

DISCIPLINA TÓPICOS ESPECIAIS EM ENSINO DE BIOLOGIA I – BIODIVERSIDADE

Prof^a. Débora Machado Corrêa¹

Prof. Emerson Contreira Mossolin¹

Prof. Hélder Nagai Consolaro¹

Sejam bem-vindos à disciplina Tópicos Especiais em Ensino de Biologia I – Biodiversidade. Nesta disciplina, serão trabalhados temas nas áreas da Botânica, Zoologia e Ecologia. Abordaremos também assuntos ligados à diversidade dos organismos e aos processos ecológicos, nos quais estão envolvidos. Os assuntos acima descritos serão trabalhados para ser utilizados na educação básica.

A disciplina foi dividida em quatro unidades ou eixos temáticos, nos quais serão fornecidos norteadores teóricos para os alunos adquirirem conhecimento sobre o tema e sugestões de aulas práticas para serem aplicadas em sala.

Na unidade 1 – “Biodiversidade I”, iremos abordar os seres vivos e os sistemas de classificação da vida. Abordaremos também as bactérias, fungos e protistas.

Na unidade 2 – “Biodiversidade II”, iremos abordar assuntos ligados à Botânica. Os subtemas trabalhados serão: Biologia e Sistemática das Criptógamas e Fanerógamas e Fisiologia Vegetal. Além disso, serão sugeridas pequenas aulas práticas dentro de cada subtema.

Na unidade 3 – “Biodiversidade III”, vamos abordar assuntos ligados à Zoologia. Os subtemas trabalhados serão: Biologia e Sistemática dos Invertebrados e Vertebrados.

Na unidade 4 – “Biodiversidade IV”, iremos abordar assuntos ligados à Ecologia. Os subtemas trabalhados serão: Ecologia de Ecossistemas, Ecologia de Populações e Ecologia de Comunidades.

Bom trabalho a todos!

¹ Docentes da UAE IBiotec, Área de Ciências Biológicas na Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão

UNIDADE 1: BIODIVERSIDADE I

Ao olhar pela janela fica claro que um ecossistema pode abrigar grande diversidade de espécies. O homem, ao longo do tempo, realizou várias tentativas de nomear e sistematizar os organismos vivos. Hoje, temos regras para nomear os seres vivos que devem ser seguidas pelos pesquisadores de todo o mundo, definidas pelos Códigos Internacionais de Nomenclatura Botânica, Zoológica e de Bactérias. Ao longo dos séculos, os nossos objetivos em termos de sistematizar tal diversidade também se modificaram, deixando de ter meramente o propósito de indexar os organismos vivos conhecidos e passando a buscar elucidar as relações de afinidade evolutiva entre eles.

Nesta unidade, iremos discutir as origens do sistema de classificação moderno dos organismos vivos, seus conceitos e objetivos. Também iremos iniciar a discussão sobre a origem da diversidade celular, a partir de um ancestral procariótico comum e conhecer as bactérias, fungos e protozoários.

1. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS ORGANISMOS VIVOS

1.1 POR QUE CLASSIFICAR?

Atualmente existem estimativas de que na Terra tem cerca de 10 milhões de espécies de eucariotos e um número incalculável de formas de vida procarióticas (EVERT & EICHHORN, 2014). A noção de que há grande diversidade entre os organismos vivos, contudo, não é novidade para o ser humano, uma vez que este sempre selecionou recursos alimentares entre a diversidade de animais, vegetais e fungos existentes. Desta forma, muito cedo na história, o homem tentou elaborar sistemas de classificação dos organismos, baseado em suas necessidades do momento.

Aristóteles (348-322 a.C.) pode ser considerado o primeiro a classificar os organismos, reconhecendo em seu trabalho o homem e os animais como formas animadas (providas de alma) e as plantas e os minerais como inanimados (não providos de alma). Seus trabalhos foram de importante contribuição para zoologia, fundando campos como a ictiologia. Teofrasto (372-287 a.C), discípulo de Aristóteles, por sua vez, pode ser considerado o pai da Botânica, por sua contribuição para a classificação das plantas; até o século XV, suas obras são consideradas as de maior relevância para a área. Desde então, o homem realizou várias tentativas de classificação dos organismos (EVERT & EICHHORN, 2014).

A realidade da diversidade biológica é extremamente complexa e sem a taxonomia, sem organizar as características intrínsecas dos organismos em níveis hierárquicos, seria muito difícil para nós acessar esta diversidade. Como analogia, se você precisasse procurar por um livro numa biblioteca, mas os volumes não estivessem organizados nas prateleiras por autoria, título ou por assunto, seria bem difícil encontrar o livro que você procura.

A adoção de um código internacional de nomenclatura biológica permite que pesquisadores de qualquer lugar do mundo tenham a certeza que estão se referindo ao mesmo táxon, já que este não pode receber dois nomes distintos. Desta forma, quando um pesquisador na China se refere a *Malus domestica* (maçã), um pesquisador no Brasil tem a confiança de que sabe a que espécie ele está se referindo.

1.2 CONCEITOS E OBJETIVOS

A classificação dos organismos envolve a elaboração de um sistema lógico de categorias que agrupe e categorize os seres vivos de forma hierárquica, ou seja, criamos grupos de abrangência mais ampla que comportam categorias sucessivamente mais excludentes (STACE, 1992). Um táxon corresponde a um grupo taxonômico em qualquer nível. O nível em que um táxon está ordenado chama-se categoria. Assim, *Eucalyptus* é um táxon, ordenado na categoria gênero.

Atualmente, a categoria taxonômica mais inclusiva é o domínio, seguido pela categoria reino, e a categoria mais excludente é a espécie. Existem categorias taxonômicas hierárquicas entre os níveis de espécie e reino, desta forma, várias espécies são agrupadas em um gênero; vários gêneros podem ser agrupados em uma família; várias famílias em uma ordem; várias ordens em uma classe; várias classes dentro de um filo e vários filios dentro de um reino (EVERT & EICHHORN, 2014).

O nome de uma espécie é composto de duas partes, um nome genérico e o epíteto específico. Assim, para *Malus domestica*, *Malus* é o nome do gênero e *domestica* é o nome específico. Este sistema é chamado de sistema binomial e foi popularizado pelo naturalista sueco Linnaeus, no século XVIII.

Originalmente, Linnaeus descrevia as espécies através de um polinômio, ou seja, uma frase de até 12 palavras em latim, a qual julgava ser a nomeação adequada para aquela espécie. Mais tarde, passou a anotar uma única palavra na margem de sua obra, junto ao polinômio de cada espécie, que quando combinada à primeira palavra do polinômio (o gênero), formava uma denominação abreviada para a espécie. Por uma questão de comodidade, o próprio Linnaeus e seus contemporâneos passaram a utilizar este binômio para se referir a cada espécie, tornando o seu uso popular. Cabe lembrar que, embora Linnaeus tenha sido o responsável por difundir o uso do sistema binomial, seu criador foi Caspar Bauhin, no século XVI.

O especialista em sistemática quando descreve uma nova espécie, atribuindo-lhe um nome científico baseado nas regras de nomenclatura vigentes, está classificando. Quando você reconhece esta mesma espécie, no campo ou num herbário, está identificando (AGUIAR, 2013).

É necessário fazer uma distinção entre taxonomia e sistemática. A sistemática consiste no estudo comparativo das características (morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, genéticas, etc.) dos organismos vivos a fim de recriar sua história evolutiva, a partir das relações de parentesco e afinidade entre as diversas espécies. Desta forma, a taxonomia é

apenas um dos aspectos da sistemática, que visa classificar, identificar e nomear os organismos vivos. Idealmente, o objetivo da sistemática é descobrir todos os ramos da árvore filogenética da vida, que representa as relações de parentesco entre os organismos, com uma única espécie ancestral em sua base (EVERT & EICHHORN, 2014). Contudo, isto não é uma tarefa fácil e à medida que novas informações sobre os organismos são produzidas, pode ser necessário rever as relações de genealogia atribuídas previamente a eles.

Um táxon constitui-se, *a priori*, num grupo monofilético ou natural, que é aquele que inclui todos os descendentes, atuais ou extintos, de um ancestral imediato comum. Quando um táxon não é monofilético, dizemos que constitui um grupo artificial. São exemplos de grupos artificiais os parafiléticos e os polifiléticos, os primeiros são aqueles que incluem o ancestral mais recente do grupo e parte de seus descendentes, mas não todos; os segundos são aqueles que incluem taxóons de dois ou mais grupos monofiléticos, ou seja, o ancestral mais recente de todos os membros do grupo não está representado no agrupamento, o que implica que seus membros tiveram pelo menos duas origens distintas.

Um dos métodos mais utilizados na classificação de organismos é a cladística, que visa elucidar as relações filogenéticas entre os táxons. A representação gráfica de uma hipótese sobre as relações filogenéticas entre um grupo de organismos é chamada de cladograma ou árvore evolutiva. Através do cladograma procura-se representar as ramificações de uma linhagem a partir de seu ancestral mais recente. A partir da análise cladística, um grupo monofilético ou clado pode ser delimitado, observando-se entre seus membros caracteres derivados compartilhados (sinapomorfias). As apomorfias são estados de caracteres que se originam no ancestral comum do grupo, representando uma novidade evolutiva, e são compartilhadas por seus descendentes. Os estados de um caráter são duas ou mais formas de um aspecto específico, como, por exemplo, a presença ou não de lignina, presença ou ausência de sementes (EVERT & EICHHORN, 2014).

Um cladograma deve, necessariamente, ser enraizado, ou seja, ao construir uma hipótese filogenética, é preciso indicar um sentido de leitura, determinando quais estados de caráter são mais recentes (derivados) e quais são mais antigos (ancestrais), assim, é possível reconhecer os estados de caracteres derivados compartilhados que definem os clados. Para enraizar uma árvore, deve-se utilizar um grupo externo, que é um táxon muito próximo do grupo estudado, mas que não faz parte dele e no qual se considera que o estado do caráter analisado esteja representado na condição ancestral.

Do ponto de vista prático, a cladística tem uma limitação: como o método procura reproduzir as relações evolutivas dos táxons, podem delimitar clados formados por organismos morfologicamente inconsistentes e pouco didáticos, o que dificulta sua compreensão pelos leigos (AGUIAR, 2013).

1.3 PRINCIPAIS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DOS ORGANISMOS

Em 1969, Robert Whittaker propôs um sistema de classificação que dividia os seres vivos em cinco reinos: Monera, Protista, Fungi, Plantae e Animalia. Este sistema era

baseado principalmente em critérios como organização celular e status dos seres vivos na cadeia trófica (produtores, consumidores ou decompositores). Por constituir-se de um sistema de classificação didático, tornou-se popular ao longo do século XX e ainda está presente na forma em que os conteúdos relativos à diversidade biológica são organizados na maioria dos livros didáticos. Contudo, este sistema de classificação representa um sistema artificial, pois não reflete adequadamente as relações de parentesco entre os seres vivos distribuídos nestes cinco reinos (HAGEN, 2012).

Em 1990, Carl Woese, baseando-se em análises moleculares, observou que entre os seres vivos de organização celular procariótica havia linhagens (as arqueas, antes chamadas de arqueobactérias) mais próximas evolutivamente dos eucariotos do que de outras linhagens procarióticas (as eubactérias), o que indicava que o Reino Monera representava um agrupamento artificial. Para contornar este problema, propôs um novo sistema de classificação, que agrupou os organismos vivos em três domínios: Archaea (arqueas), Bacteria (bactérias) e Eukarya (eucariotos). Através deste novo sistema, Woese propôs a criação de uma nova categoria taxonômica, mais abrangente que reino, o domínio.

No Domínio Eukarya estão agrupados todos os eucariotos, que tradicionalmente eram agrupados nos reinos Plantae, Fungi, Protista e Animalia, contudo, atualmente é aceito que os eucariotos estejam divididos em sete supergrupos (categoria intermediária entre domínio e reino) (EVERT & EICHHORN, 2014). O Reino Protista não é mais reconhecido como um grupo monofilético e os táxons, que estavam inseridos nele, estão distribuídos entre estes sete grupos de Eukarya. O Reino Plantae e alguns filos de algas relacionados formam o supergrupo Archaeplastida. O Reino Animalia, o Fungi e alguns organismos, antes incluídos em Protista, formam o supergrupo Opisthokonta. Tal revisão do posicionamento dos eucariotos encontra-se em andamento, assim como a manutenção do domínio Archaea, tal como foi originalmente concebido, encontra-se em revisão. Possivelmente, nos próximos anos, veremos surgir outras hipóteses que melhor elucidem a filogenia destes grupos e há indícios de que o sistema dos três domínios deva ser reformulado (WILLIAMS ET AL., 2014).

2. ORIGEM DA COMPARTIMENTALIZAÇÃO CELULAR DOS EUCARIOTOS

Os organismos vivos mais antigos da Terra eram procariotos, ou seja, não possuíam compartimentalização celular. Atualmente, sabemos que todos os organismos vivos que conhecemos compartilham um ancestral procariótico comum. Então, como as organelas celulares, que são características dos eucariotos, teriam surgido?

Postula-se que a compartimentalização intracelular das células eucarióticas tenha se originado a partir de invaginações da membrana citoplasmática, que posteriormente se especializaram na realização de diferentes tarefas dentro da célula. Esta teoria é conhecida como hipótese autogênica e explica de forma satisfatória a origem de organelas como o complexo de Golgi, vacúolos, retículo endoplasmático e o envelope nuclear. Contudo, esta hipótese não explica de forma convincente o aparecimento de organelas como as mitocôndrias e os cloroplastos. Estas organelas possuem envelope duplo de membranas,

são capazes de se autorreplicarem, possuindo material genético próprio e ribossomos do tipo 70S.

A teoria mais aceita para explicar o aparecimento destas organelas é a teoria endossimbiótica. Este processo é caracterizado pela ingestão de um procarioto por um eucarioto fagocítico (capaz de englobar partículas). Durante a ingestão do procarioto, um vacúolo fagocítico é formado, envolvendo-o, porém, após o processo de ingestão, o procarioto não é digerido, sendo mantido dentro do eucarioto hospedeiro. O procarioto, posteriormente, durante o curso da evolução, perde a parede celular e seu genoma é reduzido, passando a depender, parcialmente, de fatores codificados pelo genoma do hospedeiro para sua manutenção e passando a integrar a célula eucariótica como uma organela. Como resultado, temos a formação de uma organela revestida por duas membranas, uma de origem do vacúolo fagocítico e a outra correspondente à membrana citoplasmática do procarioto fagocitado. No caso das mitocôndrias, sabemos que o procarioto fagocitado era uma alfa-proteobactéria e que todos eucariotos herdaram tais organelas de um eucarioto ancestral comum (EVERT & EICHHORN, 2014). Já em relação aos cloroplastos, sabemos que o procarioto fagocitado era uma cianobactéria, que é uma bactéria fotossintetizante, e que os cloroplastos de parte das linhagens fotossintetizantes foram herdados de um ancestral comum, porém existem cloroplastos originados de endossimbioses secundárias ou terciárias, o que resulta em cloroplastos revestidos por três ou mais membranas (LEE, 2008).

3. PRINCIPAIS GRUPOS DE ORGANISMOS

3.1 VÍRUS

Os vírus são parasitas obrigatórios de organização não celular, de tamanho extremamente reduzido, variando entre 200 e 28 nanômetros. No estado extracelular são constituídos de envoltório proteico, chamado capsídeo, que protege uma porção central de ácido nucleico, que corresponde ao genoma viral. Esta estrutura é chamada vírion ou partícula viral, e é através dela que um vírus pode ser transmitido de uma célula hospedeira para outra. Como você deve ter percebido, os vírus não possuem como unidade básica, a célula, por isto, existe controvérsia dentro da comunidade científica se realmente deveriam ser considerados como organismos vivos.

O vírus precisa encontrar uma célula hospedeira compatível para se multiplicar. Quando uma célula hospedeira é encontrada, o genoma viral é introduzido em seu interior e no estado intracelular, a replicação do material genético do vírus e das partículas proteicas que formam seu envoltório têm início. Neste estado, dizemos que a célula foi infectada e, a partir daí, a maquinaria e as funções metabólicas da célula hospedeira são redirecionadas pelo vírus. Existe grande diversidade de vírus e eles podem infectar todos os grupos de organismos vivos de que temos conhecimento.

O material genético dos vírus é composto exclusivamente de DNA ou de RNA, que podem estar na forma de fita simples ou dupla. Contudo existem vírus que utilizam DNA e

RNA durante diferentes fases de seu ciclo reprodutivo, como é o caso dos retrovírus e do vírus da hepatite B (MADIGAN ET AL., 2010).

O ciclo reprodutivo dos vírus pode ser sintetizado em cinco etapas: 1) adsorção viral, que corresponde à fase de reconhecimento e fixação na superfície da célula hospedeira; 2) infecção, que é a penetração do genoma viral na célula hospedeira; 3) síntese de ácidos nucleicos e proteínas virais através do controle da maquinaria celular do hospedeiro; 4) montagem e empacotamento das partículas virais; e 5) liberação de novos vírions que podem infectar novas células (MADIGAN ET AL., 2010).

Existem estimativas de que mais de 60% das doenças infecciosas do homem sejam causadas por vírus em países desenvolvidos (TORTORA ET AL., 2012), e que mais de 2 mil doenças de plantas sejam virais (EVERT & EICHHORN, 2014). Assim, os vírus constituem parasitas que representam grande prejuízo para o homem, seja por efeito de sua ação direta sobre a espécie, ou indiretamente, por causar perdas em criações de animais ou por reduzir a produtividade de colheitas.

3.2 PROCARIOTOS

Os organismos procariotos representam as formas de vida mais antigas que habitam a Terra, sendo os primeiros registros destas formas de vida datados de 3,5 bilhões de anos. A evolução dos procariotos, ao longo tempo geológico, lhes permitiu desenvolver uma ampla gama de estratégias adaptativas que é refletida na grande diversidade do grupo e na quantidade de habitats que conseguem colonizar, sendo considerados os organismos mais numerosos da Terra. Apesar de possuírem tamanho microscópico, entre 0,2 a 10 μm , estima-se que a biomassa de procariotos que existe na Terra deve ser superior à biomassa total de todos os organismos eucarióticos somados.

Praticamente não existem ambientes livres de procariotos na Terra, inclusive a superfície de todos os outros organismos vivos e suas cavidades abertas (boca e trato gastrointestinal) são povoadas por procariotos. Existem procariotos que vivem em ambientes extremos, nos quais poucas formas de vida conseguem sobreviver, como fontes termais, em regiões polares, ambientes salinos, nas zonas abissais dos oceanos, etc.

Os procariotos desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes inorgânicos dos compartimentos ambientais que ocupam, na decomposição da matéria orgânica, na produção de alimentos, como derivados do leite e embutidos, na produção de compostos de interesse farmacêutico, biocombustíveis, etc. Por outro lado, são importantes agentes infecciosos, causando doenças no homem e em outros animais e em plantas.

Estes organismos, estão representados em dois domínios, o primeiro, Domínio Bacteria, inclui as linhagens mais antigas de bactérias autotróficas quimiossintetizantes termofílicas (gênero *Aquifex*), que oxidam o hidrogênio gasoso ou que reduzem compostos sulfurosos; as linhagens de autótrofos fotossintetizantes, representadas pelas cianobactérias e pelas bactérias purpúreas e verdes; as proteobactérias e as bactérias Gram-positivas. Representam o grupo mais diverso entre os procariotos e estão distribuídos em 17 filos.

O segundo, Domínio Archaea, inclui as arqueas, que são organismos não patogênicos, geralmente habitantes de ambientes extremos, incluindo também representantes da microbiota do solo, de lagos gelados e do picoplâncton marinho. Possuem paredes desprovidas de peptidoglicano e RNA polimerase mais complexa que das bactérias. São extremamente diversificadas em termos metabólicos e são divididas em três filos: Euryarchaeota, que compreende as arqueas que vivem em ambientes com altas salinidades (halófilas) e as produtoras de metano (metanogênicas); Crenarchaeota, que compreende as arqueas que vivem em ambientes de temperaturas extremas, próximas do ponto de ebulição ou de congelamento da água (hipertermófilas e psicrófilas, respectivamente); e Korarchaeota, que inclui representantes hipertermófilos que se ramificaram cedo na história evolutiva do grupo.

Os procariotos dos Domínios Archaea e Bacteria, apesar de não compartilharem o mesmo ancestral mais recente, apresentam características estruturais semelhantes. Não apresentam organelas celulares, o material genético por consequência não está envolvido por um envelope nuclear. Este é representado por uma única molécula de DNA circular associada a proteínas histonas (Archaea) ou não (Bacteria), altamente compactada e ancorada à membrana celular, numa região chamada nucleóide. Os procariotos também apresentam material genético na forma de plasmídios, que são capazes de se replicar sem o controle do cromossomo e podem ser considerados importantes meios pelos quais cepas bacterianas adquirem resistência a antibióticos ou outros fatores.

A membrana citoplasmática é constituída por uma dupla camada lipídica, que diferentemente dos eucariotos, é livre de esteróis. Os pigmentos das bactérias fotossintetizantes e os elementos da cadeia transportadora das bactérias aeróbias estão presentes em invaginações da membrana citoplasmática. No citosol podem ser observados vários tipos de grânulos de reserva nutricional.

Externamente à membrana citoplasmática, pode estar presente uma parede celular constituída de peptidoglicano nas bactérias, e de proteínas e/u polissacarídeos nas arqueas. As bactérias são classificadas como Gram-positivas ou Gram-negativas dependendo da constituição estrutural de suas paredes. Alguns poucos procariotos, como as micoplasmas, são desprovidos de parede. Revestindo a parede celular pode estar presente uma cápsula polissacarídica, chamada glicocálice, que tem função de proteger a célula contra dessecação e que permite a fixação do organismo a substratos específicos; este aspecto é particularmente importante para os representantes patogênicos.

Alguns procariotos podem exibir motilidade graças à presença de flagelos, outros podem se fixar a um substrato devido à presença de estruturas chamadas fímbrias.

Quanto à morfologia, os procariotos apresentam grande diversidade de formas podendo ocorrer como células isoladas, colônias ou filamentos. O formato das células também pode ser variável, sendo comuns as formas cilíndricas (bastonetes), esféricas (cocos) e alongadas curvas ou espiraladas (espirilos).

A reprodução dos procariotos pode ser por fissão binária, brotamento ou fragmentação de filamentos, sendo a primeira forma mais comum. O tempo de geração dos procariotos é muito curto, uma população de *Escherichia coli*, por exemplo, em condições ideais pode se duplicar em 20 minutos. Alguns procariotos podem se reproduzir

sexuadamente via conjugação. Podem ainda produzir esporos de resistência por fissão múltipla (endósporos) ou apical (exósporos).

As cianobactérias, que são bactérias que realizam fotossíntese do tipo oxigênico, podem apresentar, entre as células de um filamento, algumas células especializadas em fixar nitrogênio atmosférico, chamadas heterocistos. Este grupo de bactérias teve um papel importante na criação de uma atmosfera oxigênica na Terra, e, por consequência, no estabelecimento da camada de ozônio, fatos que condicionaram o aparecimento da maioria das formas de vida que conhecemos.

Sugestão de aula prática: Preparar antes da aula um mingau com fubá (meia xícara de fubá para 250 ml de água, levar ao fogo o fubá previamente diluído em água fria, mexer até atingir consistência grossa, deve solidificar quando frio) e despejar ainda morno em copos descartáveis de café até faltar 0,5 cm para atingir a borda, cuidar para deixar a superfície o mais lisa possível. Vedá-los com plástico tipo PCV e mantê-los sob refrigeração até a aula. Remover o plástico de três copos na presença dos alunos e manter os outros dois vedados. Pedir que um aluno fale sobre um dos copos abertos e que outro passe o dedo sobre a superfície do mingau, vedando-os com filme novamente; manter o terceiro copo aberto. Guardar os copos identificados em local adequado para que sejam observados ao longo da semana. Com o passar de alguns dias sobre a superfície do mingau deve ser possível observar o crescimento de micro-organismos. Colônias de bactérias são, em geral, esféricas e de aspecto brilhante, já colônias de fungos têm aspecto de algodão com cores escuras (preto, verde, azul). Induzi-los a perceber que os diversos tratamentos tiveram efeitos diferentes quanto à colonização de organismos. Possivelmente, os copos que não foram expostos ao ar devem desenvolver menos colônias em sua superfície, assim, alimentos bem embalados estão menos sujeitos à contaminação bacteriana, enquanto aqueles em contato com o ar, manipulados com as mãos e em contato com fluidos corporais, como a saliva, estão mais propensos à contaminação.

3.3 EUCARIOTOS

3.3.1 Protozoários

Acredita-se que os primeiros eucariotos que povoaram a Terra tenham surgido nos oceanos há 2,1 bilhões de anos. Hoje, os descendentes desses eucariotos primitivos, que nós chamamos de protozoários, vivem nos oceanos, em sistemas continentais de água doce e em habitats terrestres. Os protozoários incluem eucariotos de histórias evolutivas muito distintas, que não se encaixam nos critérios que delimitam outros reinos, alguns estão relacionados a representantes do reino Plantae, Fungi e Animalia. É necessário deixar claro que, atualmente, o termo protozoário não tem valor taxonômico. Contudo, tais organismos são extremamente importantes na base das cadeias alimentares, são importantes produtores de oxigênio e alguns grupos são parasitas de plantas e animais, incluindo o homem. Além disto, têm importância no contexto evolutivo, como já foi dito, grupos como Plantae, Fungi e Animalia descendem de ancestrais que eram protozoários.

3.3.1.1 Protozoários Fotossintetizantes

Os protozoários fotossintetizantes, assim como as plantas, são produtores primários, sendo capazes de utilizar a energia luminosa do sol para produzir sua fonte de energia orgânica. Além disto, produzem oxigênio como resultado da fotossíntese, oxigenando mares e a atmosfera, por consequência. Tais organismos são comumente chamados de algas, mas assim como o termo protozoário, este termo não tem validade taxonômica, ou seja, os organismos que chamamos de algas, provêm de diferentes linhagens, não constituindo um grupo monofilético. A ciência que estuda as algas é chamada de ficologia (do grego, *phykos*= alga; *logos*= estudo). A seguir, conheceremos alguns dos grupos de algas mais representativos no Brasil.

3.3.1.2 Algas Vermelhas (*Filo Rhodophyta*)

As algas vermelhas constituem, provavelmente, o grupo de algas eucarióticas mais antigo, tendo aparecido no Pré-Cambriano, entre 750-1250 milhões de anos atrás. Entre as algas marinhas, constituem o grupo de maior diversidade, apresentando cerca de 5 mil espécies. Cerca de 200 espécies ocorrem em ambientes de água doce, geralmente em águas frias, rasas e de correnteza forte (GRAHAM & WILCOX, 2003).

Alguns representantes de *Rhodophyta* capazes de depositar carbonato de cálcio em suas paredes, desempenham um papel ecológico extremamente importante em recifes de corais, permitindo a consolidação e estabilização dos recifes, protegendo-os do impacto direto das ondas.

Também constituem um dos grupos de algas de maior interesse econômico, podendo ser cultivadas ou coletadas de populações naturais, principalmente para a alimentação (como o nori, que é utilizado na culinária japonesa) e para a extração de ágar, agarose e carragenano, substâncias emulsificantes que possuem inúmeras aplicações industriais e farmacológicas.

As algas vermelhas apresentam morfologia muito variada, existindo organismos unicelulares, filamentosos e pseudoparenquimatosos, um tipo de morfologia constituída de feixes de filamentos justapostos, presos por mucilagem, que em corte transversal lembram um parênquima.

A parede celular das *Rhodophyta* é constituída de um arcabouço estrutural de microfibrilas de celulose e de uma matriz amorfa de polissacarídeos e mucilagem, entre os quais os agares e carragenanos, que chegam a representar 70% da massa seca da parede celular. Uma cutícula proteica pode ocorrer externamente à parede celular. Algumas *Rhodophyta* podem ainda depositar carbonato de cálcio externamente às paredes celulares, o que torna a aparência do talo esbranquiçada.

