

Amélia laeca Kanagawa «Creusioni Figueredo dos Santos

Fabiana Sena da Silva Frederico Barbosa de Sousa

♦Gilmara Alves Cavalcanti ♦Jorge Adriano Lubenow









Universidade Federal da Paraíba Universidade Aberta do Brasil UFPB VIRTUAL COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS À DISTÂNCIA

Caixa Postal 5046— Campus Universitário - 58.051-900 — João Pessoa Fone: 3216-7838 e 8832-6059 Home-page: portal.virtual.ufpb.br/biologia

UFPB

Reitor

Rômulo Soares Polari

Pró-Reitor de Graduação

Valdir Barbosa Bezerra

UFPB Virtual

Coordenador

Renata Patrícia Jerônymo Moreira Edson de Figueiredo Lima Junior

Centro de Ciências Exatas e da Natureza

Diretor

Antônio José Creão Duarte

Departamento de Sistemática e Ecologia

Chefe

Juraci Alves de Melo

Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas à Distância

Coordenador

Rafael Angel Torquemada Guerra

Coordenação de Tutoria

Diego Bruno Milanês Lopes

Coordenação Pedagógica

Isolda Ayres Viana Ramos

Coordenação de Estágio

Paulo César Geglio

Coordenação de TCC

José Vaz Neto

Apoio de Designer Instrucional

Luizângela da Fonseca Silva

Artes, Design e Diagramação

Romulo Jorge Barbosa da Silva

Apoio Áudio Visual

Edgard Adelino Ruiz Sibrão

C 569 Cadernos Cb Virtual 2 / Rafael Angel

Torquemada Guerra ... [et al.].-

João Pessoa: Ed. Universitária, 2011.

610p.: II.

ISBN: 978-85-7745-902-5 Educação a Distância. 2. Biologia

I. Guerra, Rafael Angel Torquemada.

UFPB/BC CDU: 37.018.43



BIOLOGIA E SISTEMÁTICA DE FUNGOS, ALGAS E BRIÓFITAS

O estudo da biologia e sistemática dos organismos é um campo importante de pesquisas dentro do Curso de Ciências Biológicas que lida não apenas com o grupo a ser estudado, mas também com as relações entre os diferentes grupos. A sistemática é uma ciência que organiza informações sobre morfologia, ecologia e inter-relações entre organismos, permitindo que o pesquisador 'monte a história' daquele grupo, incluindo sua distribuição e evolução.

Os três grupos que serão estudados nas unidades a seguir exercem papéis importantes na natureza. Em fungos são conhecidas cerca de 75.000 espécies, que funcionam como os principais decompositores naturais no meio ambiente. Existem aproximadamente 30.000 espécies de algas no mundo, que têm um papel fundamental na oxigenação de ambientes aquáticos e são componentes na cadeia alimentar marinha. Em briófitas estão incluídos os musgos, as hepáticas e os antóceros que, juntos, somam cerca de 15.000 espécies e participam do ciclo hidrológico dos ecossistemas devido à capacidade que possuem de absorver água e liberar umidade no ambiente quando necessário.

Nas próximas páginas, junto com informações sobre a natureza e as terminologias usadas para estudar os fungos, as algas e as briófitas, o estudante conhecerá um pouco da biodiversidade brasileira. Foi uma preocupação das autoras ilustrar este capítulo com o maior número de exemplos de táxons brasileiros, que poderão ser encontrados pelos estudantes no seu ambiente. Conhecer a biologia destes organismos é fundamental para entender como estes grupos fazem parte da natureza e do nosso dia-a-dia e para planejar projetos de conservação e de uso sustentável.

O objetivo destas unidades é introduzir conhecimentos sobre fungos, algas e briófitas para que o aluno possa reconhecer estes organismos na natureza, entender sua importância ecológica, e um pouco dos seus aspectos evolutivos.

BIOLOGIA E SISTEMÁTICA DE FUNGOS, ALGAS E BRIÓFITAS

Amélia laeca Kanagawa Maria Alice Neves

UNIDADE 1 FUNGOS

1. Introdução

O nome que se dá à ciência que estuda os fungos é micologia (*myko* = fungo, *logy* = estudo), e o pesquisador que estuda os fungos é chamado de micólogo.

O Reino Fungi inclui organismos muito diversos, como os cogumelos (Figura 1), orelhasde-pau, ferrugens e carvões de plantas, mofos e leveduras, além de outros menos conhecidos. Mais de 70.000 espécies de fungos foram descritas até hoje, porém algumas estimativas sugerem que o número total de espécies existentes neste reino seja de 1,5 milhões. Isso significa que apenas cerca de 6% da diversidade total dos fungos é conhecida (Hawksworth et al., 1995).

Dentro do sistema de classificação de três domínios – Eukarya, Bacteria, Archaebacteria – o Reino Fungi faz parte do domínio Eukarya, junto com os reinos Plantae, Animalia, Protozoa e Stramenopila. Este último pode ou não ser aceito dependendo do autor seguido. Os fungos, como serão visto nesta unidade, são bem distintos dos demais reinos.

A classificação mais moderna reconhece 4 grupos principais de fungos: Ascomycota, Basidiomycota, Zygomycota e Chytridiomycota. A forma como estes grupos se relacionam filogeneticamente está representada no diagrama (Figura 2) e pode ser interpretada simplesmente como: Ascomycota e Basidiomycota estão mais proximamente relacionados entre si do que estão de Zygomycota ou de Chytridiomycota. Ou ainda podemos dizer que Basidiomycota e Ascomycota têm um ancestral comum que não é compartilhado com os outros dois grupos. As relações entre Zygomycota e Chytridiomycota ainda não estão bem definidas e mais estudos são necessários para o seu esclarecimento.

Na Figura 3 está ilustrado como exemplo, o esquema de classificação do *champignon*, cogumelo branco vendido em supermercados e usado em pizzas, um dos mais produzidos e conhecidos no mundo todo. Preste atenção nas terminações usadas para os níveis taxonômicos, pois elas diferem das usadas nos reinos Plantae e Animalia.

Existem dois grupos de organismos, os 'myxomyxetes' e os 'oomycetes', que têm sido tradicionalmente estudados dentro da micologia, mas que não são fungos verdadeiros. Por outro lado, os Chytridiomycota, antes estudados separadamente devido à presença de células móveis, agora fazem parte do reino Fungi. Estas mudanças na classificação foram confirmadas por métodos modernos que incluem a análise de seqüências de genes do DNA de espécies de cada grupo.

Figura 1. Russula SP (Basidiomycota). Parque das Dunas, Natal, RN (5 a 9 cm de diâmetro)



Fonte: (© M.A.Neves, 2008).

Figura 2. Filograma mostrando os principais grupos de fungos e as relações filogenéticas entre eles.

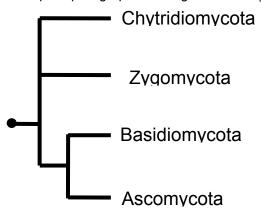


Figura 3. Classificação do cogumelo Agaricus brunnescens (3 a 4 cm de diâmetro).

Reino FUNGI (ou EUMYCOTA)
Filo Dikaryomycota
Subfilo Basidiomycotina
Classe Holobasidiomycetes
Ordem Agaricales
Família Agaricaceae
Gênero Agaricus
Espécie Agaricus brunnescens



Fonte: © Darkone http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Champignons Agaricus.jpg)

Filo Myxomycota, Reino Protozoa

Antes classificados como fungos, os mixomicetes possuem uma fase assimilativa amebóide, sem parede celular, e nunca produzem hifas, as células alongadas características dos fungos verdadeiros. A fase amebóide (Figura 4a) se arrasta sobre o substrato, consumindo e engolfando ou ingerindo o alimento (os fungos verdadeiros liberam enzimas no substrato e depois absorvem os alimentos). Eventualmente esta fase amebóide se transforma dramaticamente em um conjunto de estruturas alongadas, estipitadas, que carregam na extremidade superior milhares de esporos (Figura 4b) que serão responsáveis pela reprodução sexual.

Filo Oomycota, Reino Stramenopila - (nem todos os autores aceitam esta classificação)

Os oomicetes são conhecidos também como mofo da água e causam várias doenças em plantas quando o ambiente é propício e saturado de umidade. Estes organismos são aquáticos. Os esporos produzidos na fase assexual são biflagelados cujos flagelos saem da lateral da célula. A parede celular das hifas dos oomicetes é constituída de um material parecido com celulose, mas quitina (composto da parede celular dos fungos verdadeiros) também está presente. Durante a reprodução sexual, oósporos persistentes de parede grossa são produzidos em estruturas chamadas de esporângios (Figura 5).

2. Características dos fungos

É muito comum aprendermos o que são fungos através de frases que dizem o que eles NÃO são quando comparados às plantas. No entanto, há várias características que compõem e diferenciam este grupo de seres vivos dos demais reinos. É o que vamos ver nesta unidade. Antes, porém, vale a pena discutir brevemente alguns aspectos evolutivos dos fungos.

2.1. Evolução

Como veremos mais adiante, apenas um dos filos do Reino Fungi, o Chytridiomycota, possui células móveis, com flagelos, indicando que estes fungos dependem de água para sua reprodução e dispersão. Se observarmos novamente a Figura 2 veremos que o filo Chytridiomycota encontra-se mais próximo à base do filograma e, portanto, é o grupo mais antigo dentro do reino. As células flageladas presentes neste grupo são estruturas básicas e altamente conservadas em termos evolutivos, assim como o hábito aquático.

A ausência de células móveis nos demais filos reflete uma alteração no curso evolutivo dos fungos, mostrando claramente que a maioria dos fungos verdadeiros é basicamente terrestre, e que esta condição é provavelmente muito antiga, geologicamente falando. Há muito mais nichos e substratos a serem explorados nos ambientes terrestres do que há nos aquáticos.

Quando surgiram os fungos? É difícil responder a esta pergunta devido ao pequeno número de fósseis de fungos preservados. Os poucos fósseis de macrofungos conhecidos (Figura 6) se parecem muito com os fungos atuais, sugerindo que estes organismos já ocupavam a Terra há muito mais tempo e possuem uma morfologia conservada em vários dos principais grupos.

Esporos fósseis de fungos são eventualmente encontrados associados ao solo. Em um sítio arqueológico do Devoniano, na Europa, foram encontradas plantas fósseis com fungos associados, similares a membros dos Glomales, fungos endomicorrízicos atuais. Estes fósseis e estudos evolutivos que inferem a radiação de Glomales em 460 a 350 milhões de anos atrás,

apóiam a hipótese de que a associação mutualística de plantas e fungos arbusculares (Zygomycota) conquistou o ambiente terrestre em conjunto, ou seja, as plantas não teriam tido sucesso em colonizar a superfície terrestre se não estivessem associadas aos fungos micorrízicos, que possuíam capacidade de ir buscar água e nutrientes do solo além do alcance das raízes. Nós vamos ver esta associação com mais detalhes mais adiante nesta unidade.

Evidências moleculares recentes sugerem fortemente que os fungos estão filogeneticamente mais próximos aos animais do que às plantas!

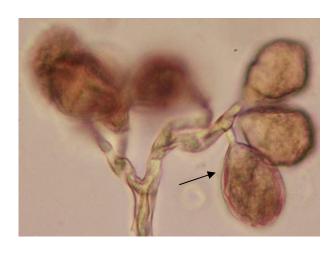
Figura 4 - Myxomycetes. a: fase amebóide de *Comatricha nigra* (2 a 3 mm de diâmetro). b: *Stemonitis* cf. crescendo em tronco de árvore em Entre Rios, Bahia (1 a 2 cm de altura)



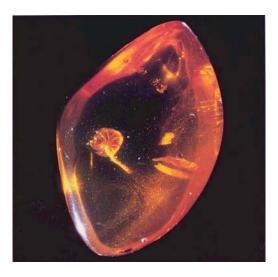
Fonte: (Foto 4a © Malcom Storey, 1970. Foto 4b © M.A. Neves, 2008).

Figura 5 - Oomycete. Esporangióforo com esporângios ovais (seta; aprox. 20 μm de diâmetro); dentro dos esporângios estão os oósporos

Figura 6 - *Protomycena electra* (Basidiomycota). Cogumelo fóssil em âmbar (4 cm). República Dominicana, idade estimada: 15 a 30 milhões de anos. É um dos 4 únicos fósseis de cogumelos conhecidos.



Fonte: (© Malcom Storey, 1999).



Fonte: (© David Grimaldi).

2.2. Organização celular

Os fungos, como nós já sabemos, são eucariontes, possuem núcleo verdadeiro com membrana envolvendo o material genético. O corpo dos fungos é normalmente composto de células alongadas em forma de tubos cilíndricos que são chamadas de <u>hifas</u>, e o conjunto de hifas é chamado de <u>micélio</u> (Figura 7). Alguns fungos podem ser unicelulares, e são então, denominados <u>leveduras</u>. Não existe, em nenhum dos casos, a formação de tecidos verdadeiros, e a condução de água e nutrientes ocorre diretamente de célula a célula (são organismos não-vasculares).

Os fungos possuem, em sua membrana celular, um esterol equivalente ao colesterol que está presente na membrana das células animais. Nos fungos, porém, este esterol é o <u>ergosterol</u> e ele é encontrado exclusivamente nos fungos. Isto tem implicações práticas importantes para o homem, pois permitiu, por exemplo, que fossem desenvolvidas drogas que atacam exclusivamente o ergosterol para combater fungos parasitas de animais, sem que haja nenhum efeito sobre a membrana animal. Assim, a droga desintegra o ergosterol, rompendo a membrana plasmática do fungo, mas isso não atinge o colesterol.

A maioria dos fungos tem núcleos muito pequenos, o que torna difícil os estudos de cariogamia. É interessante ressaltar que durante a mitose fúngica, o envelope nuclear não é dissolvido, diferente do que ocorre nas células de plantas e animais.

Os fungos são tipicamente imóveis e a presença de uma fase móvel é uma condição rara, ocorrendo em apenas um dos filos (Chytridiomycota), que possui células reprodutivas flageladas.

As células fúngicas (hifas) possuem parede celular cuja estrutura é similar à das paredes celulares dos vegetais, porém diferem na composição química: as paredes celulares fúngicas são compostas principalmente de <u>quitina</u> (as das plantas têm principalmente celulose), que é sintetizada pelos fungos.

2.3. Crescimento apical

O crescimento das hifas ocorre continuamente na extremidade das células, onde enzimas digestivas são liberadas e nova parede celular é sintetizada. O citoplasma se move continuamente de partes mais antigas da hifa em direção ao ápice, onde está ocorrendo o crescimento. Este modo de crescimento é único dos fungos e é conhecido como crescimento apical. O crescimento apical proporciona aos fungos características importantes quanto à exploração de substratos com maior quantidade de matéria orgânica, e fornece aos fungos o poder de penetrar nos substratos a serem explorados. Isto ocorre porque as enzimas liberadas na região apical são capazes, dependendo da espécie fúngica, de decompor o substrato. Esta questão será mais explorada quando falarmos sobre o modo de nutrição e sobre como os fungos se alimentam (ver exoenzimas).

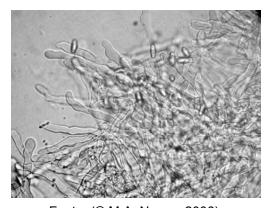
O mecanismo de crescimento apical ocorre através de vesículas que estão localizadas na extremidade das hifas. Há muito poucas organelas nesta região apical, mas há uma estrutura chamada de *Spitzenkörper* (corpo apical), que consiste de um conjunto de pequenas vesículas envoltas em microfilamentos de actina. Este corpo apical está presente na extremidade das hifas quando elas estão em crescimento e some quando elas param de crescer. Embora os detalhes de como o crescimento ocorre ainda não tenham sido completamente elucidados, a Figura 8 mostra um modelo simplificado, que será explicado a seguir.

Acredita-se que as vesículas que compõem o *Spitzenkörper* são produzidas no Complexo golgiense e então transportadas para o ápice da hifa através de elementos do citoesqueleto – talvez microtúbulos, filamentos de actina e miosina. Na extremidade da hifa, as vesículas se fundem com a membrana celular e liberam o seu conteúdo, que certamente varia nos diferentes tipos de vesículas que fazem parte do *Spitzenkörper*. Alguns dos conteúdos que fazem parte deste processo são:

- enzimas envolvidas na lise (quebra) da parede celular,
- enzimas envolvidas na síntese da parede celular,
- enzimas ativadoras,
- alguns polímeros de parede celular pré-formados.

