mais

Você sabia que há cogumelos bioluminescentes? Esta propriedade pode estar ligada à função ecológica de atração de insetos que auxiliam na dispersão dos esporos do fungo.

GUIMARÃES, M. Iluminação natural. **Pesquisa Fapesp**, ed. 255, maio 2017.

Sem medo de errar

No início desta seção foi proposto que você tentasse cultivar um fungo. Porém, percebeu que em um lote (A) não houve crescimento, além de apresentar contaminação bacteriana nas placas de cultivo, e no outro lote (B) o crescimento foi ínfimo. Você realizou alguns testes e verificou os valores de pH dos meios de cultura dos dois lotes, percebendo que eles estavam com valores discrepantes. Você deveria, então, levantar hipóteses sobre o que poderia ter ocorrido para que o cultivo não tivesse resultado como esperado e que informações esses resultados poderiam lhe oferecer sobre a espécie cultivada. Além disso, deveria propor alterações nas condições de cultivo para realizar novos testes.

A diversidade de fungos é muito grande, bem como as condições ótimas de crescimento para cada espécie existente. Vamos lembrar de que eles podem ser encontrados em ambientes terrestres ou aquáticos; em geral úmidos, mas com estruturas resistentes à desidratação; em temperaturas médias e extremas; em substratos muito variados; e com necessidades nutricionais também muito diversificadas. Sem ter muitas informações sobre

uma determinada espécie, podemos começar testando condições que sejam médias para a maioria dos fungos que conhecemos e, a partir dos resultados, refinar as condições de cultivo.

Em relação aos fatores nutricionais, você ofereceu tudo o que era minimamente necessário para o crescimento dos fungos: fonte de carbono (glicose), de nitrogênio (proteína) e demais nutrientes. Também teve cuidado em prevenir contaminação do meio de cultura por bactérias, adicionando substâncias inibitórias a esses microrganismos. Porém, pode ter se esquecido de acrescentar essas substâncias no lote A ou, por inexperiência, sua manipulação desse lote pode não ter sido perfeita, resultando em contaminação.

Você testou a condição de temperatura média para o desenvolvimento dos fungos e confirmou que ela se manteve a 25 °C. Embora seja possível que a espécie em questão cresça em temperaturas maiores ou menores, a maioria dos fungos é mesófila, portanto, ou esta temperatura não é ideal para a espécie cultivada ou outro fator interferiu no crescimento.

O lote A, pela contaminação, pode ter tido a acidez do meio de cultura alterada, ficando alcalino (pH 8,5) e impedindo o crescimento dos fungos, enquanto em meio ácido (pH 5,0) os fungos cresceram, porém muito pouco. Esse resultado sugere que a espécie seja acidófila, ou seja, se desenvolve em ambientes ácidos.

Em todas as condições você vedou as placas de cultivo, impedindo a troca gasosa com o ambiente externo. Isso limitou a quantidade de oxigênio disponível para as células. No lote B o pouco crescimento dos fungos pode se relacionar ao consumo do pouco oxigênio disponível, até que esse gás tenha sido esgotado. Já no lote A, a disponibilidade limitada de oxigênio aliada à alcalinidade do meio pode ter sido um fator inibitório adicional ao crescimento do fungo. É possível inferir, portanto, que a espécie seja aeróbia obrigatória, sendo dependente de oxigênio para a obtenção de energia.

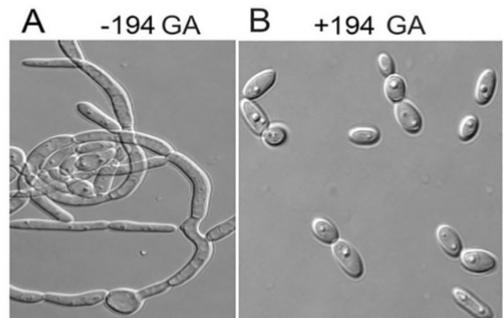
Para realizar novos testes, você pode partir das condições que se mostraram mais favoráveis ao crescimento dos fungos até o momento: temperatura próxima de 25 °C e meio ácido. Porém, deve realizar os testes em condições que ofereçam oxigênio aos fungos, para confirmar se eles são aeróbios obrigatórios. O ideal é que você realize testes com variações de temperatura um pouco abaixo e um pouco acima de 25 °C e valores de pH um pouco abaixo e um pouco acima de 5,0 para determinar as melhores condições de crescimento para a espécie investigada.

Ser ou não ser, eis a questão

Descrição da situação-problema

Elias é o novo técnico do laboratório de Biologia de uma escola na qual você trabalha. Além de auxiliar os professores durante as aulas, Elias é responsável pela organização e manutenção do espaço. Antes do início das aulas naquele ano letivo, ele estava organizando lâminas e fotografias usadas nas aulas e se deparou com uma fotografia recebida como doação de um centro de pesquisas de fungos, que o deixou intrigado:

Nas anotações recebidas junto com as fotografias, havia o seguinte registro: A) Células de *Candida albicans* cultivadas na ausência de GA (ácido gimnêmico). B) Células de *C. albicans* cultivadas na presença de GA.



Fonte: adaptada de Vedyappan (2013, [s.p.]).

Na dúvida sobre como seria possível as duas imagens pertencerem à mesma espécie de fungo, apresentando morfologias tão diferentes, Elias buscou sua ajuda, já que você é o professor responsável pelas aulas de Biologia da escola. Como você ajudaria Elias a entender e interpretar essas imagens, sabendo que os registros não estão incorretos?

Resolução da situação-problema

Os fungos podem ser encontrados sob várias formas e algumas espécies podem apresentar dimorfismo ou polimorfismo, que é quando uma mesma espécie apresenta diferente morfologia dependendo das condições de crescimento. Os registros da fotografia esclarecem que as condições de crescimento para as células A e B foram diferentes: uma cresceu na presença do ácido gimnêmico e a outra, na ausência da substância. Em A, a espécie se apresenta na forma de hifas e em B, na forma de levedura. É possível concluir, então, que *Candida albicans* é um fungo dimórfico ou polimórfico cuja conversão entre a forma de hifas e leveduras depende presença ou ausência do ácido gimnêmico.

1. Há diversas formas de caracterizar cada grupo de seres vivos: de acordo com o número de células, com a presença ou ausência de envoltório nuclear, conforme o modo de obtenção de alimentos, dentre outros. Os fungos podem ser uni ou multicelulares, são eucariontes e heterótrofos.

Em relação à forma de obtenção de alimento dos fungos, assinale a alternativa correta.

- a) Produzem seu próprio alimento com a ajuda da luz solar.
- b) Caçam e capturam outros organismos vivos.
- c) Crescem sobre suas fontes de alimento e secretam substâncias para degradá-las.
- d) São exclusivamente parasitas, absorvendo nutrientes do organismo hospedeiro.
- e) Produzem esporos que podem ser transportados pelo vento.

2. Embora sejam um grupo à parte, os fungos apresentam semelhanças com plantas, animais e até mesmo com bactérias. Ao analisar as características estruturais e fisiológicas de fungos, no entanto, encontramos um conjunto específico de características deste grupo.

Assinale a alternativa que apresenta apenas características de fungos.

- a) Exclusivamente unicelulares; parede celular de quitina; glicogênio como reserva energética; reprodução apenas sexuada.
- b) Unicelulares ou multicelulares; parede celular de celulose; amido como reserva energética; reprodução sexuada e assexuada.
- c) Exclusivamente multicelulares; ausência de parede celular; amido como reserva energética; reprodução apenas assexuada.
- d) Unicelulares ou multicelulares; ausência de parede celular; glicogênio como reserva energética; reprodução sexuada e assexuada.
- e) Unicelulares ou multicelulares; parede celular de quitina; glicogênio como reserva energética; reprodução sexuada e assexuada.

3. Os fungos apresentam importantes funções ecológicas e podem estabelecer diferentes relações com outros seres vivos. Tais funções e relações estão, muitas vezes, relacionadas às estratégias alimentares e podem afetar a forma como os fungos se distribuem no ambiente.

Sobre aspectos ecológicos dos fungos, assinale a alternativa correta.

- a) A distribuição dos fungos é, em geral, muito restrita, em decorrência da única forma de dispersão dos esporos, que é via transporte por insetos.
- b) Os fungos se encontram em diversos ambientes e as espécies podem ter variadas estratégias alimentares, sendo que os saprófitos têm papel fundamental na ciclagem de nutrientes.
- c) Os micro-habitat influenciam a distribuição espacial dos fungos, mas somente a

disponibilidade de luz afeta o desenvolvimento das espécies, que crescerão apenas em ambientes sombreados.

d) Os fungos simbiotes mutualistas são cruciais para a agricultura, já que eles podem causar doenças e afetar negativamente o desenvolvimento de plantas cultivadas.

e) Os fungos parasitas não oferecem risco a nenhum outro ser vivo, já que estabelecem, com eles, relações em que ambos os envolvidos se beneficiam de alguma forma.

Importância dos fungos

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção vamos explorar a interação dos fungos com outros seres vivos, formando associações simbióticas conhecidas como micorrizas e líquens. Além disso, discutiremos algumas das muitas formas as quais os fungos são importantes tanto na natureza quanto para nós, seres humanos. Por fim, conheceremos algumas das aplicações biotecnológicas de fungos, com aplicações em diversos setores: alimentos, medicina e agricultura, dentre outros.

Lembre-se de que você está trabalhando em uma empresa de bioprospeção de fungos. Após o período de experiência no setor de cultivo dos fungos, você agora iniciou as atividades no departamento de micologia aplicada a ecossistemas. Em uma reunião, um potencial cliente explicou que está montando um negócio para contribuir com a recuperação de áreas degradadas, incluindo o plantio de mudas de árvores de espécies nativas, sob uma perspectiva sustentável, com a menor interferência possível de recursos artificiais.

O cliente explicou que já conversou com profissionais que o aconselharam sobre formas de analisar e corrigir os nutrientes e a estrutura do solo, obteve informações sobre os processos ecológicos e agora procurou sua empresa para conhecer formas de contribuir para um melhor estabelecimento e desenvolvimento das plantas em ambientes que já foram severamente alterados, mas evitando usar fertilizantes em excesso ou outros químicos que possam agredir o meio ambiente e utilizando fungos – uma estratégia da qual ele havia ouvido falar, mas não tinha compreendido bem.

Nesse contato inicial com o cliente, deixe claro que ainda seria necessária uma investigação detalhada. Considere as relações simbióticas dos fungos e possíveis alternativas biotecnológicas para desenvolver sua proposta ao cliente.

Prepare-se e bom estudos!

Não pode faltar

Caro aluno, na seção anterior conhecemos a morfologia e a biologia dos fungos. Agora vamos conhecer algumas relações que os fungos estabelecem com outros seres vivos e destacar sua importância na natureza e para nós, humanos.

Relações simbióticas: micorrizas

O termo micorriza deriva das palavras gregas *myke* (fungo) e *rhiza* (raiz) e se refere a uma **associação simbiótica entre fungos e plantas vasculares**. Essa relação é fundamental para ambas as partes e resulta em um desenvolvimento sincronizado entre a planta e o fungo. Estima-se que mais de 90% das plantas na natureza apresentam micorrizas, nos mais variados habitats, incluindo desertos, florestas tropicais úmidas e ecossistemas aquáticos.



Assimile

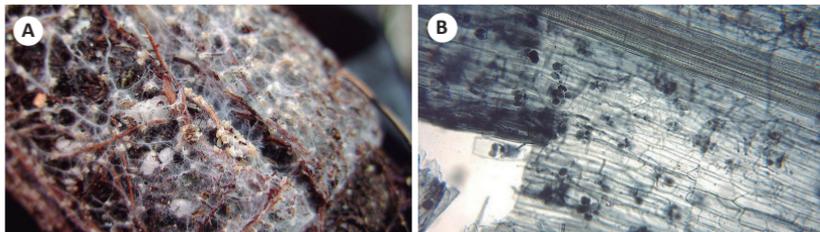
As relações simbióticas podem ser definidas como dois ou mais organismos de espécies diferentes vivendo juntos. Na simbiose, todos os parceiros se beneficiam ou apenas um deles, porém não há efeito negativo sobre o outro.

As micorrizas podem ser classificadas principalmente em **endomicorrizas** e **ectomicorrizas**. Nas endomicorrizas, as estruturas fúngicas se encontram quase inteiramente dentro da raiz associada. São também conhecidas como micorrizas arbusculares (Figura 2.4 B), nas quais a hifa penetra nas células das raízes, ramificando como galhos de árvores. Alguns grupos também formam vesículas, sendo chamados de micorrizas vesiculares-arbusculares. Esse é o tipo que predomina nos solos agrícolas e de sistemas florestais.

As ectomicorrizas (Figura 2.4 A) se caracterizam pelo crescimento do fungo entre as células da raiz e ao redor desta, formando um manto de hifas. As hifas penetram entre as camadas celulares mais externas da raiz (epidérmicas e corticais), formando o que se chama de **rede de Hartig**.

Tanto nas endomicorrizas quanto nas ectomicorrizas o micélio se estende pela região ao redor da raiz (rizosfera) e rastreia nutrientes, possibilitando sua transferência para a planta associada, diretamente da matéria orgânica do solo.

Figura 2.4 | A) Micélio ectomicorrízico (em branco) associado a raízes de pinheiro. B) Micorriza arbuscular (manchas escuras) em células de linho, vista em microscópio.



Fonte: A) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mycorrhizes-01.jpg>. B) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arbuscular_mycorrhiza_microscope.jpg. Acesso em: 22 out. 2018.

As plantas cujas raízes estão associadas aos fungos fornecem a eles nutrientes formados a partir da fotossíntese. Em troca, os fungos fornecem à planta um incremento na disponibilidade de nutrientes do solo e na velocidade de absorção de minerais. Além disso, as micorrizas protegem as raízes de patógenos e isolam e acumulam metais pesados nas hifas, impedindo que essas substâncias atinjam os tecidos vegetais, aumentam a estabilidade dos agregados do solo, e podem transferir nutrientes entre diferentes plantas que compartilham o mesmo fungo.

Os fungos micorrízicos também aumentam a tolerância das plantas às condições adversas, como permitir o crescimento de indivíduos em solo com acidez fora da faixa adequada para a espécie. O estresse hídrico pode ser reduzido pelas micorrizas, que drenam água do solo.



Pesquise mais

O material indicado a seguir traz mais detalhes sobre os tipos de micorrizas, sua importância ecológica, industrial e econômica, além da aplicação em plantas cultivadas.

BERUDE, M. C. et al. Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 132-146, 2015.

Relações simbióticas: líquens

Neste material utilizamos o termo “líquens” para nos referirmos aos **fungos liquenizados**, termo mais recente segundo o Código Internacional de Nomenclatura Botânica. Apesar de serem uma entidade simbiótica, os líquens são classificados como fungos na literatura, com mais de 13 mil espécies identificadas.

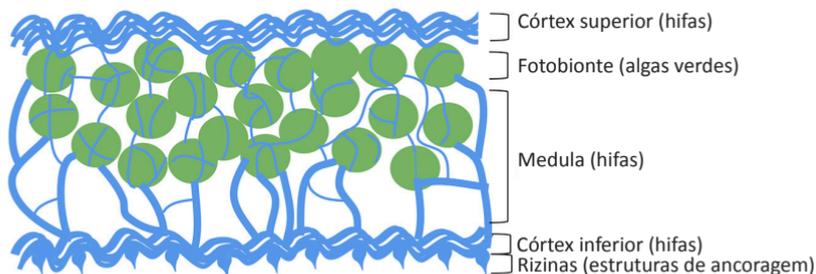
Os líquens são compostos por um fungo (**micobionte**) e um ou mais componentes fotossintetizantes (**fotobionte**), geralmente algas verdes ou cianobactérias (Figura 2.5). As espécies fúngicas frequentemente pertencem ao grupo dos Ascomycetos ou Basidiomycetos (ver Seção 2.3).

Nessa associação simbiótica, as células do fotobionte ficam em contato com as do micobionte e isso envolve uma forte integração fisiológica entre as partes. O fotobionte fornece ao fungo produtos da fotossíntese e, se for uma cianobactéria, também pode contribuir com assimilados da fixação de nitrogênio. A participação do micobionte é menos clara, mas pode contar com proteção do fotobionte contra a desidratação e o excesso de luminosidade, além de fornecer nutrientes extraídos do substrato.

Embora seja considerada uma associação simbiótica mutualista, em que ambas as partes se beneficiam, há na literatura menções aos líquens serem um

caso de parasitismo controlado, já que o micobionte parece se beneficiar mais do que o fotobionte, que cresce mais lentamente do que se estivesse em vida livre.

Figura 2.5 | Estrutura geral de um líquen



Fonte: adaptada de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lichen_Cross_Section_Diagram.svg. Acesso em: 22 out. 2018.

Líquens vivem geralmente como epífitas sobre árvores, diretamente no solo ou em rochas, em ambientes variados, incluindo ecossistemas semiáridos e polares. São geralmente terrestres, mas há representantes dulcícolas e marinhos. A maioria cresce em condições de umidade, embora haja espécies que sobrevivem a secas prolongadas.

Os líquens exibem variações morfológicas e de cores e podem medir de poucos mm² a mais de 2 m de comprimento, com crescimento bastante lento, geralmente poucos milímetros a poucos centímetros por ano.

A aparência do talo de um líquen é determinada principalmente pelo micobionte, e de acordo com o talo e os hábitos, os líquens podem ser divididos em três grupos principais, mostrados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 | Classificação dos líquens

Crostosos: são geralmente bastante achatados, formando uma crosta firmemente presa à rocha ou ao tronco. Dificilmente removíveis sem serem danificados.



Foliosos: assemelham-se a folhas e são mais fracamente presos ao substrato do que os crostosos. Têm organização dorsiventral, com as superfícies inferior e superior diferentes. Os talos podem se ramificar, com divisões mais arredondadas (lobos) ou mais alongadas (lacínias).



Fruticosos: variam em forma e são presos ao substrato apenas por um ou poucos pontos de contato. São pendentes, eretos ou prostrados. Os talos lembram fios de cabelo, fitas ou arbustos, sendo cilíndricos ou achatados.



A- <https://www.istockphoto.com/br/foto/%C3%ADquen-branco-e-preto-de-fuerteventura-monta%C3%B1a-roja-gm884110096-245844974> ID da foto: 884110096. B-<https://www.istockphoto.com/br/foto/close-up-de-%C3%ADquen-gm512800920-87313289> ID da foto: 512800920. C- <https://www.istockphoto.com/br/foto/%C3%ADquen-usnea-na-conserva%C3%A7%C3%A3o-ambiental-de-ramo-de-%C3%A1rvore-gm939776292-256935498> ID da foto: 939776292

Os líquens se reproduzem de forma indireta, quando o micobionte e o fotobionte têm sua própria reprodução e posteriormente se liquenizam, ou de forma direta, quando micobionte e fotobionte formam órgãos especializados de reprodução, como sorédios e isídios. Os sorédios são aglomerados de células do fotobionte com hifas do micobionte, e não apresentam córtex. Os isídios, por sua vez, são dotados de córtex distinto.

Como muitos fungos, a maioria dos micobiontes tem ciclo de vida sexuado e assexuado, já o fotobionte têm reprodução reduzida quando no líquen. Uma dificuldade na reprodução dos líquens é a necessidade do esporo fúngico encontrar o parceiro fotossintético apropriado para restabelecer a simbiose. Entretanto, líquens também podem se dispersar de forma vegetativa no estado simbiótico, por propágulos (como os sorédios e isídios) ou fragmentação do talo.

Como os líquens não têm raízes, são dependentes da água e dos nutrientes presentes na atmosfera. Por não apresentarem barreiras, como a cutícula das folhas das plantas, podem absorver contaminantes por toda a superfície. Essas características de sua biologia, aliadas ao fato de que podem viver por muito tempo (décadas ou centenas de anos), tornam os líquens sensíveis às características do ambiente e podem acumular substâncias dele retiradas, incluindo poluentes, especialmente dióxido de enxofre.

Por conta disso, os líquens são considerados importantes aliados no **biomonitoramento ambiental**, sendo encontrados mais abundantemente em áreas livres das ações humanas, particularmente poluição atmosférica. Algumas espécies são mais tolerantes à poluição, então a presença ou ausência de determinados líquens em um ambiente ou o estudo das concentrações de substâncias acumuladas nos líquens, como metais pesados, podem sugerir o grau de poluição no local.

Líquens também são importantes pela sua capacidade de colonizar substratos (ver Seção 1.2), e são usados na alimentação e na indústria cosmética. Têm aplicações farmacológicas como expectorantes e antialérgicos, produzem metabólitos, como o ácido úsnico (produzido apenas por líquens), com propriedades bactericidas, antivirais e antiespasmódicas. Por outro lado, algumas substâncias podem ser tóxicas e alergênicas.



Pesquise mais

O material sugerido a seguir traz mais detalhes sobre os fungos liquenizados, além de fotos e esquemas ilustrativos que complementam esta seção.

SPIELMANN, A. A.; MARCELLI, M. P. **Fungos liquenizados (liquens)**. São Paulo: IBt, 2006.

Importância ecológica, econômica e médica dos fungos

Ecológica

Os fungos atuam na ciclagem de nutrientes, retenção e formação do solo, participam das teias alimentares como alimento e como decompositores, ajudam a estabelecer micro-habitat e ajudam nos processos sucessionais.

O fungo marinho *Zalerion maritimum* tem sido estudado por sua capacidade de degradar partículas plásticas, revelando-se uma ferramenta promissora na biorremediação para a poluição aquática por microplásticos.

Algumas das abordagens ecológicas relativas aos fungos já apareceram nesta seção e na Seção 2.1.

Econômica

Economicamente, os fungos são importantes por serem fontes de alimento (cultivo de cogumelos), de obtenção de enzimas, ácidos orgânicos, vitaminas, antibióticos, ácidos graxos, álcool, fármacos, aminoácidos e proteínas, aplicados na indústria de alimentos e bebidas, saúde, indústria química e de combustíveis. Esses organismos podem também provocar perdas econômicas significativas, já que suas atividades decompositoras podem danificar madeira, alimentos e outros produtos manufaturados.

A produção de etanol e ácido cítrico são exemplos de uso de fungos em grande escala. A fermentação de cana-de-açúcar, de batata e de mandioca, realizada por leveduras, é a base para a produção de etanol, álcool industrial usado em combustíveis e na indústria química. O ácido cítrico é usado em alimentos, bebidas e fórmulas farmacêuticas, principalmente a partir de *Aspergillus niger*, fonte açúcar de cana e de beterraba.

Metabólitos secundários de fungos têm importantes aplicações na agricultura, como fungicidas. Um exemplo é a estrobilurina, extraída dos micélios de *Strobilurus tenacellus*, que atua sobre fungos filamentosos. O hormônio vegetal giberelina, aplicado para melhorar a produção de uvas, frutas cítricas e maçãs, dentre outros usos, é produzido em escala industrial a partir da fermentação do fungo *Gibberella fujikuroi*, um patógeno de arroz. Por outro lado, fungos parasitas podem provocar perdas na colheita.



Exemplificando

Entender os potenciais de um organismo vivo como os fungos, possibilita, a partir desse conhecimento, criar materiais que ofereçam alternativas aos que já existem no mercado e que propiciem características vantajosas. Um exemplo é o desenvolvimento de biomateriais produzidos a partir de micélios fúngicos, que os tornam biodegradáveis.

Médica

O fato de existir um grande número de espécies de fungos nos mais variados ambientes coloca os humanos em contato com muitos fungos diariamente, que são potenciais causadores de **doenças**, algumas letais. As infecções por fungos são conhecidas genericamente como **micoses**.

Algumas das infecções mais comuns são provocadas por microfungos, como pé-de-atleta (frieira), aspergilose, candidíase e a paracoccidiodomicose, dentre tantas outras. Metabólitos produzidos pelos fungos podem ser tóxicos para humanos e outros animais, conhecidos como micotoxinas. Um dos grupos de micotoxinas mais conhecidos é o das aflatoxinas, encontradas em alimentos como amendoim e milho, produzidas por fungos do gênero *Aspergillus*.



Pesquise mais

Confira o material multimídia indicado a seguir para entender como infecções causadas por *Candida* e *Aspergillus* são, atualmente, um grave problema para a saúde brasileira.

FIORAVANTI, C. O ataque silencioso dos fungos. **Pesquisa Fapesp**, ed. 243, maio 2016.

Fungos podem produzir metabólitos usados em **fármacos**, como a ciclosporina, produzida pelo fungo de solo *Tolypocladium inflatum*, usada como **imunossupressora** para evitar rejeição de órgãos transplantados. Dois exemplos bastante conhecidos são os **antibióticos** penicilina, antibiótico produzido pelo microfungo *Penicillium chrysogenum* (antes *P. notatum*) e as cefalosporinas, obtidas a partir do fungo *Hymenula cerealis*, embora uma variedade de antibióticos sejam produzidos por fungos.

Drogas **redutoras de colesterol** e usadas na **prevenção de doenças cardiovasculares** também podem ser citadas, como lovastatina e mevastatina, isoladas de *Monascus ruber* e *Penicillium citrinum*, respectivamente. O

alcaloide ergolina, encontrado em fungos do gênero *Claviceps*, é utilizado na produção de ergotamina, um **vasoconstritor**, e ergometrina, usada no controle da contração uterina e sangramento pós-parto.



Refleta

Já pensou em como é possível que os fungos sejam fonte de moléculas farmacologicamente tão potentes e compatíveis com o organismo humano?

Fungos e biotecnologia

Com o avanço da biotecnologia, especialmente da manipulação genética, os fungos têm sido cada vez mais usados para produzir hormônios, proteínas e outros itens de interesse, especialmente para os humanos. Há inúmeros exemplos do uso de fungos no desenvolvimento biotecnológico, portanto nesta seção citaremos apenas alguns deles.

Sob condições aeróbicas, leveduras metabolizam o açúcar, produzindo dióxido de carbono e água. Se o oxigênio falta ou é insuficiente ou se há muito açúcar, há produção de etanol e dióxido de carbono (fermentação alcoólica), base para a **produção de bebidas** como vinho, cidra e cerveja, a partir de suco de frutas ou de cereais. As leveduras, há muito tempo usadas na fermentação, podem ser exploradas como hospedeiras para a **expressão de proteínas terapêuticas** humanas por meio da técnica de DNA recombinante e outras formas de edição gênica.

Alimentos que são processados a partir da atividade de fungos são o pão, derivados de soja (molhos e pastas), queijos e leites fermentados, dentre outros. No caso da maturação de queijos, as **enzimas** lipases e proteases atuam sobre gorduras e proteínas, respectivamente, influenciando as propriedades organolépticas do produto.

A **biomassa** obtida de fungos também pode ser aproveitada. O micélio do fungo *Fusarium venenatum* é processado para simular a textura da carne, contribuindo para as necessidades nutricionais da dieta humana, oferecendo um produto rico em proteínas, composição de aminoácidos, fibras e com menos gordura do que a carne animal.

Muitos fungos produzem enzimas extracelulares que rompem polissacarídeos em açúcares e proteínas em aminoácidos para que possam ser mais facilmente assimilados. Desta forma, são interessantes para substituir processos de hidrólise de amidos em açúcar, mas também servem como aditivos de detergentes ou na produção de queijo, coagulando as proteínas do

leite. Enzimas proteases de fungos também podem ser usadas para reduzir a turbidez de cervejas e o glúten da farinha de trigo.

Enzimas lipases obtidas de fungos são aplicadas na indústria de alimentos, pois liberam ácidos graxos de gorduras, influenciando o sabor de queijos. Elas também são usadas em detergentes. A enzima glicose oxidase, produzida por *Aspergillus* ou *Penicillium* podem ser adicionadas a sucos de fruta para eliminar traços de oxigênio e atuar como conservante, além de compor materiais usados na detecção e quantificação de glicose no sangue e na urina.

Sem medo de errar

Nesta seção você deveria apresentar uma proposta inicial a um futuro cliente da empresa em que trabalha, com uma visão geral sobre possíveis aplicações dos fungos na recuperação de áreas degradadas, utilizando o plantio de mudas.

Ecossistemas degradados que serão revegetados precisam passar por uma recuperação do solo para que as novas plantas possam se adaptar e se desenvolver. Considerando que o solo esteja pronto para receber as mudas de plantas, ou seja, já foi analisado e corrigido em relação aos minerais e características como acidez, é interessante garantir que as plantas conseguirão absorver água e assimilar os nutrientes do solo.

Em um primeiro momento, pode-se sugerir ao cliente que faça uma inoculação de fungos micorrízicos nas mudas das plantas que serão utilizadas na revegetação. Esses fungos podem se associar às raízes e formar micorrizas, que oferecem benefícios diversos para as plantas, como:

- Melhora da agregação do solo, importante para o estabelecimento das plantas.
- Aumento da área de absorção de água do solo pelas raízes, reduzindo a possibilidade de a planta sofrer estresse hídrico.
- Incremento da disponibilidade e da velocidade de absorção de nutrientes, agindo como biofertilizantes.
- Proteção das raízes do ataque de patógenos, minimizando possíveis estresses bióticos que a planta possa sofrer.
- Aumento da tolerância das plantas a solos muito ácidos ou muito alcalinos.

Uma outra proposta, embora mais utilizada em sistemas agrícolas, é o uso de fungicidas elaborados a partir de metabólicos fúngicos para controlar

eventuais infestações de fungos patógenos na produção das mudas que serão usadas na revegetação.