Os cloroplastos das algas vermelhas são revestidos de duas membranas que constituem o envelope do cloroplasto, com um tilacóide por banda. Tais cloroplastos foram originados por endossimbiose primária. Os pigmentos fotossintetizantes são a clorofila *a* e as ficobilinas. A presença de uma ficobilina chamada ficoeritrina confere às algas vermelhas

sua coloração mais comum, vermelha ou rosa, porém a coloração dos indivíduos é dada pelo somatório dos pigmentos presentes no talo, existindo também no grupo indivíduos com coloração passando pelo marrom e verde.

A substância de reserva das Rhodophyta é o amido das florídeas, que ocorrem como grãos dispersos no citosol ou em volta da região correspondente ao pirenóide (região protéica do cloroplasto rica da enzima rubisco).

Uma característica marcante de Rhodophyta é a presença de conexões celulares citoplasmáticas, chamadas de sinapses entre duas células adjacentes. No entanto, tais sinapses não representam verdadeiras conexões entre o citosol das células. Possivelmente, estas conexões funcionem como pontos de fortificação que conferem maior resistência estrutural ao talo.

A reprodução de Rhodophyta pode ser assexuada pela produção de monósporos, que germinam formando, por mitose, um talo igual ao da geração que lhe deu origem ou por fragmentação vegetativa do talo. Na reprodução sexuada, os gametas das algas vermelhas são desprovidos de flagelos, o que consiste num obstáculo para a fecundação. Uma das formas pelas quais este problema é contornado, é que o gameta feminino, que fica preso ao talo, possui um prolongamento livre, chamado tricógine, que aumenta a chance de que um gameta masculino entre em contato com sua superfície e, assim, ocorra fecundação. Outra característica marcante das algas vermelhas é que estas podem apresentar ciclos de vida trifásicos, com uma geração gametofítica (produtora de gametas) de vida livre e duas gerações esporofíticas (produtoras de esporos), sendo uma de vida livre e outra nutricionalmente dependente do gametófito.

3.3.1.3 Algas Verdes (*Filo Chlorophyta*)

As algas verdes ou clorófitas também representam um grupo antigo de eucariotos, sendo datado de aproximadamente 850 milhões de anos atrás. As algas verdes da classe mais proximamente relacionadas com as plantas, Charophyceae, possivelmente tenham aparecido entre 400 e 500 milhões de anos atrás.

Embora tenham surgido nos oceanos, atualmente a grande maioria das espécies, cerca de 90%, é de água doce e apresenta uma distribuição cosmopolita, isto é, apresenta ampla distribuição no planeta. Enquanto a maior parte das espécies de água doce é planctônica (vive dispersa na coluna d'água), a maior parte das formas marinhas faz parte das comunidades que ficam aderidas ao substrato (bentônicas). Também existem formas terrestres que crescem sobre troncos ou barrancos úmidos, outras crescem sobre camadas de gelo nos polos, formas saprófitas (sem pigmentos) e formas que vivem em associações com fungos (líquens), protozoários, celenterados (ex. hidras) e mamíferos (ex. nos pelos de bicho preguiça) (EVERT & EICHHORN, 2014).

As algas verdes, as briófitas e as plantas vasculares formam um grande clado chamado Viridiplantae. Os representantes deste clado compartilham a clorofila *a* e *b* como

pigmentos fotossintetizantes e armazenam amido dentro dos cloroplastos, dentre outras características.

Um aspecto importante evolutivamente dentro do grupo se relaciona à divisão celular, basicamente são observados dois processos de divisão das células-filhas, via ficoplasto e via fragmoplasto. No primeiro caso, durante a citocinese, após a separação dos dois núcleos-filhos, uma série de microtúbulos se dispõe paralelamente ao plano de divisão da célula (note que estes não são os microtúbulos do fuso interzonal), levando à formação de uma parede celular entre os núcleos-filhos, de fora para dentro (centripetamente). No segundo caso, uma série de microtúbulos se dispõe perpendicularmente ao plano de divisão celular, levando à formação de uma placa celular no centro da célula em divisão, que vai crescendo em direção às periferias da célula, completando a divisão celular (centrifugamente). O fragmoplasto é considerado um caráter derivado compartilhado (uma sinapomorfia) entre as algas verdes pertencentes à Classe Charophyceae e que também está presente nas plantas.

Geralmente, as clorófitas apresentam paredes celulares celulósicas, contudo, existem táxons que apresentam xilanos ou mananos em substituição à celulose e outros em que as paredes celulares são compostas de glicoproteínas. Representantes de linhagens que se ramificaram mais cedo na história evolutiva do grupo, apresentam uma parede celular formada por escamas que se sobrepõem, compostas de polissacarídeos ácidos.

Possuem cloroplastos revestidos por duas membranas e os tilacóides formam bandas de três a cinco tilacóides, sem formar grana. Podem ser observados um ou mais cloroplastos por célula; estes podem apresentar formatos variados, como discóides, estrelados, em forma de fitas, etc.

A movimentação celular pode ocorrer pela atuação de flagelos ou em parte dos representantes não flagelados, por deslizamento sobre um substrato através de secreção de mucilagem. Os flagelos podem ocorrer na fase vegetativa, na fase reprodutiva ou em ambas e ocorrem em número de dois a quatro por célula, sempre morfológicamente iguais. O tipo de raiz flagelar (região que ancora o flagelo na célula) é um caráter taxonômico importante para o grupo.

Morfológicamente, é um grupo muito diversificado, existindo formas unicelulares, coloniais, filamentosas e parenquimatosas. Formas multicelulares aparecem em vários momentos durante a evolução do grupo, estando representadas desde as classes e ordens mais primitivas até as mais derivadas, deste modo, a multicelularidade do talo não reflete diretamente na evolução dentro de Chlorophyta e entende-se que formas de talo similares, observadas entre táxons pouco relacionados, possivelmente resultaram de processos independentes de adaptação a pressões de seleção similares.

Em Chlorophyta podem ocorrer reprodução assexuada vegetativa por fragmentação do talo ou pela formação de esporos, que podem ser flagelados ou imóveis. Na reprodução sexuada, observam-se ciclos de vida monofásicos ou bifásicos, nos quais as duas fases do ciclo de vida podem ser ou não morfológicamente distintas. A fase gametofítica é usualmente dominante. Quanto à formação de gametas, observam-se ciclos oogâmicos, anisogâmicos e isogâmicos.

Embora seja amplamente aceito que as Charophyceae constituam o grupo irmão das plantas terrestres, ainda existe controvérsia sobre qual de suas ordens seria mais próxima das plantas terrestres.

3.3.1.4 Euglenóides (*Filo Euglenophyta*)

O Filo Euglenophyta representa um grupo de algas de organização eucariótica, unicelulares (exceção gênero *Colacium*) e dotadas de flagelos, com cerca de 800 espécies descritas, que ocorrem em ambientes marinhos e de água doce. Atualmente estão posicionados no supergrupo Excavata. Existem euglenóides heterotróficos, fotoautotróficos facultativos (clorofilados) e indivíduos parasitas. As formas heterotróficas são comumente encontradas em ambientes ricos em matéria orgânica, sendo capazes de fagocitar partículas orgânicas.

O registro fóssil de Euglenophyta mais antigo é datado entre o meio do Ordoviciano e o Siluriano (410-460 milhões de anos atrás) e é oriundo de ambientes de água doce próximos ao mar, contudo acredita-se que isto se deva a falhas no registro e que o grupo seja ainda mais antigo.

As células euglenóides possuem um ou dois flagelos emergentes. Estes flagelos ficam inseridos numa invaginação anteriormente posicionada na célula, chamada de reservatório. O reservatório recebe água descarregada pelo vacúolo contrátil, que tem função osmorregulatória na célula. Também na porção anterior da célula, observa-se um estigma ou mancha ocelar, de coloração avermelhada, que está relacionado ao processo de fototaxia apresentado pelo grupo.

O envoltório celular é constituído por uma estrutura chamada de película, que ocorre abaixo da membrana plasmática e possui composição predominantemente protéica. A película consiste de inúmeras “estrias” espiraladamente organizadas. Alguns euglenóides possuem uma película flexível que permite à célula apresentar um movimento característico, em meio aquoso ou úmido, que se denomina movimento euglenóide (metabolia).

Adicionalmente à película, certos euglenóides podem produzir uma camada mais externa de envoltório celular, chamada lórica, constituída de mucilagem mineralizada, que confere uma aparência rígida e resistente à célula. Esta estrutura apresenta um poro que permite que os flagelos fiquem livres.

Nos indivíduos fotossintetizantes, numerosos cloroplastos são encontrados por célula, usualmente com formato discóide ou placóide, com um pirenóide central. Nos cloroplastos ocorrem três membranas, o que sugere que tenham sido originados por endossimbiose secundária. Os pigmentos fotossintetizantes são a clorofila *a*, clorofila *b* e o β -caroteno, sendo o paramilo a forma de reserva do grupo.

A reprodução sexuada é desconhecida dentro do grupo, sendo a reprodução assexuada por divisão longitudinal a principal forma de reprodução. Em resposta a modificações nas condições ambientais, os euglenóides podem formar cistos, que

funcionam com uma fase de resistência até que as condições do ambiente retornem à normalidade.

3.3.1.5 *DINOFLAGELADOS (FILO DINOPHYTA)*

O Filo Dinophyta inclui formas unicelulares, biflageladas, sendo comumente chamados dinoflagelados, que correm no plâncton marinho (maioria) e na água doce. Entre os representantes de Dinophyta existem formas fotossintetizantes, heterotróficas (saprófitos, parasitas e holozóicas), bem como formas que vivem em simbiose com animais.

As zooxantelas, um grupo de dinoflagelados endossimbiontes, são essenciais para a formação e a existência de recifes de corais no ecossistema. Outros representantes de Dinophyta são conhecidos por serem os responsáveis pela produção das marés vermelhas, que são florações potencialmente tóxicas que causam sérios prejuízos econômicos e a saúde pública.

Atualmente, fazem parte do supergrupo Alveolata, que é caracterizado pela existência de pequenas vesículas membranosas (alvéolos) sob suas superfícies celulares. Assim, o envoltório celular dos dinoflagelados, chamado anfiema, é formado por um conjunto de tecas, que são vesículas achatadas, que geralmente possuem placas celulósicas em seu interior, situadas abaixo da membrana citoplasmática.

Os cloroplastos dos dinoflagelados apresentam três membranas e ocorrem em grande número por célula. Apresentam como pigmentos fotossintetizantes a clorofila *a*, clorofila *c*₂ e também pigmentos acessórios como a peridina, o β -caroteno e a gioxantina diéster, que é característica de dinoflagelados que causam marés vermelhas.

Reproduzem-se vegetativamente através de divisão celular longitudinal. Ocorre também reprodução sexuada entre os dinoflagelados através da formação de gametas isogâmica ou anisogâmica e os ciclos de vida do grupo são monofásicos, com meiose zigótica. Também podem formar cistos de resistência quando as condições ambientais tornam-se adversas.

3.3.1.6 *Diatomáceas (Filo Heterokontophyta, Classe Bacillariophyceae)*

As diatomáceas são organismos eucarióticos de talo unicelular ou colonial que estão entre os grupos mais abundantes de eucariotos fotossintéticos, aquáticos e terrestres, constituindo, portanto, num grupo de grande contribuição para a produtividade primária da Terra.

Surgiram nos oceanos da Terra há aproximadamente 180 milhões de anos e diversificaram-se rapidamente durante o período Cretáceo, tornando-se abundantes no registro fóssil a partir daí.

Atualmente encontram-se posicionados dentro do supergrupo Stramenopila, que inclui organismos também conhecidos como heterocontas, que possuem dois flagelos morfologicamente diferentes (em alguma das fases do ciclo de vida), sendo um flagelo longo ornamentado com os pelos característicos e outro menor e sem pelos. As algas pardas também fazem parte deste mesmo supergrupo.

Uma das características marcantes das diatomáceas é a presença de uma parede celular, muito resistente, composta de sílica, chamada de frústula. Tal parede é formada por duas metades ou valvas, que se encaixam como duas placas de Petri, sendo a epiteca a valva maior e a hipoteca, a menor. O local de encaixe entre estas duas valvas é denominado de pleura. As frústulas apresentam sistemas de poros (onde não há deposição de sílica) que produzem padrões de ornamentação variados, que são valiosos para fins taxonômicos. A resistência da parede celular destes organismos possibilita a formação de sedimentos maciços denominados terra de diatomitos, que possuem muitas aplicações industriais, além de valor para a paleontologia.

Apresentam cloroplastos revestidos de quatro membranas, que ocorrem solitários ou em grande número por célula. Apresentam como pigmentos fotossintetizantes a clorofila *a*, *c*₁ e *c*₂, xantofila, com destaque para a fucoxantina, que lhes confere coloração dourada, e carotenos. As principais substâncias de reserva encontradas nos representantes do grupo são a crisolaminarina e as gotículas de óleo; estas podem se acumular em tamanha quantidade no citosol, que chegam a ser facilmente observadas em microscopia de luz.

Entre as diatomáceas ocorre tanto a reprodução sexuada gamética, quanto a reprodução assexuada por bipartição ou produção de esporos. A reprodução vegetativa por bipartição é semiconservativa, sendo que cada uma das células-filhas herda somente metade da frústula da célula-mãe, reconstituindo a outra metade. Como as células-filhas precisam utilizar a valva herdada da mãe como molde para sintetizar sua outra metade, em função disto, parte da população diminui de tamanho. O tamanho original da espécie pode ser restaurado pela produção de esporos ou através da reprodução sexuada.

3.3.1.7 ALGAS PARDAS (FILO HETEROKONTOPHYTA, CLASSE PHAEOPHYCEAE)

Os representantes de Phaeophyta, também conhecidos como algas pardas, apresentam coloração derivada da presença de grandes quantidades do carotenoide fucoxantina em seus cloroplastos. O grupo não apresenta indivíduos de talo unicelular ou colonial, sendo seus representantes de morfologia exclusivamente filamentosa, pseudoparenquimatosa ou parenquimatosa. Assim como as diatomáceas estão posicionadas no supergrupo Stramenopila.

As algas pardas são encontradas quase que exclusivamente no ambiente marinho sendo muito comumente encontradas nas zonas rochosas entre marés e sublitorâneas, onde são dominantes, particularmente em regiões de clima mais frio. Apenas quatro gêneros de água doce são descritos *Heribaudiella*, *Pleurocladia*, *Bodanella* e *Sphacelaria*. Muitas formas marinhas podem também invadir águas salobras, constituindo uma parte importante da ficoflora estuarina.

Os fósseis mais antigos atribuídos, sem dúvidas, à Phaeophyta datam do Mioceno (5-25 milhões de anos atrás). Porém, existem outros registros, de morfologia menos confiável, que apontam que o grupo teria surgido entre 425-490 milhões de anos atrás.

Geralmente, parede celular das algas pardas é composta por, no mínimo, duas camadas, sendo a celulose o principal componente do arcabouço estrutural e os componentes amorfos predominantes são o ácido algínico e a fucoidina.

Os cloroplastos das feofíceas apresentam três tilacóides por banda e são revestidos por quatro membranas. Apresentam como pigmentos fotossintetizantes clorofila *a*, *c*₁, *c*₂ e dentre os pigmentos acessórios, a fucoxantina predomina sobre os demais carotenóides. A laminarina é o produto de reserva do grupo, sendo armazenado no citosol.

O ciclo de vida das algas marrons pode ser monofásico ou bifásico, apresentando espécies com alternância de geração isomórfica ou heteromórfica e meiose esporíca. A fase dominante é sempre esporofítica (diplóide). As estruturas de reprodução recebem uma denominação especial no grupo, sendo chamadas de órgãos pluriloculares e uniloculares. O órgão plurilocular pode aparecer tanto na geração gametofítica, quanto na esporofítica e produz em tais gerações, respectivamente, gametas e esporos, sempre via mitose. Já o órgão unilocular ocorre somente na fase esporofítica e produz esporos via meiose.

Sugestão de aula prática: Algas verdes, euglenóides, diatomáceas e dinoflagelados podem ser coletados em ambientes de água doce, principalmente em águas paradas. Procure coletar água de áreas marginais cheias de plantas utilizando um pote de vidro limpo. Observe sob o microscópio e procure identificar organismos com coloração verde ou dourados, com aumento mínimo de 100X. Faça uma pesquisa na internet por gêneros comuns como *Desmodesmus* spp. (Chlorophyta), *Pediastrum* spp. (Chlorophyta), *Spirogyra* spp. (Chlorophyta), *Oedogonium* spp. (Chlorophyta), *Closterium* spp. (Chlorophyta), *Euglena* spp. (Euglenophyta), *Phacus* spp. (Euglenophyta), *Aulacoseira* spp. (Bacillariophyceae), *Pinnularia* spp. (Bacillariophyceae), *Synedra* spp. (Bacillariophyceae), *Navicula* spp. (Bacillariophyceae), *Peridinium* spp. (Dinophyta).

As algas verdes, pardas e vermelhas podem ser encontradas facilmente nas praias, na zona entremarés (que fica exposta quando a maré está baixa). Pesquise na internet imagens de gêneros comuns no Brasil como *Ulva* spp. (Chlorophyta), *Codium* spp. (Chlorophyta), *Sargassum* spp. (Phaeophyceae), *Galaxaura* spp. (Rhodophyta), *Gracilaria* spp. (Rhodophyta). Aproveite passeios à praia para coletar algas que são trazidas pela maré até a areia ou coletando-as em costões rochosos; estes organismos podem ser preservados em formalina a 4% por anos se abrigados de luz (na falta de formalina, álcool a 50% pode preservá-las por algum tempo).

3.3.2 Protozoários Heterotróficos

As informações sobre os protistas heterótrofos aqui apresentadas foram baseadas, principalmente, na publicação de Brusca & Brusca (2007).

Os protistas heterótrofos também são denominados "protozoários", e podem ser definidos como um agrupamento de organismos primariamente unicelulares, heterotróficos e eucariontes. Possuem uma diversidade notável de formas, função e estratégias de sobrevivência, desempenhando funções vitais apenas com as organelas. Podem ser marinhos, de água doce e terrestres, apresentando mutualismo, comensalismo, parasitismo ou vida livre. Maioria é microscópica e alguns simbioses causam doenças graves. O movimento pode ser por cílios, flagelos ou pseudópodes e a reprodução por fissão binária ou múltipla, brotamento, singamia, autogamia ou conjugação.

3.3.2.1 *Tripanossomos (Filo Kinetoplastida)*

Os representantes deste filo possuem dois flagelos para locomoção e reproduzem-se por fissão binária longitudinal ou brotamento. São divididos em dois subgrupos, os bodonídeos e os tripanossomos. Bodonídeos são de vida livre em ambientes marinhos e de água doce. Tripanossomos são exclusivamente parasitas podendo ser encontrados em animais ou plantas. *Leishmania* e *Trypanosoma* causam doenças debilitantes nos humanos, podendo ser fatais. Leishmanioses são infecções membranosas da pele e das mucosas, transmitidas por picadas de insetos dípteros. Já as espécies de *Trypanosoma* parasitam todas as classes de vertebrados e as mais comuns são as causadoras da Doença de Chagas (*T. cruzi*) e a Doença-do-sono (*T. gambiense* e *T. rhodesiense*).

3.3.2.2 *CILIADOS (FILO CILIOPHORA):*

Comuns nos bentos e plâncton marinho, água salobra e água doce, além do solo úmido. Errantes ou sésseis, incluindo várias espécies parasitas. Possuem numerosos cílios densamente distribuídos para locomoção. Reprodução assexuada por fissão binária e sexuada por conjugação. *Paramecium* é um dos organismos mais estudados, principalmente quanto à sua locomoção, captura de alimento e reprodução. Outros exemplos de ciliados são *Stentor*, *Halteria*, *Bursaria*, *Vorticella*.

Sugestões de aula prática: Observar em *Paramecium* sp. os cílios, núcleo, película, sulco oral e vacúolo pulsátil.

3.3.2.3 *Gregarinas e Coccídios (Filo Apicomplexa)*

Todas espécies são parasitas, com complexo apical na extremidade anterior da célula que auxilia na fixação no hospedeiro. Gregarinas ocupam trato digestivos e cavidades do corpo de invertebrados. A maioria dos coccídios parasitam vertebrados, alguns dependendo de hospedeiros intermediários que servem de vetor. São responsáveis

pela malária e a toxoplasmose em humanos. A malária é causada por *Plasmodium*, que infecta os eritrócitos e é transmitida pela picada do mosquito *Anopheles*, transfusões de sangue e seringas. A toxoplasmose ocorre por *Toxoplasma gondii*, que têm como hospedeiro definitivo o gato. Exemplos do filo são *Gregarina*, *Monocystis*, *Plasmodium* e *Toxoplasma*.

3.3.2.4 Amebas (*Filo Rhizopoda*)

São de vida livre em sua maioria, com pseudópodes lobópodes ou filópodes. Podem estar em qualquer ambiente úmido e alguns são parasitas de diatomáceas, peixes, moluscos, mamíferos, entre outros. A amebíase é causada por *Entamoeba histolytica* que provoca a destruição dos enterócitos na mucosa intestinal, anemia e disenteria. Podem ser nuas ou tecadas, e reproduzem-se por fissão binária ou múltipla. Exemplos de rizópodes são os gêneros *Amoeba*, *Arcella*, *Chaos*, *Diffugia*, *Entamoeba* e *Euglypha*.

3.3.2.5 Radiolários e Heliozoários (*Filo Actinopoda*)

Maioria com esqueletos silicosos internos, marinhos de águas quentes. Os heliozoários são bentônicos e ocorrem em água doce, com axópodes que irradiam do corpo e auxiliam na locomoção e alimentação. Reprodução assexuada por fissão binária, múltipla ou brotamento, e a sexuada ocorre por autogamia. Exemplos comuns do grupo são *Acanthocystis*, *Acanthometra* e *Collozoum*.

3.3.2.6 Foraminíferos (*Filo Granuloreticulosa*)

Maioria marinhas bentônicas e com testa ou esqueleto composto por uma ou duas câmaras que podem ser aglutinadas e/ou secretadas. Os pseudópodes saem da testa por uma ou duas aberturas. Reprodução assexuada por brotamento ou fissão múltipla. Gêneros comuns são a *Globigerina* e *Homotrema*.

3.3.2.7 Giardias (*Filo Diplomonadida*)

Predominantemente simbiotes, poucos patogênicos. A giardíase é causada por *Giardia lamblia* e provoca diarreia aquosa sem sangue, má absorção de vitaminas, dor abdominal, náuseas e vômitos. Os cistos ingeridos são ativados ao passar pelo meio ácido do estômago e pelas enzimas do duodeno. Os trofozoítos produzem toxinas e sua multiplicação provoca inflamação do intestino com o atapetamento das vilosidades, gerando má absorção.

3.3.2.8 Hipermastigotos e Tricomonadinos (*Filo Parabasilida*)

São endossimbiontes e o nome do filo se deve pela presença de fibra parabasal, que vai dos corpúsculos basais até o complexo de Golgi. Hipermastigotos são mutualistas obrigatórios em insetos xilófagos, produzindo a enzima celulase que degrada a celulose facilitando o processo para o inseto metabolizar. Tricomonadinos podem ser encontrados no trato digestivo, reprodutivo e respiratório de vertebrados, inclusive humanos. O gênero *Trichomonas* possui grande importância médica e, como exemplo, *T. vaginalis* que causa a tricomoníase e pode estar na vagina e uretra de mulheres ou próstata, vesícula seminal e uretra de homens. Os gêneros mais comuns de Parabasilida são *Dientamoeba*, *Histomonas* e *Trichomonas*.

3.3.2.9 Coanoflagelados (*Filo Choanoflagellata*)

São considerados o elo de transição entre Protista e Porifera, pois são extremamente parecidos com os coanócitos, que são as células alimentares das esponjas. Marinhos ou de água doce, pedunculados, sésseis, solitários ou em colônias. Possuem flagelo único circundado pelo colarinho em forma de cesta. Os gêneros mais conhecidos são *Proterospongia*, *Codosiga* e *Monosiga*.

3.3.2.10 Opalinados (*Filo Opalinida*)

Já foram classificados como protociliados e posteriormente zooflagelados, mas, atualmente, são considerados como um filo em separado. Maioria endossimbiontes do intestino de anuros. São homocarióticos, ou seja, com núcleos idênticos, podendo ser binucleados ou multinucleados. Possuem diversas séries de cílios que os diferem dos ciliados. Reprodução assexuada por fissão e sexuada por singamia. Os gêneros mais comuns são *Opalina* e *Protoalina*.

3.3.3 FUNGOS

Os fungos compreendem eucariotos heterotróficos de parede composta de quitina, que se nutrem por absorção. No passado, foram tratados dentro da botânica, pois eram considerados plantas degeneradas (sem clorofila). Contudo, com o advento da filogenia molecular, atualmente, são considerados mais proximamente relacionados aos animais. A área da ciência que estuda os fungos é chamada de micologia.

Representam um grupo extremamente diversificado, com mais de 100 mil espécies identificadas, que baseadas em estimativas conservadoras, representariam apenas 5% do total de espécies existentes no mundo. O grupo tem grande importância como causadores de doenças no homem, em animais e plantas; como decompositores de matéria orgânica, atuando na ciclagem de nutrientes; na produção de alimentos, principalmente em processos

que envolvem fermentação; na produção de fármacos, como antibióticos e vasodilatadores; em processos de biorremediação de áreas contaminadas com poluentes orgânicos; e como importantes simbiontes, participando de associações como os líquens e as micorrizas, entre outras (EVERT & EICHHORN, 2014).

A organização do talo dos fungos é predominantemente filamentosa, mas existem também formas unicelulares, que são comumente chamadas de leveduras. Alguns fungos podem apresentar as duas morfologias, passando da forma leveduriforme a filamentosa, em resposta a alterações ambientais.

Os filamentos individuais, que compõem o talo dos fungos, são denominados hifas e o conjunto de hifas, que compõe o talo de um fungo, é denominado micélio. As hifas podem ser septadas, quando apresentam paredes transversais que dividem o citosol, ou cenocíticas (asseptadas), quando não apresentam tais septos. Os septos de hifas septadas podem apresentar um poro central, de modo que o citosol de células contíguas se comunica.

Os fungos se reproduzem sexuadamente e assexuadamente através da produção de esporos. Podemos separar os fungos em quatro filos baseados em características reprodutivas: Filo Chitridiomycota (quitrídias), Zygomycota (zigomicetos), Ascomycota (ascomicetos) e Basidiomycota (basidiomicetos). Adotaremos esta classificação por razões didáticas, contudo, tal classificação é artificial.

O Filo Chitridiomycota é representado por fungos aquáticos, terrestres e do rúmem de herbívoros, que produzem esporos flagelados (zoósporos) e possuem ciclos de vida bifásicos.

O Filo Zygomycota é representado por organismos saprófitas e parasitas de vegetais e animais, que se reproduzem sexuadamente formando, como produto da fecundação, esporos chamados de zigósporos, que podem permanecer dormentes por longos períodos de tempo.

O Filo Ascomycota compreende mais de 30 mil espécies, incluindo organismos saprófitas, pragas de plantas e grande parte dos fungos liquenizantes; reproduzem-se assexuadamente pela produção de esporos chamados conídios e sexuadamente pela produção de esporos, chamados ascósporos, agrupados em número de oito no interior de uma estrutura em forma de saco, chamada asco. Grande parte dos fungos para os quais se conhece apenas a reprodução assexuada, antes chamados de fungos imperfeitos, é ascomicetos.

E, por fim, o Filo Basidiomycota compreende em torno de 20 mil espécies, representadas pelos cogumelos e orelhas-de-pau e dois grupos de patógenos de plantas, as ferrugens e os carvões, que se reproduzem sexuadamente pela produção de quatro esporos, chamados basidiósporos, formados nas pontas de estruturas claviformes chamadas basídios. Os basídios são originados de hifas reprodutivas, que estão organizadas formando basidiomas, que são corpos de frutificação do fungo, conhecidas popularmente como cogumelos.

Alguns fungos dos filos Ascomycota e Basidiomycota podem formar associações mutualísticas chamadas líquens. Os líquens são formados pela associação de um

micobionte, que é o fungo, com um fotobionte, que pode ser representado por uma alga verde, uma cianobactéria, ou ambas. O nome científico de um líquen corresponde ao nome do micobionte. Os líquens se desenvolvem sobre o tronco de árvores, na superfície ou no interior de rochas, sobre o solo, sobre estruturas edificadas, e, menos comumente, submersos pela água do mar. Possuem um papel importante como colonizadores primários, modificando as condições do ambiente que colonizam e permitindo o posterior estabelecimento de organismos mais complexos como as plantas.