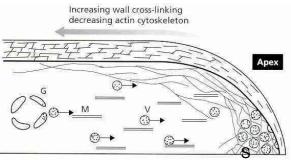
A parede celular na parte extrema da hifa é mais fina e estruturalmente fraca, o que permite que novos compostos sejam adicionados e enzimas sejam liberadas. A integridade estrutural da parede nesta região depende muito do aglomerado de microfilamentos de actina presente no *Spitzenkörper*. À medida que a hifa se alonga, a parede é fortalecida na região posterior com a adição de outros polímeros de parede.

Figura 7. Micélio formado por emaranhado de hifas visto sob microscópio óptico no aumento de 100X



Fonte: (© M.A. Neves, 2006).

Figura 8. Esquema ilustrando uma micrografia do crescimento apical de uma hifa fúngica (ampliado 10.000X em microscópio eletrônico de transmissão). G: complexo golgiense; V: vesículas; M: microtúbulos; S: *Spitzenkörper*



Fonte: (adaptado de Deacon, 1997).

2.4. Modo de nutrição

Os fungos são organismos heterotróficos e precisam de matéria orgânica de outros organismos para se alimentar (não possuem clorofila e não são capazes de produzir seu próprio alimento). A ausência de clorofila afeta o estilo de vida dos fungos: eles não são dependentes de luz, portanto podem ocupar lugares escuros, podem crescer em qualquer direção, podem invadir o interior dos substratos através do crescimento apical e da produção de enzimas. No entanto, a luz pode ser usada por alguns fungos em algumas situações para otimizar a dispersão, como no caso do gênero *Pilobolus* (Filo Zygomycota).

Alguns micólogos costumam explicar o modo de nutrição dos fungos dizendo que eles possuem o 'estômago virado do avesso'. Isto na verdade significa que os fungos primeiro digerem o alimento para depois ingerí-lo (ao contrário do que fazem os animais). Isto ocorre através da produção de exoenzimas digestivas que são liberadas no substrato e quebram a matéria orgânica em compostos pequenos que são, então, absorvidos através da parede e membrana celulares. Absorção é o modo como os fungos obtêm nutrientes do ambiente.

Como o processo de difusão de enzimas extracelulares e de compostos através da parede e membrana celular depende de água, normalmente os fungos estão restritos à ambientes relativamente úmidos.

A substância de reserva dos fungos, assim como dos animais, é o glicogênio. O composto mais simples que a maioria dos fungos usa como fonte de energia é o monossacarídeo glucose, que pode ser diretamente absorvido pelas hifas. Antes de começar a sintetizar as enzimas apropriadas para decompor um determinado substrato, o fungo deve reconhecer a natureza do substrato. Este processo de reconhecimento do substrato é chamado de indução, pois é isso que vai dizer quais enzimas devem ser sintetizadas pelo fungo. Estas enzimas induzidas pelo substrato são, então, chamadas de adaptativas.

A seguir nós vamos ver alguns modos de nutrição dos fungos e exemplos dentro de cada um destes modos: saprófitos, parasitas, mutualistas, comensais.

Saprófitos

Fungos saprófitos (ou sapróbios) degradam e absorvem compostos de matéria orgânica morta (Figura 9) e têm um importante papel na reciclagem de nutrientes e matéria orgânica na natureza, sendo imprescindíveis no ciclo do Carbono. A reciclagem de nitrogênio e outros nutrientes minerais também é um papel dos fungos saprófitos. Junto com as bactérias, os fungos são responsáveis por decompor a matéria orgânica de organismos mortos no ambiente, sem os quais o planeta estaria coberto de árvores e animais mortos que nunca seriam decompostos!

A decomposição é feita através da liberação, no substrato, de enzimas e metabólitos secundários que podem ser benéficos ou maléficos. Vários destes compostos têm sido investigados pelas suas propriedades e já são utilizados pelo homem (ver importância ecológica e econômica).

Parasitas

Fungos parasitas utilizam a matéria orgânica de organismos vivos como substrato e podem ser muito cruéis do ponto de vista humano. Embora, se pensarmos na perspectiva do fungo, esta é outra forma de sobreviver e encontrar um nicho próprio. Obviamente, de alguma forma estes fungos são prejudiciais ao hospedeiro onde crescem e também são chamados de patógenos. Os

hospedeiros vão desde organismos unicelulares até os mais complexos, incluindo plantas, animais e outros fungos (Figura 10).

Figura 9 – Basidiomycota: **a.** *Ganoderma* sp. (8 cm diâmetro) e **b.** *Gymnopilus* sp. (5 a 9 cm de diâmetro) crescendo em tronco, Bahia. **c.** *Mycena* sp. (4 cm de altura) crescendo em folhas, Costa Rica. Ascomycota: **d.** *Cookeina tricholoma* (1 cm de diâmetro) crescendo em tronco, Bahia



Fonte: (© M.A. Neves).

Figura 10 – **a.** *Asterophora parasitica* (30 a 50 mm de altura) crescendo sobre outro cogumelo do gênero *Russula* (ambos do filo Basidiomycota), Costa Rica; **b.** *Cordyceps* sp. (Ascomycota) (10 cm de altura) crescendo em um besouro, Tailândia



Fonte: (© M.A. Neves).

Mutualistas

Fungos mutualistas ou simbiontes formam associações que são benéficas para ambos os parceiros envolvidos. Dentre estas associações, destacam-se os líquens (fungo + clorófita ou cianobactéria) e as micorrizas (fungo + raiz de plantas). Em ambos os casos, existe uma dependência, e um organismo não sobrevive sem o outro, ou sobrevive de forma a ser menos competitivo no ambiente natural.

O parceiro dominante nos **liquens** é um fungo, que geralmente é um ascomicete, mas em alguns casos membros de basidiomicetes já foram observados. Como os fungos são incapazes de produzir seu próprio alimento, a parceria com uma alga ou com uma cianobactéria (às vezes com ambos ao mesmo tempo) resolve este problema. O liquenólogo americano Trevor Goward define liquens como sendo 'fungos que descobriram a agricultura'. Em troca da produção de compostos orgânicos (por parte das algas) ou da absorção de nitrogênio (por parte das cianobactérias) o fungo fornece aos seus parceiros um ambiente menos suscetível ao ressecamento e a capacidade de reter água por maiores períodos de tempo. A morfologia do talo do líquen é particular e é a associação entre os parceiros, que define a aparência que o líquen terá (Figura 11). Quando os parceiros são cultivados e observados separadamente, a morfologia é distinta.

A reprodução pode ocorrer por fragmentação do talo (como é chamado o corpo dos liquens), pela produção de sorédios ou isídios (pequenas bolas de alga ou cianobactéria envoltas em uma capa de hifas fúngicas), ou através da produção de esporos sexuais quando há a formação de apotécios, estruturas produtoras de esporos fúngicos (Figura 11).

Figura 11 – Liquens: **a.** *Cladonia* sp. (20 a 30 mm de altura), Bahia; **b.** *Graphis* sp. (4 cm de diâmetro), Bahia; **c.** *Ramalina* sp. (6 a 7 cm de altura), Bahia; **d.** Líquen não identificado (13 cm de diâmetro), Costa



Fonte: (© M.A. Neves).

O termo **micorriza** define a associação entre fungo (myko) e raízes de plantas (-rhiza). Neste caso, tanto o fungo como a planta hospedeira são reconhecidos na natureza e a alteração morfológica está restrita à interface fungo/raiz, ou seja, sob o solo, onde os dois organismos

entram em contato um com o outro. É nesta interface, chamada micorriza e considerada um órgão formado pelos dois organismos, que ocorrem transferências de nutrientes de um organismo ao outro.

Existem vários tipos de micorrizas, mas de modo geral, a dinâmica da relação é a mesma para todas: o fungo fornece à planta hospedeira água e nutrientes do solo, enquanto a planta transfere metabólitos necessários à nutrição do fungo. Nós sabemos que o fungo não consegue produzir seu próprio alimento e necessita de nutrientes que a planta pode fornecer. Por outro lado, o micélio do fungo (conjunto de hifas) que cresce no solo, se estende a distâncias muito maiores e é capaz de buscar água e nutrientes em partes do solo que a raiz da planta não alcança.

Os principais tipos de micorrizas são:

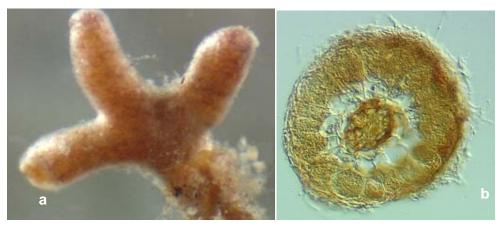
- Micorriza arbuscular (endomicorriza). Neste tipo, as hifas do fungo penetram a parede celular das células do córtex da raiz e entram em contato íntimo com a membrana celular. Não há penetração das hifas no citoplasma, mas a hifa forma um arbúsculo ramificado que amplia a região de contato e, portanto, de troca de nutrientes.
- 2. Ectomicorriza. As ectomicorrizas modificam a extremidade das raízes jovens que colonizam, formando ramificações curtas e grossas que são compostas pelas hifas envolvendo a raiz externamente formando uma estrutura chamada manto. Internamente as hifas ocupam os espaços entre as células da região cortical, mas sem nunca romper ou penetrar a parede celular (Figura 12).
- 3. Micorrizas de orquídeas. As hifas do fungo colonizam raízes ou caules de orquídea, penetrando nas células e formando um aglomerado parecido a um novelo. Como várias orquídeas são plantas epífitas (que vivem sobre outras plantas), a obtenção de nutrientes a partir de uma associação fúngica é importante, pois as condições de umidade e disponibilidade de nutrientes são menos estáveis onde elas estão crescendo do que são no solo.

Comensais

Alguns grupos de fungos usam outros organismos para a sua própria vantagem, sem, porém, causar nenhum dano a nenhum dos organismos envolvidos. Um exemplo clássico é um grupo de fungos chamado de Laboulbeniomycetes (Filo Ascomycota). Estes diminutos fungos crescem em partes do corpo de artrópodes e se aderem ao animal onde vivem, através de um sistema hifal chamado de haustório. O artrópode não sofre nenhum prejuízo, mas o fungo 'pega uma carona' e consegue se deslocar e, assim, ampliar a área de dispersão dos seus esporos (Figura 13).

Figura 12 - Ectomicorriza. **a.** Extremidade apical de uma raiz (ampliada 5X) de *Comarostaphylis* (planta, Ericaceae) colonizada por *Leccinum* (fungo, Basidiomycota); **b.** Corte transversal da raiz ampliada 40X sob microscópio óptico, mostrando as hifas ao redor das células do cortex

Biologia e Sistemática de Fungos, Algas e Briófitas



Fonte: (© T.W. Osmundson).

Figura 13 - Laboulbenyomycetes aderidos à pata de um artrópodo, ampliado 5X



Fonte: (© Malcom Storey).

Figura 14 - Micélio (cordões de hifas) crescendo em serrapilheira no solo da floresta, Recife, PE



Fonte: (© M.A. Neves, 2008).

3. Ocorrência e distribuição

Os membros do Reino Fungi são encontrados praticamente em todos os lugares. A condição e quantidade de umidade necessária varia de acordo com cada espécie e alguns são adaptados para sobreviver mesmo em desertos.

Eles são geneticamente plásticos, uma condição gerada devido à forma como eles se reproduzem e às inúmeras combinações genéticas que podem ocorrer dentro de um mesmo organismo. Essa plasticidade os torna um dos grupos melhores adaptados, com condições de degradar e se alimentar de quase todos os produtos que sejam fontes de carbono. Além disso, a quantidade grande de esporos que a maioria das espécies produz é suficiente para encher de esporos o ambiente onde o fungo se encontra. Estes esporos podem permanecer dormentes por longos períodos de tempo e podem ser transportados por longas distâncias.

4. Importância ecológica e econômica

Como já foi visto quando estudamos os fungos saprófitos, o processo de decomposição é um dos papéis mais importantes que os fungos têm na natureza. As enzimas fúngicas agem sobre a matéria orgânica decompondo-a em compostos minerais que serão retornados ao ambiente e, então poderão ser reutilizados, não apenas pelos fungos que os decompõe, mas por todos os organismos fotossintetizantes. Eles são um componente essencial no ciclo do carbono.

O micélio e os esporos de fungos ocupam os substratos onde eles se desenvolvem, e isto tem um papel essencial, embora 'invisível', no solo das florestas. O micélio que cresce no solo e em outros substratos em florestas (como troncos, folhas, gravetos) forma uma rede submersa que interliga as partículas de solo e partes da serrapilheira, evitando a erosão do solo. Na maioria das vezes, nós não vemos estas estruturas, mas algumas espécies formam cordões que podem ser vistos a olho nu (Figura 14).

Existem diversas aplicações dos fungos para o benefício humano e a verdade é que, de forma direta ou indireta, os fungos estão no nosso dia-a-dia, mesmo sem que saibamos disso. Entre os mais populares fungos estão espécies do gênero *Saccharomyces*, usadas na fabricação de cerveja, cachaça, pães, vinho, queijos. O antibiótico penicilina foi originalmente extraído e purificado a partir de um fungo do gênero *Penicillium*. Várias outras espécies têm sido estudadas quanto à produção de compostos com ação antibiótica, entre elas *Pycnoporus sanguineus* (Figura 15), um fungo degradador de madeira muito comum no Brasil em troncos e cercas de madeira em áreas ensolaradas. Uma das drogas que revolucionou a terapia de transplantes de órgãos, a ciclosporina, é produzida e foi sintetizada a partir de um metabólito de um fungo chamado *Tolypocladium inflatum*.

Para provar que os fungos fazem parte do nosso dia-a-dia de forma agradável, vamos ver os refrigerantes. Um dos ingredientes principais de muitos refrigerantes é o ácido cítrico. Porém é muito caro isolar ácido cítrico de frutas cítricas. Por isso, quase todo o ácido cítrico usado em refrigerantes é produzido em larga escala através da fermentação de culturas de *Aspergillus niger*, um fungo!

Apesar de o cultivo de cogumelos comestíveis ainda não ser uma atividade muito praticada no Brasil, esse quadro tem mudado nos últimos anos, especialmente no sudeste, onde há maior influência de comunidades japonesas e européias. Este é outro (delicioso) uso dos cogumelos pelo homem. O cogumelo comestível mais famoso é o *champignon* que é colocado em pizzas. A espécie se chama *Agaricus brunnescens* (Figura 3) e é nativa da Europa, onde há muitas espécies de cogumelos comestíveis conhecidas. Mas o Brasil também tem algumas espécies nativas comestíveis e que podem ser cultivadas. Dentre elas estão espécies do gênero *Pleurotus* (Figura 16), que é encontrado em todo o Brasil crescendo em troncos de árvores caídas em florestas úmidas. É importante ressaltar, porém, que nunca se deve ingerir nenhum cogumelo sem antes consultar um especialista, pois da mesma forma que existem plantas tóxicas, há várias espécies de cogumelos que são tóxicas e podem ser prejudiciais se ingeridas.

Algumas espécies de fungos são utilizadas em rituais por xamãs em determinadas comunidades no México e Peru, por exemplo. Em geral, estes fungos são espécies relacionadas ao gênero *Psilocybe*, que possuem várias toxinas importantes nesses rituais.

Dentre as ações deletérias para o homem podem ser citadas as doenças que os fungos causam no homem, animais e plantas. As micoses de pele e o pé de atleta são alguns exemplos de fungos que atacam o homem. Há diversas espécies de fungos, como as ferrugens e carvões (Figura 17), que podem atacar plantações inteiras de monoculturas. O apodrecimento e contaminação de comida estocada e a destruição de quase todo o tipo de material manufaturado

pelo homem, exceto plástico e alguns pesticidas, são outros problemas que observamos no nosso dia-a-dia (Figura 18). No entanto, é importante ter em mente que este é o modo como eles vivem e se alimentam e o fato de considerarmos estas ações como sendo maléficas ao homem é apenas porque usamos materiais que funcionam como fontes de carbono para os fungos, que têm um enorme poder de decomposição.

Por outro lado, podemos observar como algumas destas ações podem ser usadas também para o benefício humano. Um fungo que ataca insetos, como o *Cordyceps* (Figura 10), pode ser usado como biocontrolador de praga de insetos que atacam as plantações. O mesmo pode ser feito com fungos que são fitopatógenos, onde muitas vezes existe uma especificidade de hospedeiro, e o fungo pode ser usado quando o hospedeiro é uma planta invasora, por exemplo.