A biotecnologia pode auxiliar na seleção das micorrizas mais adequadas tanto às espécies de plantas utilizadas quanto ao tipo de degradação do solo da área a ser recuperada.

Sendo assim, estabelecendo-se a parceria do seu cliente com a empresa, poderiam ser realizados estudos mais detalhados sobre as espécies vegetais escolhidas para recuperar áreas degradadas, bem como uma análise dos danos do solo, para definir as estratégias de aplicação de micorrizas nesse processo.

Avançando na prática

Líquens árticos e a cadeia alimentar

Descrição da situação-problema

John é um biólogo que trabalha com monitoramento ambiental em ecossistemas árticos. Nessas regiões, renas e alces se alimentam de líquens e esses animais, por sua vez, servem de alimento para algumas tribos locais.

Antes isoladas, nas proximidades de algumas dessas tribos surgiram indústrias ao longo da segunda metade do século XX. Nos últimos anos, foram relatadas mortes e intoxicação de vários integrantes das tribos, e renas e alces também foram encontrados mortos, sem causa aparente.

John foi convocado para compor a equipe de investigação sobre esses eventos. Ele não detectou a redução da quantidade de líquens na região. Haveria alguma ligação entre os líquens, os animais, os tribais e as indústrias que pudesse explicar as mortes? Que hipótese John levantaria?

Resolução da situação-problema

Os líquens podem viver por muitos anos, assimilando e acumulando substâncias retiradas do ambiente em que vivem, sendo considerados bioindicadores ambientais. Usados como alimentos por animais e populações humanas, alguns líquens podem produzir substâncias tóxicas.

Uma hipótese que poderia ser levantada por John, a ser investigada para confirmação, é de que as indústrias instaladas na região liberaram diversos poluentes para o ambiente, que podem ter sido incorporados e acumulados pelos líquens. Renas e alces se alimentaram desses líquens, assimilando os

poluentes. Alguns desses animais morreram possivelmente por contaminação e aqueles que foram usados como alimento para os humanos podem tê-los intoxicado, provocando também suas mortes. Em outras palavras, poluentes podem ter sido bioacumulados na cadeia alimentar ilustrada, confirmando que líquens assimilam e acumulam poluentes do ambiente.

Faça valer a pena

1. Líquens crescem sobre rochas, troncos de árvores e até mesmo em regiões desérticas. Podem atuar como bioindicadores da poluição atmosférica e ser pioneiros em processos sucessionais, além de contribuir para a construção do solo e até servir como alimento.

Sobre a composição dos líquens e a relação ecológica envolvida, marque a alternativa correta.

- a) Trata-se de parasitismo, em que algas se beneficiam de cianobactérias.
- b) Trata-se de competição: nem as algas nem os fungos se beneficiam.
- c) Trata-se de uma simbiose mutualística, em que somente os fungos se beneficiam.
- d) Trata-se de uma simbiose mutualística, em que os fungos e as algas ou cianobactérias se beneficiam.
- e) Trata-se de saprofitismo, em que as algas se alimentam dos restos mortos dos fungos.

2. Estima-se que mais de 90% das plantas vasculares vivem em associação com fungos. Essa ligação ocorre entre as raízes da planta e as hifas do fungo, com benefício das duas partes. Os fungos obtêm da planta elementos nutritivos que ela produziu na fotossíntese e, em troca, ajudam no desenvolvimento do vegetal.

Marque a alternativa que indica corretamente formas nas quais os fungos auxiliam as plantas nessa associação.

- a) Aumento da superfície de absorção de água e mobilização de nutrientes no solo.
- b) Proteção contra a alta luminosidade e contra o ataque de patógenos.
- c) Incremento da absorção de carboidratos a partir do solo e proteção contra a herbivoria.
- d) Aumento da superfície de absorção de água e disponibilização de metais pesados para a planta.
- e) Mobilização de nutrientes para as plantas e proteção contra a herbivoria.

3. Os fungos têm importância ecológica, econômica e médica. Os seres humanos aprenderam a tirar proveito das propriedades dos fungos em benefício da agricultura, da medicina, da alimentação e de outros setores de sua vida, como os transportes, de forma que esses organismos têm aplicações biotecnológicas diversas.

Sobre a importância e a biotecnologia de fungos, assinale a alternativa correta.

- a) Na produção de bebidas e processamento de alimentos, aproveitam-se dos fungos as micotoxinas que produzem.
- b) A biomassa de fungos pode ser processada para a produção de pães e queijos.
- c) A fermentação realizada por leveduras modifica a estrutura do DNA desses fungos, que passam a produzir hormônios vegetais.
- d) Os metabólitos produzidos pelos fungos são muito utilizados para o desenvolvimento de fármacos como antibióticos, vasoconstritores e imunossuppressores.
- e) Micoses são sintomas produzidos pela presença de enzimas fúngicas no corpo humano, que degradam carboidratos.

Diversidade de fungos

Diálogo aberto

Caro aluno, agora que já sabemos como são os fungos, como eles “funcionam” e por que são importantes, vamos descobrir quem são eles e como são agrupados. Afinal de contas, todo cogumelo é fungo, mas nem todo fungo é cogumelo.

Lembre-se de que durante seu período de experiência na empresa de bioprospecção você está passando por diferentes departamentos para conhecer todos os setores e serviços contemplados no local. O terceiro departamento em que você está é especializado na identificação de fungos, atendendo aos setores da própria empresa ou prestando serviço a agricultores, veterinários, laboratórios de análises clínicas ou outros.

Nesta tarde, vieram colegas biólogos da secretaria do meio ambiente da prefeitura, responsáveis pelo monitoramento ambiental da cidade. Eles trouxeram alguns sapos mortos recolhidos ao redor de um riacho existente no horto florestal. Os animais não apresentavam ferimentos, então os biólogos descartaram ataque de outros animais e desconfiaram de intoxicação por poluentes, infecção bacteriana ou fúngica. Em busca de confirmar ou descartar suas desconfianças, levaram exemplares para diferentes análises, incluindo sua empresa, para investigar se as mortes poderiam ter sido causadas por um fungo.

De acordo com seus conhecimentos sobre a diversidade dos fungos e com base nas características mais expressivas dos grupos:

- Você receberia os animais para análise? Ou seja, é possível que os sapos tenham morrido devido a uma infecção fúngica?
- Se confirmado que se trata de um fungo, a qual grupo ele poderia pertencer e que estruturas deveriam ser observadas ao analisar o material coletado dos sapos?
- O que precisaria ser investigado para confirmar suas suspeitas na classificação da espécie de fungo?
- Em caso positivo para as suspeitas, as orientações para os colegas da secretaria de meio ambiente seriam de tranquilidade, pois seriam casos isolados de infecção, ou de alerta, já que o fungo pode ser uma ameaça às populações de anfíbios?

Vamos lá, você pode resolver esta missão e incluir suas descobertas no seu catálogo ilustrado de fungos com importância econômica ou médica.

Não pode faltar

Como já discutido na Seção 2.1, os fungos compartilham características com plantas e animais, embora sejam mais relacionados aos animais do que às plantas. Tradicionalmente, a classificação dos fungos se baseava em suas características morfológicas, fisiológicas e reprodutivas, mas a classificação filogenética atual é definida principalmente pelas similaridades e diferenças nas sequências de DNA. Com mais de 140 mil espécies conhecidas e distribuídas atualmente em oito filos (SPATAFORA et al., 2016), nesta seção serão apresentados os maiores grupos de fungos.



Refleta

A filogenética molecular e a filogenômica são uma ferramenta de grande valor para a compreensão de padrões e processos associados com a evolução dos fungos. De que forma esses estudos nos ajudam a compreender a filogenética deste grupo?

Microsporídeos

1.250 espécies se agrupam no filo Microsporidia. São organismos microscópicos recentemente incluídos no reino Fungi, unicelulares, com células reprodutivas sem flagelos. Eram classificados como protozoários até recentemente, mas foram incluídos no reino Fungi devido a resultados de análise de DNA.

Os microsporídeos são, em sua maioria, parasitas intracelulares de insetos, peixes e crustáceos, podendo infectar vertebrados, incluindo humanos. A invasão nas células hospedeiras ocorre por meio da injeção do conteúdo do fungo através de um tubo polar que se projeta do esporo. Uma característica molecular deste grupo é a presença de um transportador de nucleotídeo usado para obter energia (ATP – adenosina trifosfato) de seu hospedeiro, necessária para que o microsporídeo sobreviva e se reproduza.

Os representantes deste grupo se reproduzem de forma sexuada ou assexuada e seus esporos são resistentes a condições ambientais desfavoráveis, graças à parede celular de quitina.

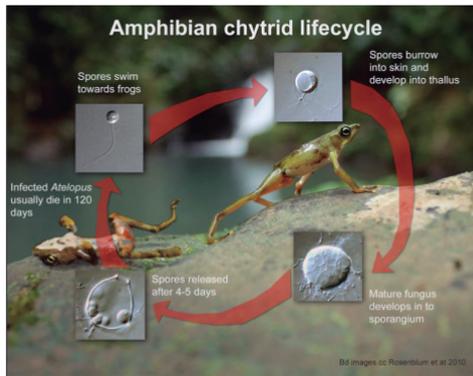
Quitridiomictos

Pertencentes ao filo Chytridiomycota (cerca de 980 espécies), os quitridiomictos são uma classe de fungos geralmente microscópicos, com uma ou

várias células com parede constituída por quitina. A maioria é aquática e, por isso, suas células reprodutivas (zoósporos) são **flageladas**. Há suspeitas de que representantes do filo Chytridiomycota tenham sido os primeiros fungos a habitar ambientes terrestres e há espécies encontradas em solo de desertos.

Alguns são parasitas intracelulares obrigatórios, como *Batrachochytrium dendrobatidis*, que infecta a pele de anfíbios, causando uma doença chamada **quitridiomicose**, principal responsável pela redução de espécies de sapo no mundo (Figura 2.6). Essa doença diminui a eficiência da respiração cutânea e osmorregulação dos anfíbios. Algumas espécies parasitam protozoários, ovos de animais, grãos de pólen e algas, enquanto outras são saprófitas.

Figura 2.6 | Ciclo de vida do fungo patogênico *Batrachochytrium dendrobatidis*.



- Legenda:
1. Esporos nadam até o anfíbio.
 2. Os esporos invadem a pele do animal e se desenvolvem.
 3. O fungo maduro se desenvolve em esporângio e produz esporos.
 4. Os esporos são liberados após 4 a 5 dias.
 5. O animal infectado (aqui, um sapo do gênero *Atelopus*) geralmente morre em 120 dias.

Fonte: adaptada de <https://www.flickr.com/photos/briangratwicke/14115178249>. Acesso em: 01 de novembro de 2018.

Os quitridiomicetos geralmente têm reprodução assexuada, dependente de água: os esporos nadam até se estabelecer em um substrato. Ao redor do esporo forma-se um cisto, necessário à sobrevivência em ambientes desfavoráveis. Algumas poucas espécies se reproduzem sexuadamente, com alternância das fases haploide e diploide.



Pesquise mais

Consulte as páginas indicadas do material a seguir, que você encontra em sua biblioteca virtual, para ver esquemas ilustrados e detalhados dos ciclos de vida dos grupos de fungos apresentados nesta seção.

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Fungos. In: EVERT, R. F.; EICHHORN, Susan E. **Raven | Biologia vegetal**. Tradução: Ana Claudia M. Vieira et.al.

8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. Cap. 14, p. 578, 580, 585, 591, 605.

No folheto indicado a seguir, há informações sobre a quitridiomicose, doença que afeta gravemente a anfíbios, incluindo medidas para evitar a disseminação da contaminação dos animais.

FAJARDO, G. R.; MOTT, T. **Quitridiomicose**: informações sobre esta doença. Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Biológicas da Saúde.

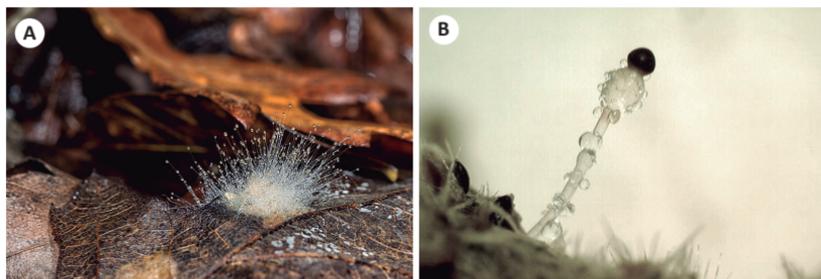
Zigomicetos

Os zigomicetos, antes pertencentes ao filo Zygomycota, são fungos que se reproduzem sexuadamente por meio de estruturas chamadas **zigósporos**, que se desenvolvem dentro de **zigosporângios**. Por falta de consistência nas análises filogenéticas, os representantes deste grupo atualmente estão incluídos nos filos Mucoromycota e Zoopagomycota, sendo zigomicetos um termo informal.

Os fungos deste grupo são filamentosos, com hifas asseptadas na maioria das espécies, mas em algumas condições podem crescer com padrão leveduriforme (unicelular). Em geral saprófitas, algumas espécies causam doenças em plantas cultivadas, como a *Rhizopus stolonifer*, responsável pela “podridão mole” em frutos, flores e outras partes vegetais. Outros são patógenos de insetos e invertebrados que vivem no solo. Por outro lado, alguns zigomicetos produzem substâncias de interesse para a biotecnologia, como ácidos graxos e licopeno. Espécies com hifas asseptadas são responsáveis pelo bolor-preto-do-pão.

Na reprodução sexuada, hifas se aproximam e produzem um **gametângio** terminal, que contém núcleos haploides. Quando os gametângios se conjugam, enzimas celulares digerem a parede celular entre eles, gerando uma parede única, grande e fina que contém muitos núcleos dos dois parentais (plasmogamia). A parede celular fica gradualmente mais espessa e rígida, originando o zigósporo multinucleado, estrutura resistente que se forma para posterior reprodução. A fase seguinte é a cariogamia e, então, a meiose produz um **esporângio** pronunciado (Figura 2.7), que contém esporos haploides que são liberados para o ambiente.

Figura 2.7 | Aspecto geral (A) e detalhe (B) da estrutura reprodutiva de fungos do gênero *Pilobolus*.



Fonte: A) <https://www.istockphoto.com/br/foto/pilobolus-kleinii-pequeno-fungo-no-orvalho-detalhe-de-outono-gm862616234-142917875> ID da foto: 862616234. B) https://mushroomobserver.org/image/show_image/620669. Acesso em: 1 nov. 2018.

Zigomicetos também se reproduzem de forma assexuada, quando um esporo germina em substrato adequado e origina um micélio. Algumas hifas crescem para cima e um esporângio de parede celular fina se forma na ponta. Dentro dele ocorre o ciclo assexuado e novos esporos haploides são formados por mitose.

Glomeromicetos

Antes pertencentes ao filo Glomeromycota, os glomeromicetos (termo informal) estão incluídos atualmente no filo Mucoromycota.

São fungos filamentosos, com hifas asseptadas em algumas espécies. Formadores de micorrizas arbusculares em mais de 80% das plantas terrestres, suas hifas secretam enzimas que as permitem entrar nas raízes das plantas, dentro da qual se ramificam, formando arbúsculos.

Reproduzem-se assexuadamente, por meio de esporos multinucleados que se formam nas pontas das hifas ou lateralmente. Não se conhece reprodução sexuada no grupo.



Refleta

Fungos já foram considerados plantas, mas atualmente sabe-se que se aproximam mais dos animais. Você acha que a evolução e a diversidade de fungos e de plantas estão ligadas de alguma forma? Fungos poderiam ser essenciais para a colonização das plantas terrestres?

Ascomicetos

Maior grupo dentre os fungos, contam com aproximadamente 90 mil espécies, pertencentes ao filo Ascomycota.

Geralmente microscópicos, embora espécies formadoras de líquens e trufas sejam macroscópicas. Há espécies filamentosas, com hifas geralmente septadas (uninucleadas ou multinucleadas), e espécies leveduriformes, como a *Saccharomyces cerevisiae*. Muitos são patógenos de plantas, alguns microfungos parasitas, bolores, ectomicorrízicos, decompositores de vários substratos (fezes, madeira, solo) e fermentadores. Habitam ecossistemas marinhos e terrestres.

Neste filo encontram-se algumas das primeiras espécies domesticadas por humanos, como leveduras e trufas, além de patógenos importantes, como os do gênero *Fusarium*, que infectam plantas e animais e produzem micotoxinas. Ascomicetos são fonte de inúmeros fármacos usados para combater doenças (ver Seção 2.2), mas também são agentes infecciosos de humanos.



Exemplificando

Espécies de ascomicetos, como *Neurospora crassa* (responsável pelo bolor vermelho do pão) servem como organismos modelo na pesquisa científica, especialmente genética, devido à facilidade em cultivar e reproduzir. Alguns ascomicetos têm potencial para uso como pesticidas biológicos, já que atacam insetos que afetam a agricultura.



Assimile

Basidiomycota e Ascomycota são filos pertencentes ao sub-reino **Dikarya**. Este termo indica a existência de **dois núcleos** genotipicamente distintos na hifa em algum ponto do ciclo de vida do fungo. Se um compartimento da hifa septada contém um núcleo, o termo usado é **monocariótico**; se contém dois núcleos genotipicamente diferentes, o termo usado é **dicariótico**.

Esporos sexuais haploides (**ascósporos**) são produzidos em estruturas chamadas **ascos** (formato de sacos), muitas vezes suportados pelos **ascomas** (ou ascocarpos), que são estruturas compostas por hifas entrelaçadas. Alguns ascomas são fechados e se assemelham a globos, outros a frascos abertos ou taças (Figura 2.8). **Ascogônios** (gametângios femininos) são fertilizadas pelos **anterídios** (gametângios masculinos), resultando em um estágio dicariótico (ocorre plasmogamia). Antes da cariogamia há uma série de divisões nucleares e, após esta fase, ocorre a meiose, seguida de mitose, produzindo os ascósporos haploides.

As leveduras podem se fundir e formar um zigoto, dentro do qual ocorre a meiose e se formam os ascósporos ou, dependendo da espécie, o zigoto passa por mitose e forma células diploides que se reproduzem por brotamento.

Assim como os zigomicetos, algumas hifas de ascomicetos são especializadas em reprodução assexuada, produzindo esporos geralmente multinucleados chamados **conídios**. Em algumas espécies, os conídios se formam em cadeias que se alongam a partir da hifa ramificada, chamados **conidióforos** (Figura 2.8 C).

Figura 2.8 | Exemplos da diversidade de ascomicetos. A) Em forma de cálice. B) Comestível, do gênero *Morchella*. C) Conidióforos de *Penicillium*.



Fonte: A) <https://www.istockphoto.com/br/foto/fungo-de-escarlate-elf-cup-gm1044383046-279539998> ID da foto: 1044383046. B) <https://www.istockphoto.com/br/foto/cogumelos-morel-cresce-na-floresta-gm520176900-90883459> ID da foto: 520176900. C) <https://www.istockphoto.com/br/foto/grande-amplia%C3%A7%C3%A3o-fotografia-do-pr%C3%B3prio-penicillium-fungo-gm519388111-50022160> ID da foto: 519388111

Basidiomicetos

Cerca de 50 mil espécies pertencentes ao filo Basidiomycota, incluindo as espécies formadoras de cogumelos (comestíveis e venenosos), orelhas-de-pau, morrões (ou carvões), fungos gelatinosos e ferrugens. Os famosos champignons (*Agaricus bisporus*) e shiitake (*Lentinula edodes*), amplamente usados na alimentação humana, estão dentre os representantes deste filo.

Os basidiomicetos são, em sua maioria, filamentosos, com hifas geralmente septadas de forma regular. A maioria é macroscópica, embora alguns patógenos sejam microscópicos. Uma característica citológica deste grupo é a presença de **fíbulas** (ou ansas), estruturas que são modificações nas hifas (pequenas ramificações que se auto fusionam) que asseguram que as células tenham dois núcleos. As fíbulas são encontradas apenas nos basidiomicetos, mas não em todas as espécies do grupo.

Algumas espécies produzem enzimas que digerem celulose e lignina, sendo importantes decompositores de restos de madeira. Outras podem atacar bactérias e pequenos animais secretando toxinas que os paralisam ou substâncias adesivas que os imobilizam. Muitos basidiomicetos participam das associações simbióticas (ver Seção 2.2) com plantas e animais, enquanto outros atuam como parasitas de plantas e podem, inclusive, causar doenças em humanos e outros animais.

Figura 2.9 | Exemplos da diversidade de basidiomicetos. A) Gênero *Phleogena*. B) Dedo de fada, gênero *Clavaria*. C) Orelha-de-pau, gênero *Pycnoporus*



Fonte: A) <https://www.istockphoto.com/br/foto/fungo-de-feno-grego-stalkball-phleogena-faginea-gm937233678-256368835> ID da foto: 937233678. B) <https://www.istockphoto.com/br/foto/close-up-of-mushroom-gm609938076-104579971> ID da foto: 609938076. C) <https://www.istockphoto.com/br/foto/madeira-fungo-gm174982618-22438554> ID da foto: 174982618

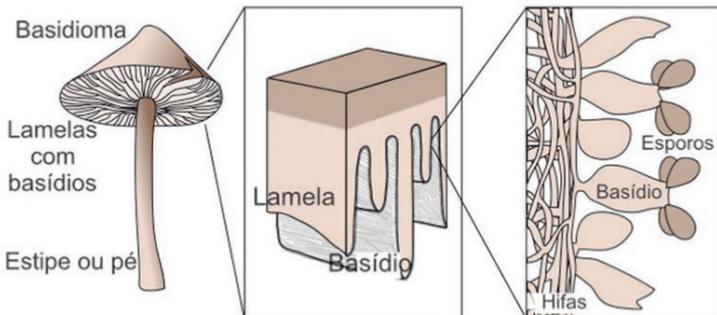
Poucas espécies se reproduzem assexuadamente, por brotamento ou fragmentação da hifa. Em geral, os basidiomicetos se reproduzem sexualmente, produzindo esporos sexuais haploides (**basidiósporos**) que se formam em uma estrutura chamada **basídio**, uma modificação nas células terminais das hifas (Figura 2.10). O basídio se desenvolve em um **basidioma** (ou basidiocarpo), que é o corpo reprodutivo de muitos fungos deste grupo (o que chamamos de “cogumelo”).



Assimile

Basidiomycota deriva do latim *basis* (base, suporte), *-idium* (sufixo diminutivo) e do grego *myke* (fungo), significando “pequeno pedestal”, sobre o qual os basidiósporos se desenvolvem. O filo é definido pela presença de basídio e pelo basidiósporo.

Figura 2.10 | Esquema geral da morfologia dos basidiomicetos e estruturas reprodutivas



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Basidium_schematic.svg. Acesso em: 21 nov. 2018.

Quando um basidiósporo pousa em um substrato com fonte de alimento adequado, germina e origina um micélio haploide. Indivíduos compatíveis próximos podem resultar em plasmogamia, produzindo um micélio dicariótico, contendo núcleos das duas partes. Após o desenvolvimento do micélio e sob condições ambientais adequadas, os basidiomas crescem. A princípio, o basidioma é dicariótico, mas logo depois ocorre a cariogamia, formando um núcleo diploide (zigoto) transitório. Em seguida a meiose produz basidiósporos haploides, que são liberados para o ambiente ativamente (são ejetados) ou passivamente (levados pela água, pelo ar ou por animais).



Pesquise mais

O site indicado a seguir traz uma coleção de fotos de fungos microscópicos de interesse médico, associadas aos tipos de micose que podem causar.

MICOLOGIA MÉDICA. LEPAC - UEM. **Banco de Imagens de fungos isolados.**

Sem medo de errar

No início desta seção você recebeu o desafio de investigar se a morte de sapos em um horto florestal poderia ter sido causada por infecção fúngica e de procurar explicar que tipo de fungo causaria esse dano, caracterizando-o.

Você primeiramente foi questionado se deveria aceitar analisar os animais, considerando a possibilidade de fungos provocarem morte em anfíbios. Neste caso, mesmo antes de realizar o diagnóstico, você poderia sim receber os exemplares trazidos pelos colegas biólogos, pois existem fungos que causam infecções letais em diversos animais invertebrados e vertebrados (como os sapos).

Após analisar os animais e amostras dos seus tecidos, para confirmar a infecção fúngica poderiam ser observados esporos do fungo parasitando as células dos anfíbios, especialmente as da pele. Esses esporos devem ser flagelados, conhecidos como zoósporos, que são aquáticos. Dependendo do estágio do ciclo de vida do fungo, poderiam ser observados esporângios, dentro dos quais são produzidos novos zoósporos que, em seguida, são liberados para o ambiente e podem infectar outros sapos.

Depois de analisar amostras de todos os indivíduos mortos, a partir das características observadas do parasita, seria possível indicar que os sapos foram infectados por fungos pertencentes ao filo Chytridiomycota, ou quitridiomictos. Os fungos deste grupo são em geral aquáticos, microscópicos

e vivem na água. A espécie que causou a morte dos sapos pode ser a *Batrachochytrium dendrobatidis*, mas para confirmar a identificação o ideal seria analisar o DNA dos fungos coletados.

Em caso positivo para as suspeitas e identificação do fungo parasita, a orientação para os colegas da secretaria de meio ambiente deve ser de alerta, já que essa espécie é responsável por um declínio nas populações de anfíbios em várias partes do mundo, portanto investigações mais detalhadas sobre o surgimento do fungo na região e medidas preventivas para evitar a infecção de mais animais precisam ser realizadas.

Inclua as informações sobre fungos patogênicos no seu catálogo ilustrado de fungos com importância econômica ou médica.

Avançando na prática

Fungos na escola

Descrição da situação-problema

Aliar atividades práticas à teoria é altamente indicado no ensino, especialmente na educação básica. Camila é uma professora de Biologia que procura realizar essa associação em sua prática docente e quer aproveitar uma atividade de campo que a escola organizou com alunos e professores para coletar material para aulas práticas sobre a diversidade de fungos que terá com seus alunos do ensino médio. O laboratório da escola conta apenas com um microscópio, algumas lupas e não dispõe de laminário específico para fungos.

Como Camila poderia elaborar material para essas aulas? Ela precisa se limitar aos macrofungos encontrados na coleta em campo? Descreva o material que ela poderia usar em aula, indicando os grupos de fungos que podem ser abordados e que estruturas seriam possíveis de observar.

Resolução da situação-problema

Considerando a limitação de equipamentos e material pronto da escola onde Camila trabalha, ela precisará obter fungos diversos na coleta indicada e na construção de material adicional.

Como conta com apenas um microscópio, ela poderá preparar uma lâmina de observação de *Saccharomyces cerevisiae*, a levedura presente no fermento biológico, para representar os fungos unicelulares ascomicetos (há

uma indicação deste procedimento em <<https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/aula-pratica-com-celula-levedo.htm>>. Acesso em: 2 nov. 2018). Esta é uma prática simples, que usa fermento de pão, água e açúcar, materiais de fácil obtenção. Para este grupo ela também pode coletar macrofungos em forma de cálice e folhas de plantas com ferrugens (observação em lupa).

Junto com os alunos, Camila pode preparar pães e frutas com bolor, cujas estruturas também poderão ser observados em lupa ou microscópio, por meio de um observatório lacrado, para que os alunos não sejam expostos aos esporos dos fungos (ver <<https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/observacao-fungos.htm>>. Acesso em: 2 nov. 2018), principalmente os ascos. No pão, podem observar zigomicetos, se obtiverem o bolor preto.

Para representar os basidiomicetos, Camila pode coletar cogumelos e pedir que os alunos observem o basidioma e as lamelas e, se possível, ela pode adquirir espécies comestíveis, como champignon e shiitake. Orelhas-de-pau também são exemplos de basidiomicetos possíveis de encontrar para coletar e Camila pode chegar a encontrar o gênero *Pilobolus* na serrapilheira, obtendo outro exemplo de zigomiceto, cujo esporângio também pode ser observado em lupa.

Faça valer a pena

1. Ao estudar a diversidade de espécies e classificá-las nos grupos taxonômicos, os cientistas precisam identificar similaridades e diferenças entre as espécies. Fungos podem ser unicelulares ou multicelulares; reproduzem-se sexuada e assexuadamente; ser filamentosos ou leveduriformes; simbioses ou de vida livre. Para identificar e posicionar as espécies de fungos na árvore filogenética, qual o método atualmente mais confiável?

Assinale a alternativa correta.

- a) Observar apenas a morfologia dos fungos: filamentosos ou leveduriformes.
- b) Agrupá-los conforme a forma de reprodução: sexuada ou assexuada.
- c) Considerar apenas aspectos fisiológicos, como o tipo de nutrição.
- d) Analisar semelhanças e diferenças no DNA dos fungos.
- e) Classificar os fungos conforme o habitat em que vivem.

2. Nos diferentes grupos de fungos, algumas estruturas com funções semelhantes apresentam formas e nomes diferentes, sendo um critério auxiliar na identificação dos grupos. O “cogumelo” no ciclo de vida de um basidiomiceto tem a mesma função que o (I)_____ no ciclo de vida de um ascomiceto, cuja função é (II)_____.

Assinale a alternativa que substitui I e II corretamente.

- a) I: conídio; II: suprir o fungo com nutrientes.
- b) I: flagelo; II: a locomoção do esporo em meio aquático.
- c) I: zigospórângio; II: produzir esporos sexuais.
- d) I: ascoma; II: coletar água da chuva para absorção de nutrientes.
- e) I: ascoma; II: abrigar e dispersar esporos sexuais.