Sugestão de aula prática: Trazer cogumelos comestíveis de casa (tipo champignon) e frutas com bolor verde sobre a casca. O bolor verde é um exemplo de fungo filamentoso, a coloração verde é dada pela presença de esporos, estes esporos são produzidos via reprodução assexuada. Se possível observar o material com bolor sob lupa. Os cogumelos são corpos de frutificação do fungo e são formados por hifas reprodutivas que produzem esporos sexuadamente. Induza os alunos a pensar sobre os malefícios da presença dos fungos (no caso do bolor, a fruta não estará mais adequada para consumo) e benefícios (o champignon é comestível, e, no caso do bolor, se os frutos que caem das árvores não fossem degradados pelos fungos, teríamos pilhas de matéria orgânica sobre a Terra).

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C. Sistemática. **Botânica para ciências agrárias e do ambiente**. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2013.
- BRUSCA, R.; BRUSCA, G. **Invertebrados**. 2. ed. Sinauer Associates. Rio de Janeiro. Traduzido Editora Guanabara Koogan S.A., 2007, 968p.
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven - biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- HAGEN, J. B. Five kingdoms, more or less: Robert Whittaker and the broad classification of organisms. **BioScience**. 62 (1): 67-74. 2012.
- HICKMAN, C.P. Jr.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. **Princípios integrados de zoologia**. 11. ed. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Koogan, 2004, 846p.
- MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; DUNLAP, P. V.; CLARK, D. P. **Microbiologia de Brock**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K.V. 2001. **Cinco reinos: um guia ilustrado dos filós da vida na Terra**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 497p.
- RUPPERT, E.E.; FOX, R.S.; BARNES, R.D. **Zoologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: Editora Roca, 2005, 1145p.
- STACE, C. **Plant taxonomy and biosystematics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.
- WILLIAMS, T. A.; FOSTER, P. G.; NYE, T.M. W.; COX, C. J.; EMBLEY, T. M. A congruent phylogenomic signal places eukaryotes within the Archaea. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**. 279(1749): 4870–4879. 2014.
- WOESE, C. R.; KANDLER, O.; WHEELIS, M. L. Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eukarya. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. 87: 4576–4579. 1990.

UNIDADE 2: BIODIVERSIDADE II

Nós percebemos intuitivamente a biodiversidade representada pelas plantas, uma vez que estas estão diretamente relacionadas à sobrevivência do homem. Nós dependemos delas para nossa alimentação, as utilizamos para construir casas e nos aquecer (madeira), extraímos delas princípios ativos de valor medicinal, além de utilizá-las como elementos de valor estético na decoração e paisagismo.

Obviamente, pelos fatores citados acima, conhecemos muito melhor os grupos de plantas que possuem uma utilidade direta para o homem, contudo, nos esquecemos que as plantas possibilitam nossa existência e da maioria dos organismos que habitam a Terra, atuando em outros processos como na produção de oxigênio, na regulação dos níveis de CO₂ atmosféricos através de sua incorporação na biomassa, na redução da temperatura superficial da Terra e na retenção de água no solo, dentre outros aspectos.

Também é necessário refletir que as floras que ocuparam a Terra não foram as mesmas ao longo do tempo geológico. Deste modo, as angiospermas, que atualmente são elementos dominantes de nossa flora, só se configuraram assim ao longo da era cenozóica.

Nesta unidade, exploraremos a biodiversidade das plantas, iremos conhecer os grupos de plantas avasculares, representados pelas hepáticas, antóceros e musgos; os grupos de plantas vasculares sem sementes, representados pelos licopódios, cavalinhas, e samambaias; e, por fim, as plantas vasculares com sementes, representadas pelas gimnospermas e angiospermas.

1. INTRODUÇÃO ÀS PLANTAS

Atualmente, todas as plantas estão posicionadas num grupo monofilético chamado de Embryophyta, que agrupa todas as plantas verdes que compartilham como característica derivada (sinapomorfia), a formação de um embrião multicelular, chamado esporófito, que fica retido nos tecidos do gametófito, pelo menos, inicialmente.

Embryophyta é grupo-irmão de Streptophyta, um clado formado pelas algas verdes da Classe Charophyceae, que junto com as demais algas verdes formam o clado Viridiplantae.

As plantas começaram a colonizar a terra no Siluriano, há aproximadamente 440 milhões de anos. No entanto, as paisagens terrestres eram muito diferentes das paisagens atuais, sendo compostas por plantas avasculares e diminutas, restritas às regiões costeiras. A partir do Devoniano, ocorre uma maior diversificação entre as plantas terrestres com o surgimento das plantas vasculares sem sementes. Estas passam a ser elementos dominantes da paisagem até a transição entre o Carbonífero e o Permiano, quando o clima da Terra se torna mais seco, e as gimnospermas se tornam mais abundantes. Com a extinção permo-triássica, um dos grandes eventos de extinção em massa, a maioria das plantas vasculares sem sementes e parte das gimnospermas primitivas foram extintas. As

gimnospermas, incluindo representantes modernos, dominam as paisagens por um longo período de tempo, possivelmente o fato de possuírem sementes consistiu numa importante adaptação durante este período. No Cretáceo, surgem as angiospermas, que se diversificaram, tornando-se dominantes ao longo do Cenozóico, entre outros motivos, por apresentarem mecanismos de polinização e dispersão de sementes mais elaborados, envolvendo a participação de animais.

Tradicionalmente, separamos as plantas em dois grandes grupos: as Criptógamas e as Fanerógamas. As Criptógamas correspondem às plantas que possuem órgãos sexuais incospícuos, ou seja, imersos dentro dos tecidos do gametófito. Dentre as Criptógamas, estudaremos as plantas avasculares e as plantas vasculares sem sementes. Já as Fanerógamas correspondem às plantas com órgãos sexuais aparentes, dentre estas estudaremos as plantas com sementes.

2. PLANTAS AVASCULARES (FILOS ANTHOCEROTOPHYTA, MARCHANTIOPHYTA E BRYOPHYTA)

As plantas avasculares, representadas pelos antóceros, pelas hepáticas e musgos, eram coletivamente chamadas de briófitas no passado, no entanto, hoje sabemos que tais organismos fazem parte de três filos distintos: Anthocerotophyta (antóceros), Marchantiophyta (hepáticas) e Bryophyta (musgos).

Estes organismos apresentam ciclos de vida marcados pela alternância de geração, nos quais o gametófito é a fase dominante e o esporófito é efêmero e nutricionalmente dependente do gametófito. Tais plantas são desprovidas de tecidos condutores lignificados, têm porte reduzido e ampla distribuição no globo terrestre.

O gametófito das plantas avasculares é a fase duradoura do ciclo de vida e tem função fotossintetizante, podendo ser folhoso ou taloso. Gametófitos folhosos são constituídos de filídios e caulídios, que são estruturas análogas às folhas e caules, porém estruturalmente muito simplificados. Estes podem ser observados nos filos Marchantiophyta e Bryophyta. Já os gametófitos talosos não são diferenciados em filídios e caulídio, apresentando aparência achatada. Podem estar presentes nos filos Anthocerotophyta e Marchantiophyta. O gametófito apresenta estruturas de fixação ao substrato, chamadas de rizóides, que podem contribuir na absorção de água e sais minerais, mas que não são especializados nesta função, uma vez que toda a superfície do gametófito também pode participar da absorção.

A reprodução sexuada das plantas avasculares ocorre pela produção de gametas através de estruturas reprodutivas chamadas de arquegônios e anterídios, que ficam imersos nos tecidos do gametófito. O arquegônio tem morfologia que lembra uma garrafa, constituída de uma região dilatada, chamada ventre, região alongada, chamada de colo. O ventre abriga o gameta feminino, que é imóvel e recebe o nome de oosfera. Na fecundação, o gameta masculino tem que nadar através de uma abertura entre as células que formam as paredes do colo para chegar até a oosfera.

O anterídio produzirá no seu interior gametas masculinos biflagelados, que recebem o nome de anterozóides. O anterídio tem formato esférico ou alongado e revestido por uma camada de células protetoras estéreis, ou seja, que não participam da formação de gametas. Internamente a esta camada de células protetoras, encontram-se as células espermatógenas que originarão os anterozóides.

Após a fecundação, o zigoto permanece retido no interior do arquegônio, do qual recebe nutrientes através de uma região chamada de placenta. Esta característica é chamada de matrotrofia. O zigoto passa então a sofrer várias divisões mitóticas, formando o embrião multicelular, que se desenvolverá na fase esporofítica.

A fase esporofítica não é de vida livre, permanecendo ligada aos tecidos do gametófito e mesmo sendo fotossintetizante quando jovem e podendo produzir fotoassimilados, necessita do aporte de água e sais minerais fornecidos pelo gametófito. A estrutura do esporófito é constituída de pé, seta e cápsula. O pé representa a conexão do esporófito com o gametófito, ao qual conecta a seta e a cápsula. A seta é semelhante a uma haste que se localiza entre o pé e a cápsula, elevando esta última. A seta está ausente em Anthocerotophyta. A cápsula é a porção terminal do esporófito, onde são produzidos os esporos. A morfologia e forma de abertura da cápsula (deiscência) são diferentes entre os grupos de plantas avasculares.

Em Anthocerotophyta, a cápsula é alongada, lembrando chifres, que constitui a maior porção do esporófito. Tal cápsula possui crescimento indeterminado devido à presença de um meristema em sua base e abre-se por fendas longitudinais que vão do ápice para a base.

Em Marchantiophyta, a cápsula é elevada por uma seta curta, apresenta formato arredondado e se abre por valvas. Internamente à cápsula, estão os esporos, que contam com estruturas chamadas elatérios, que auxiliam sua dispersão.

Em Bryophyta, a cápsula apresenta uma estrutura complexa, sendo formada pela urna, peristômio, ânulo e opérculo. A urna é a região produtora de esporos e as demais estruturas são responsáveis pela abertura da cápsula e liberação dos esporos. É possível observar sobre a cápsula, uma estrutura membranácea formada por restos do arquegônio, que é denominada caliptra e possui função de proteção.

Os esporos produzidos na fase esporofítica ao serem dispersados pelo vento podem germinar dando origem a uma fase transitória, chamada protonema, que se desenvolve no gametófito adulto, completando o ciclo de vida.

Toda a superfície do gametófito e esporófito é revestida por uma substância cerosa, semelhante à cutícula das demais plantas, que lhes confere maior resistência à dessecação. A superfície do talo pode também apresentar estruturas que permitem trocas gasosas. Sendo que em Anthocerotophyta e Bryophyta, tais estruturas são os estômatos e nas Marchantiophyta são os poros.

Assim como os líquens e cianobactérias, as plantas avasculares são consideradas pioneiras no processo de sucessão ecológica, colonizando ambientes inóspitos, como a superfície de rochas e solos rasos, modificando suas condições e permitindo, posteriormente, o estabelecimento de organismos mais complexos. São importantes

produtores primários, participando dos ciclos biogeoquímicos do carbono e nitrogênio. Também controlam a erosão e auxiliam na manutenção do balanço hídrico do solo, podem ser utilizados como bioindicadores ambientais, além de produzirem substâncias de importância farmacológica.

Sugestão de aula prática: Procure na internet imagens de briófitas. Baseando-se nas imagens observadas, procure sobre a casca de árvores, plantas muito pequenas, de coloração verde escura, recobertas por estruturas que parecem pequenas folhas, colete-as com ajuda de um estilete raspando a casca da árvore. Estas plantas possivelmente são musgos (filo Bryophyta). Se possível, observe-as sob uma lupa. A parte verde folhosa corresponde ao gametófito das plantas e as pequenas "folhas" são na verdade filídios. Procure por estruturas que se elevam do gametófito através de uma pequena haste e que, em geral, possuem coloração amarronzada, caso estejam presentes, representam o esporófito e é no ápice destas estruturas que os esporos são produzidos (cápsula). Induza os alunos a observar que o esporófito fica ligado ao gametófito e depende dele para sobreviver.

3. PLANTAS VASCULARES

A história das plantas está intimamente relacionada com a ocupação gradual dos ambientes terrestres. Como vimos anteriormente, as plantas avasculares e as vasculares compartilham um ancestral imediato comum, formando um grupo monofilético, que chamamos de Embryophyta. Todas as plantas apresentam ciclos de vida com alternância de geração, ou seja, uma fase gametofítica e uma fase esporofítica. Nas plantas avasculares, a fase gametofítica era a fase dominante do ciclo de vida e o esporófito dependente do gametófito. Desta maneira, as plantas avasculares investiram na fase produtora de gametas para conquistar os ambientes terrestres, o que justifica, em parte, o pequeno porte destas plantas.

Entre as plantas vasculares, observamos uma importante mudança em termos de ciclo de vida, a fase dominante passa a ser o esporófito, que é pronunciadamente maior que a fase gametofítica. A fase gametofítica é transitória, tem tamanho reduzido e é de vida livre. O esporófito das plantas vasculares produz múltiplos esporângios, enquanto cada esporófito das plantas avasculares produz um único esporângio terminal. Desta forma, nas plantas vasculares o número de esporos produzidos é muito maior. Diferentemente de gametas que precisam de água para ser transportados, os esporos são facilmente dispersados pelo vento e estes possuem paredes que lhes confere resistência contra dessecação. Provavelmente, o investimento das plantas vasculares na fase produtora de esporos na ocupação do ambiente terrestre, tenha lhes possibilitado maior eficiência de dispersão e maior independência da água para reprodução, uma vez que a fase gametofítica é efêmera.

Quando comparamos as plantas avasculares com os diferentes grupos de plantas vasculares, observamos outra importante modificação em termos de ciclo de vida, a fase gametofítica se torna progressivamente menor e mais protegida. Em algumas linhagens de

Lycopodiophyta e em todas as Euphyllophyta, a fase gametofítica se desenvolve endosporicamente, ou seja, internamente às paredes dos esporos, o que representa uma proteção extrema desta fase. Nas angiospermas, o gametófito feminino é tão reduzido que chega a apresentar apenas sete células com oito núcleos (saco embrionário) e o gametófito masculino, duas células, com três núcleos. Nas Espermatófitas, observamos ainda outra adaptação, o surgimento das sementes, que são unidades de dispersão do embrião providas de reservas nutricionais e revestidas por tecidos que protegem contra a dessecação no meio. Tudo isto reflete a adaptação das plantas às adversidades que o meio terrestre lhes impôs.

As plantas vasculares compartilham uma característica derivada muito importante para a adaptação ao ambiente terrestre: apresentam células condutoras lignificadas, o que aumenta a eficiência de transporte de água a longas distâncias. Estas células são as traqueídes e elementos de vaso do xilema.

As partes aéreas e as partes subterrâneas das primeiras plantas vasculares são estruturalmente muito semelhantes. Raízes e caules tornaram-se progressivamente mais especializados, sendo as raízes órgãos de fixação e absorção de água e sais minerais, e o caule na sustentação. Tal progressão funcional foi acompanhada também de uma diferenciação anatômica do estelo. O estelo corresponde ao arranjo dos tecidos vasculares em um órgão. Assim, inicialmente caules e raízes possuíam organização do estelo do tipo protostélica, na qual os tecidos vasculares estão organizados formando um cilindro vascular maciço que ocupa o centro do órgão. A partir de Monilophyta, as raízes apresentam estrutura protostélica, enquanto os caules passam a exibir uma organização do tipo sifonostélica, na qual os tecidos vasculares formam anéis que circundam uma medula parenquimática central, ou eustélica, na qual os tecidos vasculares formam cordões (feixes vasculares), que contornam uma medula parenquimática que ocupa o centro do órgão.

As primeiras plantas vasculares também não apresentavam folhas, assim, a função fotossintética era realizada pelo caule. Ao longo da evolução das plantas vasculares, observamos o desenvolvimento de apêndices caulinares que se especializaram na fotossíntese. Estes apêndices podem ser chamados de micrófilos, na linhagem Lycopodiophyta ou de megáfilos em Euphyllophyta, que é um grupo monofilético formado pelo Filo Monilophyta, pelas Gimnospermas e Angiospermas. Os micrófilos são estruturas laminares, que lembram folhas e são geralmente pequenas, e que possuem uma única nervura que promove sua irrigação. Já os megáfilos são as folhas verdadeiras, que apresentam um sistema complexo de nervuras principais e secundárias que as irrigam.

3.1 PLANTAS VASCULARES SEM SEMENTES (FILOS LYCOPODIOPHYTA E MONILOPHYTA)

As plantas vasculares sem semente são representadas pelos filos extintos Rhyniophyta, Zosterophyllophyta e Trimerophytophyta, e pelos filos atuais Lycophyta e Monilophyta.

O Filo Lycopodiophyta corresponde às plantas vasculares sem sementes que possuem micrófilos. É representado pelos licopódios, selaginelas e isoetes.

Os representantes de Lycopodiophyta atuais são plantas de pequeno porte, com um caule aéreo, no qual se inserem micrófilos e uma parte prostrada do qual partem raízes. Contudo, ordens extintas de Lycopodiophyta possuíam representante de porte arbóreo e crescimento secundário. Os microfilos podem estar associados a esporângios e formar agrupamentos terminais chamados estróbilos como no caso da família Selaginellaceae e do gênero *Lycopodium* ou podem estar associados à base de micrófilos férteis, chamados esporófilos, como nos gêneros *Huperzia* e *Isoetes*.

As plantas da família Lycopodiaceae são homosporadas, isto é, produzem apenas um único tipo de esporos por meiose, por consequência, tais esporos originarão gametófitos bissexuados.

Em contrapartida, as plantas das famílias Selaginellaceae e Isoetaceae são heterosporadas, ou seja, cada um de seus esporângios pode produzir mais de um tipo de esporo por meiose, que dará origem a um gametófito unissexuado.

O gametófito das Lycopodiaceae é de vida livre e de tamanho reduzido. Já os gametófitos das Selaginellaceae têm desenvolvimento endospórico. Todas as plantas vasculares sem sementes são oogâmicas, assim, gametófitos diferenciarão arquegônios e anterídios que produzirão, respectivamente, gametas femininos imóveis (oosfera) e gametas biflagelados masculinos (anterozóides), que dependem da água para fecundar a oosfera. Após a fecundação, o zigoto passa por diversas divisões mitóticas, formando um embrião que fica retido nos tecidos do gametófito, sendo nutrido até exaurir o gametófito. Neste estágio de desenvolvimento, o esporófito torna-se independente, constituindo-se de uma planta jovem que é capaz de produzir seus próprios fotoassimilados.

O Filo Monilophyta corresponde às plantas vasculares sem sementes que possuem megáfilos. O filo é representado por quatro classes: Equisetopsida, Psilotopsida, Marattiopsida e Polypodiopsida. Os representantes de Equisetopsida são chamados de cavalinhas e são organismos que possuem o talo articulado com regiões de nós, dos quais partem pequenos megáfilos, e entrenós. O termo samambaia é desprovido de valor taxonômico e é frequentemente utilizado em referência a representantes das últimas três classes. Atualmente, o grupo apresenta mais de 12 mil espécies identificadas, sendo considerado o segundo maior grupo de plantas, depois das angiospermas (EVERT & EICHHORN, 2014).

Em Monilophyta, os megáfilos são também chamados de frondes. Na maioria do grupo, os esporângios desenvolvem-se na superfície inferior das frondes formando agregados chamados de soros. Algumas Psilotopsida são desprovidas de folhas e seus esporângios são produzidos no ápice de ramificações do caule em agrupamentos chamados sinângios. No caso de Equisetopsida, os esporângios são produzidos em esporangióforos que se agregam formando estróbilos no ápice do caule.

As Equisetopsida, Psilotopsida e Marattiopsida são plantas eusporangiadas, no qual os esporângios são originados por uma fileira de células na superfície do órgão em que serão formados. Já as Polypodiopsida são plantas leptosporangiadas, ou seja, cada um de

seus esporângios tem origem em uma única célula na superfície do órgão em que serão formados. O estado de caráter leptosporangiado é considerado derivado dentro de Monilophyta.

A maioria das Monilophyta é homosporada, contudo, a heterosporia é observada dentre alguns representantes da classe Polypodiopsida, da ordem Salviniales. Aparentemente, a heterosporia é um caráter que evoluiu independentemente dentro de Monilophyta e Lycophyta.

Sugestão de aula prática: Colete folhas de uma samambaia, tais folhas fazem parte do esporófito, que é a fase dominante do ciclo de vida. Observe a face inferior das folhas procurando por estruturas de coloração amarronzada ou alaranjada que podem ser redondas ou em forma de linhas. Estas estruturas são soros, ou seja, agrupamentos de esporângios. Cada esporângio produzirá vários esporos, desta forma, tente induzir seu aluno a pensar sobre quantos esporos vão ser produzidos (milhares por planta!) e qual é a chance de que estes esporos sejam dispersos e germinem formando um gametófito (alta!). Se possível, utilize uma lupa para observar estas estruturas.

3.2 PLANTAS VASCULARES COM SEMENTES

As Fanerógamas são as plantas vasculares com sementes e são representadas pelas Gimnospermas e Angiospermas. Assim como nas demais plantas vasculares, a fase dominante do ciclo de vida é a fase esporofítica, assim quando olhamos para uma floresta, o que vemos são esporófitos. As Fanerógamas são plantas heterosporadas que apresentam desenvolvimento do gametófito endospórico, ou seja, extremamente protegidos dentro das paredes dos esporos.

As Angiospermas, ou também chamadas Anthophyta ou Magnoliophyta (Fig.1), são aquelas plantas em que os órgãos reprodutivos são as flores e frutos (onde internamente estão as sementes), enquanto as Gimnospermas são aquelas em que as sementes estão expostas (não possuem frutos e flores) e os órgãos reprodutivos são chamados de estróbilos (por exemplo, o cone do *Pinus* utilizado em decoração natalina).

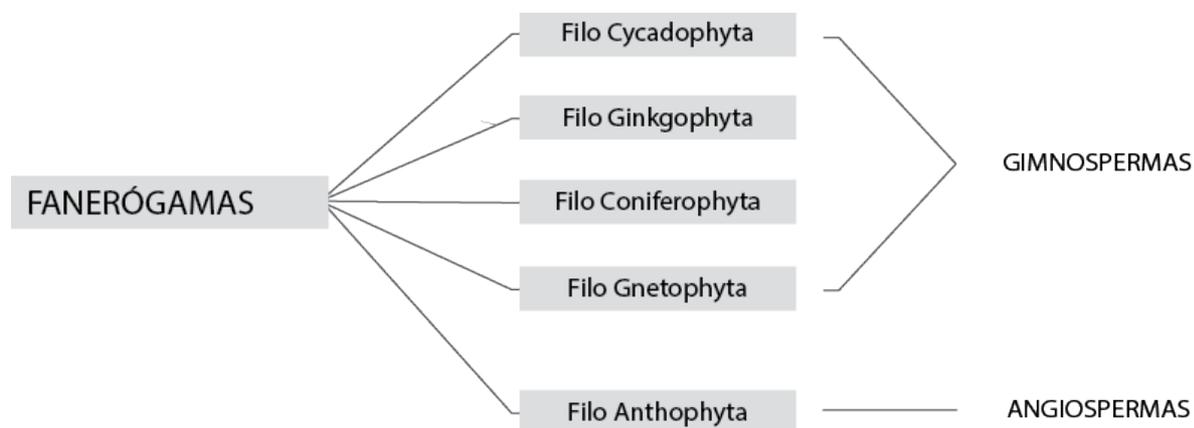


Figura 1: Organização dos Filos das Fanerógamas.

Todas as Angiospermas foram, evolutivamente, originadas de um único ancestral, por isso, são consideradas monofiléticas, enquanto as Gimnospermas, não (polifiléticas). As Angiospermas possuem um único Filo, denominado Angiospermae, Anthophyta ou Magnoliophyta, e as Gimnospermas possuem quatro Filos vivos (Cycadophyta, Gnetophyta, Coniferophyta, Ginkgophyta) (Figura 2), embora já tivessem sete no total (três já foram extintos: Progymnospermatophyta, Pteridospermophyta e Cycadeoidophyta).

Dentre as Fanerógamas, as Angiospermas é o grupo mais rico, pois possui cerca de 365 mil espécies, enquanto as Gimnospermas possuem, aproximadamente, 800 espécies. A organização taxonômica das Gimnospermas é bem definida, porém, nas últimas décadas, as Angiospermas vêm passando por grandes mudanças. A seguir, um breve histórico das mudanças na organização taxonômica das Angiospermas e o sistema de classificação mais recente.

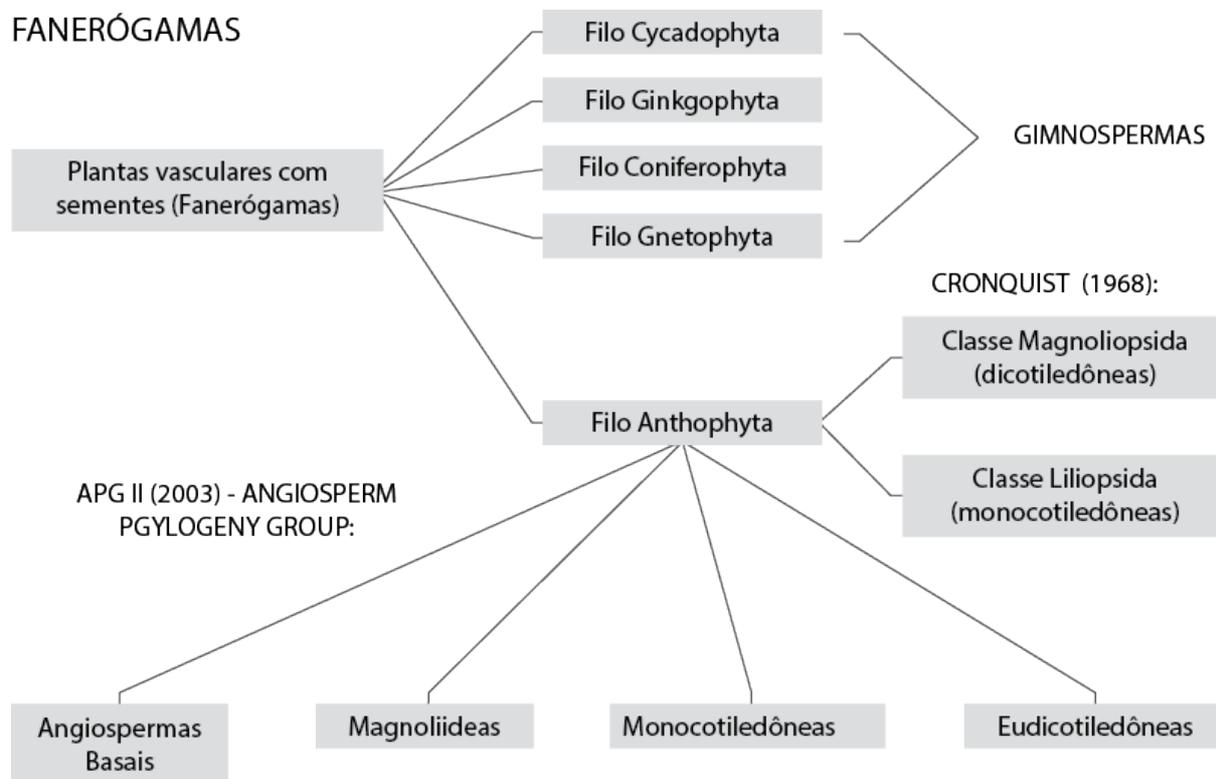


Figura 2. Organização taxonômica das Fanerógamas.