Figura 15 - Pycnoporus sanguineus (Basidiomycota), Bahia (5 a 8 cm de diâmetro). Fungo comum em clareiras de florestas no Brasil que possui atividade antibiótica



Fonte: (© M.A. Neves).

Figura 17 - Ferrugem (fungo, Basidiomycota) em folha de uma leguminosa, Paraíba



Fonte: (© M.A. Neves, 2008).

Figura 16 - *Pleurotus* sp. (Basidiomycota), Bahia (9 a 15 cm de diâmetro). Fungo comestível nativo do Brasil, produzido em alguns estados do sul e sudeste do país



Fonte: (© N.P. Smith).

Figura 18 - Mofo verde em tangerina causado por *Penicillium* (fungo anamórfico)



Fonte: (© S.J. Michereff, fonte: www.ufrgs.br).

5. Reprodução e ciclo de vida

Assim como as plantas, os fungos possuem alternância de gerações. A reprodução se dá através de esporos, que são produzidos em grandes quantidades em estruturas ou células especiais. Os esporos podem ser sexuais (meióticos) ou assexuais (mitóticos), dependendo da espécie e das condições do ambiente.

Existem termos específicos que são dados aos diferentes estados dos fungos: o estado sexual é chamado de <u>teleomorfo</u> e o assexual de <u>anamorfo</u>. Para muitas espécies de fungos se conhece apenas um ou outro estado. Quando os dois estados são conhecidos para uma espécie, então se diz que se tem o <u>holomorfo</u> (sexual + assexual). Muitos fungos, mas não todos, podem se reproduzir tanto sexual como assexualmente.

Em linhas gerais, a reprodução sexual vai acontecer quando, dentro da célula, ocorre a união de dois núcleos compatíveis (geneticamente diferentes). A partir daí ocorre a plasmogamia, cariogamia e meiose, que dá origem aos esporos sexuais, os quais recebem nomes distintos dependendo do filo a que a espécie pertence.

A reprodução assexual pode ocorrer por fragmentação das hifas do micélio ou por esporos assexuais produzidos por mitose nas próprias hifas ou a partir de hifas especializadas.

Antes de entrarmos nos detalhes de cada filo e ver como eles se reproduzem, é importante sabermos que quando observamos um fungo crescendo no solo ou na madeira, o que vemos é apenas uma pequena porção do indivíduo. A parte que vemos é a fase sexual, responsável por produzir os esporos meióticos, e a fase vegetativa do organismo é, na maioria das vezes invisível, e fica sob o substrato na forma micelial. Os que não produzem estruturas macroscópicas crescem sob a forma micelial (ou unicelular) no substrato. O micélio cresce e se estende no substrato (solo, madeira, hospedeiro), podendo se reproduzir assexuadamente através de fragmentação do micélio ou através da produção de esporos mitóticos. Quando o substrato começa a se exaurir e há redução na quantidade de alimento, o micélio sofre uma transformação, acumula água e forma a estrutura reprodutiva, que vai produzir esporos sexuais que serão então dispersos no ambiente e vão germinar recomeçando o ciclo na fase vegetativa.

A Figura 19 exemplifica este ciclo e como ele ocorre em um cogumelo. É o micélio (fase vegetativa) que forma agregados de terra, gravetos e folhas nas florestas evitando a erosão do solo, como foi explicado na importância ecológica e econômica.

:: SAIBA MAIS... ::



EXERCÍCIOS

PESQUISE mais sobre os 4 filos de fungos em livros e na internet. Utilizando a informação dada neste livro e o que você encontrar, use o desenho do ciclo de vida do cogumelo apresentado aqui e indique em que estado nuclear as células se encontram em cada parte do ciclo (se haplóide: n, diplóide: 2n, ou dicariótica: n+n). Feito isso, responda à pergunta: qual estado nuclear é encontrado no cogumelo que está na pizza que nós comemos?

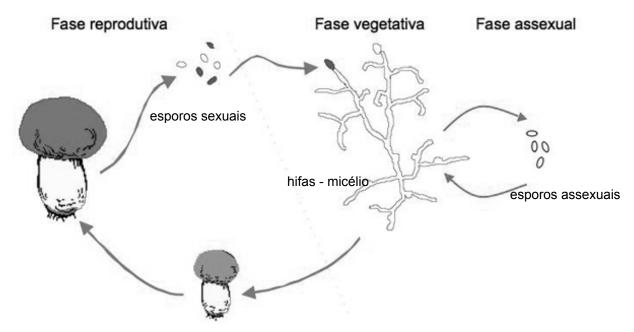


Figura 19. Esquema do ciclo de vida de um cogumelo mostrando as diferentes fases (as hifas e esporos estão ampliados e são estruturas que só podem ser observadas sob o microscópio óptico).

6. Classificação: quatro filos

Como já foi visto na introdução, atualmente a classificação reconhece 4 grupos principais de fungos: Ascomycota, Basidiomycota, Zygomycota e Chytridiomycota. A seguir veremos um pouco de cada um deles.

6.1. Filo Chytridiomycota

Este filo representa o grupo mais antigo de fungos, evolutivamente falando. São fungos tipicamente unicelulares ou com cadeias de células anexadas ao substrato através de rizóides. São microscópicos. Alguns são cenocíticos, sem septos dividindo as células. São predominantemente aquáticos, o que significa que os fungos provavelmente surgiram na água, assim como as plantas e os vertebrados.

Existe neste grupo uma grande variação ecológica, alguns são habitantes de água doce, alguns marinhos, enquanto outros vivem em plantas ou animais em decomposição.

A reprodução sexual ocorre através da fusão de gametas móveis que são morfologicamente similares, mas diferentes fisiologicamente. Desta fusão ocorre a formação de um zigoto, também móvel. Algumas espécies possuem talos femininos (oogônio) e masculinos (anterídio). O anterídio libera gametas móveis que nadam até encontrar um oogônio ao qual se fundem (Figura 20).

A reprodução assexual é através de divisão citoplasmática em um esporângio, produzindo zoósporos uniflagelados móveis.

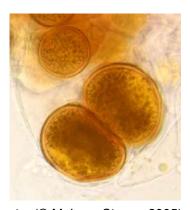
6.2 Filo Zygomycota

Encontrados em ecossistemas aquáticos e terrestres, são difíceis de serem observados porque são fungos microscópicos. Os membros mais conhecidos são espécies do gênero *Rhizopus*, cujo micélio branco acinzentado é frequentemente visto contaminando rapidamente frutas e pães com alto teor de açúcar (bolor preto do pão). Além das espécies saprófitas, existem espécies que habitam o trato digestório de artrópodes, outras que formam associações ectomicorrízicas com plantas, e ainda outras que são patógenas de animais, plantas, amebas e especialmente outros fungos.

As hifas da maioria dos zigomicetes têm paredes finas e são cenocíticas — não possuem septos dividindo as células tubulares. A característica única (sinapomorfia) do filo é o zigósporo, esporo sexual de resistência (Figura 21). Os zigósporos têm parede grossa e são formados após a fusão de hifas especializadas (gametângios) durante o ciclo sexual.

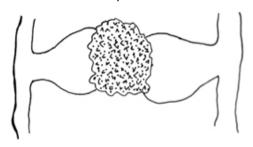
A reprodução assexual ocorre por divisão do citoplasma em um esporângio, produzindo esporos imóveis.

Figura 20 - Chytridiomycota, oogônio fertilizado, ampliado 100X sob microscópio óptico.



Fonte: (© Malcom Storey, 2005).

Figura 21. Filo Zygomycota, Zigósporo, esporo sexual de resistência, ampliado 100X sob microscópio óptico



Fonte: (© M.A. Neves, 2008).

6.3. Sub-reino Dikarya

Os dois filos a seguir são filogeneticamente mais próximos entre si do que os demais filos. Uma das características diagnósticas é que os membros destes grupos possuem hifas dicarióticas, ou seja uma mesma célula possui dois núcleos geneticamente distintos.

6.4 Filo Ascomycota

Neste filo encontram-se aproximadamente 75% de todas as espécies de fungos já descritas e existe uma grande variação na morfologia (Figura 22) e na ecologia deste grupo. A característica que define e identifica os membros deste filo é o asco (Figura 23), estrutura de reprodução sexual que será explicada mais adiante.

A maioria dos fungos que se associam à algas para formar liquens faz parte deste filo, assim como a maioria dos fungos que não possuem fase sexual conhecida, faz parte deste filo. Um dos mais famosos fungos é um ascomicete: *Saccharomyces cerevisae*, a levedura utilizada na indústria de pães e bebidas fermentadas. Entre os ascomicetes infames está *Candida albicans*, causador de assaduras na pele e vaginite.

Saccharomyces é um ascomicete unicelular, os quais são denominados de leveduras. Candida é uma espécie assexual e, assim como vários outros ascomicetes, o ciclo sexual não é conhecido. Estes fungos eram anteriormente classificados separadamente como 'deuteromycota' devido à falta de caracteres morfológicos sexuais para sua identificação. No entanto, estudos genéticos do DNA combinados com as características morfológicas assexuais, permitiram o reconhecimento destes fungos dentro de Ascomycota. Deuteromycota não é mais reconhecido como uma categoria taxonômica válida e os fungos onde a fase sexual não é conhecida são denominados de fungos anamórficos.

Figura 22 – Ascomycota: a. *Xylaria* sp, Bahia (5 a 6 cm de altura); b. *Phillipsia* sp., Bahia (2 a 3 cm de





Fonte: (© M.A. Neves,2006).

Ecologicamente os ascomicetes podem atuar como sapróbios, decompondo desde matéria orgânica vegetal até tintas sintetizadas. Dentre os ascomicetes macroscópicos, um dos gêneros mais cosmopolitas e encontrado em quase todos os ambientes do Brasil crescendo em madeira em decomposição é *Xylaria* (Figura 22). *Phillipsia* também é um gênero degradador de madeira encontrado no nordeste do Brasil (Figura 22). Algumas espécies atuam como parceiras em

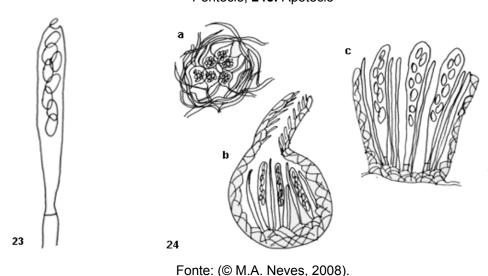
simbioses com algas, formando os liquens (Figura 11), com raízes de plantas, formando micorrizas (Figura 12), ou vivendo dentro de folhas ou galhos de plantas, fungos endófitos (microscópicos). Espécies do gênero *Cordyceps* são famosos parasitas de insetos nas florestas (Figura 10).

A reprodução sexual é caracterizada pela presença do asco (Figura 23), uma estrutura alongada ou arredondada que contém os esporos sexuais produzidos por meiose. Dentro do asco, ocorre a fusão nuclear e em seguida a meiose, que dá origem aos esporos que são chamados de ascósporos. Os ascos são produzidos em estruturas que recebem denominações distintas de acordo com a morfologia que apresentam. Ascoma é o nome dado a essas estruturas, macro ou microscópicas, que produzem os esporos sexuais:

- Cleistotécio os ascos contendo os ascósporos são produzidos dentro de um ascoma esférico sem abertura (Figura 24a). A liberação dos ascósporos ocorre quando o ascoma se decompõe.
- 2. Peritécio os ascos são produzidos em uma estrutura em forma de garrafa, que possui um poro apical (Figura 24b). As paredes do peritécio são cobertas por ascos e os ascósporos, quando maduros, são expelidos através do poro apical.
- 3. Apotécio neste caso os ascos estão expostos em uma superfície aberta como uma xícara ou um prato (Figura 24c), a camada fértil é livre e os ascósporos maduros são expelidos diretamente no ambiente.

A reprodução assexual ocorre através de esporos mitóticos chamados de conídios, que são geneticamente idênticos ao micélio do qual se originou, mas haplóides. Os conídios são formados na extremidade de hifas especializadas, os conidióforos. A produção de esporos sexuais é um acontecimento relativamente comum neste filo.

Figuras 23 e 24. Filo Ascomycota. 23: Asco com ascósporos, ampliados 100X sob microscópio óptico. (© M.A. Neves, 2008). 24: Tipos de ascomas em seção longitudinal, ampliados 40X. 24a: Cleistotécio; 24b: Peritécio; 24c: Apotécio



6.5. Filo Basidiomycota

Este filo contém cerca de 30.000 espécies descritas, o que corresponde a 37% das espécies de Fungos descritas até hoje. Os Basidiomycota mais conhecidos são os que apresentam estruturas macroscópicas, como os cogumelos e orelhas de pau, que são as estruturas reprodutivas responsáveis por produzir e dispersar os esporos sexuais. Embora em menor número, existem neste grupo espécies unicelulares (leveduras) e assexuais (fungos anamórficos). A característica diagnóstica do filo Basidiomycota é a produção de células chamadas basídios, onde são produzidos os esporos sexuais.

Os membros do filo Basidiomycota estão entre os fungos mais facilmente reconhecidos devido ao tamanho e coloração de alguns dos seus membros. Neste filo estão os cogumelos, como a famosa *Amanita muscaria* dos desenhos animados, uma espécie européia, mas cujo gênero tem representantes brasileiros, como uma nova espécie de *Amanita* coletada no Parque das Dunas, em Natal (Figura 25). Vários fungos formadores de ectomicorrizas fazem parte deste filo, como *Tylopilus* (Figura 25), encontrado associado à árvores nativas de regiões de dunas no nordeste do Brasil.

As orelhas de pau (Figura 26) são ecologicamente muito importantes. Os membros deste grupo são responsáveis por decompor a celulose e lignina da madeira e vêm sendo usados em indústrias papeleiras no tratamento de efluentes com alta quantidade de lignina.

As ferrugens e carvões definitivamente formam um dos grupos de fungos mais importantes economicamente falando, pois são parasitas obrigatórios de plantas largamente cultivadas pelo homem como café, cereais, legumes, produzindo redução na taxa de produtividade, podendo matar a planta contaminada.

A reprodução sexual dos Basidiomycota é caracterizada pela presença do basídio (Figura 26), uma célula em formato de clava de onde emergem, na extremidade, os esporos sexuais, denominados basidiósporos. Ao contrário do que ocorre nos ascos, os basidiósporos são formados fora da célula reprodutiva (basídio) e emergem a partir de prolongamentos chamados de esterigmas. Dentro do basídio ocorre a fusão nuclear e em seguida, a meiose. Depois disso os núcleos migram para a extremidade do basídio e então amadurecem para dar origem aos basidiósporos (Figura 26).

Os esporos produzidos sexualmente germinam dando origem a um micélio cujo estado nuclear é haplóide (n), o qual se funde com outro micélio haplóide compatível para formar o micélio secundário. A cariogamia ocorre muito mais tarde no ciclo de vida e o micélio secundário de vida longa é dicariótico, ou dicário (n + n). O dicário produz um micélio septado e pode ou não formar fíbulas (também chamadas de grampos de conexão). Quando as condições permitirem, este micélio vai formar o basidioma, a estrutura que vai produzir os esporos sexuais. Nos basídios, células em forma de clava que dão origem aos esporos sexuais, ocorre por fim a cariogamia que é imediatamente seguida por meiose produzindo os núcleos que darão origem aos esporos. Estes núcleos são transportados até o ápice do basídio e formados em estruturas denominadas de esterigmas.

Os basidiósporos podem ser de dois tipos: balistosporos e estatismosporos. Os balistosporos são lançados forçadamente do basídio, como de uma catapulta. Enquanto os estatismosporos não estão sujeitos a esta força.

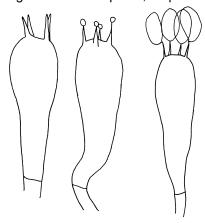
Figura 25 – Basidiomycota: **a.** *Amanita* sp. (8 cm de altura); **b.** *Tylopilus* sp. (9 a 15 cm de diâmetro), Rio Grande do Norte





Fonte: (© M.A. Neves, 2008).

Figura 26. Basídios com esterigmas e basidósporos, ampliados 100X sob microscópio óptico



Fonte: (© M.A. Neves, 2007).

Figura 27. Basidiomycota: **a.** *Trametes* sp. (12 cm de diâmetro), Paraíba; **b.** *Pseudoarmillariella* sp. (7 cm de diâmetro), Costa Rica.