3. Caminhando por uma floresta, você encontra um fungo crescendo em meio a um tronco de árvore em decomposição. Acredita ser um basidiomiceto porque ele tem forma e tamanho de cogumelo. Se sua suposição estiver correta, o que a análise microscópica do micélio do pé (ou estipe) desse fungo, deve revelar?

Assinale a alternativa correta.

- a) Células dicarióticas com núcleos diploides.
- b) Células monocarióticas sem núcleos.
- c) Basidiósporos diploides.
- d) Células dicarióticas com núcleos haploides.
- e) Células sem núcleo delimitado.

- CARLILE, M. J.; WATKINSON, S. C.; GOODAY, G. W. Fungal Cells and Vegetative Growth. In: _____. **The Fungi**. 2. ed. [S.l.]: Academic Press, 2001. Cap. 3. p. 100-184.
- CHEN, Y. et al. Macrofungal species distributions depend on habitat partitioning of topography, light, and vegetation in a temperate mountain forest. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 8, n. 1, p.1-13, 11 set. 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-31795-7>. Acesso em: 12 out. 2018.
- COLODETE, C. M.; DOBBS, L. B.; RAMOS, A. C. Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza On Line**, [s.l.], v. 12, n. 1, p.31-37, mar. 2014. Disponível em: http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/05_ColodeteCMetal_031-037.pdf. Acesso em: 22 out. 2018.
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Fungos. In: _____. **Raven | Biologia vegetal: [recurso eletrônico]**. 8. ed. Tradução: Ana Claudia M. Vieira et.al. Cap. 14., p. 558-627. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- HIBBETT, D. S. et al. Phylogenetic taxon definitions for *Fungi*, *Dikarya*, *Ascomycota* and *Basidiomycota*. **Ima Fungus**, [S.l.], v. 9, n. 2, p.291-298, 2018. International Mycological Association (IMA). Disponível em: http://www.imafungus.org/Issue/92/pdf/p5_vol9_no2_article5.pdf. Acesso em: 30 out. 2018.
- KAVANAGH, K. (Ed.). **Fungi: Biology and Applications**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2017.
- MARQUES, S. A. et al. Paracoccidioidomicose: frequência, morfologia e patogênese de lesões tegumentares. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, [s.l.], v. 82, n. 5, p. 411-417, sept./out. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-05962007000500003. Acesso em: 11 out. 2018.
- O'HANLON, R. Fungi in the Environment. In: KAVANAGH, K. (Ed.). **Fungi: Biology and Applications**. Cap. 13. p. 333-354. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2017.
- PAÇO, A. et al. Biodegradation of polyethylene microplastics by the marine fungus *Zalerion maritimum*. **Science Of The Total Environment**, [S.l.], v. 586, p. 10-15, maio 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.017>. Acesso em: 18 dez. 2018.
- REECE, J. B. et al. Fungos. In: _____. **Biologia de Campbell: [recurso eletrônico]**. 10. ed. Tradução: Armando Divan Molina Junior. Cap. 31, p. 648-666. Porto Alegre: Artmed, 2015.
- RICHARDS, A.; VESES, V.; GOW, N. A. R. Vacuole dynamics in fungi. **Fungal Biology Reviews**, [S.l.], v. 24, n. 3-4, p.93-105, aug./nov. 2010. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbr.2010.04.002>. Acesso em: 18 dez. 2018.
- ROSENBLUM, E. B. et al. The Deadly Chytrid Fungus: A Story of an Emerging Pathogen. **Plos Pathogens**, [S.l.], v. 6, n. 1, jan. 2010. Public Library of Science (PLoS). Disponível em: <https://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1000550#ppat-1000550-g001>. Acesso em: 1 nov. 2018.
- SANTOS, V. **Aula prática com a cédula do levedo**. Canal do Educador, [s.d.], [s.l.]. Disponível em: <https://educador.brasile Escola.uol.com.br/estrategias-ensino/aula-pratica-com-celula-levedo.htm>. Acesso em: 2 nov. 2018.
- _____. **Observação de fungos**. Canal do Educador, [s.d.], [s.l.]. Disponível em: <https://educador.brasile Escola.uol.com.br/estrategias-ensino/observacao-fungos.htm>. Acesso em: 2 nov. 2018.

SPATAFORA, J. W. et al. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. **Mycologia**, [S.l.], v. 108, n. 5, p.1028-1046, set. 2016. Informa UK Limited. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3852/16-042>. Acesso em: 30 out. 2018.

SPATAFORA, J. W. et al. The Fungal Tree of Life: From Molecular Systematics to Genome-Scale Phylogenies. **The Fungal Kingdom**, [S.l.], p.3-34, set. 2017. American Society of Microbiology. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0053-2016>. Acesso em: 19 dez. 2018.

THOMAS, H. N. **Lichen Biology**. 2. ed. [S.l.]: Cambridge University Press, 2008.

TURLAND, N. J. et al (Ed.). **International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code)**. 2018. Disponível em: https://www.iapt-taxon.org/nomen/pages/intro/title_page.html. Acesso em: 16 out. 2018.

VEDIYAPPAN, G. et al. Gymnemic Acids Inhibit Hyphal Growth and Virulence in *Candida albicans*. **Plos One**, [S.l.], v. 8, n. 9, e74189, 11 sep. 2013. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0074189>. Acesso em: 12 out. 2018.

WALKER, G. M.; WHITE, N. A. Introduction to Fungal Physiology. In: KAVANAGH, K. (Ed.). **Fungi: biology and applications**. Cap. 1, p. 1-36. 3. Ed. Hoboken: Wiley, 2017.

WILLIS, K. J. (ed.). **State of the World's Fungi 2018**. Report. Royal Botanic Gardens, Kew. Disponível em: <https://stateoftheworldsfungi.org/2018/> Acesso em: 30 out. 2018.

Unidade 3

Biologia das algas e das plantas avasculares

Convite ao estudo

Caro aluno, quando você pensa em plantas, imagina logo árvores com copas imensas, flores e frutos? Ou lembra também daquelas pequeninas, muitas vezes sem flores, quem dirá frutos e sementes?

Pois bem, nesta unidade vamos estudar as plantas que nem sempre são lembradas por nós, que têm tamanho diminuto e nada de estruturas chamativas, como as flores e os frutos: estudaremos as plantas avasculares. Além disso, antes de conhecermos as curiosidades e diversidades desse grupo de vegetais, vamos aprender um pouco sobre as algas, seres vivos que não são exatamente plantas, mas que apresentam semelhanças com elas – porém fazem parte de outros grupos de seres vivos e trazem uma infinidade de formas e tamanhos. Conhecer esses grupos de algas e plantas avasculares permitirá que você descubra e entenda algumas curiosidades sobre esses seres vivos e como eles se relacionam com o nosso cotidiano.

Ao longo da sua graduação em Ciências Biológicas, você se interessou pela área da educação, mas não se sentiu preparado para ser docente em uma escola. Descobriu, então, que pode atuar nos bastidores da educação, auxiliando no processo de produção de material didático, e conseguiu uma vaga no departamento editorial da área de Ciências Biológicas em uma editora. Diversas tarefas são necessárias no cotidiano editorial, como revisão de conteúdo, elaboração de atividades para orientar os professores que utilizarão o material, pesquisa de imagens para os livros, roteiros para criação de conteúdo digital, atualização das informações contidas no livro, dentre muitas outras.

Para garantir a qualidade da sua contribuição nos materiais, é necessário que você conheça o conteúdo, e também que consiga estabelecer relações com nosso cotidiano, com o meio ambiente. Você já consegue pensar sobre o que poderia apresentar nos materiais sobre algas e plantas avasculares?

Na Seção 3.1 estudaremos as algas, conhecendo as principais características desses seres vivos, como sua ocorrência, morfologia e organização. Além disso, serão apresentados os principais grupos de algas e uma breve descrição de cada um. Na Seção 3.2 faremos a transição para as plantas terrestres, identificando as adaptações desses seres vivos ao ambiente fora da

água. Também serão apresentadas as características morfológicas e reprodutivas das plantas avasculares, bem como o que se tem estudado sobre o grupo. Na Seção 3.3 conheceremos a classificação das plantas terrestres avasculares e a caracterização dos principais grupos dessas plantas.

Biologia das algas

Diálogo aberto

Você já deve ter visto ao menos em foto ou documentários – exemplares de algas marinhas, muitas vezes presas a rochas, ou pedaços delas perdidos na areia da praia. Mas será que as algas se resumem a esses exemplos? Onde mais elas podem ser encontradas? Conseguimos enxergar todas elas a olho nu?

As algas, em sua diversidade, têm grande importância nos ecossistemas e produzem diversas substâncias que os humanos aprenderam a extrair e usar em seu favor. Portanto, mais do que em uma visita ao litoral, elas estão presentes muitas vezes em produtos que usamos e nem fazemos ideia!

Lembre-se de que você começou a trabalhar em um editorial didático de Ciências Biológicas e, dentre as várias tarefas de sua posição, você precisa elaborar material de apoio aos professores que utilizarão as coleções produzidas.

Neste seu primeiro mês trabalhando na editora, você está participando de uma equipe responsável pela elaboração de um manual para professores. Neste manual, além de observações pontuais ao longo dos conteúdos e da elaboração de respostas para as questões, você precisa indicar algumas atividades que possam ser realizadas com os alunos em sala de aula ou em algum ambiente de fácil acesso.

Proponha uma atividade para que os professores conversem, com os alunos, sobre a presença e a importância das algas no nosso cotidiano. Indique materiais que possam ser levados pelos alunos ou providenciado pelos professores para detectar a presença de algas. Quais tipos de produtos seriam esses? O que os alunos devem procurar nesse material? Que informações sobre a diversidade de algas poderiam ser associadas a alguns desses produtos?

Aprenda sobre a diversidade das algas e sua importância para resolver essa tarefa. Vamos lá, uma volta no comércio do bairro e na despensa de casa poderão lhe ajudar!

Não pode faltar

Caro aluno, para iniciarmos a Unidade 3 vamos entender o que chamamos de “algas”, esses seres vivos muito diversos, tanto procariontes quanto eucariontes. Alguns autores classificam as algas eucariontes como pertencentes ao grupo dos protozoários; outros as distribuem entre protozoários

e plantas. Nesta seção, contemplaremos uma visão geral desses seres vivos e apresentaremos sua diversidade e importância.

Caracterização e ocorrência das algas

A maioria das algas habita águas doces e salgadas, mas também há espécies terrestres. Podem ser flutuantes na água, ancoradas a rochas e areia, associadas a outros seres vivos (simbiontes ou epífitas) e são encontradas inclusive em ambientes de condições extremas.

Em relação à obtenção de energia, as algas são **fotoautotróficas**, embora algumas sejam **heterotróficas** (absorvem substâncias orgânicas do meio). Todas as algas fotoautotróficas apresentam o pigmento fotossintético clorofila, geralmente dentro de cloroplastos, além de pigmentos acessórios, como ficobilinas, carotenoides e outros. Cianobactérias de alguns gêneros (por exemplo: *Nostoc* e *Anabaena*) podem, ainda, fixar nitrogênio atmosférico.

Assim como as plantas, muitas algas armazenam energia na forma de amido, embora essa não seja a única substância de reserva desses organismos. As células das algas podem ter ou não parede celular e apresentar ou não flagelos.

As algas se reproduzem tanto **assexuadamente quanto sexuadamente**. É muito comum ocorrer reprodução vegetativa, ou seja, produção de novas algas a partir de tecidos somáticos, sem o processo sexual. Brotamento, divisão celular e fragmentação são algumas formas de reprodução vegetativa. Em muitos grupos de algas, as células reprodutivas são flageladas.



Refleta

Algas terrestres ou aquáticas que estão sujeitas à flutuação de maré são frequentemente expostas ao risco de dessecação e alta temperatura. Como elas podem sobreviver em tais circunstâncias?

Morfologia e organização das algas

A variedade de formas e estruturas encontradas nas algas refletem adaptações às características físicas e biológicas dos ambientes diversos que habitam. As algas podem ser **unicelulares ou multicelulares**. Suas dimensões são muito variadas, com representantes **macroscópicos** (macroalgas) e **microscópicos** (microalgas) (Figura 3.1).

As algas unicelulares podem ter células isoladas ou formar colônias, podem ser móveis ou imóveis, com ou sem flagelos ou ameboides. As multicelulares apresentam geralmente formas filamentosas (simples ou

ramificadas) ou laminadas (parenquimatosas), formando um tecido bidimensional ou tridimensional.

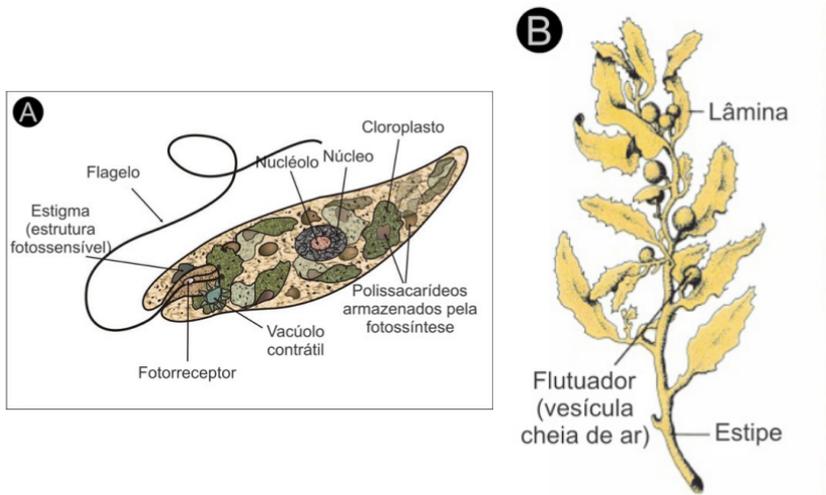


Assimile

Colônias são grupos de indivíduos da mesma espécie que vivem em associação uns com os outros. No caso das algas, as colônias podem ser formadas por indivíduos unicelulares, similares em estrutura e função, muitas vezes agregadas por uma substância mucilaginosa.

Muitas algas eucarióticas são organizadas em uma estrutura conhecida como **talo**, em que as células permanecem conectadas entre si. Não apresentam folhas caules e raízes verdadeiros, mas estruturas similares, chamadas de **filoides**, **cauloides** e **rizoides**, porém sem tecidos especializados em transporte de substâncias.

Figura 3.1 | Esquemas organização de A) microalga (*Euglena*) e B) macroalga (*Sargassum*)



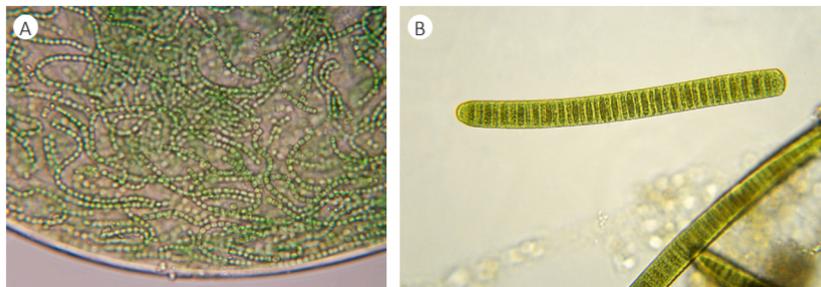
Fonte: A) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Euglena.jpg>. Acesso em: 21 nov. 2018. B) adaptada de Evert e Eichhorn (2014, p. 663).

Diversidade de algas

As algas costumam ser classificadas de acordo com sua cor dominante, que reflete a predominância de certos **pigmentos**. Conforme essa proposta, consideram-se as algas “azuis” (cianobactérias), vermelhas, marrons ou pardas e verdes. No entanto, as algas podem ser agrupadas conforme suas **características bioquímicas e ultraestruturais**, como tipo de substância de reserva, composição da parede celular (ou sua ausência), ausência, presença e número de flagelos, dentre outras.

As **cianobactérias** (Cyanobacteria – Figura 3.2) são procariontes, unicelulares livres, coloniais, filamentosas simples ou ramificadas, mas nunca flageladas. As cianobactérias apresentam clorofila *a*, sendo que sua cor azulada se deve à predominância de pigmentos acessórios azuis. Esse grupo conta com representantes adaptados aos mais diversos habitats, incluindo águas doces e salgadas, solos, desertos e associadas a plantas ou compondo líquens.

Figura 3.2 | Cianobactérias dos gêneros *Nostoc* (A) e *Oscillatoria* (B)

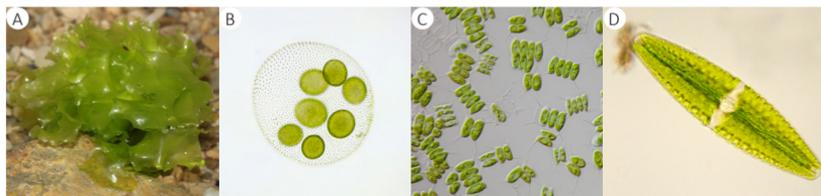


Fonte: iStock.

As **algas verdes** (linhagens Chlorophyta e Streptophyta – Figura 3.3), geralmente agrupadas com as plantas terrestres (Embryophyta), apresentam morfologia variada, com exceção de formas ameboides. Podem ser microscópicas (maioria) ou macroscópicas; unicelulares ou multicelulares (filamentosas simples ou ramificadas), com células uni ou multinucleadas; móveis ou imóveis; apresentar células flageladas, com vacúolos contráteis. Embora a maioria das espécies viva em água doce, são encontradas nos oceanos, nas rochas, nos solos, nas cinzas vulcânicas e na composição de líquens.

Esse grupo contém clorofila *a* e *b*, que se sobrepõem aos pigmentos acessórios, como carotenos e xantofilas. A parede celular é constituída principalmente por celulose e o amido é o principal polissacarídeo de reserva.

Figura 3.3 | Algas verdes dos gêneros *Ulva* (A), *Volvox* (B), *Scenedesmus* (C) e *Netrium* (D)



Fonte: adaptadas de A) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meersalat-Ulva-lactuca.jpg>; B); C) e D) iStock. Acesso em: 4 fev. 2019.

As **algas glaucas** (Glaucophyta) são unicelulares, às vezes flageladas. Têm cor verde-azulada devido aos pigmentos clorofila *a* e ficobilinas azuis (ficocianinas) e sua reserva de carboidrato é o amido.

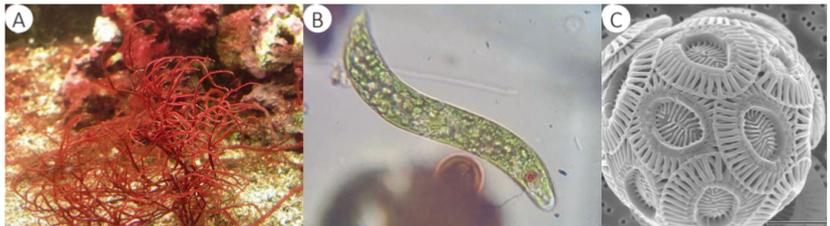
Algas vermelhas (Rhodophyta – Figura 3.4 A) são quase totalmente marinhas, com poucos milímetros a algumas dezenas de centímetros. São multicelulares e geralmente filamentosas, com células contendo clorofila *a*, carotenoides, ficoeritrina (pigmentação vermelha) e ficocianina. A parede celular é celulósica e o amido é a reserva glicosídica. Não há células flageladas, nem mesmo os gametas masculinos.

As **euglenófitas** (classe Euglenophyceae - Figura 3.4 B) são um grupo de algas unicelulares, flageladas, geralmente livres (não formam colônias), que habitam águas doces, salgadas ou salobras. Algumas são incolores e outras são verdes, como as clorófitas, apesar de se diferenciarem por conter paramido como substâncias de reserva, e não o amido. Não apresentam parede celular, apenas uma película envolvendo as células. Neste grupo encontram-se alguns exemplos de algas heterotróficas, que absorvem compostos orgânicos do meio.

Criptófitas (Cryptophyta) são algas geralmente microscópicas, unicelulares, flageladas, marinhas ou dulcícolas. Elas contêm clorofila *a* e *c*, além de pigmentos vermelhos ou azuis, e amido como substância de reserva. Não têm parede celular, apenas uma película envolvendo as células. Uma característica de destaque deste grupo é a presença de **tricocistos**, que contêm uma estrutura em forma de fita espiralada, que pode se ejetar, produzindo um movimento brusco da alga, associado a um comportamento de defesa.

As **haptófitas** (Haptophyta – Figura 3.4 C) são algas geralmente unicelulares, mas com representantes multicelulares e filamentosos. São flageladas (dois ou quatro flagelos), marinhas, com pigmentos predominantemente amarelados, além de clorofila *a* e *c*, e paramido como reserva. Destaca-se a presença de uma estrutura filamentosa próxima aos flagelos, para detecção de obstáculos, captura e transporte de partículas, chamada **haptonema**. Também apresentam **cocolitos**, escamas achatadas na superfície da célula, calcificadas ou não.

Figura 3.4 | A) *Gracilaria* (alga vermelha). B) *Euglena* (euglenófito). C) *Emiliania* (haptófito)



Fonte: A) <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Gracilaria2.JPG>. B) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Euglena_viridis.jpg. C) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Emiliania_huxleyi_coccolithophore_\(PLoS\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Emiliania_huxleyi_coccolithophore_(PLoS).png). Acesso em: 10 nov. 2018.

Diatomáceas (classe Diatomophyceae ou Bacillariophyceae – Figura 3.5 A) são microalgas unicelulares (podendo formar colônias), sem flagelos (a não ser alguns gametas masculinos), habitantes de águas doces e marinhas. Apresentam coloração castanho-dourada, com clorofila *a* e *c*, além de fucoxantina. As substâncias de reserva incluem lipídeos e crisolaminarina (um polissacarídeo).

As diatomáceas caracterizam-se por uma estrutura periférica bivalve e silicosa, chamada **frústula**, que é a parede celular formada por duas partes que se sobrepõem e se encaixam. A simetria das frústulas é bilateral ou radial, classificando as diatomáceas em **penadas** ou **cêntricas**, respectivamente.



Exemplificando

Conhecer a diversidade das algas diatomáceas pode ser útil na análise de qualidade das águas continentais, na medicina legal (por exemplo, no diagnóstico de afogamentos) e na reconstituição de paleoambientes, já que as frústulas podem se fossilizar.

Algas **feofíceas** (classe Phaeophyceae – Figura 3.5 B) são conhecidas como **algas pardas** e se apresentam em diversos tipos morfológicos. São multicelulares, com filamentos pequenos e ramificados até talos com vários metros de comprimento, como aquelas conhecidas como *kelps*, que formam florestas subaquáticas. A maioria das espécies é marinha, sendo encontradas sobre rochas ou sobre outras algas (epifitismo), mas há espécies flutuantes, conhecidas como sargaços. Nos plastídios predomina o pigmento fucoxantina, além de clorofila *a* e *c* e carotenoides. A parede celular é composta por celulose e alginato e a substância de reserva é o carboidrato laminarina.

Conhecidas como algas douradas, as **crisofíceas** (classe Crysiophyceae) são microscópicas, unicelulares livres, coloniais ou filamentosas. A maioria habita águas doces, podendo ser fixas ao substrato ou não. Algumas são incolores e outras têm clorofila *a* e *c*, mascarada pela presença de fucoxantina, e a substância de reserva é a crisolaminarina. Há espécies com e sem parede celular, com alguns representantes cobertos por escamas silicosas.

Dinoflagelados ou dinófitas (Dinophyta – Figura 3.5 C) são algas principalmente unicelulares e microscópicas, com a maioria flagelada, embora haja formas imóveis, amebóides ou coloniais. Aproximadamente metade das espécies é incolor e heterotrófica, que fagocitam o alimento e o digerem em vacúolos digestivos. Outras espécies têm clorofila *a* e *c*, às vezes também carotenoides, e a substância de reserva é o amido. Predominantemente

marinhos, muitos dinoflagelados são bioluminescentes, muitas vezes em associação com bactérias emissoras de luz verde-azulada.

Figura 3.5 | A) *Striatella* (diatomácea); B) *Macrocyctis* (feofíceia); C) *Noctiluca* (dinoflagelado bioluminescente)



Fonte: A) e B) iStock; C) Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Noctiluca_scintillans_varias.jpg. Acesso em: 10 nov. 2018.



Saiba mais

As algas dinoflageladas estão relacionadas a um fenômeno conhecido como maré vermelha. A proliferação dessas algas pode liberar grandes quantidades de toxinas, afetando a vida marinha. Saiba mais:

NAVES, Filomena. Maré Vermelha. Ameaça à vida marinha sem fim à vista na Florida. **Diário de Notícias**, 1 set. 2018.

O Algário Online da Universidade de Coimbra conta com um banco de imagens e informações sobre a diversidade de algas.

ALGÁRIO ONLINE. Coimbra, [s.d.].

Importância das algas

Como organismos fotossintetizantes, muitas algas estão no **início da cadeia alimentar**, portanto são elementos fundamentais para o **equilíbrio dos ecossistemas**, especialmente os aquáticos. Também por isso, estão sempre associadas aos estudos sobre **eutrofização e poluição**. Águas pobres em nutrientes (oligotróficas) são raras, muito em parte como resultado da poluição (uso de fertilizantes em terras agrícolas e despejo de resíduos industriais são algumas fontes poluentes). A eutrofização intensa dos ambientes aquáticos resulta em aumento substancial de biomassa de algas e uso de oxigênio.



Assimile

Algas fotossintetizantes e cianobactérias constituem o **fitoplâncton** e formam a base da cadeia alimentar para os organismos heterotróficos, que vivem nos oceanos e nos corpos de água doce.



Exemplificando

Profissionais que avaliam a qualidade das águas podem utilizar como parâmetro a diversidade e a quantidade de algas presentes: a presença (ou ausência) de espécies de algas indicadoras sugere o nível de poluição da água.

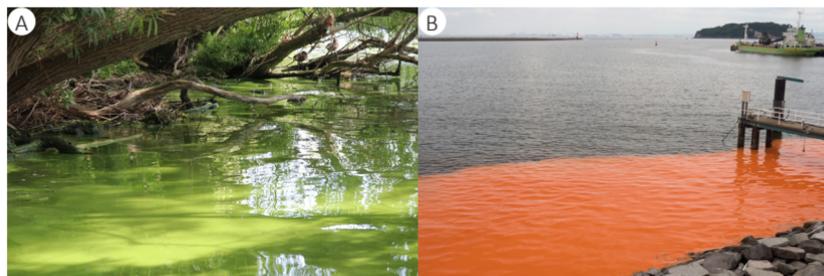
MARQUES, S. M.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Algas como bioindicadores da qualidade da água. *Revista Científica ANAP Brasil*, [s.l.], v. 10, n. 19, dez. 2017.

Algumas espécies de algas podem se tornar **invasoras** de ambientes que não são o seu habitat natural, podendo se integrar sem danos ao ecossistema, mas há espécies que podem provocar desequilíbrio. Nativas ou invasoras, caso as algas se proliferem em excesso, podem provocar a **morte de outros seres vivos**. Isso ocorre indiretamente, pelo aumento de bactérias decompositoras no local ou depósito de mucilagem, reduzindo significativamente a disponibilidade de oxigênio na água; ou diretamente, pela produção de toxinas, que podem trazer consequências também para a saúde humana (Figura 3.6). Outras algas (haptófitas) podem **liberar para o ambiente produtos voláteis contendo enxofre**, participando da formação de chuvas ácidas.

Em benefício ao meio ambiente, as algas fotossintetizantes, assim como as plantas, ajudam a **reduzir a concentração de CO² atmosférico**, um dos gases de efeito estufa.

Várias espécies formam **simbiose com outros organismos**: os fotobiontes, nos líquens, geralmente são cianobactérias (ver Seção 2.2); algumas espécies vivem nos tecidos de plantas, contribuindo para o suprimento de nitrogênio dos vegetais; as algas zooxantelas vivem no interior dos tecidos de corais, liberando para eles compostos nutritivos.

Figura 3.6 | Proliferação de algas resultando em eutrofização (A) e maré vermelha (B)



Fonte: iStock.

Em relação à importância das algas para os seres humanos, há uma imensa lista de benefícios.

Muitas algas são usadas na nossa **alimentação**: algas pardas (*kelps*), vermelhas (*nori*, a alga que envolve os sushis – *Porphyra*) e verdes (alface-do-mar - *Ulva*) fornecem minerais e vitaminas. Em pó ou em cápsulas gelatinosas, *Spirulina* (ou *Arthrospira*) e outras cianobactérias são vendidas como suplementos dietéticos por conterem um alto conteúdo de proteínas de boa qualidade nutricional. Algas verdes, como as do gênero *Chlorella*, têm uso biotecnológico e vêm sendo investigadas como fonte de proteínas e vitaminas para **nutrição** humana e de outros animais.

Indústrias alimentícia, cosmética, farmacêutica e outras também se beneficiam de compostos produzidos por algas:

- **alginatos**: usados como espessantes e emulsificantes de iogurte, sorvete, achocolatados, pasta de dentes e cosméticos, entre outros, constitui a mucilagem das algas pardas.
- **ágar** (material mucilaginoso): propriedades espessantes ou geleificantes, utilizado na fabricação de cápsulas de produtos farmacêuticos, moldes dentários, meio de cultura e gel para eletroforese em laboratórios, gelatinas, balas, conservantes; extraído de algumas algas vermelhas.
- **carragenano (ou carragena)**: polissacarídeo usado como estabilizante e geleificante de cosméticos, doces de preparo instantâneo, molhos e laticínios, extraídos de algas vermelhas.
- **carotenoides**: pigmento presente em diversos tipos de algas, usados como corantes de alimentos, como sucos, queijos, balas e enlatados.