Conforme vimos na unidade 1, o homem vem ordenando as plantas em grupos de acordo com suas aparências (semelhanças) há muito tempo, sendo motivado, inicialmente, pelo interesse nas propriedades medicinais das plantas. Esta ordenação teve início com Theophrastus (350 anos a.C.), onde as plantas foram classificadas de acordo com o hábito (arbórea, arbustivo, subarbustivo, herbáceo, etc.) e tipo de inflorescência. Este tipo de classificação permaneceu até o final do século XVII, e dentre os botânicos com esta filosofia encontravam-se Andréa Caesalpino (1519-1603), Jean Bauhin (1541-1631), Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708), entre outros. Em 1753, Carolus Linnaeus (1707-1778) publicou sua obra *Species Plantarum*, onde propôs um sistema de classificação baseado em características do androceu e gineceu, como número de estames, sua posição na flor, número de estiletos do ovário etc. Também chamado de sistema sexual, era um sistema puramente numérico e artificial. Esta obra foi considerada o ponto de partida do sistema de classificação binomial, utilizado até hoje (Figura 3). Por este motivo, Linnaeus é considerado o pai da taxonomia botânica e zoológica. Após este período, muitos botânicos começaram a voltar para a Europa trazendo consigo um grande número de material botânico proveniente de várias partes do mundo, muitos novos para a ciência, e que tinham de ser identificados e classificados. Notaram que o sistema sexual proposto por Linnaeus não se adequava para muitos materiais. Começou assim um novo período de classificação, onde as plantas eram organizadas em grupos afins pela existência de caracteres comuns. Este sistema foi dito então, natural. Dentre os botânicos desta época cabe citar Antoine-Laurent de Jussieu (1748-1836), Jean B.A.P.M. de Lamarck (1744-1829), Augustin-Pyramus de Candolle (1778-1841), entre outros.

NOMEMCLATURA BINÁRIA

Os nomes científicos são universalmente designados por um conjunto de duas palavras latinas.

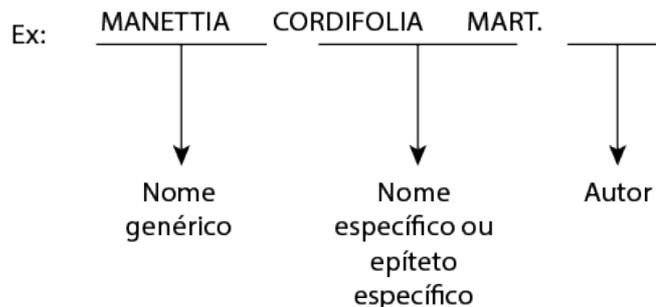


Figura 3. Exemplo de nomenclatura binária.

Após a Teoria da Evolução das Espécies (1859), de Charles Darwin (1809-1882), a maioria dos botânicos começou a propor sistemas de classificação baseados na história evolutiva das plantas, tentando estabelecer relações entre os organismos, chamado de filogenia. O primeiro sistema baseado nas relações filogenéticas das plantas foi proposto por August Wilhelm Eichler (1839-1887), em 1875. Em 1883, apresentou um sistema dividindo o Reino Vegetal em Fanerógamas e Criptógamas.

Heinrich Gustav Adolf Engler (1846-1930) tratou com detalhes nomenclaturais as categorias superiores. Cada subclasse foi dividida em ordens abrangendo famílias supostamente relacionadas. Este sistema dividiu as Angiospermas em duas subclasses, monocotiledôneas e dicotiledôneas. Inicialmente, considerou as “mono” como mais primitivas que as “dico”, porém mais tarde, as monocotiledôneas foram tratadas, por ele mesmo, como um grupo posterior às dicotiledoneas. Engler dividiu as dicotiledôneas em *Archyclamindeae* (37 ordens) e *Sympetaleae* (11 ordens). Novas edições deste sistema foram realizadas até 1964. Charles Edwin Bessey (1845-1915) baseou sua classificação em 20 pontos evolutivos e dividiu as angiospermas em duas classes baseando-se na posição dos cotilédones.

Arthur Cronquist (1919-1992) classificou as plantas em oito divisões (Rynophyta, Bryophyta, Psilophyta, Lycopodiophyta, Equisetophyta, Polypodiophyta, Pinophyta e Magnoliophyta) (1966). Em 1968, apresentou uma nova classificação, levando em consideração características anatômicas, presença ou ausência de endosperma, substâncias químicas, morfologia dos órgãos reprodutores, etc. Dividiu as Magnoliophyta em Magnoliatae (Magnoliidae, Hammamelidae, Caryophyllidae, Dillenniidae, Rosidae e Asteridae) e Liliatae (Alismatiidae, Arecidae, Commelinidae, Zingiberidae e Liliidae).

Esta classificação de Cronquist, baseada em métodos tradicionais, ainda é utilizada em muitos lugares no Brasil, principalmente pelo excelente trabalho da Graziela Maciel Barroso (1912-2003) em “Sistemática de Angiospermas do Brasil” vol.1, 2 e 3 (Magnoliidae, Hammameliidae, Caryophyllidae e Dilleniidae; Rosidae; e Asteridae, respectivamente) (Figura 4).

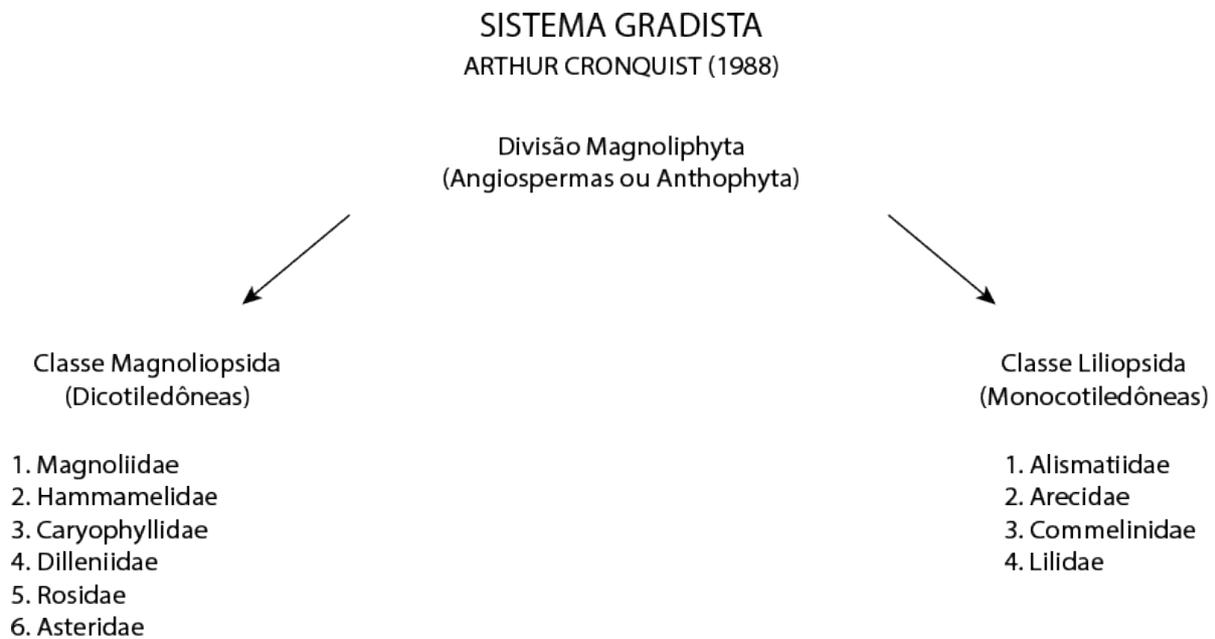


Figura 4. Organização geral das Angiospermas segundo Cronquist 1988.

A classificação das plantas estimada com base nas semelhanças externas, muitas vezes, é uma avaliação intuitiva do especialista e vem dando espaço a classificações mais modernas. O método mais amplamente utilizado atualmente é a cladística, a qual enfoca a ramificação de uma linhagem a partir de outra no curso da evolução, tendo como produto final um cladograma, onde dos pontos de convergência entre duas linhagens estaria um ancestral comum.

A cladística procura identificar grupos monofiléticos (ou cladós) que podem ser definidos pela posse de atributos únicos, chamados de *estado de caracteres derivados compartilhados*, em oposição à posse de atributos mais amplamente distribuídos, denominados *estado de caracteres pré-existent*s, ou *ancestrais*. Inicialmente, os cladogramas produzidos foram baseados em caracteres morfológicos como estrutura do pólen, diferenças da antera em relação ao filete, tipos de estômatos, tipos de aberturas do grão de pólen, padrões das partes florais, entre outros. Logo em seguida, vieram os cladogramas baseados em análises moleculares e muitos confirmando a maioria das informações obtidas pelas análises baseada em morfologia. Por exemplo, a origem parafilética das dicotiledôneas.

No final do século XX, começaram a surgir diversos trabalhos utilizando análise cladística molecular de vários grupos vegetais, principalmente a nível genérico e de família. Havendo pouquíssimos trabalhos de classificação ao nível ordinal e/ou superiores. Em 1998, Kåre Bremer, Mark W. Chase, Peter F. Stevens e colaboradores escreveram o "An Ordinal Classification for the Families of Flowering Plants" (APG 1998) propondo uma nova classificação para os táxons superiores das plantas com flores (Angiospermas). Esta proposta está mudando completamente a delimitação de alguns táxons que eram tratados anteriormente por Cronquist como grupos monofiléticos, como as Subclasses Magnoliidae, Hammamelidae e Dilleniidae, por exemplo (Figura 4).

O APG III (2009) é o sistema de classificação das Angiospermas mais atual, de modo que os trabalhos científicos mais recentes adotam tal organização. Segundo esse grupo, as Angiospermas estão divididas, informalmente, em quatro grandes grupos: 1) Monocotiledôneas (um grupo monofilético sustentado pelas sinapomorfias das folhas paralelinervias, embrião com um cotilédone, plastídios das células crivadas com vários cristais de proteínas, caule com diversos feixes vasculares e sistema de raízes adventícias, como, também, por sequências de 18S rDNA, *atpB* e *rbcL*. Essas monocotiledôneas são as mesmas da classificação de Cronquist (1988). 2) Eudicotiledoneas ou tricolpadas (incluem neste grupo monofilético as “dicotiledôneas” de Cronquist), que possuíam o pólen tricolpado ou modificações deste tipo de pólen; 3) Angiospermas basais, sendo representado por um grupo que engloba Amborellales, Nymphaeales e Austrobaileyales e outro que corresponde as Mesangiospermas (Chloranthales + Magnoliídes). 4) Magnoliídes podendo ser chamada de magnoliídeas e, finalmente, por um outro que é denominado Ceratophyllales (APG III 2009). Em alguns livros, o complexo basal é tratado de diferentes maneiras, apresentando outros nomes: Paleoerva não monocotiledôneas, Grado ANITA e Complexo Magnoliídea. Porém, independentemente de qual nomenclatura adotada, a tendência geral é utilizar o sistema de classificação APGIII.

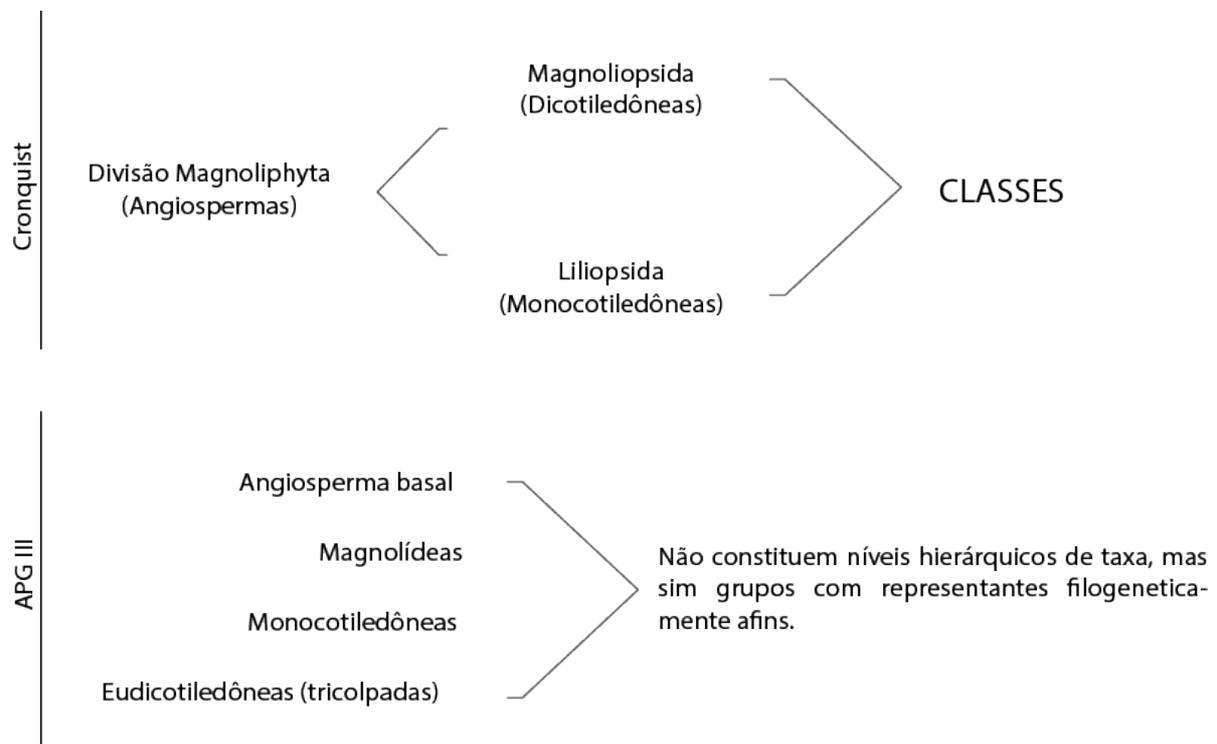


Figura 5. Classificação de Cronquist e APGIII.

Sugestão de aula prática: colete no pátio da escola ou nos canteiros da cidade alguns exemplos de Gimnospermas (pinheiro é a planta mais comum nas cidades) e Angiospermas. O importante é que o pinheiro tenha estróbilo e a Angiosperma, flores, pois

assim você conseguirá mostrar a diferença entre os dois grupos. Dentro de Angiospermas, você poderá coletar indivíduos de Monocotiledôneas (gramínea é o exemplo mais fácil) e Eudicotiledôneas (manga, mamão, limão etc.) para diferenciar um grupo do outro e enfatizar que uma diferença marcante está na nervura das folhas. Mono tem nervuras paralelas e Eudico tem nervuras peninérvias (parecida com pena de ave). Outra forma de enfatizar a diferença é quanto ao sistema radicular. Colete gramíneas e uma herbácea Angiospermas (da mesma forma que a prática de órgãos vegetativos) para mostrar que Mono tem raiz do tipo fasciculada e Eudico do tipo axial. A partir dessa aula, terá sido aplicada uma forma precoce da sistemática.

3.2.1 Morfologia e Sistemática das Fanerógamas

A seguir discutiremos aspectos da morfologia e sistemática das Fanerógamas, baseados em livros clássicos do tema. As referências adotadas estão citadas ao final do texto. Os mesmos livros são sugeridos como referência básica de leitura para estudos mais detalhados.

Morfologia ou Organografia: morfologia externa dos órgãos vegetais

- **Órgãos vegetativos:** partes da planta que não estão envolvidas, diretamente, na reprodução (raiz, caule e folhas)
- **Órgãos reprodutivos:** partes da planta que estão envolvidas, diretamente, na reprodução (flores, inflorescência, frutos e sementes)

3.2.1.1 Morfologia Externa das Fanerógamas

HÁBITO

Arbóreo (árvore): hábito vegetal lenhoso (espesso), avantajado, com um tronco (fuste) principal levando os ramos até a copa.

Arbustivo (arbusto): hábito vegetal lenhoso, pequeno, com o caule principal ramificado desde a base.

Epifítico (epífitas): planta que vive sobre outra, sem parasitá-la. Principalmente herbáceas, usam outras plantas para sustentá-las e não têm ligação com o solo.

Herbáceo (erva): planta de pequeno porte, caule não lenhoso. Pode ser anual, bianual ou perene. Ervas aquáticas vivem na água ou solos encharcados; ervas escandentes usam outras plantas como suporte;

Hemiparasita ou semiparasita: planta parcialmente parasita, complementa seus nutrientes e recursos de água sequestrando-os da planta hospedeira (Exemplo: erva-de-passarinho).

Parasita: planta heterótrofa (não produz seu próprio alimento), retira nutrientes e água de uma planta hospedeira, através de haustórios (raízes modificadas).

FORMAS DE VIDA (RAUNKIAER, 1934)

Fanerófitas: gemas permanentes localizadas acima de 50 cm do solo. Árvores, arbustos, plantas trepadoras, herbáceas altas e epífitas.

Caméfitas: gemas permanentes localizadas próximas ao nível do solo (10-50 cm altura). Plantas lenhosas reptantes ou decumbentes das tundras boreais e de montanhas.

Hemicriptófitas: gemas permanentes localizadas ao nível do solo. Plantas cespitosas (gramíneas), plantas bianuais e perenes que produzem uma roseta de folhas ao nível do solo e ervas providas de estolões epígeos.

Criptófitas ou geófitas: gemas permanentes localizadas abaixo da superfície do solo, em rizomas ou bulbos.

Terófitas: plantas anuais, atravessam os períodos adversos em estado de repouso embrionário (sementes).

Sugestão de aula prática: sair com os alunos para dar uma volta no pátio da escola para eles observarem os diferentes tipos de hábito e formas de vida. Peça para eles classificarem as plantas de acordo com o hábito e explicarem o porquê. Caso seja possível, nesta mesma atividade, peça para eles desenharem as plantas observadas, pois assim há maior interação entre os alunos e o professor. Voltando a sala de aula, peça para eles pintarem os desenhos.

VERTICILOS VEGETATIVOS: CAULE, RAIZ E FOLHA

CAULE

Caule é o órgão vegetativo, geralmente aéreo, que serve para produzir e suportar folhas, flores e frutos, para a circulação da seiva nutritiva, para armazenar reservas alimentares e, às vezes, para realizar propagação vegetativa.

Funções do caule

- Produção e suporte de ramos, flores e frutos;
- Condução de seiva (distribuição de alimento) e água/sais minerais;
- Crescimento e propagação vegetativa;
- Pode realizar fotossíntese ou funcionar como reserva de alimentos e água.

Origens do caule

- Gêmula do caulículo (embrião da semente);
- Exógena, a partir de gemas caulinares (ramificações e/ou regeneração).

Morfologia do caule

- Corpo dividido em nós e entrenós;

- Presença de folhas e botões vegetativos;
- Geralmente aclorofilados (exceto caules herbáceos e cladódios dos cactos);
- Geralmente aéreos (exceto bulbos, cormos, rizomas, rizóforos);
- Geralmente com geotropismo negativo;
- Geralmente com fototropismo positivo.

Importância do caule

- Sustentação das folhas, flores, frutos e sementes;
- Condução de substâncias alimentares, água e sais minerais;
- Econômica: uso alimentar (batata-inglesa, que possui reservas de carboidratos); uso industrial (borracha, corante, resinas, equipamentos de madeira, gomas); comercial (madeira bruta); medicinal (gengibre, alcaçuz).

Ramificação e crescimento do caule

O grau de dominância da gema apical sobre as laterais atua na “arquitetura” da planta, ou seja, na forma de crescimento e ramificação do caule.

Sistema monopodial: é aquele em que o crescimento do caule se dá pela atividade de uma única gema apical que persiste ao longo da vida da planta. A única forma de ramificação é na emissão de inflorescência. Exemplos: sisal (Agave), mamoeiro (*Caryca papaya* – Caryaceae), palmeiras (Arecaceae), etc.

Sistema simpodial: várias gemas participam, consecutivamente, da formação de cada eixo. Contribui para a formação arredondada das copas da maioria das árvores Eudicotiledôneas.

Sistema dicasial: neste tipo de ramificação, duas gemas laterais do eixo principal crescem mais do que o ápice caulinar. Decorrido certo intervalo de tempo, duas gemas de cada um dos novos ramos superam o desenvolvimento das respectivas gemas terminais e, assim, sucessivamente.

Caules aéreos

Eretos – desenvolvimento vertical

Haste: caule flexível, não lenhoso, clorofilado, presente na maioria das ervas e subarbustos.

Escapo: ramo aéreo que sai de rizoma, bulbo ou cormo, não ramificado, sem folhas (áfilo), que sustenta flores na extremidade. Exemplos: agave, banana, bromélias etc.

Tronco: caule da maioria das árvores, lenhoso, delgado a muito robusto, cilíndrico ou cônico, em geral, com um fuste bem desenvolvido até o aparecimento das primeiras ramificações.

Estipe: caule geralmente cilíndrico e não ramificado, com uma coroa de folhas apenas no ápice. Exemplos: palmeiras, *Dracaena* (Agavaceae), *Pandanus* (Pandanaeae). Também ocorrem em *Carica papaya* (mamão).

Colmo: caule bem dividido em nós e entrenós, geralmente ramificado, com folhas desde a base, silicoso. Exemplos: cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* – Poaceae) e milho (*Zea mays* – Poaceae), ambos colmos cheios; bambu (*Bambusa* spp. – Poaceae) possui colmos ocos (ou fistulosos).

Rastejantes

Caule prostrado: caule preso ao solo pelas raízes em apenas um ponto. Desenvolve-se rastejante ao solo. Podem subir em suportes, enrolando-se ou formando gavinhas que se enrolam. Exemplos: espécies de Cucurbitaceae, como aboboreira (*Cucurbita* sp.), chuchu, melancia, melão etc.

Estolho (ou estolão): eixo caulinar emitido por uma planta que rasteja junto à superfície do solo com entrenós bem alongados e em cada nó apresenta gemas e raízes, podendo se fixar novamente nesse ponto. Exemplos: Trapoeraba (*Tradescantia* sp. – Commelinaceae), morangueiro (*Fragaria vesca*, Rosaceae) e aguapé (*Eichhornia azurea*).

Trepadores

Trepadeira (liana): alguns estolhos, quando encontram um substrato, podem subir por meio de raízes grampiformes ou gavinhas, como em hera (*Hedera helix* – Araliaceae).

Caule volúvel: caule que se enrola a um suporte sem o auxílio de órgãos de fixação (gavinhas - “molinhas”). Podem ser sinistrorsos (enrolam-se para a esquerda) ou dextrorsos (enrolam-se para a direita).

Caules aéreos com adaptações especiais

Cladódio: caule modificado com função fotossintetizante e/ou reserva de água, geralmente em plantas áfilas ou com folhas transformadas em espinhos. Exemplos: cactos (Cactaceae).

Rizóforo: eixo caulinar com geotrópico positivo, com características de órgão portador de raízes adventícias, produzido por algumas plantas além do seu eixo caulinar normal (ereto ou produtor de folhas verdes). Um sistema de rizóforos pode auxiliar a sustentação ou estabilização da planta ou o aumento da capacidade de exploração do solo adjacente. Ocorrem em árvores que vivem em manguezais (*Rhizophora mangle*) e outras espécies de *Rhizophora* (Rhizophoraceae).

Caules subterrâneos

Rizoma: caule com crescimento horizontal ao solo que produz diretamente folhas ou ramos verticais com folhas. Exemplos: *Iris* spp. (Iridaceae), espada-de-são-jorge (*Sanseveria* spp. – Agavaceae), lírio-do-brejo (*Hedychium* spp. – Zingiberaceae), bananeira (*Musa* spp. – Musaceae).

Tubérculo: caule com reserva de nutrientes na porção terminal de seus ramos. As gemas são os “olhos”, encontradas nas axilas das escamas ou de suas cicatrizes. Exemplos: batata-inglesa (*Solanum tuberosum* – Solanaceae) que possuem ramos caulinares subterrâneos, possuindo suas gemas protegidas por catafilos.

Bulbo: sistema caulinar comprimido verticalmente (disco basal na porção mais rígida da cebola), do qual partem muitos catáfilos densamente dispostos cheias de nutrientes. Exemplos: cebola (*Allium cepa* – Liliaceae), alho (*Allium sativum* – Liliaceae), tulipa (*Tulipa* spp. – Amaryllidaceae), lírios (*Lilium* spp. – Liliaceae).

Modificações caulinares

Gavinhas: estruturas que se enrolam a um suporte, pois são sensíveis ao estímulo de contato (molinhas). Exemplos: uva (*Vitis vinifera* – Vitaceae), maracujá (*Passiflora* spp. – Passifloraceae). A gavinha caulinar encontra-se na axila das folhas, sempre.

Espinhos: espinhos são gemas desenvolvidas com função de proteção contra herbivoria. Exemplos: *Pyracantha* sp. (Rosaceae), limoeiro (*Citrus* spp. – Rutaceae). Não podem ser confundidos com acúleos (*Rosa* spp. – Rosaceae) que são anexos epidérmicos, sem vascularização, geralmente sem posição definida no caule. É importante notar que um espinho caulinar encontra-se na axila de folhas, sempre. Existem também espinhos por modificação de raiz e folha. Em Cactaceae, os espinhos são folhas modificadas.

Domáceas: termo aplicado a qualquer modificação estrutural de um caule, bem estabelecida na espécie, que permite o alojamento regular de animais. Ex.: o caule fistuloso (oco) das embaúbas (*Cecropia* spp. – Moraceae) é sempre ocupado por formigas específicas. Existem domáceas de origem foliar, como os que ocorrem nos pecíolos de folhas de *Cordia nodosa* (Boraginaceae), de *Acacia* spp. (Leguminosae) e de *Tococa* (Melastomataceae).

RAIZ

É um órgão, normalmente, subterrâneo que fixa a planta ao solo, retira e distribui nutrientes e funciona como órgão de reserva. É o primeiro órgão a sair no processo de germinação da semente (radícula). Geralmente, a raiz primária continua seu crescimento ao longo de toda a vida da planta, produzindo ramificações que, subseqüentemente, também se ramificam constituindo o sistema radicular axial (pivotante). Outro tipo de raiz é o fasciculado (cabeleira), comum nas Monocotiledôneas. A raiz primária e as raízes secundárias da fasciculada têm vida curta, sendo substituídas pelas raízes adventícias que se originam no caule.

Funções

- Fixação da planta ao substrato;
- Absorção de água e solutos e o transporte de água para as partes aéreas;
- Armazenamento de nutrientes.

O sistema radicular axial e fasciculado

O sistema radicular axial é característico das Gimnospermas e Eudicotiledôneas. A raiz primária se destaca das secundárias pelo seu maior comprimento e diâmetro. Ela penetra, geralmente, a grandes profundidades no solo, enquanto as raízes secundárias são perpendiculares em relação a principal. Exemplos: cenoura, beterraba, rabanete, grande árvores etc.

O sistema radicular do tipo fasciculado, comum nas Monocotiledôneas, é formado por raízes adventícias de mesmo diâmetro que também se ramificam. É mais superficial que a raiz axial, porém formam uma rede de pequenas raízes que juntas firmam as partículas superficiais do solo. Não existe uma raiz principal de maior calibre. Muito usadas para evitar deslizamentos de terra em barrancos. Exemplos: gramíneas, palmeiras, lírios etc.

Partes de uma raiz

Colo ou coleto: região de transição entre caule e raiz.

Zona de ramificação: é a região de onde partem as raízes secundárias. Também chamada de zona de maturação/fixação.

Zona pelífera: região constituída por células cujas paredes evaginam-se formando os pelos absorventes microscópicos. São os principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes.

Zona de alongamento: corresponde a região em que as células produzidas no meristema apresentam aumento de tamanho.

Coifa: capa de proteção da zona meristemática. É uma estrutura de proteção, localizada na extremidade da raiz. Auxilia na penetração da raiz no solo devido à produção de mucilagem (composição: substâncias pécticas).

Origem das raízes

- Origem embrionária: radícula que compõe o embrião;
- Origem adventícia: raiz originada de qualquer parte da planta, menos da radícula. Normalmente, é originada do caule ou das folhas.

Raiz aquática

Plantas aquáticas desenvolvem uma densa rede de raízes adventícias submersas. Elas podem ser:

Natantes: em vegetais que flutuam

Lodosa: em vegetais que se fixam em pântanos e no fundo de rios e lagos.

Raízes aéreas

Muitas plantas tropicais originam raízes a partir do caule e de ramos (raízes adventícias). Estas raízes ficam pendentes na planta ou crescem até o solo, podendo até substituir a função de sustentação exercida pelo caule (Exemplo: falsa-seringueira, *Ficus* sp.). As raízes aéreas possuem características anatômicas especiais de adaptação ao ambiente. Orquídeas desenvolvem nas raízes aéreas uma epiderme multisseriada denominada de velame. Quando o ar está com baixa umidade relativa, essas células encontram-se repletas de ar formando um manto protetor contra a evaporação. Quando chove, esses espaços são ocupados por água.

Pneumatóforos (respiratórias)

Os sistemas radiculares de árvores que vivem em pântanos litorâneos ou em locais que são inundados desenvolvem certas peculiaridades adaptativas. Estas raízes são denominadas pneumatóforos, sendo providas de pequenos orifícios (lenticelas) chamados de pneumatódio que possibilitam a oxigenação das raízes.