Fonte: (© M.A. Neves, 2008 e 2004).

Esporos assexuais são relativamente raros neste grupo. Algumas espécies produzem esporos assexuais por fragmentação (clamidósporos), especialmente quando cultivadas em laboratório. Fungos fitopatógenos (ferrugens e carvões) podem apresentar as duas fases, e a reprodução assexual produz uma enorme quantidade de esporos mitóticos.

:: HORA DE TRABALHAR!!! ::



EXERCÍCIO

Faça um quadro comparativo entre os 4 filos indicando as diferenças entre eles. Busque mais características nos livros e procure descobrir se elas são exclusivas de um ou outro grupo.

UNIDADE 2 ALGAS

1. Introdução

O termo algas não tem, nos dias atuais, nenhum significado taxonômico definido. Linnaeus no século XVIII foi o primeiro a utilizar este termo para designar uma das ordens de plantas que, juntamente com Fungos, Briófitas e Pteridófitas, foi agrupada numa mesma categoria denominada Criptógamas. Posteriormente, descobriu-se que a maioria dessas algas era na realidade, classificada como sendo uma hepática – grupo de briófitas que será estudado na próxima unidade. Dos gêneros criados por Linnaeus, 4 são algas, dos quais 3 continuam válidos: *Fucus* L - alga parda, *Ulva* L. - alga verde e *Corallina* – alga vermelha. O gênero *Conferva* L. entrou em sinonímia com *Cladophora* Kützing. Em 1838, Unger incluiu fungos, liquens e algas no grupo denominado Thallophyta - plantas sem diferenciação em raiz, caule e folha. Este termo tem sido usado até os dias de hoje graças ao sistema de classificação de Eichler que, em 1886 dividiu as plantas em Thallophyta, Bryophyta, Pteridophyta e Spermatophyta (SMITH 1951).

Com o aumento dos conhecimentos, principalmente bioquímicos, ultraestruturais e fisiológicos, tornou-se evidente que esse grupo chamado algas é extremamente artificial, compreendendo organismos pertencentes a várias linhas evolutivas. Atualmente, as algas são classificadas em diferentes filos ou divisões, reinos e domínios. Incluem desde grupos de organismos exclusivamente unicelulares com poucos micrômetros de diâmetro, a algas gigantes com dezenas de metros de comprimento. O termo algas pode incluir desde seres com células procarióticas (cianobactérias fotossintetizantes) até eucariotos autotróficos obrigatórios, passando pelos mixotróficos até os seres heterotróficos.

A **Ficologia** é a ciência que estuda as algas no seu sentido mais amplo, e os estudiosos em algas são denominados ficólogos.

As algas são classificadas, de acordo com diferentes autores, em nove a doze divisões ou filos, distribuídos em 2 Reinos - Eubacteria e Protista - ou 3 reinos - Eubacteria, Protista e Plantae - e em 2 Domínios — Bacteria e Eucarya (WOESE et al, 1990). Nesta unidade abordaremos os grupos de algas que são, ou exclusivamente multicelulares e macroscópicas como as algas pardas, ou que incluem representantes macroscópicos juntamente com as formas unicelulares e microscópicas como as algas verdes, azuis e vermelhas. As demais algas exclusivamente microscópicas são abordadas no módulo da disciplina de Invertebrados I.

As algas azuis, verdes, vermelhas e pardas são **autotróficas obrigatórias**, isto é, se as condições ambientais não forem adequadas para a realização da fotossíntese, elas não sobrevivem. O produto da fotossíntese é o oxigênio, e não o enxofre como em certas bactérias. Seu corpo vegetativo é denominado de talo e possui uma estrutura simples: mesmo as formas maiores não apresentam o corpo vegetativo organizado em sistemas de tecidos como nas plantas vasculares. Diferenciam-se das briófitas, que também são organismos fotoautotróficos avasculares, pela ausência de células estéreis nos órgãos de reprodução sexuada e assexuada.

1.1. Ocorrência e distribuição das algas

As algas são cosmopolitas e têm uma ampla distribuição em todos os oceanos e continentes. São organismos predominantemente aquáticos, embora possam ser encontradas em ambientes tão diversificados como: areias do deserto, neve (*Chlamydomonas nivalis*), troncos de árvores (*Trentepohlia sp*), pele de animais terrestres (*Cyanoderma*, uma alga azul que só é encontrada nos pelos do bicho-preguiça), paredes e solos úmidos.

Diversas algas são **endófitas**, isto é, crescem dentro de outras plantas: a cianofícea *Anabaena azollae* cresce dentro das folhas de *Azolla* (pteridófita aquática) e espécies de *Anabaena e Nostoc* vivem nos talos de *Anthoceros* (briófita), raízes de Cycadaceae (gimnosperma) e rizomas de *Gunnera* (angiosperma).

As algas aquáticas podem ocorrer em água doce, estuarina, marinha ou hipersalina. Algumas podem tolerar uma grande variação de salinidade e temperatura. As microalgas aquáticas podem viver suspensas na massa d'água formando o **fitoplâncton**. As algas **bentônicas** vivem fixas aos mais diversos substratos tais como rochas, areia, lodo, outras algas ou plantas e sobre pele, carapaça e concha de animais.

As algas macroscópicas (macroalgas) marinhas são sempre bentônicas e vivem no mediolitoral - faixa do litoral que fica exposta durante as marés baixas (Figura 28) e no infralitoral – faixa abaixo da linha das marés mais baixas até profundidades de 250 metros em locais onde a água é extremamente transparente. As únicas exceções são as algas pardas do gênero Sargassum (S. natans e S. fluitans) cujos talos vivem totalmente desprendidos dos substratos formando enormes balsas flutuantes no Mar dos Sargassos, no Atlântico Norte.

1.2. Tamanho, morfologia do talo e tipo de crescimento

A forma e o tamanho das algas variam desde a relativa simplicidade de um pequeno talo unicelular até talos de grande complexidade exibidos pelas feofíceas. Enquanto a cianofícea *Micromonas pusilla* mede apenas 1 a 1,5 μm de diâmetro, algas pardas gigantes como *Macrocystis* podem atingir 60 m de comprimento. No Brasil, as maiores algas são duas espécies de *Laminaria* que crescem nas águas frias ao largo da costa do Rio de Janeiro e do Espírito Santo e que chegam a atingir 4 m de comprimento.

Podemos reconhecer nas algas, entre os vários tipos morfológicos, os seguintes tipos básicos de talos:

<u>Talo unicelular:</u> indivíduo formado por uma célula. Pode ser imóvel – talo cocóide ou espiralado, ou móvel através de flagelos – talo monadal.

<u>Talo colonial</u>: agregado de vários indivíduos imóveis ou flagelados. Quando o número e a disposição de indivíduos da colônia são fixados geneticamente a colônia é conhecida como **cenóbio**. Os cenóbios podem ser móveis ou não e são comuns em clorófitas (Figura 35).

<u>Talo cenocítico</u>: a partir de uma célula inicial e uninucleada o talo cresce através de sucessivas divisões do núcleo e das demais organelas sem haver divisão celular. O talo cenocítico pode atingir tamanhos consideráveis sem formação de septos dividindo-o em células, e seus filamentos podem ter impregnação de carbonato de cálcio. Este tipo de talo é comum nas algas verdes, principalmente nas regiões tropicais. (Figuras 28, 37 e 38)

Talo multicelular: formado por várias células e neste caso os talos podem ser:

<u>Filamentoso unisseriado</u> - repetidas divisões transversais das células originam um talo fino e longo com apenas uma fileira de células. O filamento pode ser simples ou com ramificações laterais (Figuras 34 e 36).

<u>Filamentoso multisseriado</u> – as células do filamento sofrem algumas divisões no plano longitudinal formando várias fileiras de células (Figuras 32 e 33).

<u>Talo parenquimatoso</u> – formado por uma sequência de divisões celulares nos planos transversal e longitudinal promovendo o crescimento do talo em comprimento e largura. O talo parenquimatoso pode ter apenas uma camada de células - uniestratificado. Se, além de divisões transversais e longitudinais, as células sofrerem divisões paralelas à superfície do talo promovendo o aumento em espessura, formam-se talos parenquimatosos desde **bi-estratificados** a **multiestratificados** (Figuras 30, 31 e 38).

O crescimento do talo pode ser:

difuso - qualquer célula ao longo do talo pode se dividir e promover o seu crescimento (Ectocarpales, Ulvales);

intercalar – as células meristemáticas ficam localizadas em lugar intermediário entre o ápice e a base do talo (Laminariales);

apical – o crescimento do talo se faz por divisões de uma ou um grupo de células localizadas no ápice do eixo e de seus ramos laterais (maiora das rodófitas; Dictyotales).

1.3. Reprodução e ciclo de vida das algas

Tanto a reprodução sexuada quanto a assexuada são largamente conhecidas entre as algas. Em algumas, contudo, a reprodução sexuada não ocorre, ou devido a uma perda evolutiva, ou porque, aparentemente, não se desenvolveu.

A reprodução sexuada, a nível celular é entendida como: a união de células – **singamia** ou **plasmogamia**; a união de seus núcleos - **cariogamia**; a associação de seus genes e cromossomos, e a meiose. A reprodução sexuada fornece oportunidade para uma troca e formação de novas combinações do material genético.

A reprodução assexuada envolve o aumento de descendentes sem haver fusão de gametas e pode ocorrer, ou através de propagação vegetativa, ou através da produção de esporos assexuados.

Em algumas algas unicelulares, o aumento do número de indivíduos ocorre principalmente através da simples divisão celular (divisão binária): a cada divisão, duplica-se o número de indivíduos iguais à célula-mãe. Formas coloniais e talos multicelulares filamentosos podem se reproduzir vegetativamente através da fragmentação: cada fragmento tem capacidade de desenvolver novos indivíduos geneticamente iguais aos talos parentais.

Além da reprodução vegetativa, algas de todos os grupos taxonômicos produzem uma variedade de agentes unicelulares chamados esporos. De acordo com a motilidade e a origem, os esporos recebem diferentes denominações: **zoósporos** – esporos móveis por meio de flagelos; **aplanósporos** – esporos imóveis; **meiósporos** – esporos haplóides resultantes de divisões meióticas; **mitósporos** – esporos haplóides ou diplóides resultantes de divisões mitóticas. Os esporos são produzidos em estruturas unicelulares ou pluricelulares denominadas **esporângios**.

A reprodução sexuada é largamente distribuída entre as algas. Em muitas clorofíceas os gametas também são flagelados e se assemelham aos zoósporos. Em geral, os **zoogametas**

(gametas flagelados) são biflagelados e os esporos tetraflagelados. Quando os gametas masculinos e femininos são iguais entre si em forma e tamanho, a fusão sexual é chamada de **isogâmica**. Quando os gametas diferem em tamanho, (o masculino menor do que o feminino) e geralmente ambos móveis, ocorre a **anisogamia**. Em **oogamia**, os gametas masculinos e femininos têm acentuada diferença, além do tamanho e forma, esses gametas podem diferir também na motilidade: o gameta feminino, maior e imóvel é chamado de oosfera, e o gameta masculino menor é chamado de anterozóide (móvel) ou espermácio (imóvel).

Em espécies **bissexuadas** ou **monóicas**, os gametas masculinos e femininos são formados num mesmo indivíduo. Em espécies **unissexuadas** ou **dióicas**, os gametas são produzidos em indivíduos diferentes. Finalmente, em relação à reprodução, devemos considerar a natureza e as variações no ciclo de vida das algas. O **ciclo de vida** de uma alga envolve todos os processos de reprodução sexuada e assexuada, local de ocorrência da meiose e os indivíduos envolvidos em cada geração. As algas possuem três padrões fundamentais diferentes, ilustrados diagramaticamente na Figura 29.

No primeiro tipo, o organismo é haplóide e na maturidade produz gametas através de mitose e que ao se unirem formam zigotos (2n). Na germinação do zigoto, seu núcleo sofre meiose, gerando células haplóides (esporos ou plantas juvenis). O zigoto, neste ciclo de vida, é a única célula diplóide e é onde ocorre a **meiose zigótica**, isto é, a primeira divisão do zigoto é reducional. Este tipo de ciclo é dito **haplôntico** ou **ciclo monogenético haplôntico**, significando que, o único indivíduo é haplóide na sua constituição cromossômica. Este ciclo é bastante comum entre as algas verdes.

No segundo tipo de ciclo, o único organismo de vida livre é diplóide, e a meiose ocorre durante a formação dos gametas - **meiose gamética** - e o ciclo é diplôntico ou **monogenético diplôntico**. Este tipo de ciclo ocorre em algas verdes (*Codium, Caulerpa, Halimeda*) e em algumas algas pardas (*Fucus, Sargassum*).

A Figura 29 C ilustra um terceiro tipo de ciclo de vida que é amplamente conhecido entre as algas verdes e pardas - ciclo haplodiplôntico ou ciclo digenético haplodiplôntico - onde dois tipos de indivíduos de vida livre se alternam: o gametófito haplóide, produtor de gametas, e o esporófito diplóide, produtor de esporos. Os gametas se unem formando o zigoto, que ao germinar forma o esporófito diplóide. Quando o esporófito atinge a maturidade as células dos esporângios sofrem divisão meiótica - meiose espórica - formando os esporos haplóides que, ao germinarem, desenvolvem-se em gametófitos haplóides. As duas gerações podem ser morfologicamente semelhantes - alternância isomórfica de gerações (Ulvales, Dictyotales) ou diferentes - alternância heteromórfica de gerações (Derbesia, Laminariales). Neste último tipo de ciclo de vida uma importante variação ocorre nas algas vermelhas a qual será discutida quando se estudar sobre tal grupo.

1.4. Importância ecológica e econômica das algas

As algas são os principais produtores de matéria orgânica (produtores primários) em ambientes aquáticos, servindo de alimento aos consumidores primários (herbívoros). Além disso, durante as horas iluminadas, as algas liberam o oxigênio. Como exemplos de dependência primária dos animais aquáticos às algas, podemos citar a associação das algas com corais, esponjas, certos protozoários, e vermes marinhos. Não só a própria estrutura celular (parede

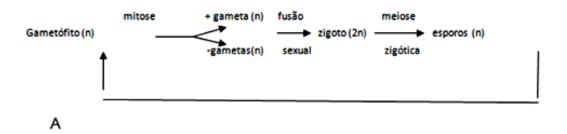
celular e os demais componentes celulares) é de grande importância como fonte primária de alimentos, mas os produtos de sua secreção e excreção são também importantes.

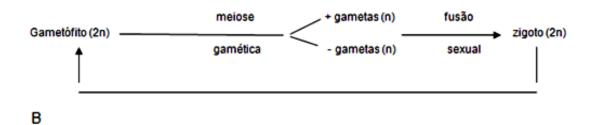
Figura 28. Caulerpa racemosa totalmente exposta na maré baixa. Praia de Carapibus, Conde, PB.

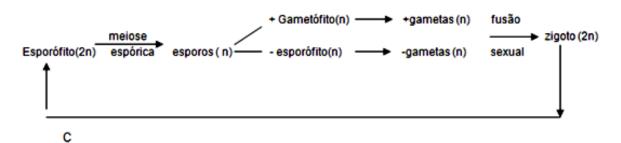


Fonte: Foto: N.D.Araujo.

Figura 29. Representação diagramática dos três ciclos de vida básicos das algas: A – ciclo monogenético haplôntico. B – ciclo monogenético diplôntico. C – ciclo digenético haplodiplôntico.







Já se observou peixes alimentando-se de exsudados viscosos dos corais, cujos componentes orgânicos se originam da fotossíntese das algas que vivem em simbiose com esses organismos.

Algumas algas vivem em **simbiose** dentro de vários protozoários, celenterados, moluscos e vermes. A clorófita *Chlorella* está presente em *Paramecium*, *Hydra*, moluscos e algumas esponjas. Os produtos orgânicos sintetizados pelas algas passam para os hospedeiros, enquanto o animal oferece proteção contra dessecação e ataques de predadores. Muitas vezes, os animais dependem das algas que vivem neles para o seu desenvolvimento. É o caso da *Convoluta* (platelminto) que depende dos aminoácidos liberados por microalgas verdes *Platymonas* ou *Tetraselmis* que vivem no interior do seu corpo.