Diatomáceas já foram usadas em material de construção, ferramentas de limpeza e polimento; hoje em dia são aplicadas em filtros de água. Algas marinhas são usadas como forragem em fazendas de frutos do mar de valor comercial e podem ser cultivadas para gerar produtos comestíveis e de interesse industrial. A alga verde do gênero é fonte de astaxantina, extraída para ser utilizada na coloração da carne de peixes em cativeiro.

Devido ao cultivo relativamente fácil, de baixo custo, e da diversidade de substâncias produzidas em seu metabolismo, as microalgas têm sido objeto de estudos concentrados em obter e aprimorar produtos ecologicamente e comercialmente sustentáveis, como:

- **Biocombustíveis**: microalgas, a partir da fermentação de sua biomassa ou extração de óleos.
- **Biofertilizantes**: algas fixadoras de nitrogênio; espécies que aumentam a retenção de água e disponibilidade de nutrientes para as plantas; algas produtoras de promotores de crescimento vegetal.

- **Controle de poluentes:** microalgas são capazes de consumir diversos poluentes, portanto, podem ser usadas no tratamento de águas residuais.
- **Médica:** algas pardas são ricas em iodo, o que faz delas um potencial recurso para combater alterações da tireoide. Esse grupo também já é usado, pela presença de alginato, como componente de curativos gástricos, como invólucro biológico e para tomar impressões dentárias.



Saiba mais

A palestra TED indicada a seguir mostra um projeto de sistema de cultivo de microalgas em alto-mar para aproveitamento de matéria-prima aplicada em bioenergia. Ative as legendas em português!

TED. **Jonathan Trent:** Energia produzida em caixas flutuantes de algas. 28 set. 2012.

Saiba mais informações sobre aplicação de carragenos, ágar e alginatos: OS ALGINATOS e suas múltiplas aplicações. **Food Ingredients Brasil**, n. 26, p. 34-38, 2013.

CARRAGENAS: tipos e aplicação nos alimentos. **Aditivos & Ingredientes**, [s.l., s.d.], p. 27-34.

Sem medo de errar

Sua tarefa era propor uma atividade para que professores trabalhem a presença e a importância das algas na nossa vida diária, associando as informações a exemplos da diversidade das algas. Para isso, você deveria indicar o uso de materiais de fácil aquisição e as informações úteis contidas nesses itens.

Uma ideia é sugerir que os alunos analisem embalagens e/ou rótulos de embalagens que contenham algas como ingrediente ou substâncias extraídas de algas na composição do produto. Há itens fáceis de encontrar na despensa ou na geladeira de casa ou, ainda, em uma breve ida ao mercado (e não apenas no setor de alimentos). Na impossibilidade de levar a embalagem, a lista de ingredientes do produto poderá ser fotografada pelos alunos ou pelo professor, que poderá ampliar, imprimir e plastificar as fotos para serem reutilizadas.

Os alunos podem procurar pelo nome das próprias algas ou de substâncias por elas produzidas, como alginatos, carragenos, ágar e carotenoides, usados como espessantes, emulsificantes, geleificantes, estabilizantes ou corantes.

Sugestões de produtos que contêm substâncias produzidas por algas:

Substância	Produtos	Algas
Alginato	Cosméticos (corretivo para pele), achocolatados, sorvetes.	Pardas (Phaeohyceae).
Carrageno ou carragena	Pudim instantâneo, creme de leite, embutidos enlatados, queijos processados, queijos cremosos, achocolatados, iogurtes e bebidas lácteas, creme dental.	Vermelhas (Rhodophyta).
Ágar	Balas geleificadas.	Vermelhas (Rhodophyta).
Carotenoides	Sucos de laranja e outras frutas amarelas, creme chantilly, doces e peixes enlatados, balas, queijos processados, manteiga.	Diversas (vermelhas, pardas, dinoflagelados).

É também possível conseguir algas vermelhas *nori*, usadas no preparo de sushis e, caso tenham acesso a praias, algas verdes como *Ulva* podem ser coletadas, pois também são usadas como alimento. Em lojas de produtos naturais são encontrados produtos à base de cianobactérias *Spirullina* (ou *Arthrospira*) ou de algas verdes *Chlorella*.

Avançando na prática

Ondas iluminadas

Descrição da situação-problema

Rodrigo estava com sua família na praia já ao anoitecer. Foi com seu pai até a água do mar e, ao agitá-la, percebeu pontos iluminados, de cor verde-azulada. Perguntou ao seu pai o que estaria acontecendo e o pai respondeu que não sabia, mas que poderiam coletar uma amostra da água e levar em um laboratório de pesquisas aquáticas para consultar um biólogo que pudesse explicar o que estavam vendo.

Qual seria a resposta do biólogo? Comente essa resposta e diga o que provavelmente deveriam encontrar na amostra daquela água, analisada sob microscópio.

Resolução da situação-problema

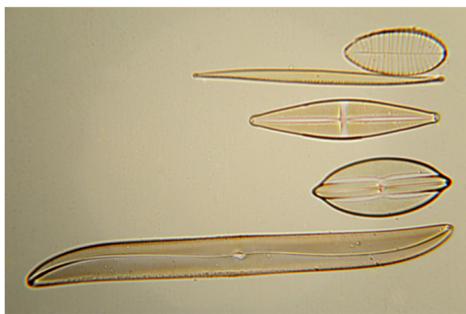
O biólogo deveria mencionar a bioluminescência de certas algas marinhas. O fenômeno da bioluminescência em águas marinhas rasas está relacionado a algas dinoflageladas (Dinophyta), que são geralmente unicelulares e que, em sua maioria delas, apresenta flagelos, características que poderiam ser observadas ao microscópio. Uma possibilidade é que os dinoflagelados presentes naquela água sejam do gênero *Noctiluca*.

1. As algas formam um grupo muito diversificado de seres vivos, com representantes fotoautotróficos e heterotróficos; que podem se reproduzir sexuadamente ou assexuadamente; podendo ser unicelulares ou multicelulares; seres microscópicos ou macroscópicos.

Em relação aos habitats das algas, marque a alternativa correta.

- a) Ocorrem em águas doces e salgadas apenas.
- b) Ocorrem em águas salgadas e ambientes terrestres, mas não em águas doces.
- c) Ocorrem em águas doces e ambientes terrestres, mas não em águas salgadas.
- d) Ocorrem apenas em águas salgadas.
- e) Ocorrem em águas doces e salgadas e também em ambientes terrestres.

2. Apesar da variedade de formas e tamanhos das algas, há características que são particulares em certos grupos, fornecendo pistas para sua identificação. Ao observar um grupo de microalgas em microscópio, você visualizou os seguintes exemplares:



Fonte: iStock.

Você também anotou as seguintes informações:

- unicelulares.
- sem flagelos.
- presença de duas valvas.

Qual grupo de algas você observou? Assinale a alternativa correta.

- a) Diatomáceas penadas.
- b) Dinoflagelados.
- c) Diatomáceas cêntricas.
- d) Euglenófitas.
- e) Haptófitas.

3. As algas são capazes de produzir uma série de substâncias úteis aos seres humanos, mas também têm sua importância ecológica. Sobre as importâncias das algas, considere as seguintes afirmativas:

I. Algas são importantes para a cadeia alimentar pois as fotossintetizantes atuam como produtoras.

II. As algas são sempre benéficas ao meio ambiente, não havendo situações em que possam prejudicar outros seres vivos.

III. Algas são usadas na alimentação humana e podem ser consumidas diretamente ou atuar como espessantes, geleificantes e estabilizantes de produtos alimentares.

IV. Ainda não há tecnologia capaz de produzir combustíveis à base de algas.

Marque a alternativa correta.

a) Apenas II e IV estão corretas.

b) I, II e III estão corretas.

c) II, III e IV estão corretas.

d) Apenas I e III estão corretas.

e) Apenas I e IV estão corretas.

Biologia das plantas terrestres avasculares

Diálogo aberto

Você provavelmente já encostou as mãos em um aveludado tufo verde sobre rochas ou troncos de árvores. Talvez tenha se dado conta de que se tratava de minúsculas plantas. Mas o que você sabe sobre elas? Nesta seção vamos conhecer as características gerais das plantas que, acredita-se, foram as primeiras a colonizar o ambiente terrestre e que, embora não aparentem, são importantes para o meio ambiente e para a pesquisa científica.

Lembre-se de que você está trabalhando em um editorial didático, na área de Ciências Biológicas. Esta semana você precisa reunir material para elaborar recursos visuais que poderão ser usados no livro físico ou em objetos educacionais visuais, como vídeos e animações interativas, que comporão o livro digital. Portanto, você precisa solicitar uma pesquisa de imagens ao departamento de iconografia – as fotos poderão ser utilizadas diretamente no material ou servir de base para ilustrações.

Para solicitar uma pesquisa como esta, que ilustrará um material didático sobre plantas avasculares, você precisa saber quais são os aspectos relevantes sobre a biologia desses vegetais quanto a sua morfologia (estruturas vegetativas e reprodutivas) e quanto aos ambientes em que esses vegetais habitam. De posse dessas informações, elabore uma pauta solicitando pesquisa de imagens para ilustrar o tema sobre a biologia das plantas terrestres avasculares. Sugira uma classificação dos itens e ofereça breves contextos das imagens para melhor orientar os pesquisadores a obter uma pesquisa efetiva, como por exemplo:

- Diversidade de estruturas vegetativas.
- Estruturas reprodutivas.
- Ocorrência das plantas: que lugares elas habitam?

Essas são apenas sugestões; você pode criar outras classificações e, preferencialmente, contextualizar brevemente o que a imagem deverá ilustrar, para que a pesquisa seja enriquecida.

Confira as características gerais, a morfologia e a reprodução das plantas avasculares para elaborar sua pauta. Vamos lá, aproveite para conhecer melhor essas plantas tão diminutas, porém tão interessantes!

Quando observamos a vegetação de uma floresta, geralmente nos impressionam as grandes árvores, com seus troncos de diâmetros às vezes imponentes e a ramificação intensa das copas. Quantas vezes, ao realizar esse exercício, reparamos que nesses mesmos troncos, ou sobre rochas que permeiam o ambiente, está um curioso “tapete verde”? Nesta seção, vamos conhecer um pouco sobre os musgos e plantas relacionadas a eles, comumente chamadas de “briófitas”.



Assimile

O termo “briófitas” é geralmente utilizado de maneira informal para se referir às plantas avasculares. No entanto, é uma denominação coloquial e não deve ser confundido com o termo “Bryophyta”, que é apenas um dos grupos de plantas avasculares, referindo-se apenas aos musgos, mas excluindo os antóceros e as hepáticas.

Adaptações das plantas avasculares ao ambiente terrestre

Acredita-se que a vida tenha surgido em ambientes aquáticos, onde água é um recurso abundante mas outros são limitados, por exemplo: a luz está disponível apenas na superfície e em poucos metros de profundidade; dióxido de carbono, como gás, tem sua difusão lenta em meio líquido. Já em ambientes terrestres, luz, minerais e dióxido de carbono eram mais abundantes e, naquele momento, havia pouca competição por esses recursos. Entretanto, organismos terrestres tinham o desafio de obter e reservar água, além de não desidratar.

Os antóceros e as hepáticas parecem ser os primeiros grupos de plantas terrestres, embora todas elas façam parte da história de conquista do ambiente fora da água. É consenso que esses vegetais evoluíram **a partir de algas verdes**, já que compartilham com elas os pigmentos fotossintéticos, parede e divisão celular e substâncias de reserva, dentre outras características confirmadas por comparação de DNA.

Ao passar para o ambiente terrestre, as plantas enfrentaram os desafios de se manter hidratadas, conseguir conduzir os gametas masculinos até os femininos e dispersar sua progênie. A **produção de esporos** resistentes à desidratação (protegidos pela substância esporopolenina), em maior número e que podem ser levados pelo vento auxiliou na sobrevivência vegetativa e dispersão. Entretanto, os gametas masculinos, nas plantas avasculares, ainda precisam nadar até os gametas femininos com o auxílio da água.

Apesar da dependência de água para a reprodução, muitas espécies de plantas avasculares são **capazes de sobreviver a grandes períodos de seca**, reidratando-se rapidamente assim que a chuvas retornam. Com poucas exceções, poucas espécies armazenam água em suas células. Alguns musgos vivem próximos o suficiente para **reter gotículas de água** entre eles; espécies talosas e prostradas **mantêm umidade** embaixo das estruturas achatadas, junto ao substrato. Essa proximidade e manutenção da umidade também são **importantes para o processo de reprodução sexuada**, discutida mais adiante nesta seção.

As plantas avasculares não têm raízes para absorver água e minerais, nem tecidos condutores para transportá-los. Portanto, **absorvem recursos** diretamente do solo ou de gotas de chuva **pela superfície e os distribuem célula a célula**. Apresentam também uma **epiderme com cutícula**, ainda que mais fina do que a das plantas vasculares, mas que não previne a perda excessiva de água em todas as espécies. Além disso, com exceção das hepáticas, as plantas contam com **estômatos** que, quando há risco de dessecação, se fecham.

Caracterização e morfologia das plantas avasculares

As plantas avasculares são encontradas geralmente em ambientes úmidos, mas muitos representantes habitam locais secos, como desertos e geleiras e há, inclusive, espécies aquáticas. Assim como líquens, podem ser consideradas colonizadoras primárias em solos expostos e rochas, muitas vezes formando extensos tapetes e dominando o terreno (Figura 3.7).

Figura 3.7 | Plantas avasculares cobrindo rochas (A) e crescendo em tijolos (B)



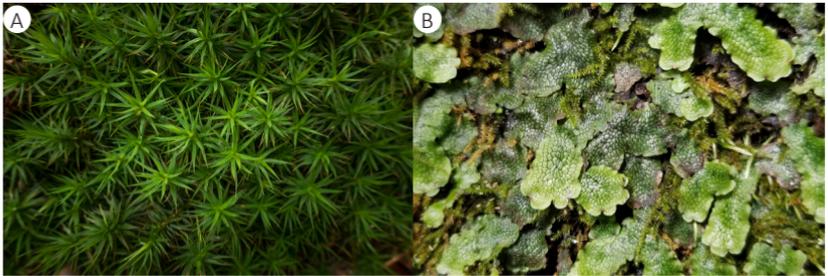
Fonte: iStock.

As plantas avasculares **não apresentam tecidos vasculares condutores** de água e substâncias nutritivas (xilema e floema). Como mencionado anteriormente, a condução é feita célula a célula, cujas paredes não são lignificadas. Alguns musgos, entretanto, têm células chamadas **hidroides e leptoides**, que são especializadas na condução de água.

Essas características se relacionam ao fato de essas plantas terem **tamanho reduzido**, dificilmente chegando a mais do que poucos centímetros. Poucas espécies crescem verticalmente e a maioria se desenvolve junto ao substrato, às vezes até mesmo sob espécies maiores.

Alguns representantes das plantas avasculares têm gametófitos **foliosos** (musgos, no geral), outros são laminares e com ramificação bifurcada, conhecidos como **talos** (geralmente os antóceros e algumas hepáticas – Figura 3.8). Os talos, quando finos, facilitam a captação de água e de CO_2 , mas algumas hepáticas podem ter poros na superfície para aumentar a entrada desse gás e evitar a perda de água. Estômatos verdadeiros (com células-guarda que controlam a abertura e o fechamento estomático), no entanto, são encontrados apenas em antóceros e alguns musgos.

Figura 3.8 | Gametófitos foliosos (A- *Polytrichum* sp.) e talosos (B – *Marchantia* sp.)

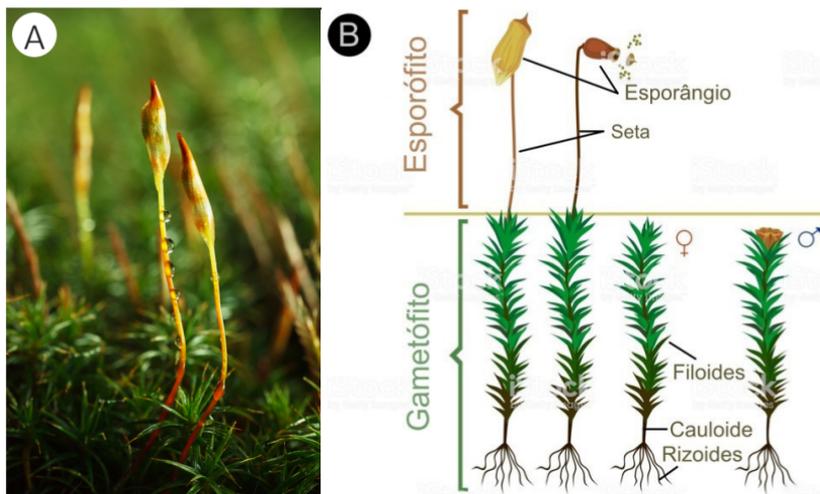


Fonte: iStock.

Algumas hepáticas e os musgos têm estruturas semelhantes a folhas e caules, comumente chamados **filoides** (geralmente com apenas uma camada de células) e **cauloides**, respectivamente (Figura 3.9). Essas plantas se prendem ao substrato por estruturas que lembram raízes em aspecto, os **rizoides** (uni ou multicelulares). Entretanto, rizoides não absorvem água e sais, o que ocorre ao longo das superfícies expostas do gametófito.

Plantas avasculares possuem diferenças morfológicas nas gerações gametofítica e esporofítica: o gametófito é a forma vegetativa dominante, maior, duradoura, fotossintetizante, pode ser ramificada; o esporófito é geralmente menor, efêmero, nutricionalmente dependente do gametófito parental, além de não ser ramificado e apresentar um único esporângio. Nas plantas vasculares ocorre o oposto. Na maioria das plantas avasculares, o esporófito é constituído por um **pé**, que fica inserido no arquegônio e uma **seta** (ou haste), que eleva o **esporângio** (ou cápsula) alguns centímetros para cima.

Figura 3.9 | (A) Esporófitos de musgo sobre gametófitos; (B) Esquema mostrando as partes de um musgo



Fonte: A) iStock; B) adaptada de iStock.



Refleta

Considerando as características morfológicas, anatômicas e reprodutivas das plantas avasculares, elas estariam mais próximas às algas ou às demais plantas terrestres?

Reprodução das plantas avasculares

O ciclo de vida das plantas avasculares compartilha semelhanças mais próximas ao ciclo das algas verdes do que ao das demais plantas terrestres. Como a maioria das algas, essas plantas são haploides. Elas produzem gametas diretamente de divisões celulares, portanto, a fase vegetativa haploide é chamada de **gametófito**.

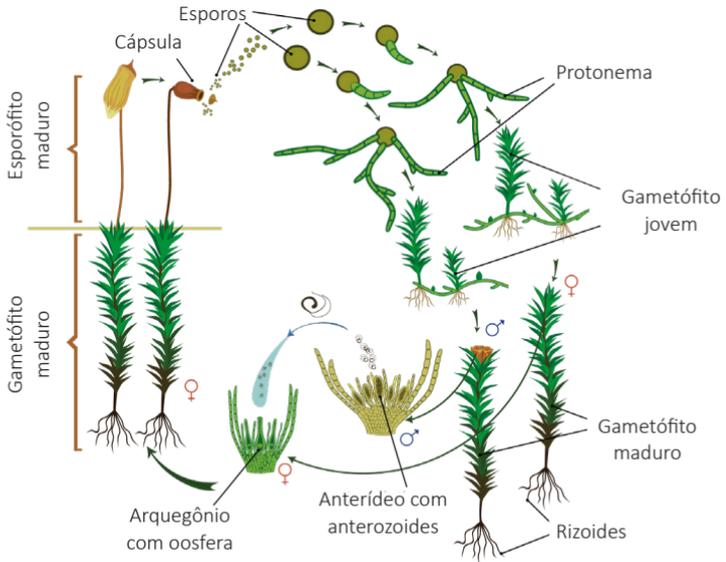
A **propagação vegetativa** (assexuada) é comum entre as plantas avasculares. Por meio de fragmentação ou produção de gemas (ou propágulos), a partir de cauloides ou filoides, originam novos gametófitos completos.

Os gametófitos masculinos são os **anterídios**, envoltos por uma camada de células estéreis. Por dentro, há células espermatógenas, que se desenvolvem em **anterozoides**, gametas masculinos biflagelados. Os gametófitos femininos são os **arquegônios**, que abrigam uma **oosfera** (gameta feminino) e também possuem uma camada externa de células estéreis.

Na **reprodução sexuada** (Figura 3.10), os anterozoides nadam para alcançar o arquegônio - daí a necessidade de água líquida para a reprodução das plantas avasculares, mesmo nas espécies terrestres. O arquegônio se abre na ponta e forma um canal preenchido por líquido, liberando substâncias que atraem quimicamente os anterozoides. Quando há fecundação, o zigoto diploide fica retido no arquegônio, onde é nutrido, passa por mitoses e origina um **embrião multicelular**. Esse embrião se desenvolve em um **esporófito** diploide, que permanecerá preso ao gametófito durante sua existência, não se tornando uma planta independente.

Na cápsula, células se dividem por meiose e produzem **esporos** haploides que, ao serem liberados e encontrarem condições adequadas, germinam e formam protonemas, que crescem e originam novos gametófitos, completando o ciclo de vida.

Figura 3.10 | Ciclo de vida de um musgo



Fonte: adaptada de iStock.



Assimile

As plantas terrestres são chamadas **embriófitas** por apresentarem um embrião multicelular protegido e nutrido pela planta-mãe. Essa característica é considerada uma vantagem para as plantas que primeiro ocuparam o ambiente terrestre.

Plantas avasculares: importância e ciência

As plantas avasculares são importantes por sua contribuição ecológica, econômica e como organismos modelos na pesquisa. Algumas espécies podem estabelecer **associações simbióticas** com cianobactérias fixadoras de nitrogênio, contribuindo para o ciclo deste elemento na natureza e disponibilizando-o para outras plantas. Em ambientes como a tundra, as plantas avasculares podem constituir uma grande fração da **biomassa vegetal** e atuar como **componentes da teia alimentar** do bioma.

O musgo do gênero *Sphagnum* (Figura 3.11 A) apresenta **propriedades antifúngicas** e é altamente resistente à decomposição – seus restos mortos podem se acumular por séculos. Esse musgo é usado para **filtrar** bebidas, queimado como **combustível** ou usado como **substrato de plantas** para auxiliar a retenção de água e prevenir ataques de fungos.

Além do já mencionado papel como **colonizadoras de ambientes**, as plantas avasculares são **sensíveis à poluição do ar** e atuam como **bioindicadores** de metais pesados e sulfatos, pois absorvem facilmente esses elementos do ambiente.



Exemplificando

Por estarem entre os grupos vegetais mais antigos, as plantas avasculares nos fornecem pistas sobre as adaptações ao ambiente terrestre. Elas podem, portanto, ser utilizadas como modelo em pesquisas que buscam esclarecer a origem, a evolução e a diversidade das plantas terrestres.

O musgo *Physcomitrella patens* (Figura 3.11 B e C) tem sido equiparado às leveduras em sua importância como **modelo de pesquisa**. O sequenciamento do genoma dessa espécie resultou em uma ferramenta importante para estudos evolutivos dos grupos vegetais (PRIGGE; BENZANILLA, 2010). Características como crescimento celular polarizado e transição do gametófito para o esporófito são alguns dos aspectos estudados.

P. patens também foi utilizado em uma pesquisa que revelou aspectos da comunicação interna das plantas (ORTIZ-RAMÍREZ *et al.*, 2017). Suas células apresentam receptores semelhantes ao do glutamato (GLRs), que atuam de forma parecida aos dos neurônios animais, formando canais de fluxo de cálcio. Os musgos usam essas proteínas receptoras para direcionar a navegação dos gametas masculinos até os órgãos femininos - sem os genes GLRs, os musgos falharão em deixar descendentes ou os esporos resultantes serão, em sua maioria, inviáveis.

Plantas avasculares produzem diversos metabólitos secundários potencialmente interessantes para aplicações biotecnológicas e farmacêuticas, como flavonoides, terpenoides e compostos aromáticos. Espécies de todos os grupos de plantas avasculares são usadas para tratar doenças (cardiovasculares e pulmonares), inflamações, febre, infecções e dermatites (BEIKE *et al.*, 2010). As hepáticas, por exemplo, produzem óleos e outros compostos biologicamente ativos, com atividades alergênicas, inseticidas, antimicrobianas e antifúngicas, dentre muitas outras propriedades (ASAKAWA, 2011).

Figura 3.11 | (A) Musgo do gênero *Sphagnum*; (B) Musgo *Physcomitrella patens*; (C) Esporófito de *P. patens*.



Fonte: A) iStock; B) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Physcomitrella.jpg>; C) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Physcomitrella_Sporophyt.JPG. Acesso em: 21 nov. 2018.



Pesquise mais

A reportagem indicada a seguir apresenta uma pesquisa em andamento, na Alemanha, que considera o uso de plantas avasculares para melhorar a qualidade do ar nas cidades.

DW BRASIL. **Briófitas contra a poluição do ar**. 22 ago. 2017.

O texto a seguir traz detalhes sobre o uso de musgos como modelo de pesquisa em comunicação reprodutiva de plantas.

O QUE É QUE O SEXO EM MUSGO TEM EM COMUM COM OS NEURÓNIOS? Instituto Gulbenkian de Ciência, Oeiras, 24 jul. 2017.

Sem medo de errar

Nesta seção, você deveria elaborar uma pauta solicitando ao departamento de iconografia uma pesquisa de imagens que comporão o material didático sobre plantas avasculares. Você deveria, também, sugerir uma classificação e oferecer breves contextos das imagens para que a pesquisa pudesse ser efetiva. Segue uma sugestão para a montagem de sua pauta:

Ocorrência das plantas avasculares:

- ambientes úmidos, como florestas (sobre rochas, troncos de árvores, solos de encostas de rio) ou muros de tijolos ou pedras.

- desertos, incluindo os polares.
- ambientes aquáticos.
- muros.

Especifique que deverá ser possível identificar as plantas avasculares nos ambientes indicados.

Estruturas morfológicas gerais:

- gametófitos foliosos (como musgos) e talosos (laminares, encontrados em antóceros e hepáticas).
- rizoides (preferencialmente mostrando como eles se fixam ao substrato).
- gametófitos em que seja possível identificar o caulóide e filóides.
- esporófitos, evidenciando a seta (ou haste) e o esporângio (ou cápsula).

Você pode solicitar que as imagens tenham informação de escala, para demonstrar que essas plantas atingem no máximo alguns centímetros de altura. Também pode pedir que sejam apresentadas opções de diferentes espécies, para demonstrar que, embora os componentes morfológicos sejam em geral os mesmos, há uma variedade de formas e tamanhos.

Estruturas para ilustrar processo reprodutivo:

- gametófitos com gemas (reprodução assexuada).
- imagem ampliada ou microfotografia de esporângios contendo e/ou liberando esporos.
- fotomicrografia de protonemas germinando a partir de esporos.
- gametófito feminino evidenciando o arquegônio.
- gametófito masculino evidenciando o anterídio.
- gametófitos jovens e maduros.
- gametófitos na presença de água, para representar a dependência hídrica na reprodução.
- fotomicrografia do embrião multicelular (se possível, identificar que ele está abrigado no arquegônio).

Finalizando a pauta de pesquisa de imagens você já terá uma seleção de material para utilizar em seu portfólio ilustrado com as características das plantas avasculares.

Pequenas, mas importantes

Descrição da situação-problema

Paula é bióloga e foi contratada por uma empresa para realizar a curadoria de uma exposição sobre popularização da Ciência. Mais do que expor plantas, ela recebeu a missão de mostrar aos visitantes aspectos relevantes do estudo da Botânica.

Ao começar seu planejamento, ela ficou em dúvida se incluiria as plantas avasculares na exposição, refletindo de que forma essas plantas poderiam chamar a atenção do público visitante sobre sua importância além de sua própria existência. Para levantar elementos que a auxiliassem neste sentido, fez uma pesquisa a respeito.

O que Paula pode ter encontrado em sua busca pela importância das plantas avasculares e que poderia ser demonstrado na exposição?

Resolução da situação-problema

Apesar de terem um tamanho reduzido e, a olho nu, nem sempre serem chamativas, as plantas avasculares têm papel relevante para o meio ambiente e para as atividades humanas. Ela poderia demonstrar, na exposição, que essas plantas têm capacidade de reter água, servindo para forrar substrato de plantas e ajudar a manter a umidade do solo. Montar um painel de musgos ajudaria a explicar como eles podem ajudar a filtrar poluentes do ar.

Sob o aspecto científico, Paula poderia dedicar uma seção para expor resultados de pesquisas que usam plantas avasculares como modelo de estudo, indicando que a Ciência já revelou que esses vegetais produzem uma série de substâncias que têm ação antifúngica, antimicrobiana e inseticida, ou que podem servir ao tratamento de doenças, inflamações e febres, dentre outras.

Faça valer a pena

1. Plantas avasculares são geralmente encontradas em ambientes úmidos, apesar de haver espécies que habitam geleiras. Elas vivem sobre rochas e troncos de árvores, mas também são capazes de se estabelecer em muros e estabelecer relações simbióticas com outros seres vivos. O fato de essas plantas serem associadas a ambientes úmidos se deve a que aspecto sobre elas?