Haustórios (sugadoras)

Esse tipo de raiz existe em plantas parasitas superiores que penetram nos tecidos da planta hospedeira, sendo tais raízes denominadas haustórios. O cipó-chumbo, *Cuscuta* sp., é uma planta sem folhas e sem raízes verdadeiras, sendo parasita obrigatória. Ela forma um emaranhado de fios amarelados que fica sobre a hospedeira, da qual retira todas as substâncias. Outro exemplo é a erva-de-passarinho, porém considerada hemiparasita, pois retira apenas água e solutos minerais da hospedeira. Suas folhas são verdes e fotossintetizantes, por isso naturalmente, produzem a “seiva elaborada”.

Tabulares ou Sapopemas

Em certas espécies de figueiras e árvores de florestas tropicais, ocorrem raízes denominadas tabulares. Estas raízes desenvolvem-se na superfície do solo, formando pranchas alongadas que ampliam a base da planta, bem como aumentam a superfície respiratória e de condução da água absorvida. Este tipo de crescimento com geotropismo negativo é devido ao crescimento assimétrico, principalmente na face mais superficial da raiz.

Raízes de armazenamento

Todas as raízes primárias das plantas armazenam substâncias de reserva no córtex, principalmente amido. Entretanto, em muitas plantas, certas partes das raízes se especializam na função de armazenamento, transformando-se em órgãos grossos e carnosos, denominados raízes tuberosas. Exemplos clássicos: cenoura, beterraba, nabo, rabanete etc.

Adaptações radiculares

Associações com fungos - Micorrizas

Vantagens para a planta:

- Conversão de matéria orgânica em forma assimilável pela planta;
- Melhoria na capacidade de absorção de água/nutrientes;
- Aumento da resistência a certas doenças.

Vantagens para o fungo:

- Planta fornece proteção e nutrientes.

Associações com bactérias (comum em leguminosas).

Vantagens para a planta:

- Bactérias fixadoras de nitrogênio (*Rhizobium*).

Vantagens para a bactéria:

- Planta fornece proteção e nutrientes.

FOLHA

É um órgão vegetativo da planta onde a fotossíntese ocorre na presença da luz. Possui diversas variações morfológicas entre as espécies vegetais (plasticidade fenotípica). As folhas podem ser entendidas como órgãos laterais que emergem do caule ou ramos que têm as seguintes características básicas: crescimento limitado e formato laminar. Sua morfologia está ligada ao melhor desempenho de suas funções e, para isso, apresentam alto conteúdo de clorofila, formato laminar e dispendo-se no caule, de maneira a melhor aproveitar a luz solar. Existem cinco tipos básicos de folhas: os cotilédones (presentes no embrião), os catáfilos (proteção das gemas: cebola e alho), os nomófilos (as folhas propriamente ditas), os hipsófilos (para atrair polinizadores) e os antófilos (as folhas modificadas das flores).

O cotilédone corresponde às folhas do embrião das sementes. O número de cotilédones é um caráter de grande constância, permitindo dividir as Angiospermas em Monocotiledôneas e Eudicotiledôneas, que são as plantas que possuem um e dois cotilédones, respectivamente. As Gimnospermas, geralmente, possuem mais de um cotilédone. Geralmente, os catáfilos são folhas aclorofiladas com formato de escamas e consistência membranosa a coriácea que revestem as gemas, os bulbos. Os nomófilos correspondem às folhas normais ou folhas propriamente ditas, em geral, laminares, verdes e de consistência herbácea. Os hipsófilos são as folhas que, em conjunto, formam as brácteas florais, que revestem as inflorescências ou mesmo as flores isoladas. São exemplos de hipsófilos, as folhas vistosas do Bouganville, do Bico-de-papagaio etc. Os antófilos correspondem a cada uma das folhas modificadas que compõem as flores como as peças do cálice, da corola, do androceu e do gineceu.

Funções

- Trocas gasosas;
- Fotossíntese;
- Evapotranspiração;
- Reserva.

Heterofilia

Produção de folhas com diferentes formatos no mesmo ramo ou na mesma planta. O eucalipto apresenta um caso típico de heterofilia. As folhas de plantas jovens são apicioladas, com formato do limbo ovado. Já as folhas de plantas mais velhas são pecioladas, com formato falciforme. Quando folhas diferentes (por exemplo, grandes e pequenas) se inserem no mesmo nível de maturidade da planta, o fenômeno é denominado anisofilia.

Filotaxia

A filotaxia é a ordenação das folhas sobre o eixo caulinar. Há três tipos de filotaxia: a oposta, a verticilada e a alterna. A filotaxia oposta ocorre quando as folhas se dispõem aos pares, em cada nó, encontrando-se uma em frente a outra. A filotaxia verticilada define-se quando existem três ou mais folhas por nó. A alterna ocorre quando a filotaxia não é oposta nem verticilada, ou seja, quando há, apenas, uma folha por nó.

Folhas de eudicotiledôneas e angiospermas basais

De maneira geral, nas angiospermas ocorrem três características básicas de nomófilos. Nas Eudicotiledôneas e Angiospermas basais, a folha típica é composta de lâmina (ou limbo foliar), pecíolo e nervura peninervia (formato de pena de ave). Nas Monocotiledôneas (especialmente as gramíneas), as folhas são formadas por lâmina,

nervura paralelinérvia e bainha que rodeia completamente o caule. Algumas de suas partes (ou todas) podem faltar ou transformar-se radicalmente em outras estruturas.

Lâmina (limbo foliar)

A lâmina é a parte da folha plana e expandida da folha, suportada por um pecíolo ou séssil presa diretamente no caule. A lâmina é composta por nervuras, os feixes vasculares, distribuídos segundo um padrão de distribuição (venação), peculiar a cada grupo de plantas. Nas Eudicotiledôneas e Angiospermas basais, a venação é tipicamente reticulada, distinguindo-se em venação pinada, palmada e digitada.

Quando a lâmina foliar é formada por uma única peça, a folha é denominada simples; quando se encontra mais de uma peça compondo a lâmina foliar, é chamada de folha composta, sendo cada peça do limbo foliar denominada folíolo. Denomina-se ráquis o eixo onde se inserem os folíolos, sendo este uma continuação do pecíolo. O folíolo pode se inserir na ráquis por meio de um peciólulo ou ser séssil. Há também a folha recomposta, na qual seria uma folha composta com os folíolos subdivididos em pequenos foliólulos.

Quando os folíolos surgem ao longo da ráquis, é chamada de folha composta pinada. Quando surgem em um único ponto, folha composta digitada. As folhas compostas podem apresentar várias subdivisões, podendo ser uma, duas ou várias vezes compostas. Na descrição de folhas compostas, além dos seus caracteres gerais, os folíolos devem ser descritos com os mesmos termos empregados na descrição da lâmina da folha simples, considerando-os quanto à forma da lâmina, ápice, base, margens e venação.

Pecíolo

O pecíolo é uma estrutura, geralmente delgada (longa ou curta), que está inserida na base da lâmina foliar que faz a conexão desta com o caule. O pecíolo pode não se inserir na base da lâmina, mas sim em seu centro, chamada de folha peltada. O pulvino é uma estrutura espessa que se localiza na base do pecíolo, sendo mais comum em folhas compostas. O engrossamento da base é devido ao aumento de tecido de preenchimento nesta região. Tal tecido, por variação de entrada e saída de água em suas células, desempenha importante papel nos movimentos das folhas. O caso da sensitiva (ou dormideira) ilustra muito bem o papel dos pulvinos.

A estípula é o apêndice que se forma em cada lado da base foliar e, geralmente, em número de dois, sendo encontrado em muitas espécies de leguminosas e rubiáceas. Elas podem ser livres ou adnatas (estípulas fundidas). As estípulas podem ser diminutas ou quase imperceptíveis. Outras vezes, são tão desenvolvidas que suplantam a própria folha, como ocorre na ervilha. Em geral, as estípulas são persistentes, como a própria folha, porém, em alguns casos, elas são decíduas, sendo observadas, apenas, acompanhando as folhas novas. São consideradas como estruturas de proteção, sendo esta a sua função primordial.

Folhas de Monocotiledôneas

A folha típica de monocotiledôneas, especialmente as gramíneas, é constituída de lâmina (ou limbo) e bainha.

Lâmina

As lâminas foliares de plantas Monocotiledôneas, em geral, são lineares ou lanceoladas, sendo mais compridas do que largas. Porém, vários são os exemplos de monocotiledôneas que têm a forma do limbo foliar diferentes do modelo geral, como as espécies de Araceae: costela-de-adão, inhame, jiboia, comigo-ninguém-pode etc.

Bainha

A bainha é a base da folha, mais ou menos alargada, que abraça o caule onde se insere. A presença da bainha pode caracterizar famílias inteiras, sendo bastante atribuída as gramíneas, sendo que em algumas gramíneas a bainha recobre vários entrenós.

Lígula e aurícula

A lígula é uma linha de união da bainha com a lâmina foliar das gramíneas. Outras famílias também possuem lígula, tais como, as aráceas, hidrocaritáceas, potamogenotonáceas e outras.

As aurículas são apêndices foliáceos, geralmente pequenos, que são encontrados no pecíolo ou na base da lâmina foliar que, pela sua forma, lembra pequenas orelhas. Chamam-se aurículas os extremos laterais de algumas lígulas de gramíneas, dilatados à semelhança de pequenos apêndices.

Modificações foliares

Folhas suculentas: Folhas que armazenam água como reserva principal. A suculência das folhas aumenta em regiões de clima seco, pois as reservas de água são muito importantes à sobrevivência das plantas.

Espinhos: As transformações de folhas e estípulas em espinhos são consideradas como uma forma de defesa dos vegetais contra depredações de herbívoros. Em plantas de caules suculentos, as folhas e estípulas transformam-se em espinhos espalhados por todo o caule.

Gavinhas: As gavinhas podem ser modificações do caule ou das folhas. Sabe-se que é modificação foliar quando em sua axila há presença de gemas axilares. Ao contrário, a gavinha estaria na axila de uma folha.

Plantas carnívoras: Alguns grupos de plantas apresentam espécies capazes de capturar insetos, como moscas, que são utilizados como suplemento alimentar. Normalmente, essas plantas ocorrem em locais com solo pobre em nutrientes. Nessas plantas, são observadas folhas profundamente modificadas, adaptadas às funções de captura e digestão de suas presas. A forma de captura da presa depende da forma foliar. Algumas folhas funcionam como armadilhas (boca ou jarra=ascídio), outras se utilizam de substâncias pegajosas para aprisionamento (=utrículos).

O ascídio consta de uma urna com opérculo. Possui pelos voltados para o interior

que impedem a saída dos insetos, que terminam por cair no fundo da urna, onde se encontram glândulas que secretam enzimas proteolíticas capazes de digerir o corpo do inseto. De maneira diferente, os utrículos são tentáculos pegajosos que capturam os insetos e os digerem por meio de glândulas produtoras de sucos digestivos.

Sugestão de aula prática: sair com os alunos para dar uma volta no pátio da escola para eles observarem os diferentes tipos de:

1. Caule aéreo
2. Raízes aéreas
3. Partes de uma folha simples
4. Parte de uma folha composta

Ao mesmo tempo que eles estiverem observando e/ou desenhando as estruturas, puxe do solo com as mãos plantas de gramíneas (que formam touceiras) e pequenas herbáceas, pois será possível mostrar raízes do tipo fasciculada e axial, respectivamente. Faça isso em plantas que estão em solos não compactados, aparentemente, pois será mais a retirada da planta. Com a mesma metodologia, é possível retirar do solo algumas plantas que possuem caule subterrâneo: espada-de-são-jorge, gengibre, açafrão. Caso a escola possua horta em sua dependência, a prática ficará mais interessante (uma sugestão para o professor). Planta cenoura, batata-inglesa, gengibre, cebola etc., pois, assim, o aluno acompanhará o desenvolvimento das estruturas morfológicas.

VERTICILOS REPRODUTIVOS: FLOR, INFLORESCÊNCIA E FRUTO

FLOR

A flor é um eixo caulinar de crescimento limitado portando folhas modificadas. Algumas dessas folhas são estéreis e outras, obrigatoriamente, férteis. Não existe flor sem a presença das estruturas férteis. As flores são os órgãos relacionados com o processo da reprodução. Muitas flores possuem um intenso colorido e diferentes odores, atributos estes que também se relacionam com o processo reprodutivo das espécies. As folhas estéreis da flor auxiliam no processo reprodutivo, protegendo as estruturas reprodutoras ou atraindo para que ocorra a polinização (deslocamento do grão-de-pólen de uma flor para o estigma da mesma flor ou de outra flor). As flores apresentam estruturas variadas, porém, possuem componentes básicos, os quais serão mostradas a seguir.

Pedúnculo

O pedúnculo é o eixo sobre o qual nasce a flor, sendo constituído por um ramo mais ou menos curto que suporta a flor ou um conjunto de flores (inflorescência). A flor é considerada séssil quando falta o pedúnculo e pedunculada quando apresenta tal estrutura.

Receptáculo

O receptáculo é a região de onde todas as estruturas florais são originadas. Por serem folhas modificadas, seria o achatamento dos nós e entrenós do ramo floral.

Perianto

O nome perianto é dado ao conjunto das duas partes mais externas da flor, o cálice e a corola, que protegem os órgãos sexuais (cálice) e servem como atração para agentes da polinização (corola). Sempre o cálice está mais externo a corola.

Cálice

O cálice constitui a parte mais externa do perianto. É composto por sépalas, que são as folhas florais ou antófilos, geralmente de cor verde. Em alguns momentos, pode ser a estrutura de atração dos polinizadores (Exemplo: *Mussaenda* sp. - Rubiaceae).

Corola

A corola constitui a parte mais interna do perianto, cujas peças apresentam, geralmente, textura mais delicada que as do cálice e de cores mais vivas. As peças que a compõe são denominadas de pétalas. Nas plantas polinizadas por insetos e animais, a corola é bastante desenvolvida e possui cores brilhantes.

Androceu

O androceu é o conjunto das peças masculinas de uma flor, os estames. Os estames são formados por duas partes distintas: o filete, mediante o qual se inserem ao receptáculo e a antera. O filete geralmente é branco com formato circular. A antera é a parte fértil do estame, onde os grãos de pólen se encontram, sendo geralmente formada por duas tecas. Cada teca é composta por dois sacos polínicos ou dois lóculos, onde os grãos de pólen são formados e depositados. A forma das anteras varia muito nos diversos grupos vegetais, podendo ser ovais, elípticas, globosas, reniformes, sagitadas, falciformes etc.

Gineceu

O gineceu é o conjunto de peças femininas de uma flor, os pistilos. O pistilo simples é o formado por uma única folha profundamente modificada, a folha carpelar. A folha carpelar, evolutivamente, dobrou-se sobre si mesma, de tal maneira que a sua face inferior corresponde à exterior do pistilo, soldando-se nas suas margens e tornando-se, assim, uma estrutura fechada. É comum encontrar mais de uma folha carpelar formando um único pistilo, sendo, neste caso, o gineceu denominado sincárpico. Pode ocorrer, também, um gineceu composto por vários pistilos livres entre si e formados por uma única folha carpelar, cada um deles, sendo tal gineceu denominado apocárpico.

O pistilo é composto por três partes: ovário, estilete e estigma. O ovário é o recipiente constituído pela parte basal da(s) folha(s) carpelar(es) e, geralmente, tem formato

arredondado. As folhas carpelares, unidas pelas suas margens, formam uma cavidade fechada, onde são produzidos os óvulos que, após a fertilização, darão origem as sementes. Geralmente, o ovário, após a fertilização, também sofre uma série de transformações que o converterão em fruto.

Inflorescência

Inflorescência é todo sistema de ramificação, no qual se desenvolve as flores. A maioria das Angiospermas apresenta flores em inflorescência, raramente flores solitárias. Algumas inflorescências são facilmente distinguíveis, enquanto outras são muito ramificadas e difíceis de identificar. A inflorescência prende-se ao ramo por meio do pedúnculo, cujo prolongamento constitui o eixo principal da inflorescência (raque). Da raque, podem surgir ramificações de várias ordens, chamadas ráquias. Cada flor prende-se à raque por meio do pedicelo (diminutivo de pedúnculo). Não havendo pedicelo, as flores da inflorescência são sésseis. As inflorescências vêm acompanhadas de brácteas ou hipsófilos muito semelhantes às folhas verdadeiras.

As inflorescências são classificadas, primeiramente, pelo fato do eixo portador das flores desenvolverem-se definitivamente (determinada) ou indefinidamente (indeterminada). Para reconhecer o tipo de inflorescência, recomenda-se observar a ordem de abertura das flores. As indefinidas possuem um florescimento debaixo para cima da raque ou, caso a inflorescência seja circular (girassol), da periferia para o centro. No ápice da inflorescência existe um tecido de emissão de flores, o que explica o seu crescimento “indeterminado”. Já as definidas possuem um botão floral no ápice da inflorescência, o que explicaria seu crescimento “determinado”, cuja sequência de florescimento inicia-se por essa flor terminal. Diz-se que a floração é de cima para baixo.

A partir dos dois tipos básicos de inflorescência, existem subdivisões:

Inflorescências indefinida

Cacho ou racemo simples: consta de um eixo principal com flores pedicelas dispostas em diversas alturas. No extremo do cacho, as flores ainda não se abriram e os pedicelos ainda não acabaram de se desenvolver, enquanto na parte inferior da inflorescência algumas flores já estão senescentes e outras recém-abertas.

Corimbo: consta de um eixo principal com flores pedicelas dispostas na mesma altura. Os pedicelos das flores basais são mais desenvolvidos.

Umbela: os pedicelos partem do mesmo ponto na extremidade da raque e as flores ficam no mesmo nível, formando como que um guarda-sol.

Capítulo: pode-se considerar derivado de uma umbela cujos pedicelos se encurtaram de tal forma que cada uma das flores sésseis é inserida diretamente sobre o extremo dilatado da raque (receptáculo). Exemplos clássicos: espécies da família Asteraceae: girassol, margarida, crisântemo etc.

Espiga: tem a raque alongada e as flores sésseis inseridas sobre ela. Simplificando, pode

ser definida como um cacho com flores sésseis. Por exemplo, milho.

Espádice: é uma espiga com a raque muito grossa e acompanhada de uma bráctea larga, mais ou menos envolvente, chamada espata. Por exemplo, antúrio.

Amento: tem as características da espiga, mas a raque é flexível e pendular. As flores, normalmente são unissexuais e pouco notáveis. Por exemplo, rabo-de-gato.

Inflorescências definidas

Nesse tipo de inflorescência, o eixo principal cessa seu próprio crescimento com a produção de uma flor no seu ápice, devido a isto, a inflorescência é definida. A raque da inflorescência pode ramificar-se de maneira diversa, produzindo ramos de ordem secundária que terminam em uma flor.

Unípara ou monocásio: consta de uma sucessão de flores em que cada uma delas representa o fim de um eixo e, a partir disso, forma-se um novo ramo, o qual, por sua vez, termina com uma nova flor, e assim sucessivamente.

Bípara ou dicásio: difere da inflorescência anterior (monocásio) porque se formam dois ramos ou flores abaixo da flor terminal. Esses ramos são iguais e dispõem-se simetricamente com relação a flor terminal e isso se repete nos ramos sucessivos.

FRUTO

O fruto é o ovário desenvolvido após a fertilização dos óvulos. O ovário foi, evolutivamente, formado por uma ou mais folhas carpelares. A partir disso, o fruto possui duas epidermes, a inferior (abaxial) e a superior (adaxial), e o tecido que se encontra entre as duas epidermes (mesofilo). Quando o ovário se transforma em fruto, muitas modificações estruturais e bioquímicas ocorrem nessas três camadas celulares e, de acordo com o tipo de fruto, elas podem apresentar diferentes texturas, consistência, coloração etc. No tipo de desenvolvimento mais simples do ovário, a epiderme abaxial dará origem a parte do fruto denominada epicarpo, o mesofilo originará o mesocarpo e a epiderme adaxial, aquela voltada para o interior do ovário, dará origem ao endocarpo. O conjunto de epicarpo, mesocarpo e endocarpo é denominado pericarpo.

Classificação dos frutos

Os frutos podem apresentar pericarpo mais ou menos seco com pequeno conteúdo de água, ou serem sucosos, de consistência carnosa, constituídos por tecido macio e rico em água. Podem abrir-se para liberar as sementes do seu interior (deiscentes), ou permanecerem fechados (indeiscentes). Tanto os frutos secos como os carnosos podem abrir-se ou não na maturidade.

Com relação ao conteúdo de água do pericarpo, os frutos podem ser divididos em dois grandes grupos:

Frutos secos: pericarpo membranoso ou coriáceo de aspecto ressecado.

Frutos carnosos: pericarpo suculento com acúmulo de água e nutrientes.

Com relação ao número de ovários por flor, os frutos podem ser divididos em três grandes grupos:

Frutos simples: frutos derivados de um único ovário de uma flor. Esses frutos compõem a maioria dos frutos das angiospermas. Exemplos: laranja, manga, acerola, abacate, tomate etc.

Frutos agregados: frutos derivados de vários ovários presentes em uma única flor. Um fruto agregado é resultado do desenvolvimento dos diversos ovários de uma única flor. Exemplos: morango, graviola, pinha, fruta-do-conde, ata etc.

Fruto múltiplo (composto): é o resultado do desenvolvimento e concrecimento dos ovários de diversas flores de uma inflorescência. Há casos em que, além do ovário desenvolvido, outras estruturas da flor encontram-se associadas ao fruto. Por exemplo: o abacaxi. Cada pequena estrutura que compõe o abacaxi corresponde a um ovário de uma flor que compunha a inflorescência. O eixo da inflorescência é a parte mais rígida do abacaxi (comestível também).

Abaixo, ainda serão classificados os diversos tipos de frutos simples.

Frutos secos indeiscentes

Aquênio: o aquênio é um fruto seco indeiscente com uma única semente não aderida ao pericarpo ou aderida em um único ponto. Exemplos: avelã, o girassol, picão-preto.

Cariopse: a cariopse é um fruto com uma única semente, seco e indeiscente, semelhante ao aquênio, mas com o pericarpo delgado e soldado ao tegumento da semente. É o fruto típico das gramíneas: arroz, milho, trigo, cevada, centeio e muitas outras.

Sâmara: é um tipo de aquênio cujo pericarpo expande-se em forma de uma asa membranosa, adaptada à dispersão pelo vento. Algumas sâmaras possuem uma única asa e outras com mais de uma asa, como em *Acer*.

Frutos secos deiscentes

Folículo: o folículo provém de um ovário constituído por uma única folha carpelar que permanece fechada até a maturidade. A abertura do fruto segue a linha de soldadura das margens da folha carpelar (sutura central) e as sementes acham-se presas aos bordos dessa mesma sutura. Exemplo: fruto da esporinha e da magnólia.

Legume: fruto proveniente de um ovário constituído, também, por um único carpelo, porém, na abertura do fruto se dá duas fendas, a ventral e a dorsal (que corresponde à nervura principal da folha carpelar). Exemplos: feijão, ingá, acácia, leucena, angico etc. Alguns legumes fogem à regra geral: não se abrem na maturidade, como o jatobá e o amendoim.

Síliqua: é um fruto proveniente de ovário com dois carpelos unidos pelos seus bordos. O lóculo é dividido em dois, por um falso septo, formado a partir das placentas (tecido interno

do ovário onde os óvulos ficam presos). Quando o fruto amadurece, os dois carpelos separam-se a partir da base, e as sementes ficam presas ao septo central (replum), como pode ser visto na figura. Exemplos frutos da couve, da mostarda, couve-flor, ipê, tecoma, repolho, rabanete, agrião e rúcula.

Cápsula: fruto seco, deiscente, que provém de um ovário constituído de vários carpelos unidos.

Frutos carnosos indeiscentes

Baga: fruto que possui o epicarpo fino, mesocarpo e endocarpo carnosos, podendo conter uma ou várias sementes. Exemplos: uva, tomate, mamão, banana, maracujá, kiwi etc. Algumas bagas são especiais e recebem denominações:

Hesperídeo: tipo específico das frutas cítricas. Epicarpo com glândulas de óleo, mesocarpo esponjoso e endocarpo com tricomas sulcosos (gominhos).

Pepônio: tipo específico dos frutos das cucurbitáceas, especialmente do gênero *Cucurbita* (abóbora, bucha, melão etc.). Na sua constituição, tomam parte não apenas as paredes do ovário, mas também o hipanto.

Drupa: fruto que possui a semente protegida por um endocarpo duro, lenhoso, o chamado "caroço". O mesocarpo é suculento e o epicarpo constitui a casca do fruto. Exemplos: pêssego, cereja, manga, azeitona, ameixa, coco-da-Bahia.

PSEUDOFRUTOS OU FALSOS FRUTOS

Um pseudofruto inclui outras estruturas florais além do ovário na formação do complexo estrutural do fruto. Exemplos: a parte suculenta do caju corresponde ao pedicelo floral, enquanto o fruto é a castanha. A parte suculenta do morango corresponde ao receptáculo, enquanto o fruto são os pontinhos pretos. A porção suculenta da pera e da maçã corresponde ao hipanto (estrutura acessória do ovário), enquanto o fruto é a região mais interna do fruto (formato de estrela).

Sugestão de aula prática: sair com os alunos para dar uma volta no pátio da escola para eles observarem:

1. Flores
2. Inflorescência
3. Fruto

Leve algumas flores e inflorescências para sala de aula para eles observarem com mais detalhe as estruturas dos respectivos órgãos. Caso em sua escola tenha mamoeiro com flor, retire umas flores jovens ou flores com ovário, levemente inchado, e faça um corte transversal (com lâmina de barbear ou uma faca). Faça a mesma coisa com um mamão

maduro para eles notarem a correspondência entre o ovário=fruto. Eles irão notar também que os óvulos dentro do ovário darão origem as sementes. No mesmo fruto, peça para eles identificarem as partes do pericarpo. A mesma sugestão de prática pode ser desenvolvida com limão, laranja, tomate etc. Caso queira elaborar uma aula específica de fruto, passe em um verdurão e peça ao vendedor que ele doe frutos velhos para você utilizar em sala de aula. Faço isso com frequência para as aulas práticas da graduação e sou bem recepcionado pelos comerciantes. Ao final, faça uma sala de frutas com frutos reservados para isso.

REFERÊNCIAS

- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP III 2009. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>>. Acesso em: 17 nov. 2015.
- BARROSO, G.M.; MORIM, M.P.; PEIXOTO, A.L.; ICHASO, C.L.F. **Frutos e sementes**: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas. Viçosa: Ed. Universidade Federal de Viçosa (UFV), 1999.
- BREMER, K., BREMER, B. & THULIN, M. 2000. **Introduction to Phylogeny and Systematics of Flowering Plants**, 111p.
- CRONQUIST, A. 1981. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press, 1262p.
- CRONQUIST, A. 1988. **The evolution and classification of flowering plants**. 2. ed. New York Botanical Garden, Bronx.
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven - biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- FERRI, M.G.; MENEZES, N.L.; MONTENEGRO, W.R. **Glossário ilustrado de botânica**. São Paulo: Livraria Nobel S/A, 1981.
- GONÇALVES, E. & LORENZI, H. **Morfologia vegetal**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.
- JOLY, A.B. **Botânica**: introdução à taxonomia vegetal. São Paulo: Editora Nacional, 2002.
- JUDD, W. S., CAMPBELL, C. S., KELLOGG, E. A. & STEVENS, P. F. 1999. **Plant Systematics: a Phylogenetic approach**. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. 464p.
- RAUNKIAER, C. 1934. **The life forms of plant**. Oxford: Oxford University Press. (Translated from the original published in Danish, 1907.).
- SOUZA, L. A. **Morfologia e anatomia vegetal**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2003.
- SOUZA, V.C.; LORENZI H. **Botânica sistemática**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005.
- VIDAL, W.N.; VIDAL, M.R.R. **Botânica – organografia**: quadro sinóticos ilustrados de Fanerógamas. Viçosa: Editora UFV. New York: Harper; Row, 2000.