Há registros de casos muito interessantes de **endossimbiose** entre os cloroplastos de clorófitas com lesmas marinhas do gênero *Elysia* (Opistobranchia, Sacoglossa). Os fragmentos de macroalgas verdes dos gêneros *Penicillus*, *Halimeda* e *Bryopsis* são ingeridos pelas lesmas e os cloroplastos presentes nos talos cenocíticos sobrevivem por meses dentro desses animais mantendo a atividade fotossintética e fornecendo nutrientes orgânicos ao animal.

As cianofíceas fixadoras de nitrogênio desempenham um importante papel ecológico. Muitas cianofíceas aquáticas e terrestres, de vida livre ou que vivem em associação simbiótica com outros organismos são capazes de absorver o nitrogênio gasoso (livre) e formar compostos nitrogenados que podem ser absorvidos pelas plantas, sendo, portanto, de grande importância por aumentar a fertilidade do ambiente. Essa capacidade de fixar nitrogênio por parte das cianobactérias é aproveitada nos cultivos de arroz: as algas são cultivadas em laboratórios e depois inoculadas nessas plantações. Pteridófitas aquáticas do gênero *Azolla* que têm cianofíceas como simbiontes são mantidas nos arrozais para atuarem como adubo orgânico.

Não podemos esquecer que algas verdes e azuis podem viver em associação com fungos formando os liquens como foi discutido na unidade anterior.

Muitas algas têm importância econômica com as mais variadas aplicações. Mais de 70 espécies de algas marinhas, principalmente pardas e vermelhas são utilizadas na alimentação humana, principalmente pelos povos orientais. Uma das algas marinhas mais importantes é a *Porphyra* conhecida no Japão como "nori". Essa alga, muito utilizada na culinária oriental no preparo de "sushi" e "temaki", é largamente cultivada nas partes rasas das baías no Oriente, principalmente Japão, onde há verdadeiras fazendas marinhas. Outras algas utilizadas como alimentos *in natura* são: *Laminaria* ("kombu"), *Undaria* ("wakame"), *Monostroma* ("aonori").

Os hidrocolóides formam um grupo de substâncias comercialmente muito importantes. Esses colóides solúveis em água, quando extraídos das paredes celulares das algas pardas e vermelhas são chamados de **ficocolóides** e representam uma parcela significativa dos hidrocolóides atualmente consumidos no mundo inteiro. Dentre essas substâncias destacam-se, pelo maior uso e pela importância econômica, as **alginas**, as **agaranas** e as **carragenanas**. Esses produtos são empregados como agentes suspensores, clarificantes, emulsificantes ou gelificantes, basicamente para melhorar a consistência, a textura e a aparência dos produtos alimentícios, cosméticos, farmacêuticos, têxteis, entre outros.

As alginas compreendem o **ácido algínico** e seus sais, os alginatos e são extraídas de algas pardas, em especial dos gêneros pertencentes às ordens Laminariales (*Laminaria, Macrocystis, Nereocystis*) e Fucales (*Fucus, Ascophyllum, Sargassum*). As alginas são extraídas da lamela média e da parede primária dessas algas e são altamente viscosas e prontamente

formam géis. São hidrofílicas, retendo grande quantidade de água, o que evita o ressecamento dos produtos que as contém.

As agaranas, conhecidas como **ágar** formam o outro hidrocolóide que é extraído da parede celular de várias algas vermelhas e são utilizadas especialmente na preparação de gelatinas. As principais vantagens, em relação a outras substâncias que gelificam, é que podem permanecer em estado sólido a temperaturas próximas a 80°C e são resistentes ao ataque de microrganismos. Tais características permitem seu emprego na preparação de meios de cultura sólidos, o que as torna fundamentais para os estudos de microbiologia e para a cultura de células e de tecidos.

As microalgas estão sendo cada vez mais cultivadas e utilizadas como fonte de proteínas, vitaminas, sais minerais e outros produtos. Dentre essas, destacam-se a cianobactéria *Spirulina* e as clorófitas *Dunaliella* e *Chlorella*. A *Spirullina* é utilizada como fonte de proteínas de ótima qualidade, com todos os aminoácidos essenciais; ácido gamalinolênico, um ácido graxo usado para tratar e prevenir a osteoporose; ficocianina, corante natural utilizado em indústrias alimentícias e vitamina B12. A *Chlorella* é outra microalga rica em proteínas, sais minerais e vitaminas B, C, A e E; é utilizada também no tratamento de úlceras e como antioxidante para combater radicais livres. A *Dunaliella* é rica em β-caroteno, precursor da vitamina A.

Finalmente, deve ser lembrado que em áreas litorâneas as macroalgas têm sido utilizadas na agricultura tanto como fertilizantes quanto para melhorar a textura de solos rochosos, e algas calcárias são utilizadas na correção de solos ácidos.

Nos parágrafos acima foram discutidas algumas das atividades benéficas ou uso das algas. Há, porém, aspectos negativos que devem ser considerados. O primeiro deles é o fato de que certas algas ou os seus produtos são tóxicos para os animais. Exemplo disso é o envenenamento de animais em cultivo pela cianofícea *Microcystis*. A cianofícea *Lyngbya* é tida como causadora de um tipo de dermatite de contato. As microalgas transportadas pelo ar podem atuar como agentes causadores de alergias respiratórias.

Outra atividade adversa das algas é quando crescem em grandes proporções causando o **florescimento** (crescimento exagerado) das algas. Esse florescimento, além do efeito estético negativo dá sabor desagradável à água de abastecimento, ou podem liberar substâncias deletérias a animais aquáticos. Além disso, quando os corpos de água tornam-se cobertos por uma espessa massa de algas filamentosas, essa massa forma uma barreira entre a água e a atmosfera, de modo que, especialmente à noite, desenvolve-se uma condição anaeróbica provocando a morte de animais por anoxia (falta de oxigênio).

:: SAIBA MAIS... ::



EXERCÍCIOS

Faça uma pesquisa, utilizando a internet e livros, sobre os diferentes usos de algas e dos ficocolóides extraídos da parede celular das algas (agar, carragenana e alginato) e escreva um texto.

2. Cyanobacteria (Cyanochloronta ou Cyanophyta)

Conhecidas como algas azuis ou cianobactérias, são organismos procariotos e, juntamente com as bactérias, pertencem ao Reino Monera, Domínio Bacteria. O Filo Cyanophyta contém aproximadamente 2000 espécies distribuídas em 150 gêneros.

Foram os primeiros organismos fotoautotróficos a liberar O_2 na atmosfera terrestre permitindo o surgimento de organismos aeróbios. Tal grupo também foi importante para a formação da camada de ozônio que protege a superfície da terra dos raios ultravioleta, o que possibilitou que os organismos ocupassem a superfície do globo mais exposta à luminosidade.

A maioria é aquática de água doce, podendo viver em ambientes extremos como fontes termais (*Mastocladus laminopus* e *Phormidium laminosum*) ou formar extensos colchões em geleiras ou em lagos antárticos. Podem ser marinhas, são resistentes a altas salinidades. Muitas são terrestres e vivem no solo, troncos de árvores, folhas, etc. Como vimos no item anterior, algumas algas azuis são simbiontes, vivendo em associação com diferentes grupos de plantas ou em associações com fungos.

2.1. Morfologia do talo e características citológicas

Quanto à estrutura celular, são procariontes, isto é, sem membranas envolvendo as organelas. O material nuclear concentra-se na região central das células e forma o centroplasma e os tilacóides com seus pigmentos se dispõem paralelamente entre si na região periférica da célula chamada cromoplasma.

Os pigmentos fotossintetizantes são: clorofila \underline{a} , carotenóides (mixoxantofila, zeaxantina e β -caroteno) e ficobiliproteínas (ficocianina, aloficocianina, ficoeritrina). As moléculas de ficobiliproteínas ficam agrupadas na superfície dos tilacóides formando hemidiscos chamados **ficobilissomos**. A ficocianina, juntamente com a clorofila \underline{a} são responsáveis pela coloração verde azulada característica da alga.

O principal produto de reserva, o amido das cianofíceas similar ao glicogênio, é armazenado entre os tilacóides. A parede celular é estruturalmente formada por moléculas de peptideoglicano e o talo é externamente revestido por uma bainha mucilaginosa.

As cianofíceas não apresentam flagelos em nenhum de seus estágios de vida. Muitas cianofíceas são fixadoras de nitrogênio. Essa fixação ocorre em condições anaeróbicas dentro de células especiais - os **heterocistos** - presentes em muitas formas filamentosas. Algas sem os heterocistos podem fixar nitrogênio e, nestes casos, a reação ocorre no período noturno.

2.2. Reprodução

As cianofíceas se propagam principalmente através da simples divisão celular, em espécies unicelulares e por fragmentação em espécies coloniais e filamentosas. Podem se reproduzir através da formação de esporos.

Acinetos são células grandes, com parede espessada, com citoplasma denso devido ao aumento do material de reserva. São células que resistem às condições desfavoráveis ao desenvolvimento do talo e podem sobreviver por meses após a morte do talo e quando as condições locais voltarem a ser favoráveis, saem do seu estágio de dormência, se dividem e originam novos talos.

A reprodução sexuada com formação de gametas e sua fusão são desconhecidas em cianofíceas, porém há evidências de que ocorre troca de material genético através processos de transformação e conjugação.

Os talos das cianofíceas são unicelulares (cocoidais), coloniais (tetraspóricas) ou organizados em filamentos simples ou ramificados. Esses talos ficam mergulhados numa bainha mucilaginosa fina ou abundante, transparente ou pigmentada.

2.3. Classificação e Importância

De acordo com Hoek, Mann e Jahns (1995), a divisão Cyanophyta possui apenas uma classe, Cyanophyceae com cinco ordens: Chroococales, Pleurocapsales, Ocillatoriales, Nostocales e Stigonematales. Como vimos anteriormente, existem cianofíceas que desempenham um papel benéfico para o ambiente e em particular para o homem e outras que têm atividades deletérias como as produtoras de diferentes tipos de toxinas. Essas toxinas são classificadas de acordo com a origem — microcistina e cilidrospermopsina se produzidas por *Microcystis* e *Cylindrospemopsis*, respectivamente ou por suas atividades — hepatotoxinas, neurotoxinas, etc.

:: SAIBA MAIS... ::



Cianobactérias dos gêneros *Microcystis*, *Anabaena*, *Nodullaria*, *Nostoc*, *Oscillatoria* e *Cylindrospermopsis* produzem hepatotoxinas que podem causar a morte em decorrência de hemorragia intra-hepática. Em 1996, na cidade de Caruaru, PE, 65 dos 123 pacientes renais submetidos a sessões de hemodiálise vieram a óbito, vítimas de doenças hepáticas causadas pelas hepatotoxinas liberadas por cianobactérias presentes na água utilizada no tratamento renal. Leia mais sobre este assunto e sobre as cianobactérias em geral em: Cavalli, V.; Cidral, J. R. & Nilson, R. (2005) e http://www.aquahobby.com/articles/b_ciano.php

3. Ochrophyta

A Divisão ou Filo Ochrophyta (Phaeophyta) pertence ao sub-reino Stramenopiles e é constituída por organismos unicelulares e multicelulares com clorofilas <u>a</u> e <u>c</u>, que apresentam células flageladas heterocontes - o flagelo anterior é longo e plumoso e o posterior é curto e liso. Neste grupo estão incluídas classes de microalgas unicelulares como as diatomáceas e as crisofíceas.

Nesta unidade será abordada apenas a classe Phaeophyceae que compreende cerca de 2000 espécies de algas pardas ou amarelo-pardas distribuídas em aproximadamente 265 gêneros.

3.1. Habitat e distribuição

As algas pardas vivem quase que exclusivamente em ambiente marinho. Somente 6 espécies em 5 gêneros vivem em água doce. São todas bentônicas, ocupando desde a faixa do médio litoral até dezenas de metros de profundidade (exceção: talos de *Sargassum* que vivem

flutuando no Mar dos Sargassos no Atlântico Norte, e que se reproduzem apenas vegetativamente por fragmentação).

Essas algas predominam em águas frias do hemisfério norte onde, embora o número de espécies seja inferior ao das rodófitas, as ultrapassa em biomassa.

3.2. Morfologia do talo e características citológicas

Todos os representantes de feofíceas são multicelulares. Os talos mais simples são filamentosos, unisseriados e ramificados com poucos milímetros a alguns centímetros de comprimento. Algumas feofíceas possuem o talo pseudoparenquimatoso formado pela união lateral de filamentos.

A grande maioria possui talo verdadeiramente parenquimatoso com grandes variações na forma e tamanho. Os talos de *Dictyopteris* podem ser pequenos e delicados em forma de fita achatada com apenas alguns centímetros de comprimento e com duas a três camadas de células. No outro extremo, temos as Laminariales com até 60 m de comprimento, cerca de 5 cm de espessura, muitos com o talo diferenciado em apressório – que tem a função de fixar o talo ao substrato, estipe – que lembra o caule e uma parte laminar inteira (*Laminaria*) ou dividida em várias porções semelhantes a folhas grandes (*Macrocystis*).

Nas formas mais desenvolvidas, o talo é organizado em camadas superficiais com células menores e com cloroplastos, e camadas internas com células grandes e incolores assemelhandose à epiderme, córtex e medula das plantas vasculares. Na região medular existem células finas e alongadas, com forma e função análogas aos elementos do tubo crivado onde o fluxo de carboidratos é mais rápido do que entre as demais células isodiamétricas, podendo chegar a velocidade de 65(78) cm/h.

O crescimento do talo pode ser: difuso nas formas filamentosas (Ectocarpales); apical ou através de uma única célula apical (*Dictyota*) ou por uma margem de células apicais (*Padina, Lobophora*) (Fig. 30) e intercalar com células meristemáticas localizadas entre o estipe e a região laminar (Laminariales). Este último tipo de crescimento favorece a exploração racional das algas economicamente importantes. Basta cortar alguns metros do talo acima do meristema e esperar pela sua regeneração antes da próxima colheita.

As células são, em geral, uninucleadas e possuem a parede formada por camada interna celulósica e camada externa mucilaginosa e com ácido algínico em concentração que pode chegar a 24% da matéria seca. Em *Padina*, as paredes são levemente calcificadas o que pode deixar o talo esbranquiçado (Figura 30).

Os cloroplastos são discóides, reticulados, estrelados ou laminares e estão presentes em número de um ou mais por célula. O cloroplasto é delimitado por uma membrana dupla do próprio cloroplasto e por mais duas outras membranas, sendo a mais externa contínua com a carioteca.

Os pigmentos fotossintetizantes são: clorofilas \underline{a} e \underline{c} , fucoxantina, violaxantina, diatoxantina e β -caroteno.

A principal substância de reserva é a laminarina (polímero de glucose), seguida de manitol (álcool de açúcar) e gorduras, mas nunca o amido.

Nas feofíceas somente gametas e esporos podem ser móveis e neste caso são heterocontes com 1 ou 2 flagelos com inserção lateral.

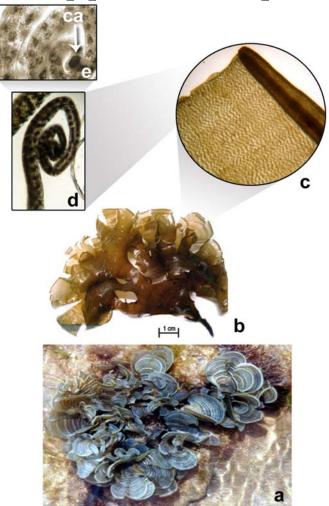
3.3. Reprodução e ciclo de vida

Em algumas algas pardas pode haver reprodução vegetativa através da formação de pequenas estruturas melticelulares especialmente formadas nos talos. Essas gemas são chamadas **propágulos** e, ao se destacarem, dão origem a novos indivíduos geneticamente idênticos ao talo que as originou (*Sphacelaria*). Talos de *Sargassum* do Mar dos Sargassos se reproduzem através da fragmentação.

A reprodução assexuada ocorre através de zoósporos haplóides biflagelados formados em meiosporângios unicelulares.

A reprodução sexuada pode ser: **isogâmica** ou **anisogâmica** com gametas masculinos e femininos biflagelados formados em gametângios pluricelulares (*Ectocarpus*), ou **oogâmica** com gameta masculino uniflagelado ou biflagelado produzido em anterídio unicelular (*Laminaria*, *Desmarestia*) ou pluricelular (*Dictyota*, *Padina*) e a oosfera imóvel produzida em oogônio unicelular (1 - 8/oogônio). A fecundação é sempre externa.