Assinale a alternativa correta.

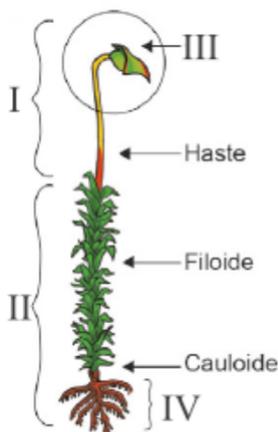
- a) Elas não têm tecidos condutores lignificados.
- b) Seus gametas dependem da água para se encontrarem, na reprodução sexuada.
- c) Os esporos são dispersados apenas pela água.
- d) Elas não são capazes de sobreviver a longos períodos de seca.
- e) São plantas que não realizam fotossíntese.

2. Plantas avasculares são consideradas as primeiras a habitarem o ambiente terrestre, sendo um grupo intermediário entre as algas e as plantas vasculares. Essa posição se relaciona com algumas características que as plantas avasculares compartilham com os grupos citados, mas elas também apresentam características próprias.

Marque a alternativa correta sobre as plantas avasculares.

- a) Têm folhas verdadeiras e não dependem de água para a reprodução.
- b) Absorvem água do solo pela raiz e a conduzem pelo xilema.
- c) Não possuem raízes e caules verdadeiros, nem tecido especializado em condução de água.
- d) Suas sementes ficam armazenadas em estruturas chamadas cápsulas.
- e) A seta é uma haste que sustenta uma pequena flor em cada indivíduo.

3. Assim como as plantas vasculares, as plantas avasculares possuem gametófitos e esporófitos. Porém, há diferenças entre esses grupos de plantas quanto à fase dominante no ciclo de vida. Analise o esquema a seguir, que representa as partes que compõem um musgo:



Fonte: adaptada de SEMPREBOM, T.R. Diversidade e sistemática das plantas. In: _____. **Botânica**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. Cap. 4. p. 157-205.

Sobre o ciclo de vida e a reprodução das plantas avasculares, assinale a alternativa correta.

- a) II representa o gametófito, estágio dominante, duradouro e haploide do ciclo.
- b) I representa o esporófito, estágio dominante, duradouro e haploide do ciclo.
- c) III representa o arquegônio, estrutura que abriga o embrião que será liberado e disperso pelo vento.
- d) IV representa o esporângio, estrutura originada pela germinação de um esporo.
- e) II representa o esporófito, estágio efêmero e nutricionalmente dependente de I, o gametófito.

Diversidade das plantas terrestres avasculares

Diálogo aberto

Caro aluno, agora que já começamos a estudar as plantas terrestres avasculares, conhecendo um pouco de sua história e suas principais características, é hora de conhecer quais são essas plantas. Nesta seção vamos aprender como esses vegetais são agrupados e quais são os principais critérios usados para classificá-los.

Lembre-se de que você está trabalhando em uma editora que produz materiais didáticos, e foi designado para ajudar a elaborar um caderno suplementar de uma coleção de Biologia. Os temas da coleção são compilados e apresentados apenas em forma de esquemas e tabelas.

Elabore uma tabela comparativa sobre a diversidade de plantas avasculares. Tenha como base as perguntas sugeridas a seguir:

- Quantos e quais são os filos pertencentes a esse grupo de plantas?
- Quão diverso é cada um dos filos em número de espécies?
- Quais características estruturais e funcionais poderiam ser úteis nessa comparação?
- Quais características podem ser destacadas como novas ou exclusivas em cada grupo, considerando a história evolutiva das plantas?

Você vai precisar investigar a fundo a classificação do grupo e a descrição de cada filo para encontrar as informações, além de sua posição na árvore filogenética das plantas avasculares. Mas não desista! Você verá que essas plantas são incríveis!

Não pode faltar

Caro aluno, nesta seção vamos conhecer um pouco mais detalhadamente os musgos, as hepáticas e os antóceros, as três linhagens distintas das plantas avasculares, descendentes das mais antigas plantas terrestres. Tenha em mente que o objetivo da seção não é destrinchar a filogenia do grupo, e que novos dados sobre relações de parentesco e classificação surgem conforme as pesquisas avançam. Pretendemos, aqui, apresentar algumas características mais peculiares de cada linhagem e fornecer uma ideia sobre sua diversidade.

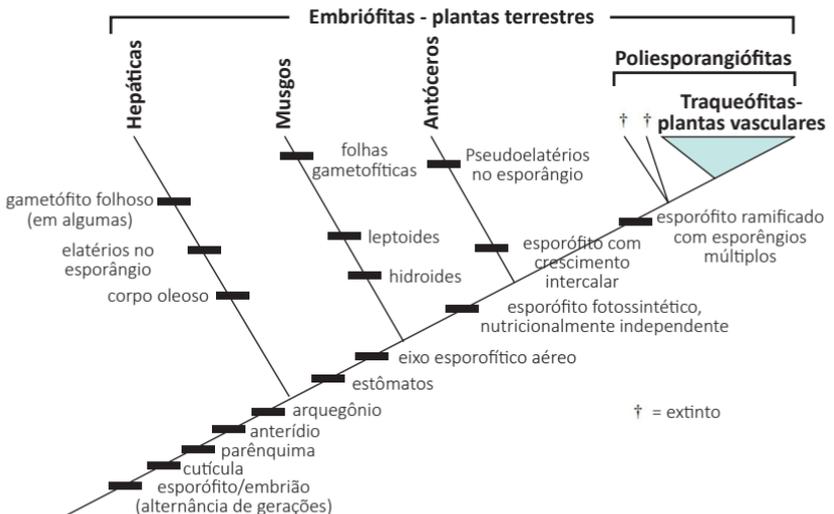
Classificação das plantas terrestres avasculares

Junto com as plantas vasculares (traqueófitas), as três linhagens de plantas avasculares constituem as embriófitas (assim chamadas pelos embriões se desenvolverem de forma protegida e sob nutrição da planta-mãe) e foram as primeiras plantas a colonizar o ambiente terrestre há 470-551 milhões de anos (BUDKE *et al.*, 2018).

Elas compartilham diversas características com as **algas verdes** (ver Seção 3.1) e os demais representantes do reino vegetal, como os mesmos pigmentos fotossintéticos, formação de amido nos plastídios e parede celular com celulose. Entretanto, a presença de pigmentos flavonoides é comum apenas entre as plantas e alguns membros das **algas carófitas**, o que leva a se considerar que as plantas avasculares se originaram de ancestrais próximos a essas algas. Outra característica que suportaria essa origem é o fato de que as estruturas reprodutivas das carófitas apresentam uma proteção do zigoto, tal como as embriófitas.

A classificação do grupo se baseia em dados moleculares, morfológicos (macroscópicos e microscópicos) e de estrutura celular que posicionam as mais de 20 mil espécies em três filis: Marchantiophyta, Bryophyta e Anthocerotophyta, descritos a seguir.

Figura 3.12 | Hipótese das relações entre plantas terrestres, evidenciando as três linhagens de plantas avasculares. Alguns caracteres que distinguem os principais clados são mostrados



Fonte: adaptado de Simpson (2010, p. 59).



Pesquise mais

Nas páginas 3-14 da apostila indicada, você poderá obter informações sobre os fundamentos da sistemática vegetal e nomenclatura botânica: YAMAGISHI-COSTA, J. *et al.* **Apostila Sistemática de Criptógamas**. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Biologia, Curso de Ciências Biológicas. Uberlândia, [s.d.].



Refleta

Seriam as plantas avasculares realmente as primeiras plantas terrestres? Ou elas poderiam ter derivado de outras embriófitas por redução de características?

Hepáticas

As hepáticas constituem o filo **Marchantiophyta** (também conhecido como Hepatophyta) que conta com cerca de oito mil espécies atualmente distribuídas em três classes (NEWTON; WIKSTRÖM; SHAW, 2009, SÖDERSTRÖM *et al.*, 2016), embora alguns autores considerem apenas duas classes (GLIME, 2017). Sua origem data de 408 milhões de anos atrás.

São plantas com **gametófitos folhosos ou talosos** (Figura 3.13), com três tipos morfológicos de gametófitos descritos, considerados na classificação dos representantes do grupo: talos complexos (organizados em camadas distintas e tecidos internos diferenciados); hepáticas folhosas (com caulóide e filóide); e talos simples (talos quase indiferenciados, que parecem ser uma característica ancestral entre as hepáticas). Os gametófitos se originam a partir de **protonemas globulares ou talosos**.

Figura 3.13 | Diversidade de hepáticas. Classes: A) Jungermanniopsida; B) Haplomitriopsida; C) Marchantiopsida



Nardia scalaris

Treubia lacunosa

Ricciocarpos natans

Fonte: A) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nardia_scalaris_\(a,_113308-471247\)_7640.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nardia_scalaris_(a,_113308-471247)_7640.jpg). B) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Treubia_lacunosa_\(Colenso\)_Prosk._\(AM_AK322391-2\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Treubia_lacunosa_(Colenso)_Prosk._(AM_AK322391-2).jpg). C) iStock. Acesso em: 1 dez. 2018.

As hepáticas **não apresentam estômatos**, mas têm **poros** na superfície dos talos de algumas espécies que funcionam para trocas gasosas (Figura 3.14 A). Elas têm **rizoides unicelulares**, cápsulas **sem opérculo** (uma “tampa”) e **ausentes de columela** (estrutura central de sustentação da cápsula). Ao abrir, as cápsulas dividem-se em quatro valvas, exceto na classe Marchantiopsida, que têm esporos misturados com **elatérios**, estrutura apomórfica do grupo. Os elatérios são células alongadas e com espessamento de parede em espiral, que se torcem quando desidratadas e ajudam na dispersão dos esporos, além de os nutrirem em desenvolvimento. Assim como os musgos, possuem uma **seta** no esporófito, mas que se desenvolve depois do desenvolvimento da cápsula, ao contrário dos musgos.



Assimile

Apomorfia, em estudos sistemáticos, é uma condição derivada, um caráter novo em um grupo, diferente da população ancestral, que indica o estabelecimento de uma nova linhagem.

Na superfície dorsal dos gametófitos de algumas hepáticas, como as do gênero *Marchantia*, encontram-se **conceptáculos**, estruturas em forma de taça que contêm **gemas**, propágulos envolvidos na reprodução vegetativa (Figura 3.14 A). As gemas se dispersam quando gotas de água atingem o conceptáculo. Este gênero ainda se destaca por apresentar gametângios que se originam em estruturas diferenciados: o **arquegonióforo** (feminino) e o **anteridióforo** (masculino), sustentados por gametófitos, mostrados na Figura 3.14 B, que ocorrem em plantas separadas.

Figura 3.14 | Detalhes do gametófito de *Marchantia polymorpha* (classe Marchantiopsida). A) Conceptáculos com gemas (setas) e poros (dentro dos círculos). B) Arquegonióforo. C) Anteridióforo



Fonte: A) Adaptada de iStock. B e C) adaptada de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marchantia_polymorpha_gametophytes.jpg. Acesso em: 1 dez 2018.

As hepáticas atuais são caracterizadas pela presença de **corpos oleosos** (apomorfia), peculiares do grupo. Encontrados em mais de 90% das espécies de hepáticas, são organelas membranosas constituídas de óleos terpenoides.

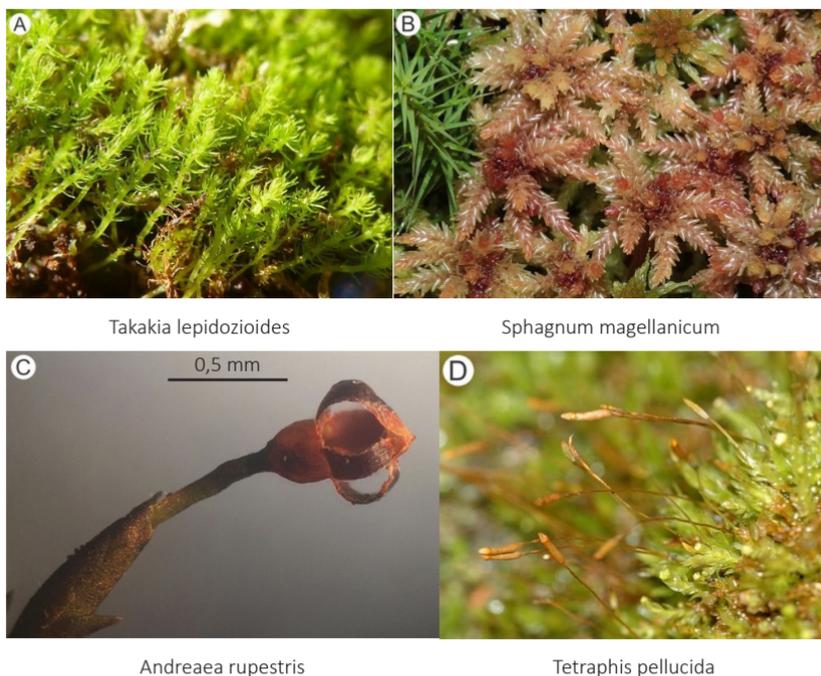
Essas plantas também produzem ácido lunulárico, que atua como regulador de crescimento e dormência.

Algumas espécies de hepáticas se associam com fungos endofíticos do filo Glomeromycota (ver Seção 2.3), que se estabelecem no talo formando um micotalo.

Musgos

Os musgos constituem o filo **Bryophyta**, que conta com cerca de 13 mil espécies, atualmente distribuídas em seis classes (Figura 3.15). Sua origem data de aproximadamente 380 milhões de anos atrás. São plantas com morfologia variável, cujo **gametófito folhoso** se desenvolve a partir de **protonemas filamentosos** originados de esporos haploides. As plantas adultas formam tapetes aveludados sobre o substrato e podem ser ramificadas, com filoides contendo geralmente apenas uma camada de células parenquimatosas. Já os **rizoides são multicelulares**.

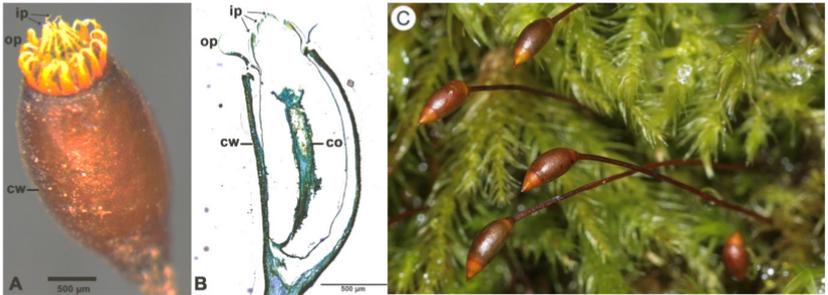
Figura 3.15 | Diversidade de musgos. Classes: A) Takakiopsida; B) Sphagnopsida (esporófito com quatro valvas); C) Andreaeopsida; D) Polytrichopsida



Fonte: A) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Takakia_lepidozioides.jpg. B) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sphagnum_magellanicum_\(b_150145-481742\)_8437.JPG?uselang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sphagnum_magellanicum_(b_150145-481742)_8437.JPG?uselang=de). C) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Andreaea_rupestris_\(d_113642-470243\)_5927.JPG?uselang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Andreaea_rupestris_(d_113642-470243)_5927.JPG?uselang=de). D) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tetraxis_pellucida.jpg. Acesso em: 1 dez. 2018.

Duas apomorfias são compartilhadas entre os musgos, os antóceros e as plantas vasculares: a **presença de estômatos** e o **esporófito vertical**. Nos musgos, os esporófitos também apresentam **setas** e estômatos e têm uma única cápsula de esporos, com **columela** e **opérculo** (Figura 3.16). Quando este cai, revela estrutura dentada chamada **perístoma**, sensível à desidratação, retraindo-se e auxiliando na dispersão dos esporos. Algumas cápsulas se abrem em valvas, como mostrado na Figura 3.15 C.

Figura 3.16 | Musgo *Brachythecium populeum* (classe Bryopsida). A) Cápsula sem o opérculo. B) Corte longitudinal em microscopia de luz. C) Esporófitos com cápsula completa, sobre gametófitos



Legenda: ip: dentes internos do perístoma; op: dentes externos do perístoma; cw: parede da cápsula; co: columela.

Fonte: A e B) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brachythecium_populeum_\(a,_144722-474811\)_1944.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brachythecium_populeum_(a,_144722-474811)_1944.JPG). Acesso em: 1 dez. 2018.

Há características que são exclusivas de musgos. Alguns deles contêm **hidroides e leptoides**, células condutoras de água e de compostos orgânicos, respectivamente. Os musgos também produzem ácido lunulárico, como as hepáticas, porém em apenas cerca de 24% das espécies.



Exemplificando

Musgos do gênero *Sphagnum*, da classe Sphagnopsida, mencionados na Seção 3.2, são economicamente importantes. Essas plantas têm células especiais, as hialinas, envolvidas nas propriedades de absorção e retenção de água que permitem que o gênero seja muito valorizado como substrato usado em horticultura e cultivo de plantas ornamentais.

Antóceros

Os antóceros constituem o filo **Anthocerotophyta**, que conta com cerca de 200 a 300 espécies distribuídas em duas classes. Os representantes deste grupo têm gametófitos com morfologia similar à das hepáticas e compartilham com elas habitat parecidos. Eles se prendem ao substrato por meio de rizoides unicelulares.

O gametófito dos antóceros consiste em um **talo simples com achatamento dorsiventral**, resultante da germinação de um **proto-nema globular**, podendo formar rosetas (Figura 3.17). Ao contrário dos demais filis, nos antóceros o anterídio e o arquegônio se desenvolvem dentro dos tecidos gametofíticos.

O esporófito dos antóceros é aéreo, alongado, **cilíndrico e sem seta**. Os esporófitos crescem a partir de uma base com atividade meristemática intercalar, uma apomorfia do grupo. A cápsula apresenta **columela** e contém **estômatos** – esta característica é compartilhada com os musgos. Não apresentam elatérios verdadeiros, mas sim **pseudolatérios** (apomorfia), grupo de células com função similar à dos elatérios, porém estruturalmente diferentes. A dispersão ocorre pela **abertura longitudinal da cápsula** em duas valvas. A produção de esporos é contínua e a **ornamentação** destas estruturas é uma das características microscópicas dos antóceros levadas em consideração para classificar as espécies.

Acredita-se que os antóceros compartilhem uma apomorfia com as plantas vasculares: **esporófitos fotossintéticos** e relativamente duradouros – em algumas espécies o esporófito é, inclusive, independente do gametófito por muito tempo.

Figura 3.17 | Antóceros da classe Anthocerotopsida. A e B) Esporófitos sobre gametófitos. C) Esporos



Fonte: A) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anthoceros_agrestis_060910d.jpg. B) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phaeoceros_carolinianus_\(a_122441-471446\)_1080.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phaeoceros_carolinianus_(a_122441-471446)_1080.JPG). C) [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Phaeoceros_carolinianus_\(a_122441-471446\)_1129.JPG](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Phaeoceros_carolinianus_(a_122441-471446)_1129.JPG). Acesso em: 1 dez. 2018.

Os antóceros apresentam, tipicamente, apenas **um cloroplasto por célula** no talo, **não têm corpos oleosos** (mas produzem gotas de óleo) e apresentam um **pirenoide** (corpo proteico para armazenamento de amido – estrutura em comum com algas verdes). Essas plantas, ao contrário das hepáticas, **não produzem ácido lunulárico** nem flavonoides. Por outro lado, o grupo geralmente estabelece simbiose com cianobactérias do gênero *Nostoc*, que fornecem à planta nitrogênio obtido da atmosfera. As cianobactérias se abrigam em cavidades do talo dos antóceros.



Pesquise mais

Na videoaula a seguir, a professora Fanly Fungyi Chow Ho explica as características gerais dos grupos de plantas avasculares, observando-as diretamente em seu ambiente natural.

HO, F. F. C. **Antóceros, Hepáticas e Musgos**. Série Diversidade e Evolução das Plantas. São Paulo: USP, [s.d.].

Consulte as páginas indicadas do material a seguir, que você encontra em sua biblioteca virtual, para ver esquemas ilustrados e detalhados dos ciclos de vida dos grupos de plantas avasculares apresentadas nesta seção.

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Briófitas. In: EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven | Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. Cap. 16, p. 732, 747. Tradução: Ana Claudia M. Vieira *et al.*

Sem medo de errar

No início desta seção apresentamos um desafio para que você elaborasse uma tabela comparativa sobre a diversidade das plantas avasculares, considerando os filios que são incluídos neste grupo. A seguir, sugerimos uma possibilidade para esta tabela, que poderá ainda incluir imagens de representantes e estruturas dessas plantas ou ser transformada em um resumo esquemático.

São três os filios de plantas atualmente considerados como avasculares. Eles podem ou não ser apresentados conforme uma ordem de diversidade, mas é interessante que esses dados apareçam. Na tabela, podemos considerar tanto dados morfológicos quanto aqueles ultraestruturais ou bioquímicos, mas o importante é que os dados escolhidos sejam úteis na identificação dos grupos.

Para destacar dados exclusivos de um grupo ou características novas, mas que são compartilhadas com outros grupos de plantas, podemos usar um símbolo, como indicado em legenda ao final da tabela.

Tabela 3.1 | Comparação de características dos filios de plantas terrestres avasculares

Característica	Marchantiophyta	Bryophyta	Anthocerotophyta
Nome comum	Hepáticas	Musgos	Antóceros
Número aproximado de espécies	8.000	13.000	300
Gametófito	Folhoso ou taloso	Folhoso	Taloso
Protonema	Globular ou taloso	Filamentoso	Globular
Rizoides	Unicelulares	Multicelulares	Unicelulares

Característica	Marchantiophyta	Bryophyta	Anthocerotophyta
Estômatos	Ausentes, mas apresentam poros aeríferos em alguns gametófitos talosos.	Presentes*	Presentes
Seta no esporófito	Presente	Presente	Ausente
Células ou organelas especiais	Corpos oleosos*	Hidroides* e leptoides*	Células com um único cloroplasto
Abertura da cápsula	Quatro valvas	Opérculo e perístoma ou valvas	Longitudinal, em duas valvas
Dispersão dos esporos	Elatérios*, sem columela	Columela e perístoma	Pseudoelatérios* e columela

Legenda:

* Exclusivo do grupo.

** Característica nova, mas compartilhada com outros grupos de plantas.

Com os dados desta tabela, será mais fácil ilustrar e incluir elementos informativos em seu catálogo ilustrado de plantas avasculares.

Avançando na prática

Identificando uma planta avascular

Descrição da situação-problema

Nicolas é um biólogo que trabalha no herbário de uma universidade. Dentre várias atribuições, ele é responsável pela organização e conservação dos espécimes da coleção, além de atender e auxiliar alunos e pesquisadores que utilizam o espaço. Um aluno que utiliza o herbário em suas pesquisas pediu o auxílio de Nicolas para localizar um espécime de planta avascular e estudá-lo. No entanto, aquele material estava com a etiqueta de identificação danificada e foi preciso recorrer ao caderno de campo de coleta, no qual algumas informações mais detalhadas foram registradas como:

- Gametófito folhoso.
- Esporófito vertical, com seta e cápsula.
- Cápsula com columela, opérculo e perístoma.
- Anatomia: estômatos.

A partir desses dados é possível identificar a espécie em questão? Ou, ao menos, saber a qual filo pertence o espécime? Algum desses dados fornecem pistas mais seguras em direção à identificação da planta? Quais?

Resolução da situação-problema

Os dados do caderno de campo não são suficientes para identificar a espécie da planta, mas fornecem pistas ao menos sobre o filo a qual ela pertence: Bryophyta, ou seja, trata-se de um musgo.

Os dados que mais auxiliam nessa classificação são os do esporófito, especialmente por ele conter opérculo e perístoma, que são estruturas típicas das cápsulas de musgos

Gametófitos folhosos também são encontrados em hepáticas, bem como setas; columela e estômatos são características compartilhadas com os antóceros, portanto esses dados sozinhos não indicariam se tratar de um musgo.

Faça valer a pena

1. Plantas do filo Marchantiophyta são comumente conhecidas como hepáticas em referência à forma de seus gametófitos lembrar o formato de fígado (do grego *hepato*, de *hepar*). Antigamente, acreditava-se que, por essa semelhança, tais plantas poderiam tratar doenças do fígado. As hepáticas mais conhecidas são as do gênero *Marchantia*.

Sobre as *Marchantia*, assinale a proposição verdadeira.

- a) Os gametófitos masculinos e femininos são morfologicamente idênticos e ocorrem na mesma planta.
- b) Apresentam estômatos distribuídos nos gametófitos folhosos.
- c) Têm estruturas em forma de taça chamadas conceptáculos que abrigam os esporos, que se dispersam com gotas de chuva.
- d) Apresentam estômatos e os gametófitos masculinos e femininos são morfologicamente diferentes.
- e) Contém poros na superfície dos gametófitos e podem se reproduzir por meio de gemas que se encontram em conceptáculos.

2. O filo Anthocerotophyta é o menos diverso dentre as plantas avasculares, com no máximo 300 espécies descritas até o momento.

I. Considere as seguintes descrições de plantas avasculares:

II. Gametófitos talosos achatados dorsiventralmente.

III. Gametófitos folhosos.

IV. Esporófitos com seta.

V. Esporófitos fotossintéticos.

Células com apenas um cloroplasto.

Analisando um exemplar de uma planta avascular, quais dessas características indicariam se tratar de um antóceros?

Marque a alternativa que contém todas as características corretas.

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

3. As chamadas plantas avasculares são distribuídas em três filós diferentes, cujos representantes apresentam diversas semelhanças em relação a tamanho, habitats, ciclo de vida, dentre outros. Entretanto, há particularidades estruturais e fundamentais entre os filós e até mesmo entre diferentes grupos dentro de cada filo.

Marque a alternativa que apresenta corretamente estruturas funcionalmente equivalentes entre hepáticas e musgos.

- a) Conceptáculos, nas hepáticas, e columela, nos musgos, que sustentam as cápsulas.
- b) Elatérios, nas hepáticas, e conceptáculos, nos musgos, que auxiliam na dispersão dos esporos.
- c) Elatérios, nas hepáticas, e perístoma, nos musgos, que auxiliam na dispersão dos esporos.
- d) Columela, nas hepáticas, e perístoma, nos musgos, que sustentam as cápsulas.
- e) Pseudoelatérios, nas hepáticas, e hidroides, nos musgos, que abrigam gemas de reprodução assexuada.

- ASAKAWA, Y. Bryophytes: chemical diversity, synthesis and biotechnology. A review. **Flavour And Fragrance Journal**, [S.l.], v. 26, n. 5, p. 318-320, abr. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ffj.2060>. Acesso em: 4 fev. 2019.
- AUSTRALIAN NATIONAL HERBARIUM. **Australian Bryophytes**. Disponível em: <http://www.anbg.gov.au/bryophyte/index.html>. Acesso em: 27 nov. 2018.
- BEIKE, A. K. *et al.* Applied Bryology - Bryotechnology. **Tropical Bryology**, [S.l.], v. 31, p. 22-32, jan. 2010.
- BUDKE, J. M. *et al.* Introduction to the Special Issue on Bryophytes. **Critical Reviews In Plant Sciences**, [S.l.], n. 2-3, p. 1-11, 3 jul. 2018. Informa UK Limited. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07352689.2018.1482396>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- ESSIG, F. B. Plants Invade the Land. In: _____. **A brief history of plant life**. [S.l.]: Oxford University Press, 2015. Cap. 3. p. 47-72.
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Protistas | Algas e Protistas Heterotróficos. In: _____. **Raven | Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. Cap. 15. p. 628-711. Tradução: Ana Claudia M. Vieira *et al.*
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Briófitas. In: _____. **Raven | Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. Cap. 16. p. 713-752. Tradução: Ana Claudia M. Vieira *et al.*
- FRANCESCHINI, I. M. *et al.* **Algas [recurso eletrônico]**: uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- GALLENMÜLLER, F. *et al.* Spore liberation in mosses revisited. **AoB Plants**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 1-15, 23 dez. 2017. Oxford University Press (OUP). Disponível em: <https://academic.oup.com/aobpla/article/10/1/plx075/4773942>. Acesso em: 1 dez. 2018.
- GLIME, J. M. Utilidad económica y étnica de las briófitas. In: **Flora of North America Editorial Committee**, ed. 1993+. Flora of North America North of Mexico. 15+ vols. New York & Oxford. Vol. 27, pp. 14-41. Tradução: Juan Larrain. Disponível em: http://www.musgosdechile.cl/glime_usos_espanol_2ed.pdf. Acesso em: 21 nov. 2018.
- GLIME, J. M. Life Cycles and Morphology. In: _____. **Bryophyte Ecology: Volume 1. Physiological Ecology**. Houghton: Michigan Technological University, 2017. Cap. 2. Disponível em: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology1/1/>. Acesso em: 28 nov. 2018.
- GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. 2018. **AlgaeBase**. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em: <http://www.algaebase.org>. Acesso em: 12 nov. 2018.
- KADEREIT, J. W.; BRESINSKY, A. Systematics and Phylogeny. In: BRESINSKY, A. *et al.* **Strasburger's Plant Sciences**. Heidelberg: Springer, 2013. Cap. 10. p. 665-1040.
- NEWTON, A. E.; WIKSTRÖM, N.; SHAW, A. J. Mosses (Bryophyta). In: HEDGES, S. B.; KUMAR, S. **The Timetree of Life**. New York: Oxford University Press, 2009. Cap. 12. p. 138-145. Disponível em: <http://www.timetree.org/book>. Acesso em: 27 nov. 2018.
- ORTIZ-RAMÍREZ, C. *et al.* GLUTAMATE RECEPTOR-LIKE channels are essential for chemotaxis and reproduction in mosses. **Nature**, [S.l.], v. 549, n. 7670, p. 91-95, 24 jul. 2017. Springer Nature. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nature23478>. Acesso em: 4 fev. 2019.
- PRIGGE, M. J.; BEZANILLA, M. Evolutionary crossroads in developmental biology: *Physcomitrella patens*. **Development**, [S.l.], v. 137, n. 21, p.3535-3543, 12 out. 2010. The

Company of Biologists. Disponível em: <http://dev.biologists.org/content/137/21/3535.full>. Acesso em: 19 nov. 2018.