UNIDADE 3: BIODIVERSIDADE III

SUBTEMA 1: BIOLOGIA E SISTEMÁTICA DE INVERTEBRADOS

Iniciaremos agora os estudos com a Zoologia, apresentando informações dos principais grupos de invertebrados. Os assuntos a serem tratados são o comportamento, biologia, morfologia e classificação das Esponjas, Cnidários, Platelminhos, Nematóides, Moluscos, Anelídeos, Artrópodes e Equinodermos. Com esta base será possível associar a biologia e a anatomia de cada grupo com o meio em que vivem, bem como as suas relações filogenéticas.

É recomendável o uso de livros para complementar a leitura, principalmente quanto às ilustrações e esquemas, que facilitarão a compreensão. Ao final deste texto estão os livros utilizados na confecção deste texto e que podem também ser usados para consulta.

Ao final de cada Filo apresentado também são colocadas sugestões de aulas práticas.

ATENÇÃO: É importante destacar que coletas de material biológico exigem licenças específicas, emitidas por órgãos ambientais. Antes de realizar qualquer captura, verifique a legislação vigente em sua região para ver se o tipo de animal e/ou ambiente exige alguma licença.

1. FILO PORIFERA

As esponjas são animais sésseis (vivem fixos ao substrato) e filtradores. Embora sejam multicelulares, não possuem tecidos verdadeiros e funcionam de forma semelhante a organismos de complexidade unicelular. Inclusive, sua nutrição, organização celular, trocas gasosas e respostas a estímulos são semelhantes aos protistas. As células características são os coanócitos, que apresentam flagelos e fazem ocorrer a circulação da água por canais. Espículas ajudam a fortalecer sua estrutura, formando um emaranhado.

São encontradas principalmente no ambiente marinho, mas algumas podem ser vistas em água doce. Ocorrem desde a zona entremarés, até grandes profundidades. Possuem grande variação de coloração e podem abrigar bactérias ou algas unicelulares simbiotes.

O padrão do corpo é variável, podendo ser Asconóide, Siconóide ou Leuconóide. O padrão Asconóide é caracterizado por uma coanoderme simples e contínua, em forma de vaso, átrio em uma cavidade central, e o ósculo como a abertura para o exterior. Siconóide possui o dobramento simples da pinacoderme e coanoderme, aberturas inalantes formadas por vários porócitos e os coanócitos restritos a câmaras coanocitárias. Já os Leuconóides possuem um maior espessamento do mesoílo, são subdivididos em câmaras flageladas separadas, e o átrio está reduzido a canais exalantes.

As esponjas estão divididas em três classes:

- a) Classe Calcarea: esponjas calcáreas, com espículas de carbonato de cálcio, com 1, 3 ou 4 raios. São todas marinhas e podem apresentar os padrões de forma do corpo asconóide, siconóide e leuconóide.
- b) Classe Hexactinellida: conhecidas como as esponjas de vidro, com espículas de sílica, maioria com 6 raios, e coloração pálida. A parede do corpo é cavernosa, formando uma rede. São marinhas de águas profundas e apresentam o padrão siconóide, com átrio bem desenvolvido com um ósculo.
- c) Classe Demospongiae: demosponjas. Possuem espículas de sílica, nunca com 6 raios, sendo que o esqueleto de espículas pode ser substituído ou suplementado por malha de colágeno (espongina). Podem ser encontradas nos ambientes marinho, salobro ou de água doce, em todas as profundidades. São leuconóides de cores brilhantes e podem ser incrustrantes, ramificadas, tubulares, montículos, foliares ou perfuradoras.

O sucesso dos poríferos está nos canais que levam a água pelo corpo, chamado de sistema aquífero. Além disto, diversas células possuem uma elevada totipotência, ou seja, podem se dividir em células com outras funções. Estas características suprimem a falta de tecidos e órgãos. O sistema aquífero traz a água para células responsáveis pela captura de alimento e trocas gasosas, e ajuda na eliminação de excretas e resíduos digestivos.

O crescimento das esponjas se dá pela adição contínua de células, que vão se diferenciando conforme a necessidade. A reprodução pode ser assexuada, com formação de gêmulas e brotos, e sexuada, com fertilização cruzada e formação de larvas. Possuem também a capacidade de regeneração de adultos a partir de fragmentos bem pequenos.

Sugestão de aula prática: É possível encontrar esponjas marinhas a venda em lojas de tinta (para uso em textura de paredes). Neste material é possível demonstrar os poros da parede externa (óstios), canais e ósculos.

2. FILO CNIDARIA

Os cnidários possuem uma grande diversidade de formas e incluem as águas-vivas ou medusas, anêmonas do mar, caravelas, corais e as hidras. Esta diversidade é explicada pela tendência de formar colônias por reprodução assexuada e também pelo ciclo de vida que compreende duas formas adultas diferentes: as formas polipóides e as medusóides. O ciclo de vida com duas formas distintas também merece destaque nos cnidários. As formas polipóides e as medusóides são extremamente diferentes quanto as estratégias de busca por alimento e colonização do meio, trazendo vantagens para ambas as formas.

Possuem simetria radial, tentáculos, cnidas com substâncias urticantes ou adesivas em nematocistos, cavidade gastrovascular incompleta. A simetria radial exige uma organização de partes do corpo para receber estímulos do meio. Por esta razão, tipicamente possuem um anel de tentáculos que pode capturar alimentos vindos de qualquer direção.

Não possuem cefalização, sistema nervoso central e órgãos respiratório, circulatório e excretor.

A maioria é marinha, carnívora, sésil (fase polipóide) ou planctônica (fase medusóide). O tamanho varia de quase microscópicos a até 2m de largura, com tentáculos que podem chegar a 25m de comprimento.

Os representantes dos cnidários são classificados em quatro classes:

- a) Classe Hydrozoa: hidromedusas. A alternância de gerações ocorre na maioria das espécies, onde pólipos bentônicos assexuados alternam com medusas planctônicas sexuadas. Outras espécies podem apresentar só a fase de pólipo em seu ciclo de vida, como também só a fase de medusa. Pólipos usualmente coloniais. Quando individuais, os pólipos frequentemente são polimórficos (gastrozoóides, gonozoóides, dactilozoóides). Mesogléia acelular e cnidas só na epiderme.
- b) Classe Anthozoa: anêmonas, corais e gorgônias. Não possuem a fase medusóide. Exclusivos marinhos, podendo ser solitários ou coloniais. As cnidas podem ser encontradas na epiderme ou gastroderme. Tentáculos normalmente em número de oito ou em múltiplos de seis. Pólipos podem se reproduzir tanto assexuadamente, como sexuadamente.
- c) Classe Cubozoa: cubozoários. Possuem as fases de pólipo e medusa, sendo a medusa a forma predominante. A umbrela da medusa possui formato quadrado, dando origem ao nome da classe. Possuem tentáculos simples ou grupos de tentáculos, neste caso com a base achatada, denominada pedálio. Apresentam um ropálio, caracterizados por serem centros sensoriais com neurônios, quimiorreceptores, estatocistos e, frequentemente, olhos.
- d) Classe Scyphozoa: águas-vivas. Grupo exclusivamente marinho. Os indivíduos polipóides são inconspícuos, mas de vida longa. Os pólipos produzem medusas por estrobilização. As cnidas estão presentes na gastroderme e epiderme. A boca pode estar ou não em um manúbrio, que é uma projeção da subumbrela em forma de tubo.

Uma característica marcante dos cnidários é a disposição das camadas do corpo. Possuem somente duas camadas germinativas embrionárias, a ectoderme (que se torna epiderme nos adultos) e a endoderme (gastroderme), e têm como camada intermediária a mesogléia.

Os recifes de corais estão entre os ecossistemas mais produtivos, formados por aglomerações de carbonato de cálcio e com grande diversidade de formas de vida. Entre os cnidários mais abundantes nos recifes estão os hidrozoários (Famílias Milleporidae e Stylasteridae) e os antozoários (Subclasses Hexacorallia, Octocorallia e Ceriantipatharia).

Sugestão de aula prática: Pode-se obter facilmente representantes de *Hydra* em lagos ou represas. Deve-se coletar material na margem contendo um pouco de lama do fundo e

vegetação submersa. Deixe o material em um local calmo, numa vasilha rasa, cobrindo-a quase que totalmente com um plástico escuro ou madeira. As hidras buscam a luz (são fotopositivas), e depois de algumas horas você pode encontrá-las na borda da vasilha na região que ficou descoberta. As estruturas possíveis de serem observadas com o uso de uma lupa são os tentáculos, a coluna, a região do disco basal e, possivelmente, brotos.

3. FILO PLATYHELMINTHES

Estes animais exibem uma variedade de formas do corpo, mas sempre apresentando um achatamento dorsoventral, o que dá o nome ao grupo. São acelomados, com um parênquima denso entre o intestino e a parede do corpo. Grande parte das espécies é parasita, mas alguns são terrestres e simbiontes. O tamanho varia de menos de 1mm a até vários metros de comprimento (Tênia). Possuem protonefrídeos destinados à excreção e osmorregulação e um intestino incompleto. Não possuem sistema circulatório e trocas gasosas são feitas pela superfície do corpo. Os sistemas reprodutivos são complexos.

A classificação aceita para os platelmintos é a seguinte:

- a) Classe Turbellaria: espécies de vida livre, de 1mm a 50cm de tamanho. O animal que mais representa o grupo é a amplamente conhecida planária. Locomoção por cílios ou muco, onde células glandulares produzem uma proteção contra a dessecação e auxílio em trocas gasosas, além da própria locomoção. Rabditos produzem farta quantidade de muco que pode conter substâncias tóxicas. Boca ventral, sendo a maioria carnívora. Desenvolvimento de protonefrídeos denominados células-flama. São hermafroditas, com fecundação interna. Pode ocorrer reprodução assexuada por fissão. Possuem grande capacidade de regeneração de diversas partes do corpo.
- b) Classe Monogenea: monogêneos. Maioria ectoparasita peixes, causando poucos danos individualmente, mas podendo ser encontrados em grandes populações. Ciclo de vida envolvendo um único hospedeiro. Corpo coberto por tegumento com ventosa oral reduzida ou ausente. Presença de estruturas de fixação como pró-háptor anterior e opisto-háptor posterior com ganchos.
- c) Classe Trematoda: digênios e aspidogástrios. Maioria endoparasita de vertebrados, com 2 ou 3 hospedeiros. Corpo coberto por tegumento e com uma ou mais ventosas, de formato foliáceo. Glândulas para penetração e para produção de cistos. O ciclo de vida compreende as fases de ovo, miracídio, esporocisto, rédia, cercária, metacercária e, por fim, o adulto. Entre os principais representantes estão os causadores da esquistossomose (*Schistosoma*) e as fascíolas.
- d) Classe Cestoda: cestóides. Exclusivamente endoparasitas, sendo as tênia os representantes mais conhecidos. Corpo coberto com tegumento, maioria com escólex anterior, seguido por um pescoço curto e estróbilo com proglótides. Sem

trato digestivo. Causam a cisticercose. Podem incistar na musculatura, no cérebro ou olho.

Possuem estruturas internas sofisticadas e tendência à cefalização, principalmente pelo sistema nervoso. A simetria bilateral também proporcionou o movimento unidirecional e vida ativa. Para os que vivem em água doce foi fundamental o desenvolvimento de protonefrídeos na osmorregulação. Dependem de ambientes úmidos, pois são sensíveis à dessecação.

A reprodução é complexa, com fertilização interna, aumento da produção de vitelo e ovos encapsulados. A maioria apresenta desenvolvimento direto, com jovens eclodindo dos ovos.

Sugestão de aula prática: A obtenção de planárias em lagos é relativamente fácil, e o material pode ser manuseado pelos alunos. É possível observar em lupa estruturas como o ocelo, as aurículas, a faringe e a boca. No caso de parasitas, muitas vezes é possível obtê-los em matadouros, quando estes retiram as vísceras dos animais. Em *Schistosoma* é possível identificar machos e fêmeas, além do canal ginecóforo. Em tênias, pode-se observar o escólex e seus ganchos, além das proglótides.

4. FILO NEMATA (OU NEMATODA)

Os representantes deste filo são conhecidos em água doce e do mar, e na terra. Várias espécies possuem importância médica ou econômica, sendo as lombrigas as mais conhecidas. Algumas formas são de vida livre e possuem tamanho microscópico. A maioria das espécies é parasita e pode chegar a 8 metros, parasitando tanto animais como plantas. São animais pseudocelomados, de corpo não segmentado, geralmente circulares em seção transversal. Maioria é dioica, ou seja, machos e fêmeas distintos.

O Filo é dividido em duas classes:

- a) Classe Adenophorea (=Aphasmida): possuem quimiorreceptores cefálicos chamados anfídios. Sistema excretor simples. Maioria de vida livre.
- b) Classe Secernentea (=Phasmida): possuem anfídios cefálicos e fasmídios (órgãos sensoriais) caudais. Sistema excretor complexo. Maioria é parasita e os de vida livre são em maioria terrestres. Nesta classe estão os parasitas mais conhecidos, como as lombrigas (*Ascaris lumbricoides*), os ancilóstomos (*Ancylostoma duodenale*), filárias (*Wuchereria bancrofti*), oxiúros (*Enterobius vermicularis*) e bichos geográficos (*Ancylostoma braziliensis*).

Os nematóides possuem cutícula flexível e bem desenvolvida, e o crescimento ocorre por descarte cuticular em jovens (4 mudas). Possuem cordões nervosos dorsal e ventral, canais excretores laterais, trato digestivo completo. Não existem protonefrídios e a eliminação ocorre por células que se abrem por poro excretor. São dióicos com dimorfismo

sexual (machos com extremidade posterior em forma de gancho, além de espículas), e a fertilização é interna.

Como exemplo da importância deste grupo, a *Ascaris* sp. ocorre no intestino delgado humano e de porcos, e pode produzir 200 mil ovos por dia (27 milhões ao longo da vida). *Wuchereria bancrofti* causa elefantíase (ou filariose), obliterando dutos linfáticos, e causando crescimento excessivo do tecido conjuntivo. *Ancylostoma duodenale* causa amarelão, ocorrendo laceração do intestino para sucção de sangue.

Sugestão de aula prática: Da mesma forma que em Platyhelminthes, é possível obter nematódeos em matadouros. Outro meio é buscar em plantas, onde é facilmente observável o caminho que um nematóide percorreu, deixando um “trilho” na folha. Não existem estruturas externas que tenham destaque para serem observadas. Dependendo do material analisado e dos recursos disponíveis em uma lupa, é possível observar, por transparência, estruturas como útero, oviduto, ovário e intestino.

5. FILO MOLLUSCA

Fazem parte deste filo os caracóis, ostras, lesmas, polvos e lulas, além de diversas outras formas menos conhecidas. São encontrados desde os trópicos até regiões polares, em altitudes acima de 7 mil metros até regiões abissais. Possuem vários hábitos alimentares, podendo ser herbívoros, carnívoros predadores, filtradores, detritívoros ou parasitas. Existe um grande interesse econômico, tanto como alimento, como na produção de pérolas. Do ponto de vista médico, diversos representantes fazem parte do ciclo de vida de parasitas, agindo como hospedeiros intermediários.

Os moluscos são divididos em sete classes, apresentadas a seguir:

- a) Classe Aplacophora: formato vermiforme, marinhos bentônicos. Não possuem concha (mas espículas), olhos, tentáculos e nefrídios. Cavidade do manto rudimentar.
- b) Classe Monoplacophora: concha de uma única peça em forma de capuz. Cavidade do manto pouco profunda e pé em forma de disco muscular. Com rádula e cabeça distinta, tentáculos ao redor da boca, mas sem olhos.
- c) Classe Polyplacophora: quítons. Alongados, achatados dorso-ventralmente, com um pé amplo e concha formada por 8 placas calcárias articuláveis e independentes. Manto formando cinturão geralmente com espinhos, escamas ou cerdas. Sem olhos e tentáculos, mas com rádula utilizada no hábito da herbivoria.
- d) Classe Scaphopoda: concha dente-de-elefante. Concha em forma tubular, afunilada, aberta em ambas as extremidades. Cavidade do manto ampla, envolvendo completamente as vísceras. Captáculos como estruturas táteis, utilizados para a captura de detritos e protozoários. Pé cilíndrico usado para cavar em lodo e areia.

- e) Classe Gastropoda: caramujos, caracóis e lesmas. Pé muscular rastejador, e cabeça com estatocistos e olhos. Grande parte dos representantes é herbívora, raspando com a rádula o substrato. Maioria com respiração por ctenídio, alguns com pulmão formado por área do manto altamente vascularizada, além de possuir concha espiralada.
- f) Classe Bivalvia: mexilhões e ostras. Podem ser marinhos ou de água doce. Comprimidos lateralmente, com conchas compostas por duas valvas articuladas e cavidade do manto ampla. Cabeça rudimentar, sem olhos e rádula, e pé comprimido lateralmente. São filtradores, usando correntes ciliares produzidas pelas brânquias. Em algumas espécies ocorre a produção de pérola, quando um parasita ou fragmento de areia fica sob o manto e é coberto com diversas camadas de nácar.
- g) Classe Cephalopoda: polvos e lulas. Todos marinhos e predadores ativos, com pé modificado na região cefálica, formando funil, braços e tentáculos. Concha geralmente reduzida ou perdida. Cérebro e olhos grandes, lulas com fibras nervosas gigantes. Corações acessórios ou branquiais, e o manto formando funil ventral, usado para locomoção. Tentáculo ou braço do macho adulto modificados para a cópula. Saco de tinta com melanina.

Nas larvas dos Gastropoda ocorrem dois processos bem interessantes relacionados às conchas. O primeiro é o processo de Torção, onde ocorre o crescimento desigual de músculos, e surge a possibilidade de recolhimento da extremidade cefálica. O problema deste processo é o de autopoluição. O segundo processo é chamado de Enrolamento, e pode ocorrer simultaneamente com a torção. A concha enrola em um plano conispiral e, com a perda da brânquia do lado direito, o problema da autopoluição é resolvido.

A grande maioria dos moluscos é dióica, mas existem representantes monóicos ou hermafroditas. Podem ter desenvolvimento indireto ou direto, sendo que as larvas podem ser trocóforas livre-natantes (planctônica, formato de pião, com tubo digestório completo e tufo de cílios apical), ou véliger (ocorre a supressão da fase de trócofora, já apresentando pé, concha e dois lobos laterais).

Sugestão de aula prática: Moluscos são muito comuns em nosso dia a dia. É possível encontrar lesmas e caracóis no jardim e, dificilmente, não temos alguma concha marinha na decoração de nossa casa. Também podemos encontrar polvos, lulas e mexilhões congelados em peixarias.

Numa concha de Gastropoda é possível visualizar a protoconcha, suturas, voltas, canal sifonal, lábios e as linhas de crescimento.

Em uma lesma, podemos observar facilmente a boca, o pé e o manto.

Com uma concha de Bivalvia nas mãos é possível observar em seu lado externo o umbo e as linhas de crescimento. Na parte interna nota-se a região da charneira, as cicatrizes dos músculos adutores anterior e posterior, além da linha palial e do seio palial.

Numa lula, as estruturas externas observáveis são as nadadeiras, olhos, braços, tentáculos e o sifão, enquanto que em um polvo podemos ver a boca, bico, braços com ventosas e, se for um macho, o braço auxiliar da reprodução, o hectocótilo.

6. FILO ANNELIDA

Neste grupo estão alguns dos animais mais conhecidos, como as minhocas e sanguessugas. Vivem sempre em ambientes úmidos, alguns são parasitas, outros mutualistas e comensais.

O corpo apresenta segmentação, com a maioria das partes internas e externas repetidas em cada segmento. Esta repetição resulta em METAMERIA, e a segmentação externa se assemelha em anéis e a interna ocorre por septos. A repetição de partes dos sistemas circulatório, nervoso e excretor, causa vantagem em caso de perda ou dano em algum segmento.

São consideradas duas classes para os anelídeos:

- a) Classe Polychaeta: maioria marinhos, podendo ser sedentários ou errantes. Possuem numerosas cerdas no tronco, com parapódios bem desenvolvidos, utilizados na locomoção. Sistema reprodutor simples, frequentemente temporário. Não possuem clitelo, a maioria é dióica, e a larva é do tipo trocófora livre-natante.
- b) Classe Clitellata: representantes com clitelo para formação do casulo. Sem parapódios, mas com cerdas reduzidas ou ausentes. Hermafroditas com sistemas reprodutores complexos, com fecundação cruzada e desenvolvimento direto.
 - b.1) Subclasse Oligochaeta: minhocas. Corpo conspicuamente segmentado, com poucas cerdas por segmento. Cabeça ausente e estruturas cefálicas sensoriais reduzidas. Sem olhos, com fotorreceptores na epiderme e trocas gasosas pela parede do corpo.
 - b.2) Subclasse Hirudinoidea: sanguessugas. Corpo com número fixo de segmentos, normalmente 34. Cerdas ausentes ou em pequenas quantidades. Ventosa posterior e, geralmente, anterior.

Os anelídeos possuem um esqueleto hidrostático, onde os compartimentos dos anéis são preenchidos por fluido e dão maior sustentação e controle ao corpo. O desenvolvimento de musculatura específica na parede do corpo foi importante na escavação e na movimentação independente de segmentos distintos.

As sanguessugas são, desde 500 a.C., utilizadas na medicina por possuírem reconhecidamente sua eficácia em cirurgias de religamento de dedos e orelhas. O sangramento permite a passagem de sangue oxigenado até que as veias se regenerem e recuperem a circulação.

Sugestão de aula prática: Minhocas podem ser obtidas em lojas de pesca ou escavando terrenos. Externamente é possível observar em uma minhoca o prostômio, peristômio, clitelo

e o pigídio. Em alguns rios é possível capturar sanguessugas, e as estruturas mais facilmente observáveis são as ventosas anterior e posterior, além da região do clitelo.

7. FILO ARTHROPODA

Os artrópodes ocorrem em praticamente todos os ambientes da Terra, desde profundezas oceânicas, polos, até sobre ou dentro de plantas e animais, variando de 1 mm a 3 m de comprimento. São muito ativos, podendo ser carnívoros, herbívoros ou onívoros, e constituem cerca de 85% de todas as espécies animais descritas no planeta.

Possuem uma metameria conspícua, com uma tendência para os metâmeros se fundirem formando tagmas. Os apêndices são diferenciados e especializados, e as articulações e cerdas servem para funções sensoriais, manipulação de alimento, natação e locomoção eficiente e rápida.

A respiração pode ser branquial, traqueal, por filotraquéias ou pulmões foliáceos. A circulação é aberta, e possuem túbulos de Malpighi, glândulas coxais, glândulas antenais e glândulas maxilares. Os artrópodes terrestres apresentam sistema traqueal eficiente, enquanto que os artrópodes aquáticos respiram por brânquias.

O exoesqueleto duro e articulado é uma das características principais do grupo. O desenvolvimento desta camada externa trouxe restrições ao crescimento e à locomoção, posteriormente resolvidos. Quanto à locomoção, a medida para resolvê-la foi o desenvolvimento de articulações do corpo e dos apêndices. Para o crescimento, surgiu o processo de ecdise, na qual o exoesqueleto de quitina é trocado periodicamente.

Os artrópodes estão divididos em 5 subfilos:

- a) Subfilo Trilobitomorpha: trilobitas e seus parentes. Todos extintos a 200 milhões de anos. Corpo dividido em cabeça, tórax e pigídio, sendo a cabeça com segmentos fundidos e um par de antenas e olhos compostos. Corpo com dois sulcos longitudinais, formando três lobos, e segmentos do pigídio fundidos.
- b) Subfilo Crustacea: principalmente caranguejos, lagostas e camarões. Corpo dividido em cabeça, tórax e abdome. Apêndices cefálicos compreendidos por 2 pares de antenas, mandíbulas e 2 pares de maxilas. Olhos compostos e gonóporos localizados na região posterior do tórax ou anterior do abdome. Embora seja um grupo predominante no meio aquático, os tatuzinhos-de-jardim são crustáceos que possuem a capacidade de sobreviver no ambiente terrestre, possuindo uma cutícula espessa e pseudotraquéias para troca gasosa aérea.
- c) Subfilo Hexapoda: insetos e seus parentes. Vivem principalmente em terra e água doce, com pouquíssimos representantes marinhos. Corpo dividido em cabeça, tórax e abdome. Olhos compostos e cinco pares de apêndices cefálicos, além de tórax com três apêndices. Trocas gasosas por espiráculos e traqueias. O desenvolvimento da capacidade de voar foi a principal conquista para sua ampla distribuição, principalmente por ampliar a chance de fuga de predadores e facilitar a captura de alimentos. São extremamente importantes na polinização das plantas e consequente manutenção de fauna e flora em diversos ambientes. Podem causar

danos econômicos em plantações, além de terem importância médica como transmissores de doenças. Podem apresentar ciclos de vida envolvendo fases muito distintas, com metamorfose completa, como é o caso das borboletas.

d) Subfilo Myriapoda: lacraias e piolhos-de-cobra. Todos são terrestres e o corpo é dividido em cabeça e longo tronco. Quatro pares de apêndices cefálicos e traqueias para transporte dos gases respiratórios para células. Gonóporos no terceiro ou no último somito do abdome. Copulação indireta e desenvolvimento direto, embora alguns com um número de segmentos menor. As duas principais classes são os Chilopoda, que compreendem as lacraias, e os Diplopoda, que englobam as centopeias. As lacraias são predadoras e possuem a forcípula, primeiro par de patas modificado para inoculação de veneno, além de um par de patas por segmento do corpo. Já as centopeias são detritívoras e possuem, em geral, dois pares de patas por segmento, chamados de diplossegmentos.

e) Subfilo Cheliceriformes: os mais conhecidos são os ácaros, escorpiões e aranhas. Corpo dividido em prossoma e opistossoma com até 12 segmentos. Prossoma com um par de quelíceras, um de pedipalpos, e quatro pares de pernas. Quelícera e pedipalpo servem para diversas funções como percepção sensorial, alimentação, defesa, locomoção e cópula. Trocas gasosas por meio de pulmões foliáceos ou traqueias. Os ácaros possuem prossoma indiviso, coberto por um escudo em forma de carapaça amplamente unido ao opistossoma e quelíceras em forma de pinças ou estilete, e muitos são parasitas de grande importância médica e econômica. As aranhas possuem um prossoma indiviso, ligado ao opistossoma por um pedicelo estreito, e as quelíceras modificadas em garras, usualmente com glândulas de veneno. Também possuem glândulas produtoras de seda e fiandeiras, que servem para fiar a seda. Os escorpiões possuem o corpo dividido em três regiões, o prossoma, mesossoma e metassoma, e o télson é em forma de espinho, com glândula de veneno. As quelíceras são pequenas e os pedipalpos são grandes e quelados. Possuem uma estrutura chamada pente, na região ventral, que atua como mecanorreceptor e quimiorreceptor.

Outra grande característica que trouxe sucesso aos artrópodes foi o desenvolvimento de padrões comportamentais complexos, ocorrendo organização de atividades. Este comportamento é amplamente conhecido para as abelhas, formigas e cupins, e trata-se de comportamento inato e aprendido. Indivíduos recebem funções diferenciadas, buscando o melhor para toda a população.

Sugestão de aula prática: Muitos artrópodes podem ser encontrados facilmente nos quintais de nossas casas, ou em áreas próximas, e podem ser aproveitados em aulas práticas.

a) Subfilo Crustacea: em um camarão pode-se observar a carapaça, abdome, télson, rostro, pereópodes e pleópodes. Num caranguejo, visualiza-se tórax, abdome e télson, enquanto que no tatuzinho-de-jardim destacam-se a cabeça, antenas, tórax e abdome.

- b) Subfilo Hexapoda: pelo grande número de insetos que podem ser obtidos facilmente, a seguir são apresentadas em forma de lista as estruturas observáveis em cada um dos grupos. 1) Libélula: cabeça, tórax, asa anterior e posterior, e abdome. 2) Lagarta: espiráculos, patas torácicas e patas falsas. 3) Gafanhoto: cabeça, antena, protórax, asa anterior, perna para salto e abdome. 4) Besouro: cabeça, rostro, pronoto e élitro. 5) Formiga: antena, cabeça, tórax e abdome. 6) Abelha: olho, antena, asa e abdome. 7) Borboleta: antena, cabeça, tórax, abdome, asa anterior e posterior. 8) Louva-a-Deus: antena, cabeça, olho, protórax e asa. 9) Mosca: olho, asa, abdome e cabeça.
- c) Subfilo Myriapoda: Nas lacraias é possível observar dorsalmente a cápsula cefálica, tronco, antenas, forcípula e olho, enquanto que nas centopeias pode-se visualizar o olho, cabeça, antena e colo.
- d) Subfilo Cheliceriformes: Nas aranhas facilmente podem ser vistos os olhos, prossoma, pedipalpo, opistossoma, pedicelo, quelíceras e a fiandeira. Em um carrapato observa-se o capítulo, pedipalpo, pernas, ânus e espiráculo. Nos escorpiões encontra-se o prossoma, mesossoma, metassoma, aguilhão, pedipalpo, quelícera, pente e a abertura do pulmão.