Figura 30. Padina sp: Talo parenquimatoso multiestratificado. <u>a</u> - aspecto geral do talo foliáceo em forma de leque sob a água; talo esbranquiçado pela presença de carbonato de cálcio. <u>b</u> – detalhe do talo fora da água com lobos recortados e linhas concêntricas e margem enrolada mais escura. <u>c</u> a <u>e</u> – detalhes da margem enrolada do talo. <u>d</u> e <u>e</u> – em corte transversal, em <u>e</u> note a célula apical (ca).



Fonte:Fotos: <u>a</u> - G.Miranda; Foto <u>b</u> – M.Kanagawa; Foto <u>c</u>, <u>d</u> e <u>e</u> – J.Darc. Fotos <u>a</u> a <u>e</u>: algas marinhas da Paraíba.

O ciclo de vida mais comum nas feofíceas é o **digenético haplodiplôntico**, com meiose espórica (Figura 28). Em algas com este ciclo, a alternância de gerações pode ser isomórfica (Ectocarpales, Dictyotales) ou heteromórfica (Laminariales, Chordariaceae).

Nas Laminariales o esporófito é um talo parenquimatoso, perene (a parte basal pode viver 17 anos) e muito desenvolvido com dezenas de metros, enquanto o gametófito é um filamento unisseriado, microscópico, com poucas células e efêmero. Após a formação e liberação dos gametas, esses talos morrem.

As Fucales apresentam o ciclo digenético diplôntico com meiose gamética. Nos talos férteis de *Sargassum* (Fucales) são formadas estruturas reprodutoras cilíndricas com ápices afilados chamadas **receptáculos**. Nos receptáculos são formados vários conceptáculos que são criptas contendo gametângios e quando esses estão maduros, os conceptáculos fazem projeções na superfície dos receptáculos tornando-os verrucosos com poros para a liberação dos gametas (Figura 31). Os gametângios masculinos e femininos podem ser formados no mesmo conceptáculo ou não. O oogônio forma e libera cerca de 8 oosferas e o anterídio forma e libera inúmeros anterozóides biflagelados.

:: HORA DE TRABALHAR!!! ::



EXERCÍCIOS

Faça uma pesquisa na internet e nos livros, sobre o ciclo de vida de Fucus e descreva-o indicando: onde ocorre e como é a reprodução sexuada; onde e quando ocorre a divisão meiótica e qual o tipo de ciclo nesta alga.

3.4. Classificação

O grupo Ochrophyta juntamente com muitos outros grupos de organismos fotoautotróficos e heterotróficos não possuem uma posição definida quanto a sua classificação em nível de reino. As ocrófitas e algumas classes de organismos incluindo os fungos aquáticos, estão colocados no sub-reino Stramenopile ou Heterokonta. Organismos desse sub-reino possuem em comum células flageladas do tipo heteroconte.

Atualmente, a classe Phaeophyceae possui de 13 (REVIERS, 2006) a 14 (HOEK, MANN e JAHNS, 1995; GRAHAM e WILCOX, 2000) ordens.

4. Rhodophyta

A divisão ou filo Rhodophyta compreende cerca de 6000 espécies de algas vermelhas distribuídas em 600 gêneros, que podem ser distinguidas de outras algas eucarióticas pelo seguinte conjunto de caracteres: completa ausência de estágios flagelados; presença de **ficobiliproteínas**; ocorrência de tilacóides não agregados; presença de **amido das florídeas**, e a formação de **carpogônio** e **espermácio** para efetivar a oogamia.

As algas vermelhas pertencem ao subreino Rhodobionta e estão classificadas no Reino Plantae juntamente com as algas verdes que pertencem ao subreino Viridiplantae (REVIERS, 2006).

Figura 31. Talo parenquimatoso multiestratificado. <u>a</u> e <u>b</u> – *Sargassum* sp: <u>a</u>, aspecto geral do talo fértil: eixo cilíndrico ramificado (ec), lâminas foliáceas com cerca de 8 mm de largura (lf) e vesículas flutuadoras (vf) e receptáculos (re); <u>b</u>, detalhe dos receptáculos (re) com contornos dos conceptáculos (c) e vesícula flutuadora (vf). *Dictyota* sp: <u>c</u> - aspecto geral do talo em forma de fita achatada (parte mais larga com 1 cm) com ramificação dicotômica. <u>d</u> – detalhe do ápice com duas células apicais iniciando um nova dicotomia. <u>e</u> – detalhe do ápice do talo laminar em fita de *Dictyopteris* sp, com um grupo de células apicais (gca)no início de uma dicotomia e espessamento da região mediana "nervura" (n)



Fonte: (Fotos: \underline{a} , \underline{b} , – J.Darc; Foto \underline{c} - M.Kanagawa; Foto \underline{d} e \underline{e} – R.S.Almeida. Fotos \underline{a} a \underline{e} : algas marinhas da Paraíba.

4.1. Habitat e distribuição

A grande maioria das rodófitas é marinha e bentônica. Algumas algas unicelulares fazem parte do fitoplâncton. Aproximadamente 200 espécies em cerca de 20 gêneros vivem em água doce.

Esse grupo apresenta maior diversidade e abundância nas regiões tropicais e subtropicais. As espécies maiores ocorrem em águas mais frias, enquanto nas zonas tropicais as formas são menores. Em águas transparentes do Mar do Caribe, vive uma rodófita a profundidades de até 250 metros.

4.2. Morfologia do talo e características citológicas

Cerca de 10 gêneros de rodófitas são unicelulares imóveis (tipo cocoidal) e geralmente bentônicos, com alguns representantes fitoplanctônicos.

As demais são multicelulares formando talos filamentosos unisseriados ou multisseriados, simples ou abundantemente ramificados ou ainda talos pseudoparenquimatosos e parenquimatosos (Figuras 32 e 33).

Nas formas filamentosas e pseudoparenquimatosas o crescimento em geral é apical: no ápice de cada filamento axial e nas suas ramificações laterais há uma célula apical que promove o crescimento em comprimento (Fig. 32).

Os talos filamentosos multisseriados geralmente apresentam uma organização bem definida conhecidos por talos **polissifônicos**. Cada filamento é formado por uma fileira de células axiais rodeadas por várias fileiras de células pericentrais, todas com comprimentos iguais formando grupos de células bem destacados uns dos outros (Figuras 32, 33 e 34).

A maioria das rodófitas possui talos filamentosos abundantemente ramificados cujos filamentos dos ramos laterais se mantêm intimamente ligados pelas suas paredes. Este tipo de organização dos filamentos dá ao talo uma aparência parenquimatosa e é conhecido como talo pseudoparenquimatoso e pode originar talos cilíndricos, vesiculosos, laminar foliáceo ou em fita estreita, ramificada ou não (Figuras 32 e 33). As algas calcáreas que possuem as paredes celulares fortemente calcificadas possuem esse tipo de talo.

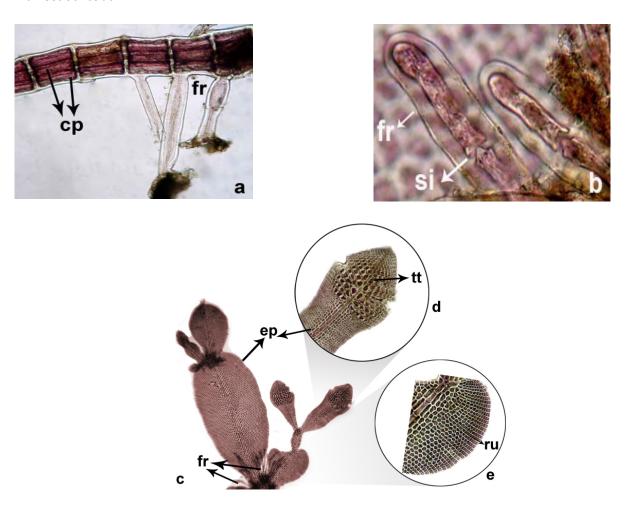
Dentre as rodófitas existem ainda alguns poucos representantes como a *Porphyra* com talos verdadeiramente parenquimatosos.

Em relação às características citológicas as rodófitas são eucarióticas e suas células são uninucleadas ou multinucleadas e se caracterizam pela total ausência de flagelos, mesmo nas células reprodutoras.

A parede celular é celulósica (na fase haplóide de *Bangia e Porphyra* a celulose é substituída por xilose). Em muitas rodófitas a parede celular é formada por um dos dois ficocolóides comercialmente muito importantes: o agar-agar e a carragenana, além da deposição de carbonatos de cálcio em muitos representantes. As algas calcáreas são componentes importantes na formação dos recifes da região nordeste do Brasil.

Durante a divisão celular, na formação da parede celular entre as duas células filhas o septo não se completa deixando um canalículo central através do qual, no início, há conexão citoplasmática ou **sinapse** entre as células. Logo essa comunicação é obstruída pela formação de uma rolha (tampão) de material proteico (Figura 31). Esse tipo de divisão celular incompleta é característico das rodofíceaes.

Figura. 32. a – Polysiphonia sp: detalhe de um talo multisseriado polissifônico com células pericentrais (cp) e filamentos rizoidais (fr). b a e - Caloglossa sp: b – detalhe das células dos filamentos rizoidais, com sinapses (si); c - aspecto geral do talo laminar foliáceo com eixo polissifônico (ep) e 2 ramos férteis (lâmina maior com cerca de 1 mm de largura) e tufos de filamentos rizoidais (fr) na face ventral; d – detalhe do ápice do ramo fértil com tetrasporângios (tt); e – detalhe do talo evidenciando os ramos laterais unisseriados (ru) saindo do eixo polissifônico e que são unidos formando o talo pseudoparenquimatoso uniestratificado.



Fonte: Foto: a - L.A.F.Lucena; Fotos b-e - J.Darc. Fotos a a e: algas estuarinas da Paraíba.

Os cloroplastos podem ser estrelados, discóides ou em fitas estreitas. São delimitados por membrana dupla, com tilacóides simples.

Os pigmentos fotossintetizantes são: clorofila \underline{a} , α - e β -caroteno, e as ficobiliproteínas - \underline{r} -ficocianina, aloficocianina, \underline{b} -, \underline{r} - e \underline{c} -ficoeritrina. As ficobiliproteínas estão localizadas na superfície dos tilacóides formando corpúsculos hemiesféricos ou hemidiscoides chamados **ficobilissomos** como nas cianofíceas.

A principal substância de reserva encontrada nas rodófitas é o amido das florídeas (rodoamilo) - polissacarídeo com estrutura próxima da amilopectina das plantas superiores.

4.3. Reprodução e ciclo de vida

As rodófitas se reproduzem assexuadamente através de carpósporos que são mitósporos (2n) liberados pelo carposporófito e tetrásporos que são meiósporos (n), liberados pelo tetrasporófito.

Na reprodução sexuada cada espermatângio produz apenas um gameta masculino (espermácio). Os espermatângios podem ocorrer isolados ou agregados nos ramos espermatangiais (Figura 34). O espermácio e os esporos são células nuas, sem parede celular.

O gameta feminino é formado em uma célula especializada chamada carpogônio. O carpogônio, que permanece mergulhado no gametófito feminino, é uma célula alongada, com base dilatada contendo um único núcleo gamético feminino e uma extensão gelatinosa - tricogine (tricógino) que emerge do talo, onde se fixa o espermácio. A fusão sexual é oogâmica e interna, com ambos os gametas imóveis.

Após a oogamia o zigoto forma a primeira geração esporofítica - **carposporófito** que, por divisões mitóticas forma os **carpósporos** (2n). O carposporófito geralmente é protegido por uma camada de células haplóides do gametófito feminino que forma o **pericarpo**, com 1 ou 2 poros para a liberação dos carpósporos. O pericarpo mais o carposporófito formam o **cistocarpo** (Figura 34).

O carpósporo ao germinar, origina a segunda geração esporofítica que é o tetrasporófito (2n) que, na maturidade, forma **tetrasporângios**. O núcleo diplóide do tetrasporângio sofre meiose e forma quatro esporos haplóides, os **tetrásporos** (Figura 32 e 34) que originam novos gametófitos completando o ciclo.

Este é o ciclo de vida mais comum das rodófitas - ciclo trigenético com alternância de uma fase haplóide e gametofítica e duas fases diplóides - carposporófito e tetraesporófito.

O carposporófito (2n) é sempre parasita do gametófito feminino e o cistocarpo tem forma globóide ou semiglobóide. (Figura 34).

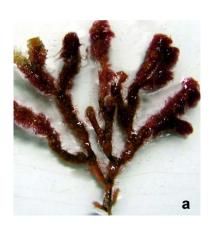
:: HORA DE TRABALHAR!!! ::

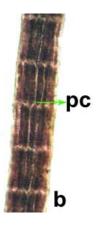


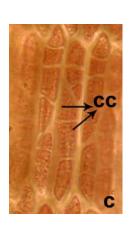
EXERCICIOS

Faça uma pesquisa, na internet e nos livros, sobre o ciclo de vida de Polysiphonia e descreva-o indicando: onde ocorre e como é a reprodução sexuada; onde e quando ocorre a divisão meiótica e qual o tipo de ciclo nesta alga.

Figura 33. Talos pseudoparenquimatosos. <u>a</u> a <u>c</u> – *Digenea* sp, <u>a</u>: aspecto geral do talo com eixo polissifônico corticado e densamente ramificado; <u>b</u>: detalhe de râmulo filiforme polissifônico (note o contorno das pericentrais (pc); <u>c</u>: detalhe das células pericentrais com uma camada de células corticais (cc). <u>d</u> e <u>e</u> – *Acanthophora* sp, <u>d</u>, aspecto geral do talo com eixo polissifônico com densa corticação e detalhe de râmulos espinescentes (re); <u>e</u>: corte transversal do eixo polissifônico com célula axial (ca) rodeado de 5 pericentrais (cf) e densamente coberto por células corticais (cc). <u>f</u> – *Gracilaria* sp, aspecto geral do talo cilíndrico e ramificado; alga conhecida como "macarrão fino" e que foi muito explorada comercialmente para extração de agar. Fotos <u>a</u> a <u>e</u> - N.D.Araújo. Fotos <u>d</u> (detalhe do ramo) e <u>f</u> – MKanagawa. Escala: Fig. <u>a</u>, <u>d</u> e <u>f</u>: algas com 12 a 15 cm; Fig. B: X100; C e E: X400)

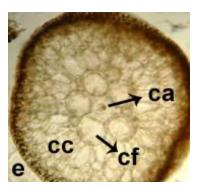






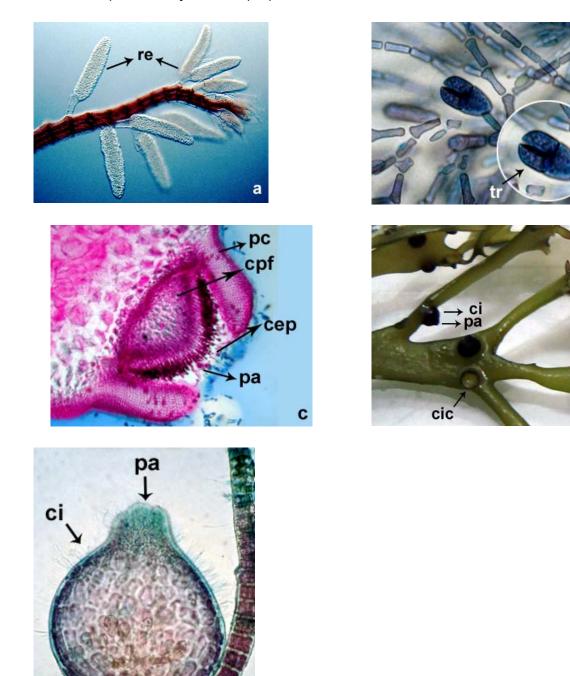






Fonte: Fotos a a f: algas marinhas da Paraíba.

Figura 34. Estruturas reprodutoras. <u>a</u> e <u>e</u> – gametófito masculino (<u>a</u>) e feminino (<u>e</u>) de *Neosiphonia* sp (talo filamentoso polissifônico): em <u>a</u>, ramos espermatangiais (re); em <u>e</u>, cistocarpo (ci) com poro apical (pa). <u>b</u> – tetrasporófito de *Antithamnion* sp (talo filamentoso unisseriado ramificado) com tetrasporângios (tt) com tetrásporos (tr); <u>c</u> e <u>d</u> – cistocarpos de *Gracilaria* sp; <u>c</u> – cistocarpo em corte longitudinal com pericarpo (pc), carposporófito (cpf) e carpósporos (cep) sendo liberados através do poro apical (pa). <u>d</u>, detalhe do ramo com cistocarpos maduros (ci) com poros apicais (pa) e uma cicatriz (cic) deixada pela queda do cistocarpo após a liberação dos carpósporos. Fotos <u>a</u> a <u>c</u> e <u>e</u> - L.A.F.Lucena; Foto <u>d</u>: M.Kanagawa.