REVIERS, B. **Biologia e filogenia das algas [recurso eletrônico]**: apresentação sintética das diversas linhagens. Porto Alegre: Artmed, 2008. Tradução: Iara Maria Franceschini.

SAHOO, D.; SECKBACH, J. (Ed.). **The Algae World**. [S.I.]: Springer, 2015.

SIMPSON, M. G. Evolution and Diversity of Green and Land Plants. In: _____. **Plant systematics**. 2. ed. [S.I.]: Elsevier, 2010. Cap. 3. p. 55-72.

SÖDERSTRÖM, Lars *et al.* World checklist of hornworts and liverworts. **Phytokeys**, [S.I.], v. 59, p.1-828, 29 jan. 2016. Pensoft Publishers. Disponível em: <https://phytokeys.pensoft.net/article/6261/>. Acesso em: 30 nov. 2018.

WIKSTRÖM, N.; HE-NYGRÉN, X.; SHAW, A. Jonathan. Liverworts (Marchantiophyta). In: HEDGES, S. B.; KUMAR, S. **The Timetree of Life**. New York: Oxford University Press, 2009. Cap. 13. p. 146-152. Disponível em: <http://www.timetree.org/book>. Acesso em: 27 nov. 2018.

Unidade 4

Biologia das plantas vasculares sem sementes

Convite ao estudo

Caro aluno, nesta unidade vamos continuar estudando sobre o estabelecimento da vida vegetal e sua diversidade no ambiente terrestre. A transição de um habitat aquático para a vida fora dele foi um dos eventos mais significativos na história da Terra e, particularmente, dos organismos fotossintetizantes.

Já iniciamos nossa jornada na Unidade 3, percebendo que esse episódio envolveu diversas mudanças fisiológicas e estruturais no corpo das plantas e conhecendo a biologia e a diversidade de algas e plantas avasculares. Nesta unidade, vamos conhecer os principais aspectos da evolução, da biologia e da diversidade das plantas vasculares sem sementes.

Como organizar e apresentar informações relevantes sobre a grande diversidade de plantas e sua história? Evolução, morfoanatomia, fisiologia e sistemática são algumas das áreas de estudo da Biologia que nos permitem integrar dados e tender à relação entre os grupos de plantas e aspectos que revelam a sua diversidade.

Você passou em um concurso como biólogo(a) e integra a equipe de curadores do jardim botânico de sua cidade. Seu grupo está organizando uma exposição dividida em ambientes que mostrem aspectos da evolução das plantas, os grupos que compõem a diversidade de vegetais e suas características biológicas. Essa exposição poderá servir como sala de aula ambientalizada para os visitantes, sejam eles escolares ou não. Tendo em conta que os visitantes podem ou não ser leigos em Botânica, é preciso estabelecer um balanço entre o uso de termos populares e científicos, além de procurar deixar os espaços interativos e ricos em componentes visuais.

Cada curador na sua equipe será responsável por um grupo de plantas e você ficou encarregado(a) das plantas vasculares sem sementes. Portanto, deverá pesquisar sobre a evolução, a biologia e a diversidade desse grupo de vegetais para tomar as decisões sobre sua parte na ambientação da exposição.

Você já visitou alguma exposição com essa proposta? Como imagina que ela deva ser?

Na Seção 4.1 vamos entender algumas das principais novidades evolutivas relacionadas ao surgimento de plantas terrestres vasculares, com foco

naquelas sem sementes. Na Seção 4.2 identificaremos as principais características desse grupo de plantas, como sua morfologia, organização, reprodução e sua importância para os seres humanos, o ambiente e a Ciência. Na Seção 4.3 iremos conhecer a diversidade das plantas vasculares sem sementes, descrevendo alguns dos principais grupos desses vegetais.

Aspectos evolutivos das plantas vasculares

Diálogo aberto

O foco principal desta seção é conhecer aspectos relevantes na evolução das plantas vasculares sem sementes, enfatizando as diversas transições críticas que permitiram o estabelecimento desse grupo em ambiente terrestre. O que você já sabe sobre isso?

Você foi designado(a) para compor uma equipe de curadores de uma exposição no jardim botânico de sua cidade. A exposição será dividida em três ambientes e cada curador será responsável por um dos quatro grandes grupos de plantas, além das algas. Você ficou responsável por organizar as informações sobre as plantas vasculares sem sementes e planejar os espaços reservados a elas.

O primeiro ambiente da exposição é uma reprodução da paisagem e da flora ao longo de diferentes momentos geológicos. Um dos objetivos é mostrar como eram as plantas ao longo da história evolutiva e que características permitiram que essas plantas habitassem determinados ambientes ou que as diferenciavam de outros grupos.

Para essa tarefa em relação às plantas vasculares sem sementes, você irá precisar explicar quais características desses vegetais foram novidade em relação às plantas avasculares e em que as plantas puderam se beneficiar. Na exposição, de que forma poderia ser demonstrado como as plantas obtinham água e outros compostos nutritivos? Como esse material era transportado através das plantas? Como elas se sustentavam mecanicamente? Que vantagens elas tinham, em relação às plantas avasculares, em relação à produção e dispersão de esporos? Que alturas teriam possíveis modelos que reproduzissem essas plantas? Em quais períodos geológicos se situaria a sua parte da exposição? Quais plantas poderiam representar as primeiras vasculares sem sementes?

Informando-se sobre ramificação dos esporófitos, presença de tecidos vasculares, células compostas por lignina e aspectos da raiz, você conseguirá uma boa base para começar seu trabalho. Vamos lá?

Não pode faltar

Agora, começaremos a entender como as plantas tiveram sucesso não apenas em se difundir pelo ambiente terrestre, mas em crescer e se sustentar

(fisicamente e nutricionalmente) em altura. Saímos das plantas avasculares, com poucos centímetros, para entrar em um cenário onde as plantas começam a atingir tamanhos maiores. As plantas vasculares sem sementes, no entanto, ainda atingem apenas poucos metros de altura.

Evidências fósseis indicam que plantas com sistemas condutores funcionais já existiriam há mais de 400 milhões de anos, sugerindo que as plantas vasculares surgiram no período Siluriano (TAYLOR; TAYLOR; KRINGS, 2008, p. 201; SCAGEL et al., 1984, p. 678) ou no final do Ordoviciano-Siluriano (MORRIS et al., 2018, p. E2274). As plantas já teriam adaptações para sobreviver e se proliferar em ambientes terrestres no começo do Siluriano.

Vamos, então, conhecer algumas características que foram importantes na evolução das plantas terrestres vasculares, com foco naquelas ainda sem sementes.

Esporófito independente e ramificado

Nas plantas avasculares, como apresentado na Seção 3.2, o gametófito é livre e geralmente mais proeminente que o esporófito que, por sua vez, é dependente do gametófito. Nas plantas vasculares os **esporófitos são independentes**, são **mais proeminentes e mais duradouros que os gametófitos** e consistem de um eixo caule-raiz que pode se ramificar lateralmente. O eixo caulinar e as raízes são responsáveis pelo **crescimento vertical** da planta.

Linhagens atuais de samambaias e licófitas (Seção 4.3) ainda possuem gametófito nutricionalmente independente do esporófito. Ao longo da evolução, entretanto, o gametófito foi reduzindo e, nas plantas com sementes, tornou-se dependente do esporófito e protegida por ele.



Refleta

Você considera que alguma dessas características (esporófito independente e ramificado) poderia ser uma facilitadora para a fotossíntese, permitindo uma melhor competição pelo ambiente terrestre? Por quê?

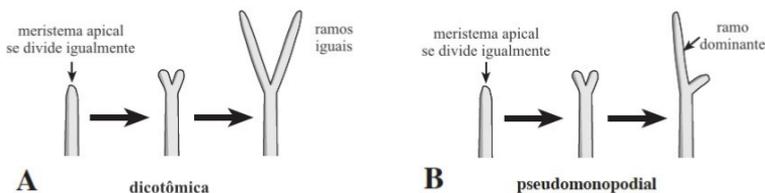
O crescimento vertical oferece vantagem na **competição pela luz** e permite que as plantas **liberem os esporos em alturas mais favoráveis** para serem carregados pelas correntes de ar. A ramificação, por sua vez, substituiu um único esporângio, observado nas plantas avasculares e nas primeiras vasculares, por **esporângios múltiplos** (são poliesporangiadas - apomorfia), o que permitiu aumentar a quantidade de esporos produzidos.

Essig (2015, p. 68) levanta a hipótese de que a ramificação do esporófito das plantas vasculares pode ter resultado de uma mutação que permitiu que

os genes responsáveis pela ramificação se expressassem – eles estariam “desligados” nas plantas avasculares.

As primeiras plantas vasculares tinham **ramificação dicotômica**: o ápice se dividia em dois ramos que cresciam mais ou menos uniformes (Figura 4.1). Linhagens posteriores apresentaram padrões morfológicos diferentes, numa ramificação chamada de **pseudomonopodial**: ela começa dicotômica, mas depois um dos ramos torna-se dominante, sobrepondo-se ao outro, que origina ramos laterais, mas este ainda não é o padrão de crescimento das árvores. Gimnospermas e angiospermas têm crescimento monopodial, com ramificação a partir de gemas laterais.

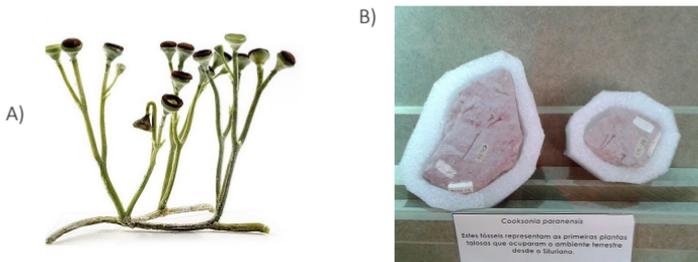
Figura 4.1 | Padrões de ramificação dicotômica (A) e pseudomonopodial (B) das plantas vasculares



Fonte: adaptada de Simpson (2010, p. 75).

As plantas do gênero extinto *Cooksonia* (Figura 4.2) são consideradas umas das primeiras terrestres vasculares, relacionadas ao Siluriano. Elas ainda não possuíam raízes, nem folhas, e provavelmente não chegavam a mais do que 5 cm. Mas já apresentavam ramificação dicotômica da parte aérea e, na ponta de cada ramo, um esporângio.

Figura 4.1 | Reconstrução (A) e fósil (B) de *Cooksonia*



Fonte: (A) Matteo De Stefano/MUSE, licenciada sob Creative Commons 3.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Cooksonia_sp._-_MUSE.jpg. (B) Dornicke, 2015, licenciada sob Creative Commons 4.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cooksonia_paranensis_MN_01.jpg. Acessos em: 11 de dezembro de 2018.



Saiba mais

Na curta animação indicada a seguir podemos ter uma ideia de como era a paisagem no Siluriano Médio, quando *Cooksonia* começou a colonizar o ambiente terrestre.

Cooksonia, Middle Silurian.

A reportagem abaixo mostra um pouco mais sobre a Paleobotânica, uma área da Biologia que localiza, analisa e interpreta registros de organismos vegetais.

ClickCiência. **Paleobotânica: porque não só de dinossauros vive a Paleontologia.**

Lignina e esclerênquima

As plantas vasculares têm **lignina**, um polímero de compostos fenólicos que, evolutivamente, foi fundamental para que o crescimento em altura das plantas fosse possível. A lignina é incorporada na parede celular secundária de algumas células especializadas desses vegetais. A parede celular secundária lignificada é uma apomorfia das plantas vasculares. Ela confere às células **rigidez** o suficiente para suportar o crescimento vertical e **impermeabilidade à água**.

O **esclerênquima** (apomorfia das plantas vasculares) consiste de células com paredes secundárias relativamente espessas e geralmente lignificadas. A presença de lignina confere a essas células **rigidez** e auxílio no **suporte mecânico**, permitindo que os órgãos vegetais resistam a alongamentos, dobramentos, peso e pressão. Há dois tipos celulares do esclerênquima: as esclereídes e as fibras, que atuam no suporte.

Na adaptação das plantas vasculares ao ambiente terrestre, o esclerênquima lignificado foi importante no **suporte estrutural** que contribuiu para o **crescimento em altura das plantas**.



Exemplificando

Conhecer os órgãos vegetativos e reprodutivos das plantas e os componentes estruturais das células vegetais é essencial para o trabalho em Paleobotânica. Os profissionais desse ramo de estudo, que podem ser biólogos, têm interesse na origem e na evolução dos grupos de plantas e a relação entre eles. Tecidos lignificados, como o xilema, são geralmente preservados em fósseis, auxiliando nos estudos evolutivos.

Tecidos vasculares

Muitas plantas avasculares são capazes de tolerar a desidratação, enquanto as vasculares, com poucas exceções, não se recuperam de uma desidratação severa. Portanto, para que as plantas vasculares pudessem sobreviver em ambiente terrestre, contaram com adaptações que melhorassem a absorção, o transporte, o armazenamento e o controle da perda de água. Nestas plantas, os **tecidos vasculares** (xilema e floema) consistem de células especializadas na **condução de fluidos**.

O crescimento em altura das plantas também exigiu maior sustentação, papel que tem auxílio dos tecidos vasculares, especialmente das células lignificadas. Plantas mais altas também competem com as menores pela luz do Sol.



Assimile

As **plantas vasculares** são chamadas de **traqueófitas** (Tracheophyta) em muitos sistemas de classificação. Dados moleculares indicam monofilia para as plantas deste grupo e a principal sinapomorfia (novidade evolutiva compartilhada por dois ou mais táxons) das traqueófitas é a presença de **tecidos vasculares**.

O **xilema** está presente em todas as plantas vasculares, mas o xilema secundário (lenhoso) aparece apenas em alguns grupos de licófitas e nas espermatófitas (plantas com sementes). Esses vasos são os principais **condutores de água e solutos** em longas distâncias, conferem **sustentação** às plantas e participam no **armazenamento de nutrientes**. As células do xilema apresentam diferentes funções:

- Elementos traqueais, como as **traqueídes** (apomorfia em plantas vasculares): células longas, mortas na maturidade, lignificadas. Têm papel na sustentação da planta e na condução de água e nutrientes minerais (seiva mineral ou seiva do xilema).
- **Células parenquimáticas**: armazenam e transportam água e solutos.
- **Fibras**: conferem sustentação mecânica.

Ao longo da formação do xilema, suas células perdem o núcleo e muitas organelas, formando tubos para o transporte de água.

O **floema** é o tecido **condutor de água e materiais orgânicos** (principalmente açúcares) e **inorgânicos em solução** (seiva orgânica ou seiva do floema). Associado ao xilema no sistema vascular, o floema também apresenta células com funções diferenciadas, dentre as quais:

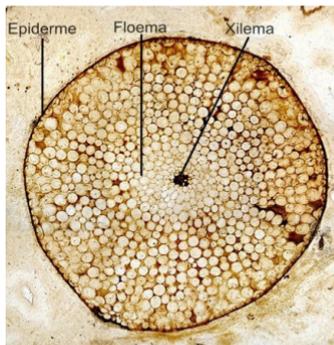
- **Elementos crivados:** condução (apomorfia em plantas vasculares).
- **Fibras e esclereídes:** sustentação.

Nas plantas vasculares sem sementes encontram-se apenas os elementos crivados do tipo células crivadas.

Caules de plantas vasculares têm um arranjo típico do xilema e do floema, organização conhecida como **estelo**, com diferentes tipos:

- **Protostelo:** cilindro sólido central dos tecidos vasculares, considerado o tipo mais ancestral, encontrado em linhagens das primeiras plantas vasculares (Figura 4.3) e algumas linhagens atuais, como as licófitas.
- **Sifonostelo:** arranjo cilíndrico ou tubular dos tecidos vasculares primários ao redor de uma medula, encontrado na maioria das plantas vasculares sem sementes atuais.
- **Eustelo:** tecidos vasculares distribuídos em feixes isolados ao redor de uma medula, considerado o tipo mais avançado, encontrado em plantas com sementes.

Figura 4.3 | Corte transversal do caule de *Rhynia gwynne-vaughanii*, planta fóssil do Devoniano, mostrando o arranjo dos tecidos vasculares

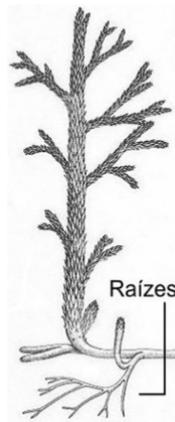


Fonte: adaptada de Plantsurfer, 2007, licenciada sob Creative Commons 2.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rhynia_stem.jpg. Acesso em: 11 dez. 2018.

Endoderme e raiz

Uma outra novidade na evolução das plantas vasculares foi a diferenciação de caules e raízes. Kenrick e Strullu-Derrien (2014) sugerem que as raízes se desenvolveram durante o período Devoniano, entre 416 e 360 milhões de anos atrás, precedidas pelos rizoides. Hetherington e Dolan (2018) sugerem que *Asteroxylon mackiei* é uma espécie-chave (extinta) na evolução do que se consideram raízes verdadeiras, mas que essas estruturas podem ter mais de uma origem na história das plantas (Figura 4.4).

Figura 4.4 | Ilustração de *Asteroxylon mackiei*

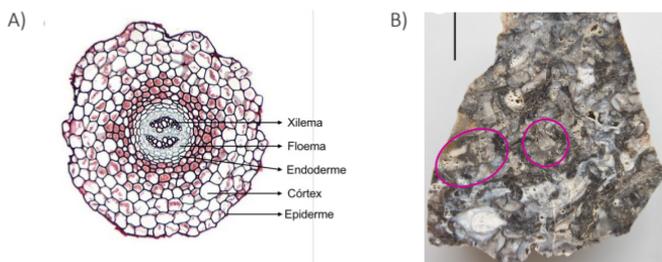


Fonte: adaptada de Kidston e Lang, 1921, em Domínio Público, via Wikimedia Commons. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Asteroxylon.jpg>. Acesso em: 12 dez. 2018.

As raízes verdadeiras contribuíram para plantas vasculares mais complexas e a colonização de habitats mais extremos, já que essas estruturas, além de fixação da planta, possibilitam uma **absorção mais eficiente de água e minerais**. Alguns gametófitos de plantas vasculares ainda são fixados ao substrato por rizoides, mas a maioria das espécies atuais possuem raízes verdadeiras. Há evidências, ainda, que as primeiras plantas vasculares com rizoides ou com raízes já estabeleciam simbiose com fungos (micorrizas, ver Seção 2.2).

Ao redor do tecido vascular de raízes e alguns caules das plantas vasculares há um grupo de células que compõem o periciclo. Essas células originam as raízes laterais, por exemplo. Imediatamente ao redor do periciclo há uma camada de células agrupadas que apresentam espessamento da parede, compondo as estrias de Caspary (hidrofóbicas), e formam a **endoderme** (apomorfia nas plantas vasculares – Figura 4.5). A endoderme funciona como uma barreira que **regula a entrada e a saída de água e solutos** no tecido vascular, de forma seletiva, podendo excluir substâncias tóxicas ou desnecessárias à planta. Apesar de fazer parte da estrutura das plantas vasculares, a endoderme ainda não era identificada nas primeiras plantas deste grupo.

Figura 4.5 | (A) Fotomicrografia de raiz de *Lycopodium*, um gênero atual de plantas vasculares sem sementes. (B) Fóssil mostrando estruturas de *Horneophyton* com rizoides (circuladas). A barra equivale a 1 cm



Fonte: (A): adaptada de Jon Houseman, 2014, licenciada sob Creative Commons 4.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lycopodium_root_L.jpg. (B): adaptada de Peter coxhead, 2011, licenciada sob Creative Commons 3.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rhynie_chert_with_Horneophyton_1.png. Acesso em: 10 jan. 2019.

Além do que foi apresentado nesta seção, há alguns outros aspectos evolutivos das plantas vasculares sem sementes, como aqueles envolvidos na reprodução, ou que são específicos de um ou outro grupo dentro da diversidade dessas plantas. Eles serão, contudo, apresentados pontualmente nas seções a seguir.

Sem medo de errar

Nesta seção seu desafio era elaborar um ambiente da exposição em um jardim botânico referente aos aspectos evolutivos das plantas vasculares sem sementes. Para isso, precisaria indicar quais são esses aspectos e de que forma eles foram importantes para o estabelecimento dessas plantas em ambientes terrestres.

Considerando esse grupo de plantas, sua parte da exposição começaria na transição entre os períodos Ordoviciano e Siluriano, mas presente ao longo do Devoniano, já que é durante esses períodos (principalmente Siluriano e Devoniano) que há mais informações com base em evidências sobre as primeiras plantas vasculares sem sementes.

Para demonstrar a fixação ao substrato e a aquisição de água e nutrientes, você pode lançar mão de imagens ou reproduções de registros fósseis (caso os próprios fósseis não estejam disponíveis) que mostrem plantas com rizoides e raízes, já que a presença de raízes verdadeiras foi registrada em plantas

que viveram nos períodos já mencionados. Imagens ou lâminas histológicas de raízes podem ser utilizadas para mostrar que essas estruturas possuem endoderme, grupo de células que auxiliou as plantas a ter um melhor controle da transferência de soluções para os tecidos vasculares.

Uma vez absorvidos, água e solutos começaram a ser transportados pela planta por meio de células especializadas em condução, pertencentes aos tecidos vasculares xilema e floema. Além desta função, algumas dessas células tinham suas paredes reforçadas com lignina, um composto que confere rigidez. A lignina também está presente em células esclerenquimáticas. Esse reforço foi importante para que as plantas crescessem em altura e se sustentassem mecanicamente. Para demonstrar esses aspectos evolutivos, novamente você pode utilizar imagens e/ou lâminas histológicas de material botânico que mostrem as células do tecido condutor (como as traqueídes), o esclerênquima e cortes transversais de caules que mostrem xilema e floema organizados em protostelo e sifonostelo.

Ainda que as plantas vasculares sem sementes fossem mais altas do que as avasculares, as primeiras atingiam poucos centímetros de altura. As posteriores chegavam a apenas poucos metros, então eventuais modelos dessas plantas precisam simular essas dimensões.

Um outro aspecto dessas plantas foi a ramificação do esporófito, primeiro de forma dicotômica e, posteriormente, num padrão pseudomonopodial. Nas extremidades de cada um desses esporófitos estariam os esporângios, ou seja, as plantas vasculares sem sementes produziam mais esporos do que as avasculares e, por serem relativamente mais altas, esses esporos seriam melhor dispersos pelas correntes de ar.

As plantas que poderiam representar o grupo das primeiras vasculares sem sementes poderiam ser do gênero *Cooksonia* e as espécies *Rhynia gwynne-vaughanii* e *Asteroxylon mackiei*. Fotos, fósseis (reais ou reproduções), modelos e ilustrações dariam uma noção aos visitantes do aspecto mais próximo do real que essas plantas teriam.

Coletando dados para sua exposição você já terá conseguido alguns exemplares que comporão seu catálogo ilustrado sobre diversidade de plantas vasculares sem sementes, com o bônus de apresentar representantes que fizeram a diferença na história das plantas!

Revelando evidências

Descrição da situação-problema

Mariana é uma bióloga que está descobrindo a paleobotânica. Ela faz parte de um grupo que está analisando fósseis de plantas em uma coleção, no intuito de realizar estudos sobre a origem e a evolução de caules em plantas vasculares. Portanto, primeiro precisam identificar e selecionar aqueles materiais que apresentam tal estrutura.

Que características Mariana poderia observar nesses fósseis e que indicariam se tratar de caules de plantas vasculares sem sementes?

Resolução da situação-problema

Embora as primeiras plantas vasculares nem sempre apresentassem uma diferenciação clara entre caules e raízes, algumas características poderiam indicar que se trata da parte aérea de plantas fósseis. Um exemplo é a ramificação do esporófito, que era dicotômica nas primeiras plantas, e pseudomonopodial em linhagens posteriores. Esses ramos podem apresentar esporângios nas pontas.

Outro indício é a presença de estruturas lignificadas, como as traqueídes do xilema (tecido vascular). Cortes transversais do órgão, quando um caule, podem revelar a organização do xilema e do floema de forma cilíndrica (protostelo), envoltos externamente por uma epiderme.

Faça valer a pena

1. Evidências fósseis das primeiras plantas vasculares sem sementes indicam que elas já estavam bem estabelecidas durante o período (I)_____. Os (II)_____ das primeiras plantas vasculares eram eixos ramificados dicotomicamente e uma das características evolutivas dessas plantas é o desenvolvimento de (III)_____.

Marque a alternativa que substitui corretamente os números I, II e III, respectivamente.

- a) Siluriano; esporófitos; frutos.
- b) Ordoviciano; gametófitos; tecidos vasculares.
- c) Siluriano; gametófitos; flores.
- d) Siluriano; esporófitos; tecidos vasculares.
- e) Ordoviciano; esporófitos; flores.

2. Muitas das plantas que vemos hoje são vasculares. Elas são tipicamente maiores e mais complexas que as plantas avasculares, e estão entre elas as vasculares sem sementes, como samambaias e licopódios. Mas que características podem ter sido importantes para que as plantas vasculares sem sementes crescessem em altura, ficando tão maiores do que musgos e hepáticas?

Marque a alternativa correta.

- a) Estômatos na epiderme das folhas, que regulam a perda de água e trocas gasosas.
- b) Cutícula, que reduz a perda de água por transpiração e ataque de patógenos.
- c) Tecidos vasculares com células lignificadas, que conferem sustentação e condução eficiente de água e nutrientes.
- d) Gametas não flagelados, protegidos dentro de estruturas do corpo parental.
- e) Sementes, que protegem o embrião.

3. As plantas vasculares, ou Tracheophyta (também chamadas traqueófitas), são um subgrupo monofilético de plantas terrestres. [...] Juntas, as plantas vasculares compartilham um número de apomorfias, incluindo (1) esporófito independente e duradouro; (2) esporófito ramificado; [...], dentre outras.

Fonte: adaptado de Simpson (2010, p. 73).

Algumas dessas apomorfias estão relacionadas a certas vantagens evolutivas. Numere a coluna da direita de acordo com a da esquerda, relacionando as características às suas funções:

- | | |
|--|---|
| (1) Esclerênquima | () Transferência seletiva de compostos para o tecido vascular. |
| (2) Tecidos vasculares (xilema e floema) | () Células especializadas no suporte estrutural. |
| (3) Endoderme | () Ancoragem e absorção de água e nutrientes. |
| (4) Raiz | () Transporte de água e de nutrientes. |

Marque a alternativa que apresenta a sequência correta de números.

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

Biologia das plantas vasculares sem sementes

Diálogo aberto

Caro aluno, você já refletiu sobre como são as plantas vasculares sem sementes? De que forma elas se reproduzem? Será que elas têm alguma importância para os humanos e a ciência, além de sua relevância essencial como componente da natureza?

Lembre-se que, como biólogo(a), você é curador(a) membro de uma equipe responsável por idealizar e montar uma exposição no jardim botânico de sua cidade. No primeiro ambiente, vocês reproduziram a história evolutiva das plantas, sendo de sua responsabilidade a elaboração dos componentes referentes à origem e evolução das plantas vasculares sem sementes.

O segundo ambiente da exposição visa mostrar o modo de vida dessas plantas, com ênfase nas características dos habitats em que elas são encontradas, aspectos de sua reprodução e alguns exemplos de uso dessas plantas pelos humanos.

Como deve ser a ambientação do espaço, em termos de características climáticas e hídricas? Se for usar plantas reais ou modelos, que tamanhos e hábitos elas teriam? Que estruturas você selecionaria para ilustrar a reprodução das plantas vasculares sem sementes (e que estratégias poderia usar para ajudar os visitantes a visualizar essas estruturas com detalhes?). De que forma você demonstraria aos visitantes que esse grupo de plantas está presente nas populações humanas?

Para lhe ajudar a elaborar esse ambiente da exposição, não deixe de consultar os conteúdos sobre características, morfologia e reprodução das plantas vasculares sem sementes, bem como sua importância e uso na Ciência.

Vamos lá, você terá material para uma bela exposição!

Não pode faltar

Avencas e samambaias (ou fetos) são exemplos conhecidos de plantas vasculares sem sementes, mas não são os únicos a integrar essa classificação. Neste material, consideraremos dois grupos desses vegetais, as licófitas (licopódios, selaginelas e similares) e as monilófitas (samambaias, *Psilotum*

e cavalinha). A classificação e a diversidade dos grupos serão detalhadas na Seção 4.3, enquanto aqui serão descritas informações gerais sobre as plantas vasculares sem sementes.