8. FILO ECHINODERMATA

Neste filo encontramos as estrelas-do-mar, ouriços-do-mar, bolachas-da-praia, pepinos-do-mar, entre outros. São marinhos (pouquíssimos de água salobra), com simetria pentarradial e podem ser pequeninos ou chegar a mais de dois metros. Vivem da zona entremarés até regiões abissais, são bentônicos, e podem ter os mais diversos hábitos alimentares, como exemplo, predadores (estrelas) ou comedores de algas (ouriços).

Possuem um endoesqueleto composto por vários ossículos calcários, um sistema vascular aquífero sem capacidade osmorreguladora, respiração cutânea por brânquias dérmicas, fecundação externa e regeneração em diversos grupos.

Considera-se a seguinte classificação dos Echinodermata:

- a) Classe Asteroidea: estrelas-do-mar. Possuem 5 ou mais braços que surgem de um disco central sem articulação nítida. Ânus e madreporito na superfície aboral (termo utilizado para a região oposta à boca) e boca voltada para o substrato. Vivem em substrato duro, fundos lodosos ou arenosos, possuem cores vivas e podem evertir o estômago para poder digerir a parte mole de mexilhões ainda dentro da concha. Maioria das espécies é dióica.
- b) Classe Ophiuroidea: serpentes-do-mar. Corpo com cinco braços articulados, claramente distintos do disco central. Presença de vértebras esqueléticas e ausência de ânus. Madreporito ao lado da boca e órgãos viscerais somente no disco central. Sexos separados (alguns hermafroditas), gametas liberados por fendas genitais, reprodução assexuada por clivagem do disco.

- c) Classe Echinoidea: ouriços-do-mar e bolachas-da-praia. Corpo globoso ou em forma de disco e placas esqueléticas formando uma carapaça rígida. Espinhos móveis. “Lanterna de Aristóteles” como aparato mastigador, com cinco dentes fixos. As bolachas-da-praia são considerados ouriços irregulares, pois possuem um grande achatamento do corpo e ausência de espinhos na superfície aboral, além de lúnulas, que são aberturas que permitem a passagem da água e reduzem o empuxo, facilitando o processo de se enterrar.
- d) Classe Holothuroidea: pepinos-do-mar. Corpo carnoso e alongado, esqueleto reduzido a ossículos isolados. Coroa de tentáculos ao redor da boca que capturam partículas em suspensão. Pés ambulacrais somente nas áreas que se apoiam no substrato, indicando bilateralidade. Possuem uma árvore respiratória para respiração e excreção. Quando atacados, podem descartar parte das vísceras por forte contração muscular. Sexos separados, sendo alguns hermafroditas.
- e) Classe Crinoidea: lírios-do-mar. Placas esqueléticas fundidas que deixam o corpo com formato de taça, em uma coroa com braços. Braços com pínulas laterais que permitem a captura do alimento. Sem madreporito externo, com a boca e ânus voltados para cima. Vivem fixos no substrato boa parte da vida e possuem sexos separados.
- f) “Concentriciclóides”: margaridas-do-mar. Corpo em forma de disco, sem braços, com placas esqueléticas arrançadas concentricamente. Para muitos autores o grupo que compreende estes animais não é considerado uma classe distinta, mas se observa uma relação de parentesco com as estrelas e os ofiuróides.

Os equinodermos conseguiram aliar a simetria radial com a mobilidade, e, por esta razão, conseguem apresentar uma grande variedade de estratégias alimentares e hábitos de vida. Possuem um sistema nervoso descentralizado, que permite interagir com o ambiente por qualquer lado do corpo. Por possuírem simetria pentarradial, em geral, as partes corpóreas saem de um disco central.

O sistema vascular aquífero é um complexo de canais e reservatórios que funciona como um processo hidráulico, que se inicia com a penetração ativa da água do meio externo no organismo pelo madreporito. A água que entra auxilia no transporte interno e na movimentação de pés ambulacrais. Os pés podem auxiliar na locomoção, fixação, troca gasosa, alimentação e percepção do meio.

Sugestão de aula prática: na ausência de espécimes de equinodermos, é possível trabalhar com modelos feitos de cartolina ou massa de modelar. Como alguns grupos são bem conhecidos, como as estrelas e os ouriços, podem-se utilizá-los como os representantes gerais do grupo. Numa atividade de aula prática pode-se trabalhar o posicionamento de estruturas como a boca, ânus, braços e espinhos, entre outras.

REFERÊNCIAS

BARNES, R.S.K.; CALOW, P.; OLIVE, P.S.W. **Os invertebrados**: uma nova síntese. 2. ed. São Paulo: Atheneu Editora, 1995, 526p.

BRUSCA, R.; BRUSCA, G. **Invertebrados**. 2. ed. Rio de Janeiro. Sinauer Associates. Traduzido Editora Guanabara Koogan S.A., 2007, 968p.

HICKMAN, C.P. Jr.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. **Princípios integrados de zoologia**. 11. ed. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Koogan, 2004, 846p.

LAURENCE, J. 2005. **Biologia**: ensino médio, volume único. São Paulo: Editora Nova Geração, 696p.

MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K.V. 2001. **Cinco reinos**: um guia ilustrado dos filós da vida na Terra. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 497p.

PAPAVERO, N. **Fundamentos práticos de taxonomia zoológica**: coleções, bibliografia, nomenclatura. São Paulo: Editora UNESP – FAPESP, 1994, 285p.

RIBEIRO-COSTA, C.S.; ROCHA, R.M. **Invertebrados – manual de aulas práticas**. Ribeirão Preto. Editora Holos, 2002, 226p. (Série Manuais Práticos em Biologia 3)

RUPPERT, E.E.; FOX, R.S.; BARNES, R.D. **Zoologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: Editora Roca, 2005, 1145p.

SADAVA, D.; HELLER, H.C.; ORIAN, G.H.; PURVES, W.K.; HILLIS, D.M. 2009. **Vida – a ciência da biologia. Volume II**: evolução, diversidade e ecologia. Porto Alegre: Editora Artmed, 877p.

STORER, T.I.; USINGER, R.L. **Zoologia geral**. 6. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional e Editora da Universidade de São Paulo, 1984, 816p.

UNIDADE 3: BIODIVERSIDADE III

SUBTEMA 2: BIOLOGIA E SISTEMÁTICA DE VERTEBRADOS

Nesta semana iremos trabalhar com os Cordados, que incluem alguns invertebrados e todos representantes dos vertebrados. Entre os grupos estão os Urocordados, Cefalocordados, “peixes”, anfíbios, “répteis”, aves e mamíferos. Os “peixes” e “répteis” estão entre aspas por não representarem atualmente grupos verdadeiros do ponto de vista filogenético e informações sobre este assunto serão apresentadas ao longo do texto.

Com a finalização dos estudos sobre os animais pretende-se que os estudantes tenham a capacidade de identificar os grupos com base nas estruturas características de cada um, relacionar a morfologia do animal ao meio ambiente e, também, ao seu comportamento, e que possam associar aspectos de cada grupo com o contexto evolutivo e filogenético.

É recomendável o uso de livros para complementar a leitura, principalmente quanto às ilustrações e esquemas, que facilitarão a compreensão. Ao final deste texto estão os livros utilizados em sua produção e que podem também ser utilizados para consulta. O texto a seguir, bem como a classificação apresentada, foi baseado no livro de Benedito (2015).

Ao final de diversos tópicos são colocadas sugestões sobre as estruturas que podem ser trabalhadas em aulas práticas, principalmente quanto a anatomia externa. Grande parte dos animais apresentados vive no ambiente marinho, o que pode gerar uma dificuldade de obtenção do material por parte dos professores que moram longe do litoral.

ATENÇÃO: É importante destacar que coletas de material biológico exigem licenças específicas, emitidas por órgãos ambientais. Antes de realizar qualquer captura, verifique a legislação vigente em sua região para ver se o tipo de animal e/ou ambiente exige alguma licença.

1. QUETOGNATOS (FILO CHAETOGNATHA)

São marinhos, principalmente planctônicos, hidrodinâmicos com simetria bilateral. São transparentes, predadores, encontrados em grandes quantidades na coluna d’água, chegando a até 12 cm de comprimento. Com cabeça, boca rodeada com espinhos de captura, tronco com nadadeiras laterais formadas por dobras dérmicas e cauda. São divididos em duas ordens:

- a) Ordem Phragmophora: com faixas musculares transversais ventrais esbranquiçadas.
- b) Ordem Aphragmophora: sem faixas musculares transversais.

Sugestão de aula prática: Amostras noturnas de plâncton marinho costumam conter muitos exemplares. Observar cabeça, nadadeiras, tronco, cauda e boca com espinhos.

2. HEMICORDADOS (FILO HEMICHORDATA)

Os adultos são bentônicos marinhos, grande parte é escavadora bentônica, abundantes na região entremarés. Possuem fendas branquiais que se abrem externamente na parede do corpo e a maioria com cordão nervoso dorsal. Este Filo compreende três classes:

- a) Classe Enteropneusta: corpo dividido em uma probóscide curta, boca ventral, colarinho, tubo digestivo longo e tronco com extremidade posterior terminada em ânus. Escavadores de sedimentos macios.
- b) Classe Pterobranchia: marinhos, pequenos, maioria vivendo em colônias ou agregações. Corpo dividido em disco pré-oral que se dobra ventralmente sobre a boca, mesossomo e metassomo, e possuem tubo digestivo em forma de U.
- c) Classe Planctosphaeroidea: grande distribuição geográfica, com corpo esférico e gelatinoso e tubo digestivo em forma de U.

Sugestão de aula prática: O *Balanoglossus* (Enteropneusta) é encontrado na areia da praia, onde é necessário localizar as tocas e escavar entre 1 e 2m² para encontrá-lo. Observar formato da região anterior, fendas branquiais, probóscide e colarinho.

O Filo Hemichordata é considerado atualmente grupo-irmão de Chordata, pois possuem duas características morfológicas bastante peculiares, a presença de fendas faríngeas e a neurulação.

3. CORDADOS (FILO CHORDATA)

Possuem notocorda formada por um bastão elástico dorsal, que dá suporte estrutural, tubo nervoso dorsal e fendas branquiais na faringe. São três os subfilos considerados para os Chordata:

- a) Tunicados (Subfilo Urochordata): marinhos comedores de material em suspensão, podem ser solitários ou coloniais, tipicamente bentônicos e sésseis. Corpo formado por túnica espessa, sem vértebras. Notocorda restrita à cauda, tubo nervoso dorsal e cauda pós-anal somente no estágio larval. Tubo digestivo em forma de U e faringe com fendas branquiais. Possuem um sifão inalante e outro exalante, com a água passando internamente pelas fendas branquiais e partículas de alimento ficando aderidas a um muco.

Sugestão de aula prática: Observar externamente a textura e formato da túnica e aberturas dos sifões inalante e exalante, e, internamente, a cesta branquial e o tubo digestivo.

- b) Anfioxos (Subfilo Cephalochordata): pequenos, em formato de peixe, viventes em água salobra ou marinha. São bentônicos de vida livre, com máximo de 8cm de comprimento. Adultos com notocorda, fendas branquiais, tubo nervoso dorsal e cauda pós-anal, e sem coluna vertebral. A água que entra por ação ciliar traz partículas alimentares que ficarão aderidas a um muco, presente nas fendas faríngeas, e depois será liberada pelo atrióporo.

Sugestão de aula prática: Observar rostro, cirros, orla membranosa caudal e região da faringe.

c) Vertebrados (Subfilo Vertebrata): maioria com crânio, maxilas e coluna vertebral.

Para o entendimento da classificação dos vertebrados apresentada neste texto, que não segue a classificação extremamente tradicional - peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos – é importante saber os avanços do conhecimento quanto às relações filogenéticas de todos os grupos envolvidos.

Atualmente todas as espécies consideradas tradicionalmente como **Vertebrata** podem ser incluídas em apenas três grupos, os Myxiniiformes, os Petromyzontiformes e os Gnathostomata. Os Myxiniiformes compreendem os peixes-bruxa ou feiticeiras, e, atualmente, é considerado que estes não possuem quaisquer indícios de vértebras em seu corpo. Já os Petromyzontiformes são popularmente conhecidos como lampreias e possuem estruturas cartilaginosas alinhadas em duas séries laterais ao tubo nervoso, chamadas de neurapófises, e estas estruturas são consideradas estruturas vertebrais, ainda que reduzidas. Gnathostomata são os que possuem maxilas e nadadeiras pares (que são transformadas em patas nos Tetrapoda).

Baseando-se nestas informações, é mais correto denominar o agrupamento composto por Myxiniiformes, Petromyzontiformes e Gnathostomata por **Craniata**, já que todos possuem estruturas que podem ser caracterizadas como crânios. Já os **Vertebrata** são compostos atualmente somente por Petromyzontiformes e Gnathostomata, pois os peixes-bruxa não possuem vértebras, mas somente estruturas cartilaginosas associadas à região cefálica e aos arcos branquiais.

• Craniados (Craniata)

Os craniados compartilham, além do crânio, uma crista neural e filamentos branquiais nos arcos faríngeos. São divididos em três grupos:

a) Peixes-bruxa ou Feiticeiras (Myxiniiformes): exclusivamente marinhos, de águas frias, com comprimento de até 1 m. São bentônicos, de corpo liso e macio repleto de muco, sem escamas. Não possuem olhos, com boca circular, simples e rodeada por barbilhões, sem maxila. Sem indícios de vértebras, com região cefálica e arcos branquiais com estruturas cartilaginosas.

Sugestões de aula prática: Muitas espécies ocorrem no Brasil, mas existe a dificuldade de coleta por viverem em altas profundidades. É possível visualizar externamente as aberturas branquiais, barbilhões cefálicos, narina única e os poros das glândulas produtoras de muco.

b) Lampreias (Petromyzontiformes): comuns no Hemisfério Norte, com hábito predador e parasita, agarrando e deslocando pedras com o disco oral para construção de ninhos. Corpo sem escamas, sem nadadeiras pares e sem maxila. São hematófagos, ou seja, se alimentam de sangue.

Sugestões de aula prática: Pode-se observar a cavidade oral com dentes de queratina, nadadeira caudal pouco desenvolvida, abertura nasal no topo da cabeça, fendas branquiais, uma cloaca na porção posterior ventral e uma ou duas nadadeiras dorsais longas.

*Os Myxiniiformes e Petromyzontiformes não possuem maxilas e são denominados por esta razão como Agnatha ou Cyclostomata.

- c) Gnatostomados (Gnathostomata): vertebrados com maxilas e nadadeiras pares, além de um terceiro canal semicircular no ouvido interno.

Excluindo-se alguns representantes fósseis, os gnatostomados dividem-se em Chondrichthyes e Osteichthyes.

• **Chondrichthyes**

Maior parte é marinha, de águas rasas até grandes profundidades. Animais com esqueletos sem ossos, compostos por uma cartilagem prismática calcificada. Possuem placas para revestimento do corpo, semelhantes a dentes, chamadas escamas placóides. Possuem uma modificação nos raios das nadadeiras pélvicas dos machos denominada cláspes, permitindo a fecundação interna. Musculatura da parede do corpo organizada em conjuntos de fibras denominadas miômeros. Possuem baixa fecundidade e maturação sexual tardia se comparados aos peixes teleósteos. Estão divididos em:

- a) Tubarões e Raias (Elasmobranchii): predadores ou filtradores de plâncton, podendo ser ovíparos ou vivíparos. Hábitos sedentários bentônicos ou grandes nadadores. Tubarões com corpo fusiforme ou anteriormente achatado e raias com achatamento dorsoventral. Podem capturar a presa por meio de investidas, mordidas, sucção e filtração do alimento. Os tubarões conseguem se alimentar de grandes presas devido à mobilidade das mandíbulas e à denteção cortante, pois os dentes possuem margens serrilhadas e afiadas. Número variável de nadadeiras, além de diversos formatos.

Sugestões de aula prática: Podem ser analisados o formato da cabeça, do tronco e cauda, espinhos nas nadadeiras, posição dos espiráculos, das aberturas branquiais e cláspes.

- b) Quimeras (Holocephali): predominantemente de águas profundas, somente com parte do corpo coberto por escamas placóides. Cabeça volumosa, com tronco e cauda afiladas. Nadadeiras peitorais bem desenvolvidas, com base robusta, e nadadeira dorsal precedida por espinho.

Sugestões de aula prática: É possível observar os olhos (que são adaptados a profundidades), espinhos dorsais, placas dentárias e as nadadeiras.

• **Osteichthyes**

O termo Osteichthyes sofreu grande mudança de significado nos últimos anos. Originalmente se referia aos “peixes ósseos” em contraposição aos “peixes cartilaginosos”, mas atualmente todos os outros gnatostomados (excluindo os citados anteriormente) estão agrupados em Osteichthyes. Possuem como características os raios das nadadeiras formados por lepidotríquias, evaginação do trato digestório preenchida por gás e presença de opérculo.

O uso do nome “peixes” também é discutível e anteriormente agrupava somente os peixes-bruxa, lampreias, tubarões, raias e “peixes ósseos”, excluindo os vertebrados terrestres. Para definir os “peixes”, as características mais utilizadas eram vida aquática,

corpo fusiforme, ondulação lateral da coluna vertebral durante a natação, respiração por meio de brânquias nos arcos faríngeos, presença de nadadeiras e escamas, além da ectotermia. Nos dias atuais todas estas características são consideradas simplesiomórficas e podem ser encontradas em outros grupos que não os “peixes” anteriormente envolvidos e, por esta razão, este nome não é mais utilizado em termos evolutivos. Considerando isto, atualmente o táxon Osteichthyes inclui os Tetrapoda, ou seja, os humanos também estão entre os “peixes ósseos”.

Analisando apenas os representantes vivos, os Osteichthyes dividem-se em dois grupos:

- a) Actinopterygii: peixes de nadadeiras pares com base muscular pouco desenvolvida, formadas por raios, e nadadeira dorsal única. Presença de placas pélvicas e escamas com processo em formato de cavilha. Desenvolvimento de encéfalo, musculatura mandibular e musculatura dos arcos branquiais. Presença de bexiga natatória para equilíbrio hidrostático. Envolve as subclasses Cladistia, Chondrostei e Neopterygii. Em Cladistia está um pequeno grupo de peixes alongados do continente africano. Chondrostei compreende os esturjões e os peixes-espátula. Em Neopterygii estão as infraclasses Holostei (espécies sem interesse comercial) e Teleostei (aruanãs, moreias, enguias, sardinhas, salmões, etc.)
- b) Sarcopterygii: nadadeiras com aspecto lobado ou carnoso devido a base muscular desenvolvida nas nadadeiras pares. Está dividida em duas subclasses: Coelacanthiformes, dos celacantos, e Dipnotetrapodomorpha, onde encontram-se os peixes pulmonados como a piramboia. Nesta última subclasse está incluída a infraclasse Tetrapoda.

Sugestões de aula prática (para Actinopterygii e Sarcopterygii): Observar cabeça, tronco, cauda, posição da boca, dentes, narinas, olhos, abertura branquial, poros da linha lateral, escamas e as aberturas anal e urogenital.

Os Tetrapoda evoluíram dos Sarcopterygii e compreendem os únicos cordados atuais adaptados à vida fora d'água, estando divididos em dois grupos principais, os Lissamphibia, composto pelos anfíbios, e os Amniota, que engloba os “répteis”, aves e mamíferos. O parentesco entre Tetrapoda e Sarcopterygii sustenta-se pela estrutura do crânio e das vértebras, semelhança entre estrutura das nadadeiras e membros dos tetrápodes, além de pulmões.

• **Sapos, Rãs, Pererecas, Cecílias e Salamandras (Lissamphibia)**

Os anfíbios dependem da água em pelo menos uma parte de sua vida, sendo a maioria com fase larval aquática. São ectotérmicos e respiram por pulmões, brânquias ou pele. Possuem quatro dígitos nas mãos e a pele é permeável à troca gasosa e de água, com glândulas mucosas e granulares. São divididos em três ordens:

- a) Cecílias ou Cobras-cegas (Ordem Gymnophiona ou Apoda): vivem no subsolo, corpos serpentiformes sem membros locomotores, tentáculos sensoriais na cabeça e olhos reduzidos.

- b) Sapos, Rãs e Pererecas (Ordem Anura): tronco curto, sem cauda e quatro membros locomotores quando adultos. Membros posteriores geralmente adaptados para saltos. Maioria com capacidade de emitir sons principalmente para a reprodução. Apresentam cuidado parental, desde ovos até jovens.
- c) Salamandras (Ordem Urodela ou Caudata): anfíbios com corpo longilíneo e cabeça pequena, com membros locomotores de tamanhos parecidos. Exibem cauda de mesmo tamanho que o tronco ou maior. Não apresentam órgão copulador e macho produz espermátóforo.

Sugestões de aula prática (Gymnophiona, Anura e Urodela): Observar forma do corpo, cauda, formato dos membros, olhos e tentáculos sensoriais na cabeça.

• Répteis

Os representantes atuais compreendem os Testudines, Archosauria (Crocodylia e Aves) e Lepidosauria (Sphenodontia e Squamata). As aves são descendentes de dinossauros carnívoros e, atualmente, seus parentes mais próximos são os crocodilianos. Antigamente se denominava como ave um indivíduo com penas, bico córneo, asas, como membros anteriores e ossos pneumáticos. Com a descoberta de alguns fósseis, o termo ave começou a ser questionado, pois algumas características observadas também indicavam parentesco com répteis, como cauda alongada, dedos com garras e bico com dentes e, por esta razão, são consideradas atualmente dentro deste grupo.

Para facilitar a compreensão, neste trecho do texto serão apresentadas informações sobre os répteis em seu sentido herpetológico, o que exclui as aves. Desta forma, os répteis estão compreendidos em:

- a) Quelônios (Testudines): com carapaça e plastrão formado por placas ósseas fusionadas. Casco com cinturas peitoral e pélvica interiorizadas, formado pela fusão das costelas e das vértebras. Plastrão formado por clavículas e costelas abdominais. Os cágados são de água doce e possuem patas palmadas e dedos com garras. Os jabutis são terrestres e apresentam patas semelhantes às de elefantes. As tartarugas marinhas possuem nadadeiras como apêndices locomotores.
- b) Crocodilianos (Crocodylia): predadores de emboscada, de hábitos semiaquáticos, comuns em regiões com rios ou alta pluviosidade. Podem construir edificações em períodos desfavoráveis e chegam a medir até 8,0 metros. Crânios alongados, comprimidos dorsoventralmente, desprovidos de lábio, com pescoço curto e cauda longa. São consideradas atualmente as famílias Crocodylidae, Alligatoridae e Gavialidae.
- c) Tuataras (Sphenodontia): aspecto de lagarto, com 80 cm, apenas duas espécies viventes, na Nova Zelândia.
- d) Lagartos e serpentes (Squamata): possuem hemipênis, fenda cloacal transversa, extensa cinose craniana e fusão de ossos pré-maxilares. Maioria dos lagartos é insetívora, e as Amphisbaenia têm hábito fossorial e são escavadoras. As serpentes possuem corpo alongado, língua bífida e ausência de pálpebras, além de grande interesse médico pela condição de peçonha de algumas espécies.

Sugestões de aula prática: Analisar as diferentes texturas da superfície do corpo, formas da boca e disposição de dentes, formato de patas e estruturas reprodutivas.

• **Aves**

São animais homeotérmicos, bípedes, com bico córneo e possuem penas revestindo todo o corpo e possuem capacidade de voar. Redução do peso dos ossos, sem prejuízo da estabilidade e resistência. Diversas espécies com migração, que pode ser para reprodução ou atingir novas áreas. Considera-se atualmente duas superordens em aves:

- a) Paleognathae: principalmente aves de grande porte, viventes em habitats abertos ou semiabertos, maioria sem penas na cabeça e com dificuldade de voo. Entre as cinco ordens consideradas estão o avestruz (Struthioniformes), ema (Rheiformes), casuar (Casuariiformes), quivi (Apterygiformes) e inhambu (Tinamiformes).
- b) Neognathae: grande diversidade de formas, cores e padrões comportamentais, com grande capacidade de voo. São consideradas 39 ordens dentro desta superordem. Exemplos: galinha d'angola (Galliformes), pato (Anseriformes), pombo (Columbiformes), beija-flor (Apodiformes), biguá (Suliformes), garça (Pelecaniformes) e gavião (Accipitriformes).

Sugestões de aula prática: Análise dos tipos de penas, formas de bico, asas e patas. É possível também trabalhar a observação de aves no entorno da escola, com uso ou não de binóculos, para reconhecimento dos comportamentos de voar e se alimentar, principalmente.

• **Mamíferos (Mammalia)**

Os mamíferos apresentam diversas características exclusivas como a existência de glândulas mamárias e pelos. Pode-se destacar também um cérebro grande, dentes molares e fecundação interna. O custo de se manter endotérmico, do ponto de vista evolutivo, causou uma baixa diversidade de espécies se comparada a outros grupos. Apresentam diversas estratégias de vida, como capacidade de correr, saltar, voar, escalar, nadar e cavar. Variedade de estratégias reprodutivas, principalmente quanto ao cuidado parental, aumentando a chance de vida dos filhotes. Hábitos alimentares diversos, como insetívoros, frugívoros, granívoros, carnívoros, piscívoros e nectarívoros.

Atualmente dividem-se em 22 ordens e alguns exemplos são os macacos (Primates), morcegos (Chiroptera), gato (Carnivora), baleia (Cetacea), coelho (Lagomorpha) e rato (Rodentia).

Sugestões de aula prática: Analisar, de maneira comparativa entre os diversos representantes, o formato de cabeça, boca, dentes, pelos, membros e cauda.

REFERÊNCIAS

- BARNES, R.S.K.; CALOW, P. ; OLIVE, P.S.W. **Os invertebrados**: uma nova síntese. 2. ed. São Paulo: Atheneu Editora, 1995, 526p.
- BENEDITO, E. 2015. **Biologia e ecologia dos vertebrados**. Rio de Janeiro: Editora Roca, 228p.
- BRUSCA, R.; BRUSCA, G. **Invertebrados**. 2. ed. Rio de Janeiro. Sinauer Associates. Traduzido Editora Guanabara Koogan S.A., 2007, 968p.
- HICKMAN, C.P. Jr.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. **Princípios integrados de zoologia**. 11. ed. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Koogan, 2004, 846p.
- LAURENCE, J. 2005. **Biologia**: ensino médio, volume único. São Paulo: Editora Nova Geração, 696p.
- MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K.V. 2001. **Cinco reinos**: um guia ilustrado dos filós da vida na Terra. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 497p.
- PAPAVERO, N. **Fundamentos práticos de taxonomia zoológica**: coleções, bibliografia, nomenclatura. São Paulo: Editora UNESP – FAPESP, 1994, 285p.
- RIBEIRO-COSTA, C.S.; ROCHA, R.M. **Invertebrados – manual de aulas práticas**. Ribeirão Preto. Editora Holos, 2002, 226p. (Série Manuais Práticos em Biologia 3)
- RUPPERT, E.E.; FOX, R.S.; BARNES, R.D. **Zoologia dos invertebrados**. 7. ed. São Paulo: Editora Roca, 2005, 1145p.
- SADAVA, D.; HELLER, H.C.; ORIANI, G.H.; PURVES, W.K.; HILLIS, D.M. 2009. **Vida – a ciência da biologia. Volume II**: evolução, diversidade e ecologia. Porto Alegre: Editora Artmed, 877p.
- STORER, T.I.; USINGER, R.L. **Zoologia geral**. 6. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional e Editora da Universidade de São Paulo, 1984, 816p.

UNIDADE 4: BIODIVERSIDADE IV

Esta unidade abordará assuntos ligados aos princípios básicos da Ecologia. Livros clássicos de Ecologia foram adotados como referência, sendo citados ao final do texto. Os mesmos livros são sugeridos como referência básica para estudos mais detalhados.