Fonte: Fotos <u>a</u> a <u>e</u>: algas marinhas da Paraíba.

4.4. Classificação

A divisão Rhodophyta há muito é reconhecida como tendo dois grupos taxonômicos, ora colocados em nível de classe (Bangiophyceae e Florideophyceae), ora em nível de subclasse (Bangiophycideae e Florideophycideae).

No primeiro grupo, considerado mais primitivo, com quatro a cinco ordens, estão os representantes com talos unicelulares, multicelulares filamentosos e os verdadeiramente parenquimatosos. As células geralmente possuem um cloroplasto estrelado. Muitos não apresentam reprodução sexuada, nem sinapses e nem crescimento apical, característicos das florideofíceas.

O gênero *Porphyra* é, sem dúvida, a bangiofícea mais conhecida e mais importante pela sua utilização na culinária oriental.

As florideofíceas, com cerca de 17 ordens, incluem as rodófitas com talos multicelulares filamentosos e pseudoparenquimatosos com ciclo de vida trigenético. Neste grupo estão as algas produtoras de agar e de carragenana.

As algas da divisão ou filo Rhodophyta com 3 classes (Cyanidiophyceae, Bangiophyceae e Florideophyceae) pertencem ao subreino Rhodobionta e estão classificadas, juntamente com as algas verdes, no Reino Plantae (REVIERS, 2006).

5. Chlorophyta

A divisão ou filo Chlorophyta compreende o maior grupo de algas com maior diversidade de tipos morfológicos, formas de reprodução, habitat. São conhecidos cerca de 550 gêneros com aproximadamente 17000 espécies.

Atualmente, as Chlorophyta, juntamente com Bryophyta, Pteridophyta, Pinophyta (Gimnospermas) e Magnoliophyta (Angiospermas) são consideradas um grupo monofilético e são classificadas no sub-reino Viridiplantae (plantas verdes) ou Chlorobionta (organismos verdes) dentro do Reino Plantae. Esses organismos verdes possuem em comum: cloroplastos envoltos por duas membranas; clorofilas <u>a</u> e <u>b</u>; amido como principal substância de reserva e que é armazenado dentro do cloroplasto (REVIERS, 2006).

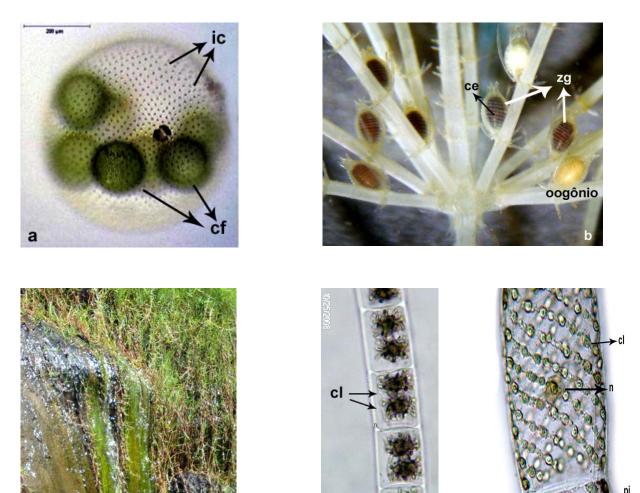
5.1. Habitat e distribuição

As algas verdes são organismos predominantemente dulciaquícolas. As Zygnematophyceae, as Charophyceae e a maioria das Chlorophyceae vivem em água doce. Já as Ulvophyceae incluindo, além de Ulvales, as ordens Cladophorales, Bryopsidales e Dasycladales são quase que exclusivamente marinhas.

Cerca de 90% das clorófitas são microalgas unicelulares ou coloniais, com formas planctônicas e bentônicas.

As algas macroscópicas (macroalgas) de água doce podem viver flutuando na superfície de lagos, cacimbas e açudes ou crescerem fixas ao substrato dos leitos dos riachos e córregos de rios, formando uma massa verde conhecida como limo ou lodo (Figura 35). Uns poucos gêneros são subaéreos ou terrestres (*Trentepohlia*). Algumas clorófitas vivem em associação simbiótica com fungos formando os liquens.

Figura 35. <u>a</u> - *Volvox* sp: colônia cenobial móvel com inúmeros indivíduos unicelulares biflagelados (ic) formando uma esfera oca com colônias-filhas (cf) no seu interior. <u>b</u> - Talo filamentoso com ramificação verticilada de *Chara* sp com zigósporo (zg) protegido por células estéreis (ce) do oogônio. <u>c</u>. Um riacho temporário sobre um leito com desnível, em Araruna, PB; manchas verdes são, entre outras, clorofíceas filamentosas (*Spirogyra* e *Zygnema*) conhecidas como limo ou lodo. <u>d</u> e <u>e</u>. Talos filamentosos unisseriados simples: em <u>d</u> - *Zygnema* com dois cloroplastos (cl) estrelados em cada célula; em <u>e</u> - *Spirogyra* com cloroplastos em forma de fita espiralada (cl) com vários pirenóides (pi) e um núcleo (n). Foto <u>a</u>: www.wikipedia.org; Foto <u>b</u>, <u>d</u> e <u>e</u>: J.Darc; Foto <u>c</u>: G.Miranda.



Fonte: Fotos <u>b</u> a <u>e</u>: algas de água doce da Paraíba.

5.2. Morfologia do talo e características citológicas

As microalgas unicelulares podem ser imóveis - cocoidais ou flageladas - monadais, de vida livre ou formando colônias móveis e imóveis; tetraspóricas e cenobiais. *Volvox* forma um colonial cenobial flagelado: indivíduos biflagelados formam uma colônia esférica e oca (Figura 35).

As macroalgas podem ter talos multicelulares filamentosos unisseriados e multisseriados. *Chaetomorpha* (Figura 36), *Spirogyra* (Figura 35) e *Zygnema* (Figura 35) são exemplos de algas com talos filamentosos unisseriados e simples enquanto *Cladophora* (Figura 36) possui talos unisseriados e ramificados.

Em Siphonocladales os talos são multicelulares e cada uma das células é multinucleada e muitas vezes macroscópica podendo atingir tamanhos consideráveis e formas bastante diferentes (Figura 36).

As Ulvales podem ter talos parenquimatosos uniestratificados e foliáceos como em *Ulvaria* ou tubular como em *Enteromorpha*. Na alface-do-mar (*Ulva*) o talo é foliáceo com duas camadas de células (Figura 38).

Algas das ordens Caulerpales, Bryopsidales e Halimedales formam talos cenocíticos, isto é, o talo cresce sem que haja divisões celulares formando, portanto, um talo "unicelular" que pode atingir vários centímetros de comprimento e, excepcionalmente até alguns metros. Essas algas cenocíticas apresentam uma grande diversidade morfológica como pode ser vista na Figura 37.

A parede celular é celulósica. Em algumas algas a celulose pode ser substituída por mananos, xilanos, hemicelulose. Em algas unicelulares flageladas as células são nuas, tendo a membrana plasmática como limite externo das células. Algumas clorófitas marinhas com talos cenocíticos são fortemente calcificadas pela impregnação de carbonato de cálcio na camada externa da parede celular (Figura 38).

A maioria das clorofíceas possui flagelos apicais, lisos e de comprimentos iguais (isocontes). Esses flagelos estão presentes na maioria dos esporos, gametas e em muitos talos unicelulares livres e coloniais, em número de 2 a 4. Zoósporos de *Derbesia* possuem uma coroa subapical com inúmeros flagelos.

Os cloroplastos variam quanto à (ao): número - de 1 a inúmeros; tamanho - pequenos a grandes, e neste caso, ocupando quase toda a superfície da célula; e forma - taça, lente, fita espiralada, estrela, anel, rede. São delimitados por um envelope duplo de membranas e muitas clorófitas apresentam dentro dos cloroplastos, uma estrutura esférica e proteica denominada **pirenóide** (Figuras 35 e 38).

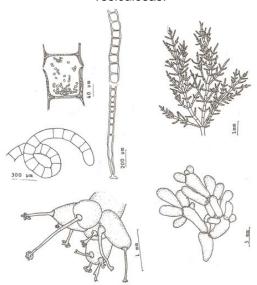
Os pigmentos fotossintetizantes encontrados nas algas verdes são: clorofilas \underline{a} e \underline{b} ; β -caroteno, luteina, zeaxantina, violaxantina, sifonoxantina e sifoneina.

O principal material de reserva é o amido, semelhante ao das plantas superiores, composto de amilose e amilopectina. É formado dentro dos cloroplastos e, geralmente, está associado a pirenóides depositando-se ao seu redor em forma de placas.

5.3 Reprodução e ciclo de vida

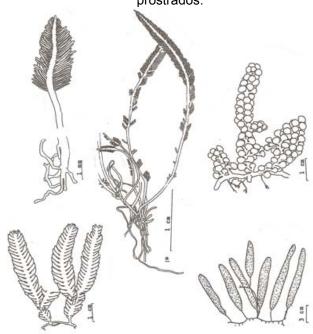
Nos talos unicelulares a forma mais usual de reprodução é através da propagação vegetativa por divisão binária. Outra forma de aumento no número de indivíduos é pela fragmentação de talos filamentosos e coloniais. Nas colônias cenobiais ocorre a formação de autocolônias onde a colônia-mãe pode formar várias colônias-filhas com o mesmo número e disposição de indivíduos (Figura 29).

Figura 36. Talos multicelulares com células multinucleadas. *Chaetomorph*a spp: A. detalhe de uma célula fértil com 2 poros para a liberação dos elementos de reprodução (esporos ou gametas); B e C. aspectos gerais dos filamentos unisseriados simples. D. *Cladophora* sp aspecto geral do tão filamentoso unisseriado e ramificado. E e F. *Valonia* spp – Em E – detalhe da base de um talo vesiculoso e filamentos rizoidais com hápteros na extremidade para a fixação do talo ao substrato; em F – aspecto geral do talo com células vesiculosas.



Fonte: Acervo de Amélia laeca Kanagawa.

Figura 37. Talos cenocíticos. A e B. *Bryopsis* sp – aspecto geral dos talos eretos com ramificação pinada saindo de ramos prostrado e estolonífero. C, D e E. *Caulerpa* spp – aspecto geral do talo de 3 espécies com ramos eretos morfologicamente diferenciados, todos saindo de ramos estoloníferos que crescem prostrados.



Fonte: Acervo de Amélia laeca Kanagawa.

A reprodução assexuada pode ser efetuada por zoósporos e aplanósporos.

Nas clorófitas a reprodução sexuada isogâmica e anisogâmica são mais comuns e geralmente a fecundação dos gametas é externa ocorrendo na água.

Os gametas e esporos são normalmente produzidos em estruturas não especializadas - quando o talo torna-se fértil as células vegetativas se transformam em gametângios ou esporângios unicelulares, formam muitos gametas ou esporos flagelados e os liberam através de poros (Figuras 36 e 38).

Os três tipos básicos de ciclo de vida estão presentes nas clorófitas. Nas classes Charophyceae e Chlorophyceae o ciclo é monogenético haplôntico. Nesses dois grupos as algas estão adaptadas ao clima semiárido pela formação de zigósporos. Após a fecundação o zigoto forma uma parede espessada e pode atravessar todo o período de seca em repouso. Quando volta o período de chuva o zigósporo sai do seu estado de dormência e seu núcleo se divide através de meiose e forma novos talos haplóides.

Nas Charales a fecundação é oogâmica e interna e os gametângios femininos e masculinos possuem um envoltório de células estéreis, constituindo uma exceção entre as algas (Figura 35). Este assunto será melhor discutido na próxima unidade.

Na classe Ulvophyceae (Ulvales e Cladophorales) o ciclo predominante é o digenético haplodiplôntico com alternância isomórfica. Em algas cenocíticas desta classe é comum o ciclo monogenético diplôntico com meiose gamética. Em *Codium* na formação do gametângio os núcleos que irão originar gametas através da meiose são separados do resto do talo cenocítico por um septo. Após a liberação dos gametas só o gametângio vazio se destaca e o resto do talo permanece vivo. Em outras algas cenocíticas como *Caulerpa*, *Halimeda* e *Penicillus*, todo o conteúdo do talo se transforma em gametas e o talo, após a sua liberação fica completamente vazio e morre. Este processo é chamado holocarpia (Figura 38).

No gênero *Derbesia* o ciclo é digenético com alternância heteromórfica: a fase esporofítica e filamentosa forma esporângios unicelulares separados do resto do talo por septos; o gametófito globóide forma os gametas por holocarpia.

5.4. Classificação

As algas verdes como as demais algas já foram classificadas como plantas, posteriormente foram retiradas do reino Plantae e foram colocadas nos reinos Monera e Protista. Atualmente parece ter uma tendência em classificá-las novamente no reino Plantae, dentro do sub-reino Viridiplantae (REVIERS, 2006, AlgaeBase /www.algaebase.org/).

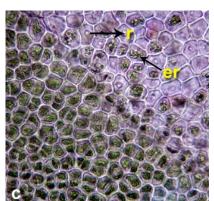
Para Hoek, Mann e Jahns (1995), Graham e Wilcox (2000), Reviers (2006), entre outros, todas as algas verdes pertencem ao filo Chlorophyta com 4 a 5 classes das quais Ulvophyceae, Chlorophyceae e Trebouxiophyceae parecem constituir grupos taxonômicos bem definidos. Já em relação às ordens Zygnematales e Charales não há consenso, ora são colocadas em uma única classe Charophyceae ou em 2 classes Charophyceae e Zygnematohyceae.

Em AlgaeBase essas duas classes são classificadas em um filo à parte, Charophyta. As Zygnematales (*Spirogyra*, *Zygnema*, desmidiáceas) possuem um modo peculiar de reprodução sexuada que é a conjugação, onde os indivíduos se pareiam, formam tubos de conjugação e ocorre fecundação isogâmica interna.

Biologia e Sistemática de Fungos, Algas e Briófitas

Figura 38. <u>a</u> - <u>c</u>. Talos parenquimatosos: <u>a</u> - talos foliáceos (10 cm de altura) de *Ulva* sp; <u>b</u> - talos tubulares de *Enteromorpha* sp; <u>c</u> – detalhe do talo fértil de *Ulva*: à esquerda células vegetativas (12 a 20 μm) com um cloroplasto (cl) por célula; à direita células com elementos de reprodução (er) e células vazias após sua saída por um poro (p). <u>d</u> e e. Talos cenocíticos: <u>d</u> – Detalhe do talo de *Caulerpa* sp mostrando o contorno contínuo da parede celular sem formar septos (eixo com cerca de 2 mm); <u>e</u> – Talos calcificados de *Halimeda* sp com parte dos talos brancos após a liberação dos elementos de reprodução (segmentos com 6-8 mm de largura).











Fotos <u>a</u> e <u>b</u>: M.Kanagawa; Fotos <u>c</u> e <u>d</u>: J.Darc; Foto <u>e</u>: <u>www.reefcorner.org</u> Fotos <u>a</u> a <u>d</u>: algas marinhas da Paraíba.

Representantes de Characeae apresentam fecundação oogâmica e interna com formação de zigósporos e presença de células estéreis tanto no anterídio quanto no oogônio e que serão discutidas na próxima unidade.

:: ARREGAÇANDO AS MANGAS!! ::



EXERCÍCIO

Faça uma pesquisa, na internet e nos livros, sobre o ciclo de vida de Spirogyra e descreva-o indicando: onde ocorre e como é a reprodução sexuada; onde e quando ocorre a divisão meiótica e qual o tipo de ciclo nesta alga.

Construa um quadro comparativo entre as cianofíceas, feofíceas, rodófitas e clorófitas usando as seguintes características: pigmentos fotossintetizantes, composição da parede celular, substância de reserva, habitat e tipos de talo.

Faça um glossário com as palavras que se encontra em negrito no decorrer da unidade.