Caracterização das plantas vasculares sem sementes

As plantas vasculares sem sementes formam um grupo heterogêneo, com mais de 12 mil espécies conhecidas, representantes de formas variadas e tamanhos de 1 cm a 20 m de altura. Encontram-se em todas as regiões climáticas, com maior diversidade nos trópicos. Habitam locais úmidos, como as plantas avasculares, embora haja espécies que colonizam áreas secas. Algumas raras exceções se encontram em ambientes salinos, como espécies do gênero *Acrostichum*, que crescem em manguezais (Figura 4.6 A).

Há espécies com formas arborescentes, devido aos caules reforçados e desenvolvimento efetivo dos tecidos vasculares. Outras são trepadeiras e epífitas (Figura 4.6 B), como algumas samambaias tropicais e não há registros de parasitismo entre essas plantas. Algumas poucas espécies são hidrófitas (vivem na água - Figura 4.6 C).

Figura 4.6 | Hábitats e hábitos de plantas vasculares sem sementes. (A) Samambaia de manguezal ou de couro dourada (*Acrostichum aureum*). (B) Chifre-de-veado (*Platyserium* sp.), epífita. (C) *Salvinia*, um gênero aquático



Fonte: (A): Wibowo Djatmiko, licenciada sob Creative Commons 3.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Acros_aure_080627_0095_smlu.jpg. (B) e (C): iStock.

Esse grupo de plantas apresenta adaptações morfológicas e fisiológicas a várias condições encontradas no ambiente terrestre. A maioria das espécies, quando adultas, regula o suprimento de água (são homoiótricas), enquanto outras não têm essa capacidade (são poiquilohídricas), dependendo das condições hídricas do ambiente. Ainda há um grau de dependência da água para a reprodução (discutida mais adiante nesta seção), uma vez que gametas masculinos móveis precisam nadar até o arquegônio.

Morfologia e organização das plantas vasculares sem sementes

Algumas especializações evolutivas da morfologia de plantas vasculares já foram discutidas na Seção 4.1, outras serão apresentadas a seguir. De forma

geral, as plantas vasculares são diferenciadas em **sistema radicular** (raízes) e **sistema caulinar** (caules e folhas). O aumento em comprimento das raízes e dos caules é definido como **crescimento primário** e o aumento em espessura é o crescimento secundário – este, porém, praticamente não ocorre nas plantas sem sementes.

Assim como as plantas avasculares, as vasculares sem sementes são adaptadas a viver em ambiente terrestre, mas com tecidos e órgãos funcionalmente diferentes. Os ramos da parte aéreas são bastante folhosos e, com exceção de samambaias arborescentes, a maioria dos caules formam rizomas subterrâneos. Desses rizomas emergem raízes, a maioria consistindo de finas e fibrosas raízes secundárias. A presença de raízes garante obtenção suficiente de água e o desenvolvimento das folhas que proverão assimilados de carbono.

O gametófito haploide das plantas vasculares sem sementes chama-se **protalo**, é livre e pode ser fotossintetizante. Essa estrutura talosa vive apenas algumas semanas, cresce poucos centímetros em diâmetro e fixa-se ao substrato pela face inferior por meio de rizoides.

O **esporófito é a geração dominante** nas plantas vasculares sem sementes atuais. Ele é uma parte verde e independente, diploide, bem desenvolvida e bastante diversificada entre as espécies. Nos licopódios, o esporófito tem caules e raízes com uma menor quantidade de células vasculares do xilema. Os **esporofilos** são folhas pequenas e verdes próximas às pontas dessas plantas, geralmente com um único esporângio na base de cada folha e um grupo de esporofilos forma um estróbilo cônico.

Nas samambaias e similares, o esporófito é um maço de folhas, chamadas **frondes**, geralmente divididas em partes menores (folíolos), lembrando uma pena (Figura 4.7 A). Os esporângios crescem na parte de baixo das folhas maduras e, tipicamente, são agrupados numa estrutura chamada **soros**. Entretanto, os esporângios podem ser arranjados em diferentes padrões (Figura 4.7 B-C). Os soros podem ficar expostos ou protegidos por um fino tecido (**indúcio**) e ficam presos a um pedúnculo, chamado **annulus** (ânulo), com células de parede reforçada que praticamente circundam o esporângio.

Figura 4.7 | (A) Organização corporal de uma samambaia. (B) e (C) Esporângios e soros



Fonte: Modificado de A) Carl Axel Magnus Lindman, 2014, licenciada sob Creative Commons 3.0, via



Exemplificando

Biólogos que trabalham com sistemática vegetal analisam diversos aspectos da organização do corpo das plantas para identificar as espécies. Os diferentes padrões de forma e distribuição dos esporângios são características morfológicas e reprodutivas importantes para esses profissionais.

Aspectos evolutivos de raízes e caules das plantas vasculares já foram tratados na Seção 4.1. Vamos, então, saber um pouco mais sobre a evolução das folhas?

Anatomicamente, as folhas das plantas vasculares sem sementes em geral correspondem às das plantas com sementes, são os principais apêndices laterais do caule. Do ponto de vista evolutivo, existem duas categorias gerais e distintas de folhas: **microfilos** e **megafilos** (Figura 4.8).

Os microfilos são estreitos e têm um único feixe de tecido vascular ou nervura no comprimento. Essas folhas são geralmente, mas não sempre, pequenas e teriam evoluído como protuberâncias laterais do caule – por este motivo são consideradas enações. Associados tipicamente a caules do tipo protostelos, os microfilos são característicos das licófitas.

Os megafilos (também chamados de eufilos), em sua maioria, são maiores e mais complexos, com nervuras múltiplas. Essas folhas teriam evoluído a partir de um sistema completo de ramos que se achataram e se fusionaram, formando uma lâmina. Associados tipicamente a caules do tipo sifonostelo ou eustelo, os megafilos têm como exemplo as frondes das samambaias.

Figura 4.8 | Folhas do tipo microfilo ((A) – *Selaginella kraussiana*) e megafilo ((B) - *Hymenophyllum tunbrigense*)



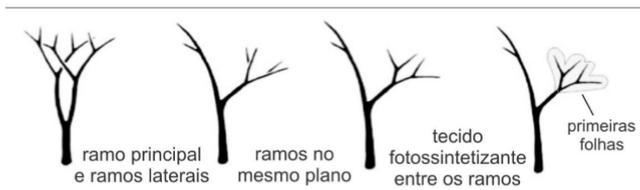
Fonte: adaptada de (A) Stickpen, 2008, em Domínio Público, via Wikimedia Commons. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Selaginellakraussiana.JPG>; (B) Johan N, 2011, licenciada sob Creative Commons 3.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hymenophyllum_tunbrigense_001.jpg. Acesso em: 21 dez. 2018.



Assimile

A teoria do teloma, elaborada pelo botânico Walter Max Zimmermann (1892-1980) em 1930, é uma das mais compreensíveis sobre a evolução das plantas. De acordo com ela, as plantas vasculares teriam evoluído direta ou indiretamente de plantas sem folhas, formando esses órgãos a partir de módulos simples (telomas) que se combinaram e se modificaram de várias maneiras (Figura 4.9). Os ramos teriam crescido de forma dicotômica e diferencial, formando um eixo principal e os laterais (*overtopping*); passaram de um arranjo tridimensional para um único plano (*planation*); por fim, tecido fotossintetizante é formado e preenche os espaços entre os ramos vizinhos (*webbing*).

Figura 4.9 | Ilustração com os possíveis passos básicos da origem e evolução das folhas



Fonte: adaptada de Beerling e Fleming (2007, [s.p.]).

Reprodução das plantas vasculares sem sementes

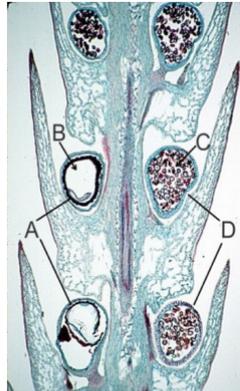
Conforme as plantas colonizavam ambientes, muitas vezes mais secos, mudanças importantes aconteciam nos seus ciclos de vida. As plantas vasculares, assim com as avasculares, possuem um ciclo de vida com alternância de gerações heteromórficas, com o gametófito diferente do esporófito. Nas vasculares, entretanto, o esporófito é geralmente maior e mais complexo que o gametófito.

Durante a reprodução sexuada das plantas, a meiose produz esporos que, quando são de um único tipo, são descritos como **homósporos**. Essa condição é chamada de **homosporia** e é encontrada na maioria das plantas vasculares sem sementes, como samambaias, cavalinhas e algumas licófitas. Os esporos das plantas **homosporadas** são capazes de germinar e se desenvolver em um gametófito que produz gametas masculinos e femininos (bissexuados), mas muitas plantas têm mecanismos para promover a fertilização cruzada, ou seja, os anterozoides de uma planta fertilizam as oosferas de plantas vizinhas e geneticamente diferentes.

Outras plantas vasculares são **heterosporadas**, ou seja, produzem esporos de dois tipos em tipos diferentes de esporângios (Figura 4.10). Essa condição

é chamada de **homosporia** e é encontrada em poucas plantas sem sementes e em todas as com sementes. Nesse caso, os **microsporos** são produzidos em **microsporângios** e originam gametófitos masculinos; os **megásporos** são originados nos **megasporângios** e originam gametófitos femininos. Esses esporos são mais diferentes em função do que em tamanho.

Figura 4.10 | Fotomicrografia de corte longitudinal de um estróbil de *Selaginella* sp., mostrando megasporângios (A), megásporos (B), microsporos (C) e microsporângios (D)



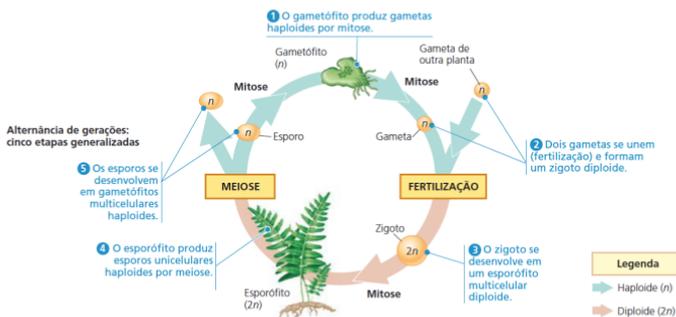
Fonte: adaptada de Curtis Clark, licenciada sob Creative Commons 3.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Selaginella_strobilus_LS_high.jpg. Acesso em: 21 dez. 2018.

Como já mencionado na Seção 4.1, evolutivamente os gametófitos foram reduzidos em tamanho. Nas plantas vasculares sem sementes ainda encontramos arquegônios e anterídios, estruturas que aparentemente se perderam parcialmente nas gimnospermas e totalmente nas angiospermas.

As plantas vasculares têm oosferas grandes e imóveis e anterozoides pequenos e móveis - são oogâmicas (Figura 4.11-1). O gametófito produz diversos anterídios e arquegônios e a fertilização ocorre com o auxílio da água, como nas plantas avasculares. Após a fertilização, o zigoto cresce e origina um organismo multicelular diploide, o esporófito (Figura 4.11-2 e 3). Em pouco tempo o gametófito degenera e o esporófito cresce para formar uma planta perene, independente, com raízes, caules e folhas.

A fase haploide do ciclo se inicia no esporângio onde, a partir de meiose, há a produção de esporos haploides (Figura 4.11-4). Ao mesmo tempo, o esporângio desidrata e o annulus se contrai, o que auxilia a liberar os esporos maduros, que se dividem por mitose e originam o gametófito multicelular haploide (Figura 4.11-5).

Figura 4.11 | Ciclo de vida da uma samambaia, evidenciando a alternância entre as gerações gametofítica e esporofítica



Fonte: adaptada de Reece (2015, p. 614).



Assimile

Conhecer, estudar e mapear as transformações evolutivas do ciclo de vida das plantas, incluindo as estruturas e mecanismos reprodutivos envolvidos, é essencial para compreender as relações filogenéticas entre as linhagens vegetais.



Saiba mais

O vídeo sugerido a seguir mostra o processo de liberação dos esporos a partir dos esporângios de uma planta vascular sem semente, agrupados em um soró.

PTERIDOLOGY – SPORE SHOOTING. YouTube.

Plantas vasculares sem sementes: importância e ciência

Do ponto de vista **ecológico**, as plantas vasculares sem sementes contribuem para manter a umidade no ambiente florestal, podem ser indicadoras do tipo de solo e auxiliar na fixação do substrato, evitando a erosão. São plantas que podem se adaptar a distúrbios ambientais e acumular toxinas, sugerindo um papel em estratégias de conservação e restauração.

Por seu apelo visual, samambaias, avenca, renda portuguesa e chifre-de-veado são populares como **plantas ornamentais** em residências e locais públicos, como praças e jardins (Figura 4.12 A). A espécie *Dicksonia sellowiana*, que é uma samambaia arborescente conhecida como samambaiaçu, já foi muito usada para produzir vasos de xaxim e como substrato

para o cultivo de outras plantas (prática atualmente proibida). Representantes do gênero *Ceratopteris* são aquáticas e popularmente utilizadas em aquariorfilia (Figura 4.12 B).



Pesquise mais

O conteúdo multimídia sugerido a seguir apresenta características gerais, aspectos morfológicos, reprodutivos e outras informações interessantes sobre o xaxim, ou a *Dicksonia sellowiana*.

XAXIM. Um pé de quê?, [s.d.].

O relatório indicado a seguir traz mais informações sobre a *Dicksonia sellowiana*: distribuição, ecologia e dados que a colocam na lista de espécies ameaçadas de extinção.

CNCFlora. *Dicksonia sellowiana*. In: CNCFlora. Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora.

Na **agropecuária**, o gênero aquático *Azolla* (Figura 4.12 C) é usado como fixador de nitrogênio no cultivo de arroz e como alimento de gado para estimular a produção de leite (SHARPE; MEHLTRETER; WALKER, 2010). Há espécies de plantas vasculares usadas na **alimentação** humana, sendo que muitas delas, especialmente samambaias, são um importante complemento alimentar para populações da África Subsaariana (MAROYI, 2014). Na versão desidratada, a cavalinha é utilizada para fazer chás. Algumas espécies, entretanto, podem ser tóxicas não apenas por ingestão da planta, mas também por inalação dos esporos e ingestão de produtos animais (leite cru) que se alimentaram dessas plantas, como espécies do gênero *Pteridium* (CRUZ; BRACARENSE, 2004).

Figura 4.12 | (A) Samambaia ornamental. (B) *Ceratopteris cornuta*, usada em aquariorfilia. (C) Samambaia mosquito (*Azolla caroliniana*)



Fonte: (A) e (C): iStock; (B) Carlosar, 2008, licenciada sob Domínio Público, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ceratopteris_cornuta_in_aquarium_alone.jpg. Acesso em: 8 mar. 2019.

Diversas espécies de plantas vasculares sem sementes têm **propriedades medicinais**. *Selaginella convoluta*, conhecida no Brasil como jericó, é uma espécie de licófito com propriedades antidepressivas, diuréticas, analgésicas e anti-inflamatórias, dentre outras (SÁ et al., 2012). O extrato dessa espécie também foi investigado como potencial inativador do crescimento bacteriano (FERNANDES et al., 2005). Já *Huperzia serrata* é fonte do composto conhecido como huperzine A que, tem sido utilizado no tratamento de doenças neurodegenerativas, como Alzheimer, e na proteção contra efeitos letais de agentes químicos, como os organofosforados sarin e VX (TUN; WÜSTMANN; HERZON, 2011).

Diversas espécies de plantas vasculares sem sementes são importantes como modelo de pesquisa. A licófito *Selaginella moellendorffii*, por exemplo, é usada em estudos que buscam desvendar a biologia e a evolução das plantas, já que o grupo do qual ela faz parte pode ser rastreado até cerca de 400 milhões de anos atrás.



Refleta

Seria possível comparar os genomas de diversos táxons de plantas terrestres para detectar determinadas transições na evolução das plantas? Que tipo de informação você buscaria?

Sem medo de errar

No início desta seção você recebeu o desafio de planejar um ambiente da exposição no Jardim Botânico, que representasse habitats onde encontramos plantas vasculares sem sementes, aspectos reprodutivos dessas plantas e a presença delas no cotidiano humano.

As plantas vasculares sem sementes ocorrem em diversos habitats, mas a maioria é encontrada em ambientes tropicais, em locais úmidos. Portanto, sombra e umidade deverão compor o local da exposição, lembrando que, aqui, já relacionamos a presença de água como parte do ciclo reprodutivo desse grupo de vegetais.

As samambaias são provavelmente as plantas vasculares sem sementes mais familiares aos visitantes da exposição. Então, além delas, é interessante que o local mostre que há muita diversidade e formas e tamanhos. Os exemplares, reais ou modelos, devem representar as plantas de poucos centímetros de altura e, se o local permitir, até com alguns metros. Poderiam ser plantas aquáticas, posicionadas em tanques com água, como *Salvinia* ou *Azolla*, trepadeiras e/ou epífitas, como chifre-de-veado, e as que se fixam

diretamente no solo ou em rochas. Se não for possível conseguir exemplares, serão providenciadas fotos que mostrem essas plantas em ambientes mais secos ou salinos, como a samambaia de manguezal.

Para ilustrar o ciclo de vida das plantas vasculares sem sementes, as estruturas mais facilmente identificáveis são os esporângios que se desenvolvem na face inferior das folhas – neste caso, serão escolhidas folhas com diferentes arranjos dos esporângios. Caso seja possível usar lupas e/ou microscópios, serão selecionadas folhas para visualização dos soros (com e sem indúcio) ou lâminas que mostrem os micrósporos/megásporos e microsporângios/megasporângios, como os presentes em estróbilos de *Selaginella*. Com uma lupa de mão é possível observar também protalos (gametófitos) e, se os recursos incluírem multimídia audiovisual, poderão ser selecionados vídeos que mostrem a liberação dos esporos pelos esporângios.

Aproveitando a presença ornamental das plantas vasculares sem sementes na exposição, podem ser utilizados exemplares bastante diferenciados, como avencas, samambaias diversas, chifre-de-veado, cavalinha, dentre outras. Se não for possível conseguir cavalinha natural, sua versão desidratada é uma alternativa, já que é utilizada para preparar chás. Nesse ambiente pode ser incluído um modelo ou fotos da samambaiaçu, demonstrando sua utilização como xaxim, juntamente com uma menção ao fato de que a prática está proibida e alertando para o risco de extinção da espécie. Um aquário ornamentado poderá ser montado, com representantes do gênero *Ceratopteris*.

Um painel que ilustre a utilização de espécies na alimentação de diferentes povos e de gado, o uso de espécies em benefício da agricultura ou daquelas com propriedades medicinais ajudará os visitantes a conhecer muitas outras aplicações das plantas vasculares sem sementes.

Aproveite o material que você coletou para exposição e enriqueça seu painel ilustrado sobre plantas vasculares sem sementes!

Avançando na prática

Ajudando o telespectador

Descrição da situação-problema

Há um programa semanal de televisão que reserva um bloco para responder a perguntas enviadas pelos telespectadores. Conforme a dúvida, a produção do programa consulta especialistas, e Gustavo é o biólogo de plantão para algumas dessas dúvidas.

Um telespectador enviou a seguinte dúvida com uma foto:

“Observei que começaram a aparecer pontos escuros ao longo das folhas de algumas samambaias que foram recentemente plantadas no meu jardim (à direita) e receio que seja algum parasita ou fungo que está se espalhando para outras folhas (à esquerda). Preciso retirar as plantas ou tratá-las?”



Fonte: iStock.

O que Gustavo deveria indicar como resposta à dúvida do telespectador para ser lida durante o programa?

Resolução da situação-problema

Caro telespectador, fique tranquilo, pois suas plantas não aparentam estar infectadas ou parasitadas. As manchas escuras são agrupamentos de esporângios, estruturas que produzem esporos nessas plantas, ao longo do seu ciclo reprodutivo. As manchas escuras são esporângios maduros e as manchas claras, nas folhas à esquerda, indicam os locais onde esses esporângios irão amadurecer.

Faça valer a pena

1. Samambaias e outras plantas vasculares sem sementes habitam locais secos e salinos, mas a maioria é encontrada em ambientes úmidos. Conhecendo a história evolutiva das plantas, sabemos que esses vegetais ainda têm certa dependência da água.

Assinale a alternativa que indica corretamente a limitação dessas plantas a ambientes úmidos.

- a) As sementes não armazenam água.
- b) Elas possuem gametas masculinos móveis que nadam até os gametas femininos.
- c) A dispersão do pólen é realizada principalmente pela água.
- d) Elas possuem gametas femininos móveis que nadam até os gametas masculinos.
- e) Não possuem tecido especializado na condução de água.

2. Sobre aspectos evolutivos das folhas em plantas vasculares sem sementes, analise as proposições a seguir:

- I. Todas possuem folhas do tipo megafilo, que proporcionaram maior área de superfície para a fotossíntese.
- II. Algumas possuem microfilos e outras megafilos, folhas com diferentes origens e morfologia.
- III. Megafilos podem ter se originado a partir de modificações dos ramos das primeiras plantas vasculares.
- IV. As espécies atuais apresentam apenas folhas do tipo microfilo.

Estão corretas as proposições:

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

3. Plantas vasculares sem sementes possuem semelhanças e diferenças em relação aos demais grupos de plantas. Sobre essas características, julgue as afirmações a seguir como verdadeiras (V) ou falsas (F):

- () O grupo conta com espécies pequenas, como as plantas avasculares, mas também representantes arborescentes, com alguns metros de altura.
- () Como as demais plantas vasculares, o gametófito é a geração dominante do ciclo de vida.
- () A absorção de água ocorre por meio de raízes verdadeiras, como todas as demais plantas.
- () Ao contrário das plantas avasculares, o esporófito é a geração dominante do ciclo de vida.

Marque a alternativa que apresenta a sequência correta.

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

Diversidade das plantas vasculares sem sementes

Diálogo aberto

Caro aluno, agora que você já conhece um pouco da história e da biologia das plantas vasculares sem sementes, perguntamos: quantas dessas plantas você conhece? Sabe ou já parou para pensar em como são classificadas ou quão diversas elas podem ser? Pois este é o tema desta seção!

Lembre-se de que você é o biólogo responsável pelas plantas vasculares sem sementes na curadoria da exposição temática do jardim botânico. Após planejar o ambiente que conta sobre esses vegetais na evolução das plantas e o setor que explora as características gerais, reprodutivas e importância deles, chegou o momento de representação da diversidade do grupo.

Nesta parte do trabalho, a exposição contará com uma casa de vegetação para cada grande grupo de plantas e você será responsável por aquela que exibirá as plantas vasculares sem sementes. Não se preocupe com as características de iluminação, temperatura e umidade do ambiente, sua pesquisa sobre a biologia dessas plantas já serviu para que esses parâmetros fossem ajustados.

Sua tarefa agora é elaborar um catálogo ilustrado sobre a diversidade de plantas vasculares que possa ficar disponível na exposição ou ser levado para salas de aula e palestras. Além disso, elabore um croqui para apresentar à equipe da exposição na reunião de planejamento, mostrando como o espaço poderia ser organizado de forma a auxiliar os visitantes não apenas a conhecer a diversidade das plantas vasculares sem sementes, mas a entender sua classificação.

Então, para começar seu planejamento, seguem algumas reflexões:

- Tanto no catálogo quanto no croqui, as plantas expostas ficarão todas juntas ou podem ser agrupadas conforme suas características?

- Como poderiam ser divididas as seções do catálogo para representar a diversidade dessas plantas?

- Em caso de agrupá-las, por exemplo em canteiros, em quantos e quais espaços você dividiria a casa de vegetação?

- Que plantas seriam expostas em cada canteiro?

- De que forma poderia representar a diversidade de hábitos das plantas vasculares sem sementes?

Para começar, procure conhecer um pouco mais sobre as licófitas e as monilófitas.

Bons estudos!

Não pode faltar

Caro aluno, o conhecimento sobre a história de vida e a biologia das plantas está sendo construído ao longo do tempo, oferecendo cada vez mais evidências sobre as possíveis relações e classificações dos vegetais, o que tem mudado constantemente. A classificação e a filogenia das plantas vasculares sem sementes são relatadas como sendo muito instáveis e refletem diferentes interpretações das evidências disponíveis.



Pesquise mais

Consulte as páginas 32 a 35 e 154 do livro indicado, disponível em sua biblioteca virtual, para entender um pouco mais sobre critérios de classificação e escolhas de nomenclatura na sistemática botânica.

JUDD, Walter S. *et al.* **Sistemática vegetal** [recurso eletrônico]: um enfoque filogenético. Tradução: André Olmos Simões *et al.* 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

Nesta seção, seguimos a classificação das plantas vasculares sem sementes, bem como os dados estimados de sua diversidade, de acordo com o *Pteridophyte Phylogeny Group I* (Grupo de Filogenia das Pteridófitas - PPG I; SCHUETTPELZ *et al.*, 2016), sendo que divergências em relação a outras bibliografias podem ocorrer, tanto em relação às nomenclaturas quanto ao número de famílias, gêneros e espécies.

Um breve histórico evolutivo já foi tratado nas Seções 4.1 e 4.2, portanto, aqui, descreveremos as principais características dos grupos atuais. As plantas vasculares são divididas em dois grupos: Licófitas (classe Lycopodiopsida) e Eufilófitas. Dentro das eufilófitas, as plantas vasculares sem sementes estão incluídas em um clado que inclui diversas linhagens de “samambaias”, as cavalinhas e plantas similares, nomeadas monilófitas (classe Polyodiopsida). As demais eufilófitas atuais constituem as plantas com sementes (espermatófitas).

Lycopodiopsida (Licófitas)

A classe Lycopodiopsida é uma linhagem que inclui as licófitas atuais, com mais de 1300 espécies. As licófitas modernas consistem em três ordens: Lycopodiales, Isoëtales e Selaginellales, cada uma com uma família.

De maneira geral, as plantas licófitas compartilham características, como: **caule** protostelo (ver Seção 4.1) com protoxilema exarco (maturação da periferia para o centro); **raízes** com protoxilema endarco (maturação do centro para a periferia) e ramificação dicotômica do ápice, mas sem raízes laterais; **folhas** do tipo microfilo (ver Seção 4.2); **esporângios** laterais (1 por folha, na face adaxial), reniformes ou cordiformes, achatados dorsiventralmente, com deiscência (abertura) transversal, dividindo o esporângio em dois.

Lycopodiales (licopódios)

Esta ordem contém 1 família (Lycopodiaceae), 16 gêneros e cerca de 388 espécies de plantas terrícolas, rupícolas ou epífitas, em geral de 5 a 20 cm de altura, embora algumas epífitas pendentes possam chegar a 2 m (Figura 4.13).

Os **caules** têm ramificação em geral dicotômica; formam rizoma ou cormo; são eretos, prostrados ou pendulares. As **raízes** têm ramificações dicotômicas. As **folhas** são simples e pequenas (no máximo 2 cm de comprimento), sésseis, verticiladas, sem lígula (prega ou tecido foliar no lado adaxial da base foliar). Os **esporângios** são homósporos (ver Seção 4.2), reniformes, agrupados em um estróbilo terminal ou nas axilas foliares, fotossintetizantes ou não. Os **gametófitos** são bissexuais, geralmente subterrâneos e micorrízicos ou podem crescer próximos à superfície do solo e ser fotossintetizantes.

Figura 4.13 | Diversidade de licopódios. (A) Gênero *Lycopodium*, evidenciando os estróbilos terminais. (B) e (C) *Palhinhaea cernua* – planta inteira e detalhe dos estróbilos pendentes



Fonte: (A): adaptada de iStock ; (B) e (C): <http://www.splink.org.br/search?lang=pt&collectioncode=FPS&images=withimages>. Acesso em: 18 jan. 2019.

Selaginellales (selaginelas)

Ordem com 1 família (Selaginellaceae), 1 gênero (*Selaginella*) e 700 espécies. As selaginelas crescem em ambientes variados, mas são bastante

diversificadas nos trópicos, onde muitas espécies crescem como epífitas, terrícolas ou rupícolas. São plantas geralmente herbáceas e perenes, com tamanho reduzido (2 cm de altura) e cultivadas para fins ornamentais e medicinais (Figura 4.14 A).

O **caule** é protostelo, com ramificação em geral dicotômica, às vezes pseudomonopodial (ver Seção 4.1), podendo ser ereto, rasteiro ou trepador. Possuem **raízes** adventícias com ramificações dicotômicas. As **folhas** são simples, com cerca de 0,5 a 1 cm de comprimento, liguladas e em disposição espiral. Os **esporângios** são heterosporados, dispostos nas axilas ou próximos das axilas de esporofilos bem diferenciados; algumas espécies formam estróbilos, geralmente terminais. Os **gametófitos** são unissexuados.

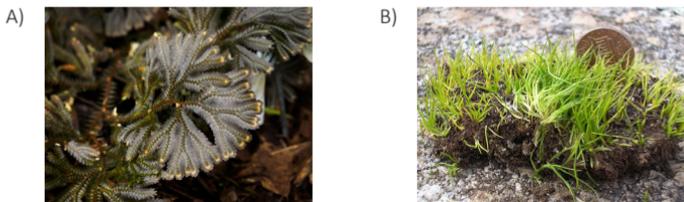
Isoëtales (isoetes)

Ordem com 1 família (Isoëtaceae), 1 gênero (*Isoetes*) e 700 espécies, é o único remanescente atual de um clado que inclui as licófitas gigantes do Carbonífero. Os representantes do grupo são plantas terrícolas ou aquáticas, com distribuição mundial e que são cultivadas para ornamentação (Figura 4.14 B).