1. O QUE É ECOLOGIA?

A maioria das pessoas utiliza a palavra *Ecologia* de maneira indiscriminada, principalmente quando querem se referir a aspectos ligados à *Conservação Ambiental*, porém elas nem sempre caminham juntas. A Biologia da Conservação, linha de estudo que trata da *Conservação Ambiental*, é um ramo derivado da Ecologia que utiliza muito das informações ecológicas para guiar as ações conservacionistas. Enquanto a Ecologia, não necessariamente, precisa das informações conservacionistas em seus estudos. A palavra Ecologia é derivada do Grego e significa Oikos=Casa + Logos=Estudo e o termo foi criado em 1866 pelo biólogo e zoólogo alemão Ernst Haeckel (1834-1919), contudo, seu conceito vai muito além do simples significado etimológico da palavra. Para Haeckel, a Ecologia era a “ciência capaz de compreender a relação do organismo com o seu ambiente”. Atualmente, existem diversos conceitos para definir a presente ciência, indo do mais popular, como o do Dicionário Aurélio (1988), ao mais técnicos. De acordo com o referido dicionário, Ecologia é a parte da Biologia que estuda as relações entre os seres vivos e o meio ou ambiente em que vivem, bem como as suas recíprocas influências. Ricklefs (2011), autor de um livro muito usado nas universidades de todo o mundo, define que Ecologia é a ciência pela qual estudamos como os organismos interagem entre si e com o mundo natural. Krebs (1988) e Begon et al. (2007) fazem uma definição mais pontual, uma vez que deixam claro que Ecologia é a ciência que estuda a distribuição e a abundância dos organismos, mas usam a interação entre os organismos como determinante da sua própria distribuição e abundância. Já Likens (1992 apud Begon 2007) elaborou uma definição mais completa, pois corrobora com a definição acima citada, mas acrescenta que a Ecologia também estuda a transformação e o fluxo de energia e matéria. A partir do que foi exposto acima, é possível perceber que em nenhum momento os conceitos mencionaram aspectos de cunho conservacionista, mas sim, palavras-chaves claras: interação, distribuição, abundância e fluxo de energia.

2. SISTEMAS E ORGANIZAÇÕES ECOLÓGICAS

A Ecologia trabalha, estruturalmente, com *Sistemas Ecológicos*, nos quais cada sistema menor é subconjunto de um próximo maior – hierarquia ecológica. Os Sistemas Ecológicos possuem processos internos (p. ex. Ciclos Biogeoquímicos – água, fósforo, nitrogênio etc.), trocas com o meio externo (decomposição de matéria orgânica) e, sobretudo, delimitações claras. Em ordem crescente, podem ser chamadas de Organismo (indivíduo), População, Comunidades, Ecossistemas e Biosfera, sendo, alguns deles, melhores chamados de Organizações Ecológicas. A distinção de um Sistema para a Organização se faz necessária, pois as delimitações de alguns “Sistemas” são abstratas e

parecem, na realidade, níveis de organização do que propriamente um sistema fechado. Também não possuem processos fisiológicos internos e trocas energéticas com o meio externo.

O organismo (indivíduo) é a unidade mais fundamental da Ecologia, sendo considerado um Sistema Ecológico elementar. Diferentemente dos outros, é limitado por uma cobertura por meio do qual ele troca energia e matéria com o meio ambiente. Seria o sistema mais bem definido e concreto dentro da Ecologia. Por exemplo: um indivíduo de *Panthera onca* (onça-pintada) é um organismo que representa a espécie, a própria onça-pintada na natureza, pois é limitado por sua pelagem (cobertura), há troca de calor através de sua transpiração (energia) e depositam fezes para demarcação de território (matéria). Não se pode confundir organismo com espécie, pois espécie é uma categoria criada pelo homem como forma de organização taxonômica. A espécie *P. onca* em si não é, fisicamente, delimitada, não troca calor com o meio e não defeca. Quem faz isso é o indivíduo (organismo) que representa a sua espécie. As necessidades básicas para um organismo estar presente em um determinado local, por exemplo, se há disponibilidade de recurso alimentar para ele se manter, e a tolerância às condições ambientais em que se encontra, por exemplo, e a temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade etc, estão em sua faixa de tolerância, fazem parte de um conceito que é um dos pilares do pensamento ecológico, o conceito de *Nicho Ecológico*. O nicho é um dos grandes responsáveis por determinar se os organismos de uma determinada espécie existirão em um local, pois ele é quem dirá se os indivíduos estarão aptos a se manter, sobreviver, reproduzir e ter uma participação efetiva nas relações intra e interespecíficas (com indivíduos da mesma espécie ou de espécies diferentes, respectivamente). Caso os indivíduos não se encontrem dentro do seu nicho, os organismos daquela espécie tendem a ser selecionados evolutivamente, procurarem um outro local ou até mesmo se extinguirem pontualmente.

Uma *População* é um conjunto de organismo de uma mesma espécie vivendo juntos em uma determinada área em um determinado tempo. Diferente de um *Organismo*, uma *População* não possui processos internos, trocas com o meio externo e delimitações claras. Ela possui comportamento dinâmico, continuamente mudando no tempo em função dos nascimentos, mortes e movimentos dos indivíduos. Uma população não se enquadraria como um Sistema Ecológico, mas sim como um nível de organização - Organização Ecológica. Essa diferença fica mais clara quando pensamos na delimitação de uma população. Não podemos deixar de levar em consideração que uma população pode existir em um determinado local em função, por exemplo, de sua tolerância a grandes altitudes e, portanto, ter uma delimitação, geograficamente, mais simples (espécies endêmicas). Porém, para outras espécies a delimitação não é fácil, sobretudo quando se trata de uma espécie com alta capacidade de deslocamento e flexibilidade alimentar, como a população de *Passer domesticus* (pardal), uma ave cosmopolita. Outras populações de espécies não endêmicas também são fáceis de delimitar, como uma população do peixe Pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) em uma lagoa no Pantanal na época da seca, contudo, uma população dessa mesma espécie no Rio Paraguai, no Pantanal, se torna uma tarefa um pouco mais difícil.

Na natureza, as populações das mais diferentes espécies convivem umas com as outras no mesmo espaço e tempo, tendo interações diretas ou indiretas, sendo essa Organização Ecológica denominada *Comunidades*. Da mesma maneira que uma população,

uma *Comunidade* se enquadra como um nível de organização, devido, principalmente, ser de difícil delimitação e por não possuir processos internos e trocas com o meio externo. A pergunta que persiste é: até onde se inicia e finaliza uma Comunidade? Até onde se inicia e finaliza uma População? Algumas comunidades são mais simples de identificar, como a comunidade de animais terrestres e a comunidade aquática do litoral sul do Brasil. Porém, dentro desse mesmo exemplo, a simplicidade deixa de existir quando levamos em consideração os organismos de espécies que transitam entre os dois ambientes. Um exemplo que ilustraria bem esse tipo de situação seria os organismos da Tartaruga-Marinha Gigante (*Dermochelys coriacea*), pois elas vivem na zona oceânica e desovam no litoral norte do Espírito Santo (Tamar 2015). De qualquer maneira, para conseguir identificar os limites de uma comunidade é necessário, primeiramente, saber quais e quantas espécies coexistem naquele local (riqueza de espécies) e naquele tempo para ser possível averiguar zonas de distribuição e transição das espécies. A partir disso, é possível saber se a mudança de uma comunidade para outra ocorre de forma abrupta (ecótono) ou gradual.

Quando é levada em consideração as premissas de uma comunidade, conjuntamente com o ambiente físico-químico que a circunda, entende-se que o nível da hierarquia ecológica é outro: *Ecosistema*. Ao longo da vida, os organismos que compõe uma comunidade transformam energia e processam materiais, o que gera fluxo de energia e ciclo de elementos no então chamado ecossistema. Igualmente ao organismo e, diferentemente, da população e da comunidade, o ecossistema pode ser considerado como um Sistema Ecológico. Tal consideração se dá porque há processos internos, trocas com o meio externo e uma delimitação clara dos limites entre um ecossistema e outro. Para considerar os limites de um ecossistema, é necessário que a troca de energia e substâncias entre comunidades seja menor que as transformações internas de cada uma delas para considerar cada uma como um ecossistema. Quando a troca entre as comunidades for maior, não é possível considerá-las como ecossistemas independentes. Por exemplo, a comunidade vegetal de um cerrado (Cerrado) tem a riqueza e a composição de espécies distintas de um campo limpo (também Cerrado), mas ambas formam um único ecossistema porque possuem consideráveis trocas de energia e matéria. O que não ocorre entre as comunidades vegetais da Floresta Amazônica e dos Pampas Gaúchos. Em uma amplitude mais macroscópica, a *Biosfera* seria o Sistema Ecológico final, pois é considerada a interligação entre todos os ecossistemas terrestres e aquáticos. Como o ecossistema, a biosfera engloba a transformação da energia, a síntese e a decomposição de materiais, tendo por si só delimitações claras.

3. PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ECOLOGIA

Diferentes fatores influenciam uma população, estando ela sob constantes variações espaciais e estruturais. Os fatores mais importantes que podemos citar são ciclo de vida (nascimento, morte e reprodução), disponibilidade de alimento, predadores, locais para a reprodução, além de características ecológicas do próprio habitat. Todavia, outros fatores são cruciais para a viabilidade a longo prazo de uma população, sendo eles o grau de isolamento (acarretando queda no fluxo gênico e baixa variabilidade genética), razão sexual (número de machos e fêmeas na população) e estrutura etária (proporção de jovens, adultos

e velhos). Quando uma população apresenta desequilíbrio severo em pelo menos um dos fatores acima mencionados, ela tende a ter uma extinção local. Todas essas flutuações que ocorrem no tamanho relativo das populações são conhecidas como dinâmica de populações, podendo ela ser influenciada por fatores dependentes da densidade populacional ou não.

Uma ferramenta para monitorar esse tipo de situação é a Tabela de Vida, pois ela fornece informações a respeito das propriedades dinâmicas da população e das estratégias de vida de cada organismo. Uma Tabela de Vida, do tipo Coorte, permite o acompanhamento dos indivíduos que nascem em um período até a sua morte. Contudo, esse tipo de tabela é deficiente, uma vez que nem sempre é possível acompanhar todos os indivíduos até a sua morte. Uma alternativa seria a Tabela de Vida Estática, pois são conhecidas pelo monitoramento a partir de indivíduos de diferentes faixas etárias e a contribuição de cada um deles para novos nascimentos na população.

Os organismos de uma população podem estar distribuídos de três diferentes maneiras em um habitat: distribuição homogênea, agrupada e aleatória. Independentemente de qual distribuição, os fatores determinantes que influenciam qual padrão uma população apresentará são: capacidade de dispersão e condições+recursos (=nicho ecológico) necessários à sobrevivência.

A partir dos padrões de sobrevivência das populações, as chamadas curvas de sobrevivência, é possível observar três tipos de comportamentos. Curva do tipo I são aquelas populações em que a mortalidade está concentrada em indivíduos com faixas etárias mais avançadas, na qual está ligada ao tempo máximo de vida de um organismo. Esse tipo de curva é comum em animais de grande porte e aqueles que possuem acesso a tratamento médico, como o Homem e animais domésticos. A curva do tipo II é aquela em que a mortalidade é constante nas populações, sendo acompanhada de nascimento até a idade mais avançada. Exemplos desse tipo de comportamento podem ser observados em bancos de sementes nos solos de qualquer formação vegetacional. Por fim, a curva do tipo III, na qual se observa uma grande mortalidade inicial com uma alta taxa de sobrevivência a posteriori. Esse tipo de comportamento é típico de populações de ervas-daninhas com ciclo de vida anual. Muito embora existam esses três tipos de comportamento de sobrevivência, um organismo pode apresentar diferentes tipos de curvas, pois fatores externos, como disponibilidade de nutrientes e competição, podem interferir no padrão adotado.

A variação no tamanho da população também é marcada pela movimentação dos animais, podendo ela ser caracterizada como dispersão ou migração. O termo dispersão refere-se ao movimento de entrada (imigração) e saída (emigração) de indivíduos de uma população, enquanto a migração é a movimentação em massa dos indivíduos para um outro local. Normalmente, a migração dos indivíduos ocorre quando eles estão à procura de regiões com alta disponibilidade de recurso, pois isso evitará conflitos gerados pela competição intraespecífica, como a redução nas taxas de natalidade e mortalidade dos organismos.

O número de indivíduos de uma população no ambiente oscila constantemente e as variações existentes a partir das taxas de natalidade e mortalidade são chamadas de

capacidade suporte do ambiente (K). Quando uma população tende a permanecer constante ao longo do tempo, significa que ela alcançou a capacidade suporte de um ambiente, pois a natalidade e a mortalidade se igualaram. No momento em que a densidade da população se encontra abaixo de K , a taxa de natalidade tende a ser mais alta que a taxa de mortalidade e, com isso, a população aumenta de tamanho. Ao contrário, quando a densidade está acima de K , a mortalidade excede os nascimentos e a população diminui.

Espécies utilizam de duas diferentes estratégias reprodutivas e de crescimento para aumentar o poder de ocupação de um ambiente (aptidão do organismo), de maneira que cada uma dessas espécies tem uma necessidade energética. Os dois tipos de estratégias são denominados organismos r e k estrategistas. As r estrategistas são aquelas espécies que têm a capacidade de se multiplicar rapidamente no tempo e possuem um crescimento exponencial, produzindo um alto número de descendentes. É uma estratégia comum de organismos que ocupam habitats temporários, como uma lagoa efêmera do Pantanal ou um terreno em uma cidade. As espécies k estrategistas são aquelas em que os organismos estão ligados a ambientes mais estáveis e com competição elevada. Sendo assim, investem mais energia no crescimento, produzindo proles menos numerosas com tamanho corporal maior do que as r estrategistas.

A partir do que foi exposto acima, é possível ter uma noção dos assuntos abordados e dos fatores que influenciam uma população. As populações são organizações ecológicas dinâmicas que flutuam constantemente no espaço e no tempo, muitas vezes devido interações bióticas e abióticas. Uma população existirá em um determinado local em um momento determinado se ela for capaz de alcançar uma localidade, se existir condições e recursos apropriados para ela e não for impedida por competidores, predadores e/ou parasitos. No tópico abaixo, iremos abordar grande parte dessas pressões ecológicas, contudo, a partir de uma visão mais ampla.

Quando pensamos em Ecologia de Comunidades temos que levar em consideração não apenas o seu conceito básico, mas também os diversos processos ecológicos em que as diferentes populações que as compõem estão submetidas. Para isso, iremos abordar temas ligados a Competição, Predação, Parasitismo, Herbivoria, Coevolução, Interações Positivas, Sucessão Ecológica, Teia Alimentar, Biodiversidade e Biogeografia.

A competição interespecífica tem grande importância na formação e na modelagem de uma comunidade, pois ela acarreta efeitos de redução mútua na fecundidade, sobrevivência e/ou crescimento das populações envolvidas. É importante ressaltar que a competição tanto entre indivíduos de espécies diferentes (interespecífica) quanto entre indivíduos da mesma espécie (intraespecífica) somente ocorre quando o recurso em disputa é limitado. Nunca uma competição existe quando o recurso está disponível em abundância. Mas o que poderia ser considerado como um recurso? Recurso é qualquer fator que um organismo necessite para sua sobrevivência, crescimento e reprodução. Por exemplo, o alimento é um recurso para um animal, o espaço é um recurso para animais sésseis (cracas, tipos de crustáceos, que se fixam em rochas a beira-mar), porém o oxigênio é uma condição para que eles sobrevivam. Alguns recursos podem ser considerados como renováveis, como os recursos de relação presa-predador, e outros são não renováveis, como o próprio espaço ocupado pelas cracas (uma vez ocupado esse recurso não será

reposto). Em 1934, o pesquisador G. F. Gause criou, a partir de experimentos com espécies de *Paramecium* (protozoários), o *Princípio da Exclusão Competitiva*. Seus experimentos demonstraram que duas espécies não podem coexistir, indefinidamente no tempo e no espaço, utilizando um mesmo recurso limitante. Ele observou que quando duas espécies de *Paramecium* eram criadas juntas, após algumas gerações uma tendia a eliminar a outra, por mais que elas tivessem sucesso quando criadas separadamente.

A relação de predação, parasitismo, parasitoides e herbivoria são interações de alimentação entre espécies consumidoras e espécies consumidas (recursos) com efeitos negativos nas taxas de crescimento e reprodução de uma das partes envolvidas. Elas fazem parte de mecanismos reguladores das teias alimentares e, naturalmente, também desempenham papel regulatório em uma comunidade. Em alguns livros são tratados, separadamente, das teias alimentares, porém, aqui será trabalhado conjuntamente para entendermos problemas em escala mais complexas. A predação caracteriza-se pela captura de presas, nas quais são levadas a morte e retiradas da população. Geralmente, os predadores são maiores do que as presas, mas observa-se uma relação de tamanho corpóreo do predador X presa. Predadores de pequeno a médio porte (até 20 kg) tendem a capturar presas relativamente grandes, porém, com um grande gasto de energia e tempo de captura. Predadores de grande porte, acima de 20 kg, tendem a investir somente na captura de presas de grande porte, uma vez que gastarão muita energia e tempo. Diferentemente dos predadores, os parasitas consomem partes do recurso do hospedeiro sem provocar a sua morte imediata. Já os parasitoides levam os hospedeiros à morte, contudo, somente após o desenvolvimento completo da sua prole, que foi depositada no corpo do hospedeiro, internamente. Os parasitoides são espécies de vespas e moscas cujas larvas consomem os tecidos de hospedeiros vivos, normalmente os ovos, larvas ou pupas. Os parasitos e parasitoides são, geralmente, menores do que os hospedeiros, apresentam um elevado potencial reprodutivo e são especializados quanto a estrutura e o metabolismo dos hospedeiros. Da mesma maneira que os predadores, os parasitos podem causar efeitos na estrutura de comunidades. Os herbívoros ou pastadores consomem as plantas inteiras ou apenas parte delas. Podem promover um aumento da riqueza de espécies na comunidade devido seu consumo possibilitar que novas espécies cheguem e permaneçam no local (coexistência mediada pelo consumidor). A mesma regulação ocorre com os predadores X presas (coexistência mediada por predação) e aumentando assim a riqueza de espécies da comunidade. Naturalmente, com a ausência dos herbívoros, a riqueza tende a diminuir, uma vez que a espécie, supostamente consumida, irá competir com as demais (Princípio da Exclusão Competitiva).

Nenhuma das relações tratadas acima existe isoladamente, pois cada uma é parte de uma teia de interações. A teia de interações, na qual predadores, parasitos e herbívoros fazem parte, é a chamada Teia Alimentar. Quando pensamos em uma Teia Alimentar, podemos imaginar a seguinte sequência, ou também denominado nível trófico: planta-herbívoro-predador. A planta é consumida pelo herbívoro, que por sua vez exerce efeito direto na densidade populacional da planta. O herbívoro é consumido pelo carnívoro, que também exerce efeito direto na densidade populacional do seu recurso (herbívoro). Se por ventura a oferta vegetal para os herbívoros diminuísse, haveria uma redução no tamanho populacional dos herbívoros em detrimento da falta de recurso (efeito direto), e os carnívoros iriam sentir um efeito indireto da alteração na densidade populacional do nível

trófico primário (planta). Esses efeitos diretos e indiretos em uma Teia são denominados Cascata Trófica. Quando um predador reduz, drasticamente, a abundância de sua presa, tal efeito afetará o nível trófico abaixo. Um predador de topo pode reduzir a abundância de um predador intermediário, que permite o aumento da abundância de um herbívoro, levando a um decréscimo na abundância vegetal (Efeito top-down). Por sua vez, um aumento na densidade vegetal afetará a abundância dos herbívoros que, naturalmente, afetará a dos predadores (Efeito botton-up).

O que significa Biodiversidade para a Ecologia? Biodiversidade é uma junção da expressão “Diversidade Biológica” que, em muitos momentos, é erroneamente utilizado como número de espécies (riqueza de espécies). Para a Ecologia, a forma mais usada é a palavra “Diversidade”, sendo concebida para combinar a riqueza de espécies e a igualdade na distribuição do número de indivíduos (abundância) entre essas espécies (Townsend et al. 2010). Os índices de diversidade são muito úteis como ferramenta comparativa, pois um pesquisador pode utilizá-los como parâmetro para auxiliá-lo na escolha de áreas prioritárias para a conservação, por exemplo. Existem alguns índices de diversidade biológica, contudo não os cabe descrevê-los no presente material. Faremos aqui apenas um breve apanhado dos principais fatores levados em consideração por ser uma comunidade com maior biodiversidade do que a outra. A diversidade de uma comunidade depende da sua riqueza de espécies e dos hospedeiros a sua equabilidade (uniformidade na abundância dos indivíduos entre as espécies). O maior número de espécies com indivíduos mais regularmente distribuídos contribui para comunidade com maior diversidade. Quando cada uma de duas comunidades possui 10 espécies (riqueza) e uma abundância de 100 indivíduos e elas são comparadas a comunidade mais diversa é aquela em que cada espécie possua a abundância mais próxima de 10 (equabilidade). Comunidades que possuem espécies muito abundantes e/ou muito raras, tendem a ter uma diversidade menor.

Cada espécie pode evoluir em resposta àquelas características da outra que afetam o seu ajustamento de sobrevivência, crescimento e reprodução (Coevolução). Respostas evolutivas mútuas podem estar presentes em relações de predação, competição, polinização etc. Um experimento com moscas foi desenvolvido por Pimental et al. (1965) para demonstrar processos de coevolução intermediado pela competição. Moscas varejeiras e domésticas (competidora mais eficiente) foram submetidas a um convívio de 70 semanas, no qual a mosca doméstica conseguiu se destacar até cerca da 55^a semana. A partir daí o número de indivíduos da mosca varejeira começou a sofrer uma ascensão substancial em relação a doméstica. Acredita-se que nesse período, após diversas gerações, indivíduos da mosca varejeira passaram por um processo denominado Reversão Competitiva, processo que ocorre quando fortes pressões seletivas fazem com que uma determinada população responda rapidamente as novas condições. Esse tipo de reversão (seleção) está estreitamente ligado a exploração de diferentes nichos ecológicos.

Não só de relações antagonistas as populações e os organismos de uma comunidade estão submetidos. Na natureza, existem algumas relações, nas quais ambos os organismos envolvidos são beneficiados, ou neutro para um e positivo para outro. A simbiose e o mutualismo são bons exemplos de benefício mútuo entre os organismos.

Simbiose significa “viver junto” e esse sentido é aplicado na prática. Os organismos simbiotes convivem juntos com seus hospedeiros (nada tem a ver com a relação de parasitismo). Podemos mencionar um exemplo clássico de simbiose: os sistemas digestórios de herbívoros são habitados por uma rica fauna de micróbios que digerem a celulose presente na parede das células vegetais. Vale destacar que a parede celular é rica em carbono e sem essas bactérias não seria possível utilizar dessa fonte de energia. Em contrapartida, as bactérias têm um fluxo constante de alimento (mastigado e parcialmente homogeneizado), pH e temperatura adequada e condição anaeróbica constante. O mutualismo também gera efeito positivo para os dois organismos envolvidos, porém eles não vivem um internamente ao outro. As relações de polinização e dispersão de sementes são exemplos simples de mutualismo, pois ambas as espécies são beneficiadas, mas não existe uma relação interna de sobrevivência. Os polinizadores e dispersores são beneficiados com alimento e as plantas com a polinização e com o deslocamento de seu embrião. A relação, na qual uma espécie é beneficiada e a outra é neutra é denominada Comensalismo. O epifitismo é um bom exemplo de comensalismo, pois a Orquídea utiliza da casca de uma árvore para a sua fixação, mas de nada prejudica a sua planta-substrato.

Qualquer comunidade ecológica do planeta está sujeita a alterações em sua estrutura e composição após eventos de perturbação, podendo esses eventos serem de origem natural ou antrópica. Independentemente da origem da perturbação, a primeira resposta em um curto intervalo de tempo é a mudança na riqueza e na composição das espécies, de maneira que a comunidade passará por vários momentos de colonização e extinção, sobretudo de espécies com diferentes papéis ecológicos. Esse processo de chegada e saída de novas espécies em um ambiente perturbado é denominado *Sucessão Ecológica*. Cada estágio de uma sequência completa das diferentes espécies com seus respectivos papéis ecológicos, que ocorrem ao longo da sucessão, é conhecido como *Sere*, sendo elas substituídas mutuamente. Cada sere tem um conjunto ecológico de espécies. O início do processo sucessional, a sere inicial, conhecemos como estágio pioneiro, e, o fim, como clímax. As plantas pioneiras produzem um grande número de sementes pequenas, a dispersão de suas sementes ocorre pelo vento ou aderida ao corpo de animais, possuem longa viabilidade, um rápido crescimento e são resistentes a grandes intensidades luminosas. Já as plantas de seres mais tardias produzem poucas sementes, são grandes, dispersas pela gravidade, curta viabilidade, crescimento lento e intolerância ao sol. Existe dois tipos principais de sucessão, a primária e a secundária. A primária é conhecida como um processo que ocorrerá em um local antes nunca habitado. Exemplos desse tipo de sucessão são: solos recém-criados a partir de lavas vulcânicas, poças d’água caducas, fezes de animais, dunas de areia etc. A sucessão secundária ocorrerá em locais que já tinham sido ocupados por outra comunidade. Exemplos: formação de clareiras em uma mata, incêndio florestais, desmatamentos para extração de madeira etc. Normalmente, em uma comunidade que passa por sucessão, existe um aumento inicial da riqueza de espécies, porém, ela passará por uma queda a medida que os estágios serais vão se aproximando de um clímax (sere mais avançada). Acredita-se que isso se dá por um efeito intenso de competição.

Na década de 60, dois pesquisadores criaram uma teoria para explicar o porquê do tamanho de uma área e o seu grau de isolamento ser fatores importantes na riqueza de espécies de uma comunidade. Essa teoria foi denominada A Teoria da Biogeografia de Ilhas

(MacArthur & Wilson 1967). Para facilitar nosso entendimento, vamos dizer que “ilhas” pode significar ilhas propriamente ditas, mas também fragmentos de vegetação, topos de morro, ambientes isolados, lagos etc. A teoria diz que a riqueza de espécies existente em fragmento (ilha) irá cair em relação à diminuição do tamanho da área e ao seu grau de isolamento (ausência de corredores ecológicos que dificultam o fluxo de espécies). Quanto menor e mais isolado for, menor será a riqueza do fragmento. Juntamente a esses aspectos, a teoria leva em consideração os fatores de migração e extinção, pois as espécies podem se extinguirem, mas, ao mesmo tempo, podem ser recolonizadas por meio da migração. A teoria prediz que a riqueza de espécies se torna constante ao longo do tempo em função da substituição de espécies, pois algumas serão extintas, mas outras novas chegarão (imigração).

Sugestão de aula prática: sair com os alunos para dar uma volta no pátio da escola e dizer a eles que a escola será considerada como uma Biosfera. A partir daí, dê uma volta com eles na escola para catalogarem os diferentes Sistemas e Organizações Ecológicas. Não esqueça de incluir os seres humanos na história. A ideia é montar uma organização decrescente: Biosfera, Ecossistemas, Comunidades, População, Espécie e Organismo (indivíduo). Não é necessário que identifique perfeitamente as espécies, apenas dê nomes fictícios. O importante é eles entenderem a diferença entre os sistemas.

REFERÊNCIAS

- Begon, M.; Townsend, C. R. & Harper, J. L. 2007. **Ecologia**: de indivíduos a ecossistemas. Porto Alegre: Artmed Editora.
- Ferreira, A. B. H. 1988. **Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, p. 214.
- Gause, G. F. 1934. **The struggle for existence**. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Krebs, J. 1988. **Ecological Methodology**. New York: Harper & Row.
- Odum, E. P. & Barrett, G. W. **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- Primack, R. B. & Rodrigues, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Editora Planta, 2001.
- Ricklefs, R. E. **A economia da natureza**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 2011.
- Tamar 2015. Projeto Tamar. Disponível em:
<<http://www.tamar.org.br/tartaruga.php?cod=22>>. Acesso em: 19 out. 2015.
- Townsend, C. R.; Begon, M. & Harper, J. L. **Fundamentos em ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2005.
-