Os **caules** são curtos e eretos, não ramificados, semelhantes a cormos, protostelos, com alguma atividade de crescimento secundário. As **raízes** são adventícias, não ramificadas ou dicotômicas.

As **folhas** geralmente são longas, simples, com lígula e arranjadas em espiral, geralmente com bainha. Os **esporângios** são heterosporados, nem sempre evidentes, solitários, localizados na face adaxial da base foliar. Os **gametófitos** são unissexuados.

Figura 4.14 | (A) *Selaginella intermedia*, evidenciando a ramificação dicotômica. (B) Tufo de *Isoetes tegetiformans*, espécie aquática de tamanho reduzido e ameaçada de extinção



Fonte: (A): adaptada de iStock. (B): Pete Pattavina/USFWS, 2006, em Domínio Público, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Isoetes_tegetiformans.jpg. Acesso em: 30 dez. 2018.



Exemplificando

Além das características morfoanatômicas, ecológicas e reprodutivas evidenciadas nesta seção, as pesquisas acerca da identificação, classificação e filogenia das plantas vasculares sem sementes contam com análises do genoma nuclear, dos cloroplastos e das mitocôndrias. Tamanho dos genomas, inversões, perdas e ganhos de genes são alguns dos aspectos investigados.

Polyodiopsida (Monilófitas): equisetidae

A classe Polyodiopsida é uma linhagem monofilética que engloba 4 subclasses: Equisetidae, Ophioglossidae, Marattiidae e Polyodiidae. Juntas, somam mais de 10.500 espécies e formam o grupo mais próximo às plantas com sementes. As monilófitas são, em sua maioria, chamadas de samambaias, mas apresentam grande diversidade morfológica, nem sempre condizente com o que conhecemos por samambaia.

De maneira geral, a maioria das plantas desse grupo têm **caule** subterrâneo, sifonostelo, com protoxilema mesarco (o xilema se desenvolve de uma região mediana em direção ao centro e à periferia) e crescimento pseudo-monopodial. As **raízes** têm protoxilema exarco, crescimento monopodial e, muitas vezes, são micorrízicas. As **folhas** são do tipo megafilo (maioria), compostas ou profundamente lobadas. Grande parte dessas folhas se abre a partir de um **báculo**, estrutura resultante de um tipo de desenvolvimento conhecido como **vernação circinada** - a face inferior das folhas cresce mais que a superior, resultando em um enrolamento inicial e, ao amadurecer, a folha se desenrola (Figura 4.18 B).

Os **esporângios** são terminais nos ramos laterais, com deiscência longitudinal e a maioria é homosporada. Os **gametófitos** são ao menos potencialmente bissexuais e produzem gametas masculinos multiflagelados. Quanto ao **material genético**, o cloroplasto das monilófitas apresenta DNA com inversão e duplicação de um trecho de 30 kB.



Assimile

Em relação aos tipos de esporângios, as “samambaias” podem ser:

eusporangiadas: os eusporângios desenvolvem-se a partir de muitas células e apresentam duas ou mais camadas de células no período de deiscência, sendo esta uma condição ancestral (plesiomorfia);

leptosporangiadas: os leptosporângios são produzidos a partir de uma única célula inicial e têm parede constituída por uma única camada de células. Esses leptosporângios nascem em um pedúnculo distinto e

possuem ânulo (*annulum* - ver Seção 4.2), sendo estruturas usadas como diagnóstico na classificação das samambaias.

As particularidades de cada subclasse serão discutidas brevemente a seguir.

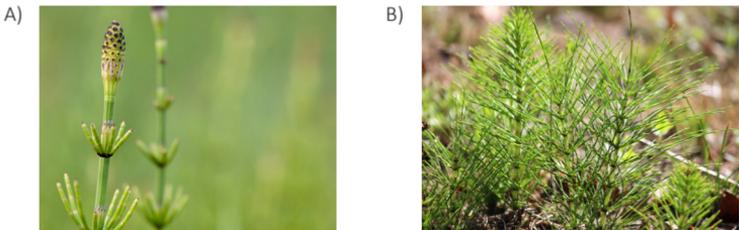
Equisetidae (cavalinhas)

Possui 1 única família, Equisetaceae, 1 gênero (*Equisetum*) e 15 espécies com ampla distribuição. São usadas para fins medicinais e alimentares, além de obtenção de corantes e fibras. Composta de plantas herbáceas, perenes e rizomatosas, terrícolas ou aquáticas, que geralmente crescem em ambientes abertos e alagados (Figura 4.15).

Os **caules** são subterrâneos ou aéreos - estes, fotossintetizantes, eretos ou rastejantes - em geral menores que 1 m de altura, mas podendo chegar a até 8 m de altura. São ocos e sulcados, com inclusões de sílica, inchados nos nós, não têm ramos ou com ramos dispostos em verticilo, morfologicamente similares ao caule principal. As **raízes** são finas, originadas em rizomas subterrâneos. Com poucas exceções, apresentam **folhas** pequenas (com até 2 cm de comprimento), simples, verticiladas, com uma ou nenhuma nervura - são do tipo microfilos, provavelmente por redução e simplificação de folhas megafilas ancestrais. Contêm bainhas e não se parecem superficialmente com as samambaias.

Os **esporângios** são grandes, alongados e se agrupam no ápice do caule, formando estróbilos terminais, verdes ou não - tornam-se verdes e ramificados por ocasião da liberação dos esporos. Os **esporos** são verdes, esféricos e se dispersam com auxílio de elatérios. Os **gametófitos** são bissexuados ou unissexuados, fotossintéticos e se desenvolvem na superfície do solo.

Figura 4.15 | A) Organização corporal de *Equisetum palustre*. B) *Equisetum arvense*., espécie com muitas ramificações laterais



Fonte: (A) e (B): adaptadas de iStock.

Polyodiopsida (Monilófitas): Ophioglossidae e Marattiidae

Ophioglossidae

Subclasse composta por duas ordens, muitas vezes reunidas em um grupo nomeado Psilopsida ou Psilotidae. Em comum, apresentam caules geralmente eretos ou rastejantes; sistema radicular reduzido, não ramificado e sem pelos radiculares; folhas pequenas e simples; gametófitos geralmente subterrâneos e micotróficos (não fotossintetizantes, micorrízicos); e esporos reniformes.

Ordem Ophioglossales, família Ophioglossaceae: com cerca de 10 gêneros e 112 espécies. São plantas herbáceas, perenes, terrícolas e rupícolas, menos frequentemente epífitas. Especialmente comum nos trópicos e em regiões temperadas, são usadas como alimento ou medicamento. A menor espécie de planta terrestre vascular sem semente pertence a este grupo: *Ophioglossum malviae* foi encontrada na Índia e descrita em 2018, atingindo de 1 a 1,2 cm (PATEL; REDDY, 2018).

Os **caules** são curtos, eretos, não-ramificados, primariamente subterrâneos, do tipo protostelo ou sifonostelo. Do rizoma subterrâneo crescem **raízes** não ramificadas, sem pelos, às vezes com gemas adventícias que podem originar uma nova planta. As **folhas** são geralmente solitárias (uma por caule), de poucos centímetros até 50 cm de comprimento, com lâmina simples ou composta e venação reticulada ou aberta. Às vezes apresentam um pedúnculo expandido na base, em forma de bainha, e são caracterizadas pelas frondes divididas em uma porção vegetativa (estéril) achatada e um segmento fértil portador de esporângios (Figura 4.16 A).

Os **esporângios** são eusporângios, homosporados e não se agrupam em soros: estão separados ou agrupados (sinângios), dispostos em ramos. Os **gametófitos** são subterrâneos, não fotossintetizantes e são micotróficos, dependendo de fungos para sua nutrição.

Ordem Psilotales, família Psilotaceae: com cerca de 2 gêneros e 17 espécies, ocorrem em regiões tropicais grande parte no Sudeste da Ásia e no Pacífico Sul. São herbáceas terrícolas rupícolas, mas também epífitas de palmeiras e samambaias arborescentes.

Os **caules** são aéreos eretos ou pendulares, simples ou dicotomicamente ramificados e fotossintetizantes. Não possuem **raízes**, sendo a planta ancorada por um sistema de caules subterrâneos com rizoides que realizam absorção e podem produzir gemas para reprodução vegetativa. As **folhas** são muito reduzidas, simples ou bifurcadas, com uma ou nenhuma nervura (podendo, neste caso, ser chamadas de enação), em formato de escamas ou

de espinhos (algumas podem atingir 2 cm de comprimento), dispostas em espiral.

Os **esporângios** são agrupados e fusionados (sinângios), bi- ou trilobados, grandes, sésseis ou acima da base de esporofilos bifurcados e, quando maduros, ficam amarelos (Figura 4.16 B). As plantas são **homosporadas**, com **esporos** de coloração pálida e em formato de ervilha. Os **gametófitos** são pequenos, vivem dentro ou sobre o solo, não são fotossintetizantes e podem ser micorrízicos.

Figura 4.16 | (A) *Ophioglossum vulgatum* (Ophioglossaceae). (B) *Psilotum nudum* (Psilotaceae)



Fonte: (A) e (B): adaptadas de iStock.



Refleta

Se as plantas representantes da família Psilotaceae não têm raízes, elas podem ser consideradas, de fato, plantas vasculares? A ausência desses órgãos teria relação com as plantas vasculares primitivas, como Rhynia (ver Seção 4.1)?

Marattiidae (maratiáceas)

Existem cerca de 111 espécies atuais nesse clado, pertencentes a 1 família (Marattiaceae), 6 gêneros. O grupo é composto por plantas terrestres e rupícolas, em geral grandes, com distribuição predominante em florestas tropicais e subtropicais úmidas. São cultivadas para fins ornamentais e alimentares, extração de óleos aromáticos e produção de bebidas alcoólicas.

Os **caules** são do tipo sifonostelo policíclico (com dois ou mais anéis concêntricos de feixes vasculares), eretos ou rizomatosos e volumosos. As **raízes** são caracterizadas por produzirem mucilagem. As **frondes** são geralmente grandes e pinadas, frequentemente coriáceas, com venação circinada, com estruturas semelhantes a estípulas nas laterais dos pecíolos.

Os **esporângios** (eusporângios, homosporados) são distribuídos em aglomerados característicos (às vezes fusionados) localizados na face abaxial das lâminas dos folíolos e abrem-se em fenda longitudinal ou poros. Os soros não são cobertos por indúcio (exindusiados). Os **gametófitos** são verdes, fotossintetizantes e se localizam na superfície do solo.

Figura 4.17 | Diversidade de Marattiaceae. (A) *Angiopteris evecta*, evidenciando as frondes grandes. (B) Detalhe das folhas coriáceas, compostas e pinadas de *Ptisana salicina*



Fonte: (A): adaptada de Forest & Kim Starr, 2007, licenciada sob Creative Commons 3.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr_070306-5188_Angiopteris_evecta.jpg; (B): Kahuroa, 2007, em Domínio Público, via Wikimedia Commons. Disponível em: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:KingFernFrond.jpg>. Acessos em: 30 dez. 2018.

Polypodiopsida (Monilófitas): Polypodiidae

A subclasse Polypodiidae compreende as **samambaias leptosporangiadas**, o grupo mais diverso dentre as plantas vasculares sem sementes. Cerca de 44 famílias comportam centenas de gêneros e milhares de espécies. Grande parte das plantas deste grupo é composta por herbáceas perenes ou esporófitos arborescentes, mas também há representantes aquáticos, como as Salviniálias (famílias Salviniaceae e Marsileaceae) e epífitas. São cultivadas para fins ornamentais, alimentares, medicinais e para obtenção de fibras.

Os **caules** podem ser rizomatosos (subterrâneos ou não) e aqueles de espécies arborescentes podem chegar a 20 m de altura. Anatomicamente, os caules podem ser do tipo sifonostelo, dictiostelo ou protostelo. As **raízes** tendem a crescer ao longo do caule. As **folhas** têm vernação circinada e, quando maduras, se apresentam em formas e tamanhos diversos: podem ser simples e inteiras ou divididas em lobos ou folíolos separados (Figura 4.18 A). Têm nervuras numerosas e bifurcadas, arranjo espiralado, podem ser monomórficas (todas similares) ou dimórficas (folhas estéreis e férteis morfológicamente diferentes). Samambaias leptosporangiadas podem apresentar tricomas ou escamas no caule, no pecíolo ou limbo.

Figura 4.18 | A) Morfologia de folha e caule (rizoma) comum em samambaias leptosporangia-
das. (B) Folhagem de *Athyrium filix-femina* (família Athyriaceae), evidenciando báculos (ver-
nação circinada)



Fonte: (A): adaptada de Auckland Museum, 2014, licenciada sob Creative Commons 4.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teratophyllum_wilkesianum_\(Brack.\)_Holtum_\(AM_AK355606-2\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teratophyllum_wilkesianum_(Brack.)_Holtum_(AM_AK355606-2).jpg). Acesso em: 30 dez. 2018. (B): iStock.

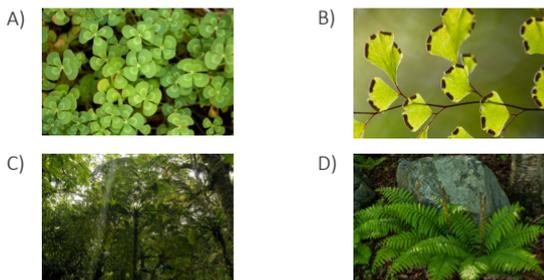


Exemplificando

Variações no tamanho das folhas, no tipo (simples, pinada, etc.), na divisão e na venação (aberta, reticulada, etc.) constituem características primárias na identificação das samambaias. Presença ou ausência de indúscio, bem como seu formato ou forma e tamanho do soros e dos esporos também são importantes características taxonômicas.

Como característica mais distintiva dessas plantas, os **esporângios são leptosporangiados**, geralmente agrupados em soros, mas podem estar espalhados na superfície abaxial das folhas ou em esporocarpos. Os esporângios homosporados são providos de ânulo (maioria) e podem ou não ser cobertos por indúscio. Os **gametófitos** são pequenos e geralmente fotossintéticos, desenvolvem-se na superfície ou abaixo do solo, têm formatos variados e apresentam rizoides. Tanto gametófitos subterrâneos quanto superficiais dependem da água para a mobilidade dos gametas masculinos.

Figura 4.19 | Diversidade de samambaias leptosporangiadas. Famílias: (A) Marsileaceae; (B) Pteridaceae; (C) Cyatheaceae; (D) Osmundaceae



Fonte: adaptada de iStock.



Saiba mais

Pôster com o cladograma de uma das filogenias mais atuais das plantas vasculares, incluindo as principais características de cada grupo.

COLE, Theodor et al. **Filogenia das Traqueófitas – Plantas vasculares - Sistemática e principais características**, Edição em português de Tracheophyte Phylogeny Poster 2018/2.

Sem medo de errar

No início desta seção você recebeu a tarefa de elaborar um catálogo ilustrado sobre a diversidade de plantas vasculares sem sementes, além de um croqui para apresentar à equipe responsável pela exposição no jardim botânico. Você deveria pensar em como dividir as seções do catálogo para representar a diversidade desse grupo de plantas. No esboço do croqui, você deveria mostrar como planeja organizar uma casa de vegetação para que os visitantes conheçam um pouco mais sobre a diversidade e a classificação das plantas vasculares sem sementes.

É importante lembrar que em um catálogo como este e numa exposição, devemos equilibrar o uso de termos científicos e populares, além de não precisarmos detalhar todas as variáveis das classificações das plantas, mas sim apresentar uma noção de sua classificação e diversidade. Então, uma sugestão é que o catálogo seja dividido em duas seções, para apresentar os dois grandes grupos de plantas vasculares sem sementes, as licófitas e as monilófitas; e cada seção tenha subseções para cada um dos subgrupos. Por exemplo:

Seção 1: Licófitas (Lycopodiopsida)

- 1.1 Lycopodiales
- 1.2 Isöetales
- 1.3 Selaginellales

Seção 2: Monilófitas (Polypodiopsida)

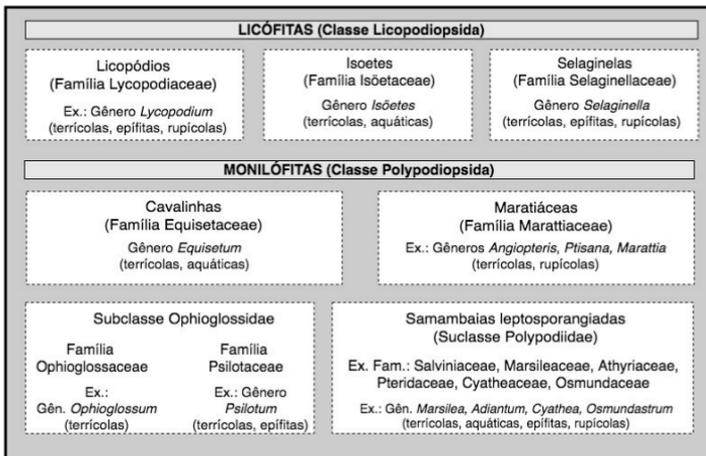
- 2.1 Equisetidae
- 2.2 Ophioglossidae
- 2.3 Marattiidae
- 2.4 Polypodiidae

Seguindo essa divisão, você poderá também organizar os espaços da casa de vegetação: cada divisão do espaço terá locais reservados para apresentar alguns subgrupos. Os espaços podem receber tanto nomes populares quanto científicos, preferivelmente os dois juntos.

Em relação às espécies do catálogo ou as expostas, é sempre interessante mostrar representantes da flora local, mas sempre que possível, diversificar e apresentar espécies que sejam de outros locais.

Ao apresentar plantas fora de seu ambiente natural, no caso da exposição, podemos lançar mão de plantá-las em canteiros ou em vasos. Mas, na medida do possível, incorpore elementos como fragmentos de rocha, troncos de árvores e tanques de água para mostrar que as plantas vasculares sem sementes podem ser terrestres, epífitas, aquáticas e rupícolas, por exemplo.

Veja a seguir uma sugestão de croqui que organiza essas informações, que pode também servir de base para a organização do seu catálogo:



Fonte: adaptado de Classificação PPG I (SCHUETTPELZ et al., 2016).

Em sua pesquisa para elaborar o croqui, você pode reunir fotos (ou, quem sabe, até mesmo produzi-las) para compor seu catálogo ilustrado de plantas vasculares sem sementes, aproveitando para agrupá-las conforme sua classificação.

Avançando na prática

Aula prática de... samambaias?

Descrição da situação-problema

É muito comum, em materiais didáticos voltados ao ensino básico, exemplificar as plantas vasculares sem sementes (“pteridófitas”) a partir das samambaias, ainda que sejam citados exemplos de outros grupos. Isso se deve,

em parte, por serem plantas geralmente conhecidas por muitos estudantes e por elas representarem uma grande parcela da diversidade do grupo. Faz parte do trabalho do professor, entretanto, procurar ampliar o conteúdo do material de referência e, na medida do possível, colocar os alunos em contato com a realidade que os cerca.

John é um professor de Biologia e entusiasta das aulas práticas. Ele precisa elaborar uma lista de material vegetal para compor um roteiro de aula prática em que possa apresentar a diversidade de tamanhos, formas e morfologia das plantas vasculares sem sementes, procurando extrapolar o mundo das “samambaias”. Que partes dessas plantas poderiam ser observadas em uma aula prática com essa finalidade, seja em laboratório ou em campo?

Resolução da situação-problema

John selecionou estruturas facilmente visíveis a olho nu ou com lupa simples (ou, ainda, que pudessem ser tateadas), como caules, folhas e esporângios de algumas plantas vasculares sem sementes.

- **Folhas:** pequenas, para representar as licófitas, cavalinhas e Ophioglossidae; grandes (simples ou compostas), para representar maratiáceas e samambaias leptosporangiadas. Báculos também podem ser usados como estrutura de identificação de samambaias e maratiáceas.

- **Caules:** pequenos e dicotômicos, como os das licófitas (exceto isoetes, que não são ramificados); ocos e sulcados, como os das cavalinhas; rizomas, encontrados em algumas maratiáceas e samambaias leptosporangiadas.

- **Esporângios:** estróbilos, como os de lycopódios e cavalinhas; axilares, como os de selaginelas; foliares, como os de isoetes, Ophioglossaceae, maratiáceas e samambaias leptosporangiadas – agrupados em soros, espalhados pela face abaxal ou separados em folhas férteis morfologicamente distintas das estéreis; sinângios, como os de Psilotaceae.

Faça valer a pena

1. Leia os trechos a seguir que descrevem grupos de plantas vasculares sem sementes:
I. As plantas deste grupo têm folhas com uma nervura não ramificada chamada microfilo. Alguns representantes, como os lycopódios, produzem esporos em uma estrutura denominada estróbilo, posicionada no ápice dos ramos ou na base das folhas.
II. Grupo mais diverso dentre as plantas vasculares sem sementes, com representantes conhecidos por suas folhas iniciarem o desenvolvimento enroladas numa estrutura chamada báculo. As raízes dessas plantas, muitas vezes, crescem ao longo do caule, que pode ser subterrâneo ou não.

Marque a alternativa que identifica corretamente os grupos descritos.

- a) I – licófitas; II – selaginelas.
- b) I – cavalinhas; II – licófitas.
- c) I – licófitas; II – samambaias leptosporangiadas.
- d) I – samambaias leptosporangiadas; II – hepáticas.
- e) I – licófitas; II – hepáticas.

2. Análise as seguintes afirmativas a respeito da diversidade de plantas vasculares sem sementes:

- I. As monilófitas formam o grupo mais numeroso de espécies.
- II. As samambaias arborescentes integram o grupo das licófitas.
- III. Os estróbilos não são importantes para a classificação dessas plantas, pois estão presentes em todos os representantes.

Marque a alternativa correta.

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

3. Análise as descrições dos grupos de monilófitas a seguir:

- I. Herbáceas, com caules aéreos eretos, ocos, sulcados e com inclusões de sílica. Folhas reduzidas. Estróbilos terminais.
- II. Sem raízes. Caules aéreos eretos ou pendulares, simples ou com ramificação dicotômica. Esporângios lobados e fusionados, formando sinângio.
- III. Caules rizomatosos ou arborescentes. Folhas simples ou compostas, com formas e tamanhos variados, numerosas nervuras e podem ser monomórficas ou dimórficas. Esporângios podem estar agrupados em soros ou espalhados pela face abaxial das folhas, cobertos ou não por indúcio.

Com base na classificação apresentada neste material, marque a alternativa que apresenta corretamente a subclasse e/ou a ordem descrita em cada item.

- a) I – Ophiglossidae/Psilotales; II – Polypodiidae; III – Lycopodiales.
- b) I – Equisetidae; II – Ophiglossidae/Ophiglossales; III – Isoetales.
- c) I – Marattiidae; II – Polypodiidae; III – Equisetidae.
- d) I – Equisetidae; II – Ophiglossidae/Psilotales; III – Polypodiidae.
- e) I – Polypodiidae; II – Ophiglossidae/Psilotales; III – Selaginellales.

Referências

- BEERLING, D. J.; FLEMING, A. J. Zimmermann's telome theory of megaphyll leaf evolution: a molecular and cellular critique. **Current Opinion in Plant Biology**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 4-12, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2006.11.006>.
- CRUZ, G. D.; BRACARENSE, A. P. F. R. L. Toxicidade da samambaia (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) para a saúde animal e humana. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 25, n. 3, p. 249-257, 19 maio 2004. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2004v25n3p249>.
- ESSIG, F. B. Plants Invade the Land. In: ESSIG, F. B. **A brief history of plant life**. [S.l.]: Oxford University Press, 2015. Cap. 3. p. 47-72.
- ESSIG, F. B. Vascular Plants and the Rise of Trees. In: ESSIG, F. B. **A brief history of plant life**. [S.l.]: Oxford University Press, 2015. Cap. 4. p. 73-94.
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Plantas Vasculares sem Sementes. In: EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven | Biologia vegetal**. Tradução: Ana Claudia M. Vieira et al. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. Cap. 17. p. 753-810.
- FERNANDES, A. W. C. et al. Atividade antimicrobiana in vitro de extratos de plantas do bioma caatinga em isolados de *Escherichia coli* de suínos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, [S.l.], v. 17, n. 43, p. 1097-1102, 2015. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/1983-084x/14_159. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-05722015000701097. Acesso em: 21 dez. 2018.
- FLORA do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 1 jan. 2019
- HETHERINGTON, A. J.; DOLAN, L. Stepwise and independent origins of roots among land plants. **Nature**, [S.l.], v. 561, n. 7722, p.235-238, 22 ago. 2018. Springer Nature America, Inc. <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-018-0445-z>.
- JUDD, W. S. et al. Licófitas, Samambaias e Gimnospermas. In: JUDD, W. S. et al. **Sistemática vegetal [recurso eletrônico]: um enfoque filogenético**. Tradução: André Olmos Simões et.al. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. Cap. 8. p. 185-224.

KADEREIT, J. W.; BRESINSKY, A. Systematics and Phylogeny. In: BRESINSKY, Andreas et al. **Strasburger's Plant Sciences**. Heidelberg: Springer, 2013. Cap. 10. p. 665-1040.

KENRICK, P.; CRANE, P. **Embryophytes**. Land Plants. Version 01 January 1996 (temporary). Disponível em: <http://tolweb.org/Embryophytes/20582/1996.01.01>. Acesso em: 28 dez. 2018. The Tree of Life Web Project.

KENRICK, P.; STRULLU-DERRIEN, C. The Origin and Early Evolution of Roots. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 166, n. 2, p. 570-580, 3 set. 2014. American Society of Plant Biologists (ASPB). <http://dx.doi.org/10.1104/pp.114.244517>. Disponível em: <http://www.plantphysiol.org/content/166/2/570/tab-figures-data>. Acesso em: 12 dez. 2018.

KIDSTON, R.; LANG, W. H. On old red sandstone plants showing structure, from the Rhynie Chert bed, Aberdeenshire: Part IV. Restorations of the vascular cryptogams, and discussion of their bearing on the general morphology of the pteridophyta and the origin of the organisation of land-plants. **Royal Society of Edinburgh Transactions**, [S.l.] v. 52, n. 4, p. 831-854, 1921.

MAROYI, A. Not just minor wild edible forest products: consumption of pteridophytes in sub-Saharan Africa. **Journal Of Ethnobiology And Ethnomedicine**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 78-86, 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1186/1746-4269-10-78>. Disponível em: <https://ethnobiomed.biomedcentral.com/articles/10.1186/1746-4269-10-78>. Acesso em: 21 dez. 2018.

MORRIS, J. L. et al. The timescale of early land plant evolution. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.l.], v. 115, n. 10, p. E2274-E2283, 20 fev. 2018. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1719588115>. Disponível em: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1719588115>. Acesso em: 7 dez. 2018.

PATEL, M.; REDDY, M. N. Discovery of the World's Smallest Terrestrial Pteridophyte. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 5911-5917, 12 abr. 2018. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-24135-2>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-24135-2#right-slink>. Acesso em: 21 dez. 2018.

REECE, J. B. et al. Diversidade Vegetal I: Como as Plantas Colonizaram o Ambiente Terrestre. In: REECE, J. B. et al. **Biologia de Campbell [recurso eletrônico]**. Tradução: Anne D. Villela et al. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. Cap. 29. p. 612-629.

SÁ, P. G. S. de et al. Antinociceptive effect of ethanolic extract of *Selaginella convoluta* in mice. **Bmc Complementary And Alternative Medicine**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 1-7, 19 out. 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1186/1472-6882-12-187>. Disponível em: <https://bmccomplementarnmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6882-12-187>. Acesso em: 21 dez. 2018.

SCAGEL, R. F. et al. Evolution and phylogeny. In: SCAGEL, R. F. et al. **Plants, an evolutionary survey**. Belmont: Wadsworth, 1984. Cap. 27. p. 658-695.

SCHUETTPELZ, E. et al. (Org.). A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal Of Systematics And Evolution*, [S.l.], v. 54, n. 6, p. 563-603, nov. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jse.12229>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jse.12229>. Acesso em: 28 dez. 2018.

SHARPE, J. M.; MEHLTRETER, K.; WALKER, L. R. Ecological importance of ferns. In: MEHLTRETER, K.; WALKER, L. R.; SHARPE, J. M. (Ed.). **Fern Ecology**, [S.l.]: Cambridge University Press, 2010. Cap. 1. p. 1-21.

SIMPSON, M. G. Evolution and diversity of vascular plants. In: SIMPSON, M. G. **Plant Systematics**. 2. ed. [S.l.]: Academic Press, 2010. Cap. 4. p. 73-128.

STEVENS, P. F. **Angiosperm Phylogeny Website**. Version 14, 2017. Disponível em: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>. Acesso em: 27 dez. 2018.

TAYLOR, T. N.; TAYLOR, E. L.; KRINGS, M. Introduction to Vascular Plant Morphology and Anatomy. In: TAYLOR, T. N.; TAYLOR, E. L.; KRINGS, M. **Paleobotany: The Biology and Evolution of Fossil Plants**. 2. ed. [S.l.]: Academic Press, 2009. Cap. 7. p. 201-222.

TUN, M. K. M.; WÜSTMANN, D.-J.; HERZON, S. B. A robust and scalable synthesis of the potent neuroprotective agent (-)-huperzine A. **Chemical Science**, [S.l.], v. 2, n. 11, p. 2251-2253, 2011. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c1sc00455g>.

ISBN 978-85-522-1376-5



9 788552 213765 >