UNIDADE 3 A BRIÓFITAS

1. INTRODUÇÃO

As briófitas, com cerca de 15.000 espécies em mais de 1200 gêneros, são consideradas as primeiras plantas terrestres ainda com características primitivas. São plantas pequenas, verdes, autótrofas, herbáceas e caracterizadas pela falta de tecidos vasculares verdadeiros: xilema e floema.

Esse grupo inclui os **musgos** e seus aparentados - **hepáticas** e **antóceros** - e constituem o segundo maior grupo de plantas verdes terrestres. Embora tenham porte pequeno, formam uma surpreendente parte da vegetação tanto de climas temperados quanto tropicais, principalmente em regiões extremamente úmidas. Muitas vezes essas plantas formam extensos tapetes forrando os solos de florestas, com cores verdes, marrons e avermelhadas. Os troncos e galhos podem ficar cobertos por esses tapetes (Figura 39 e 40) e em florestas com muita neblina, os galhos de árvores podem apresentar cortinas de briófitas que crescem pendentes. São plantas essencialmente terrestres com uma maior diversidade de formas exibidas pelos gametófitos.

As briófitas são plantas verdes com clorofilas **a** e **b** e carotenoides como pigmentos acessórios, amido como principal produto de reserva, parede celular de celulose, e algumas vezes, possuem uma cutícula fina.

Apesar da simplicidade de seus talos, que muitas vezes são menores do que muitas clorófitas, diferem das mesmas pela presença de uma ou mais camadas de células estéreis tanto nos gametângios quanto nos esporângios. A reprodução sexuada é sempre oogâmica e interna e o zigoto inicia seu desenvolvimento ainda dentro do arquegônio. Essa fase inicial do esporófito é chamada **embrião** e todas as plantas terrestres (briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas) são conhecidas como **embriófitas**. A presença de embrião é uma característica que separa as plantas terrestres das algas verdes, inclusive de carofíceas que, como vimos anteriormente, possuem envoltórios de células estéreis em seus gametângios.

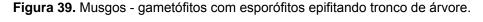
O ciclo de vida das briófitas é sempre digenético, isto é, haplodiplôntico com marcada alternância heteromórfica entre uma geração sexuada, haploide (gametófito) e uma geração assexuada, diploide (esporófito), com meiose espórica. O esporófito sempre cresce sobre o gametófito e depende dele para obtenção de nutrientes orgânicos e inorgânicos.

Como uma das formas mais eficientes de adaptação à vida terrestre, os esporos das briófitas possuem as paredes impermeabilizadas pela deposição de esporopolenina, o que lhes confere resistência à seca e ao ataque de microorganismos e faz com que os mesmos permaneçam viáveis por meses até recomeçar o ciclo com a sua germinação.

2. Ocorrência e distribuição

As briófitas são atualmente plantas com eminente sucesso, sobrevivendo em condições ambientais extremas onde poucas outras plantas conseguem tolerar. Elas são largamente distribuídas em todo o mundo, de ambientes árticos e alpinos aos trópicos úmidos, do semiárido à ambientes aquáticos. São predominantemente terrestres e crescem melhor em ambientes úmidos e sombreados e algumas espécies são dulciaquícolas. Nenhuma briófita cresce no mar. Crescem

diretamente nos solos, em superfícies de rochas com pouco solo, em troncos de árvores vivas ou mortas, sobre folhas, etc.





Fonte: Foto @MANeves

Figura 40. Hepáticas - gametófitos formando tapetes verdes no solo.



Fonte: Foto: E.L.Paula-Zárate (Briófitas ocorrentes no Campus I da UFPB).

Essas plantas dependem totalmente da umidade do local onde vivem e são consideradas peiciloídricas. A água é absorvida através de toda a superfície do talo. Como não possuem mecanismos para retenção da água, isto é, não conseguem evitar a perda de água por evapotranspiração, à medida que o ambiente seca, a planta se desidrata e murcha o que faz com que cresça melhor em ambientes constantemente úmidos.

Algumas briófitas no entanto, são xerotolerantes, isto é, plantas quase completamente secas e aparentemente mortas podem, após longos períodos (até anos), recuperar a cor verde e voltar às atividades metabólicas normais, crescer e se reproduzir. Muitas briófitas estão adaptadas à ambientes xéricos completando o ciclo de vida em período curto: os esporos germinam com as

primeiras chuvas e todas as etapas do ciclo ocorrem até a formação de novos esporos antes de encerrar o período das chuvas.

Todas as briófitas, independente de terem adaptações ao ambiente seco, necessitam de água no estado líquido para completar o ciclo, uma vez que os gametas masculinos são flagelados.

3. Morfologia e tamanho do talo

As briófitas são geralmente pequenas, esporófito com cerca de 3 cm de altura e o gametófito em geral com menos de 10 cm de altura. Alguns musgos como a *Ephemeropsis* medem apenas poucos milímetros de altura. Excepcionalmente, os gametófitos de algumas formas eretas que crescem no centro dos tapetes, podem exceder 20 cm, e formas aquáticas, prostradas ou pendentes chegam a alcançar 1 a 2 m de comprimento.

O gametófito é a geração haploide mais duradoura e consiste de uma fase juvenil geralmente filamentosa chamada **protonema**, e uma fase mais complexa, o **gametóforo**, que produz os gametângios. Ambos são verdes e fotossintetizantes. O gametóforo pode ser um talo laminar, achatado, foliáceo e multilobado ou em forma de fita estreita (Figuras 41 e 42) ou pode ser folhoso, com diferenciação em um eixo cilíndrico semelhante a um caule denominado **caulídio** de onde saem expansões laminares semelhantes às folhas denominadas **filídios** (Figuras 39, 42 e 44). Os gametófitos se fixam ao substrato através de filamentos aclorofilados denominados **rizoides** (Figura 41).

O esporófito diploide, vive sempre preso ao gametófito e consiste de três partes: o **pé** - parte basal que penetra no tecido do gametófito e retira dele a água e os nutrientes; a **seta** - haste cilíndrica e não ramificada que conecta o pé à cápsula; a **cápsula** – único esporângio do esporófito, possui formas e estruturas variadas (Figuras 42, 43, 44 e 45). Sobre a cápsula, podemos encontrar a **caliptra** – uma fina camada de tecido haploide originada de parte da parede do arquegônio (Figuras 44 e 45).

A ausência de tecido vascular deve ser responsável pelo pequeno tamanho das briófitas, uma vez que elas não possuem nem sistemas eficientes de transporte da seiva, nem células com paredes lignificadas capazes de sustentar talos de porte médio a grande. A água é absorvida através de toda a superfície do talo e, em alguns musgos, existem células alongadas especializadas no transporte de seiva bruta - **hidroides**, e de seiva elaborada - **leptoides**. Muitas vezes, o transporte de água é feito externamente por um sistema de capilares formados pela disposição dos filídios ao redor dos caulídios.

4. Reprodução e ciclo de vida

O órgão sexual feminino é o **arquegônio**, cujo invólucro externo e estéril e em forma de garrafa: o gargalo (colo) do frasco é uniestratificado enquanto a porção inferior e expandida (ventre) é multiestratificada (Figuras 45 e 46). Cada arquegônio forma apenas um único gameta feminino, a **oosfera**, que é grande e imóvel.

O anterídio é o órgão sexual masculino e consiste em uma estrutura globosa ou alongada, pedunculada, com uma camada de células estéreis envolvendo uma massa de células androgoniais, cada qual produzindo um gameta masculino – anterozoide (Figuras 40 e 45). Os anterozoides são biflagelados que, ao serem liberados, devem nadar até alcançar a oosfera para

que ocorra a oogamia. Portanto, apesar de serem organismos terrestres, as briófitas dependem da existência de água em estado líquido para efetivar a reprodução sexuada.

As briófitas geralmente são unissexuadas ou dioicas, mas existem espécies bissexuadas ou monoicas (Figura 44). Frequentemente existem formas de reprodução vegetativa através de **propágulos** - conjunto de células que, ao cair no substrato originam novos gametóforos sem passar pela fase de protonema (Figura 44). Os gametóforos quando secos se tornam quebradiços e isolam fragmentos que podem originar novos gametóforos.

O zigoto inicia o seu desenvolvimento dentro do arquegônio e forma o embrião, que continua o seu crescimento sem interrupção até tornar-se um esporófito. O tecido esporogênico da cápsula, através de divisões meióticas, forma os esporos; nos antóceros e nas hepáticas esse tecido forma também elatérios e pseudoelatérios que auxiliam na dispersão dos esporos. Em condições adequadas de umidade e luminosidade, esses esporos germinam e originam novos gametófitos, completando assim o ciclo haplodiplôntico.

5. Ecologia

As briófitas, em especial aquelas que crescem formando tapetes nos solos e troncos de árvores, são importantes no balanço hídrico dos ambientes onde elas ocorrem. Esses tapetes funcionam como esponjas absorvendo rapidamente a água da chuva e das condensações noturnas e têm capacidade de reter grande quantidade de água e liberá-la lentamente para o seu entorno. Em florestas tropicais, nos galhos de árvores com cerca de 20 a 40 metros de altura, formam-se verdadeiros jardins suspensos, graças ao solo formado por musgos e hepáticas que conseguem acumular além da água, poeira, detritos orgânicos e minerais (SCHOFIELD 1985; MATOS-BRITO & PORTO 2000). Esporos de pteridófitas e sementes de muitas angiospermas epífitas conseguem germinar nesse substrato; muitos microorganismos, pequenos artrópodos entre outros invertebrados, algas como clorófitas e cianobactérias dependem desses microambientes para completar o seu ciclo de vida. Além de funcionar como esponjas, esses tapetes amortecem o impacto das chuvas e protegem o solo das erosões.

6. Origem

Estudos mais recentes indicam que as embriófitas devem ter surgido, há cerca de 450 milhões de anos a partir de um grupo de algas verdes, e têm em comum as seguintes características: clorofilas <u>a</u> e <u>b</u> e carotenoides como principais pigmentos acessórios; verdadeiro amido como principal substância de reserva, depositado nos cloroplastos e a presença de celulose na parede celular. Dentre as clorófitas, as algas da linhagem das carofíceas parecem ter um grau de parentesco maior devido a: divisão celular com fusos persistentes, podendo formar fragmoplastos; produção de glicolato oxidase, além da presença de células estéreis protegendo os gametângios. Na linha de clorofíceas, as algas não possuem fusos persistentes, formando ficoplastos, geralmente produzem glicolato dehidrogenase e não formam envoltório de células estéreis em seus gametângios e esporângios (GLIME, 2006).

7 Classificação

Tradicionalmente, os musgos, hepáticas e antóceros foram classificadas em três subclasses dentro da divisão Bryophyta. A tendência atual é elevar cada uma das três subclasses à categoria de Divisão ou Filo, cuja nomenclatura difere de acordo com diferentes autores. Neste capítulo, usaremos a nomenclatura adotada por Glime (2006) e Raven, Evert e Eichhorn (2007): Marchantiophyta, Anthocerotophyta (Anthocerophyta) e Bryophyta.

7.1 MARCHANTIOPHYTA (Hepatophyta; Classe Hepaticae)

O filo ou divisão Marchantiophyta inclui as hepáticas talosas e as hepáticas folhosas e consiste de aproximadamente 5.000 espécies em cerca de 330 gêneros. Habitam solos, troncos, folhas, ou vivem flutuando em água doce.

As hepáticas apresentam uma alternância regular entre as gerações haploide gametofítica e diploide esporofítica. O gametófito, que é a geração perene, pode se desenvolver diretamente do esporo ou passar por uma fase inicial de protonema globoso ou taloide formado por algumas poucas células; cada protonema é capaz de originar apenas um gametóforo. A fase esporofítica é muito curta, com crescimento bem determinado e é parasita do gametófito. Em hepáticas, a formação e liberação dos esporos são simultâneas.

A presença de oleocorpos - pequenas organelas limitadas por uma membrana contendo terpenoides e de elatérios - estruturas unicelulares com espessamento helicoidal da parede celular, higroscópicas e que têm função na dispersão dos esporos caracterizam as Marchantiophyta (Figura 42).

A) Hepáticas talosas (Classe Marchantiopsida)

O gametófito das hepáticas talosas tem forma de fita achatada dorsiventralmente, com simetria bilateral. O talo é em geral multiestratificado (*Ricciocarpus* é uma hepática aquática com talo uniestratificado) e com a região dorsal clorofilada formada por várias camadas de células contendo muitos cloroplastos e com câmaras aeríferas que se abrem através de poros. A região ventral é incolor e forma um tecido de reserva, de onde saem os rizoides unicelulares e lisos que, em representantes da ordem Marchantiales, podem se alternar com **escamas** – estruturas laminares e delicadas características da ordem (Figuras 40, 41 e 42).

Os anterídios e arquegônios ficam mergulhados na superfície dorsal do talo. Em *Marchantia*, os gametófitos são unissexuados e formam estruturas pedunculadas especiais: o **anteridióforo**, com os anterídios mergulhados na face dorsal do disco apical **e arquegonióforo**, com os arquegônios (e posteriormente os esporófitos) localizados na superfície ventral da estrutura em forma de guarda-chuva (Figura 41).

Nas hepáticas talosas pode haver propagação vegetativa de gametófitos ou através de fragmentação do talo ou pela formação de gemas ou propágulos.

O esporófito é bastante reduzido, formado por pé, seta geralmente muito curta e hialina e cápsula esférica ou cilíndrica. Durante a formação e maturação dos esporos, a cápsula permanece mergulhada no talo e é protegida pela caliptra. Quando os esporos estão formados, a seta se alonga e projeta a cápsula para fora da caliptra. O invólucro da cápsula é uniestratificado e se abre através de uma a quatro valvas. Os **elatérios** estão presentes entre os esporos (Figura

42). Em *Riccia brasiliensis* Schiffn. a seta não se desenvolve e o esporângio maduro permanece mergulhado no talo do gametófito (Figura 41).

B) Hepáticas folhosas (Classe Jungermaniopsida)

O gametófito das hepáticas folhosas é diferenciado em caulídios, rizoides e filídios. Pode ter crescimento prostrado, ereto ou pendente. Os caulídios são ramificados e, juntamente com os filídios, são verdes quando jovens e não apresentam diferenciação interna em leptoides e hidroides. Os rizoides são unicelulares com paredes finas, hialina e lisas e estão presentes na face ventral do caulídio.

Os filídios nunca apresentam nem estômatos nem **costa** - um espessamento na região mediana semelhante à "nervura" central das folhas. As células clorofiladas possuem pequenos e numerosos cloroplastos sem pirenoides. Quase todas as suas células apresentam **oleocorpos** que são típicas de hepáticas folhosas. Os filídios são uniestratificados e se dispõem geralmente em três fileiras. Os filídios das fileiras laterais são iguais entre si e normalmente são segmentados em lobos que se dobram formando bolsas. Os filídios da fileira ventral (nem sempre presente) são menores e morfologicamente diferenciados e são chamados de **anfigastros** (Figura 42).

Os órgãos sexuais de ambos os sexos se desenvolvem das células superficiais (exógenos). Anterídios são pedunculados, geralmente ovoides ou esféricos. Consistem de uma única camada de células estéreis envolvendo uma massa de células-mãe dos gametas, que originam os anterozoides biflagelados.

Os arquegônios são em forma de frasco, com envoltório uniestratificado, constituídos de colo e de uma parte bojuda (ventre) que, após a fecundação, se transforma em caliptra. Os anterídios e arquegônios são terminais nos ramos laterais e curtos dos caulídios e envolvidos por filídios especiais formando, respectivamente, o **androécio** e **perianto** (Figura 42).

O esporófito é diferenciado em pé - órgão de absorção; seta - um pedúnculo curto, incolor e hialino; cápsula - geralmente marrom escura, esférica ou elipsoide, consistindo de um invólucro estéril e multiestratificado (4 – 5 camadas de células) e de um saco esporogênico que forma esporos em tétrades. A cápsula se abre através de 4 fendas longitudinais e os esporos são dispersados com auxílio de **elatérios** unicelulares com espessamento helicoidal. O esporófito é completamente dependente do gametófito.

7.2. ANTHOCEROTOPHYTA (Classe ANTHOCEROTAE)

Os antóceros formam uma linha evolutiva independente. O grupo é representado por menos de cem espécies com 8-9 gêneros. É reconhecida apenas uma única ordem: a Anthocerotales, com três famílias sendo a Anthocerotaceae e os gêneros *Anthoceros* e *Phaeoceros* os mais conhecidos. Todos os gêneros são encontrados nos trópicos e subtrópicos, mas a maioria pode ser encontrada também em regiões temperadas.

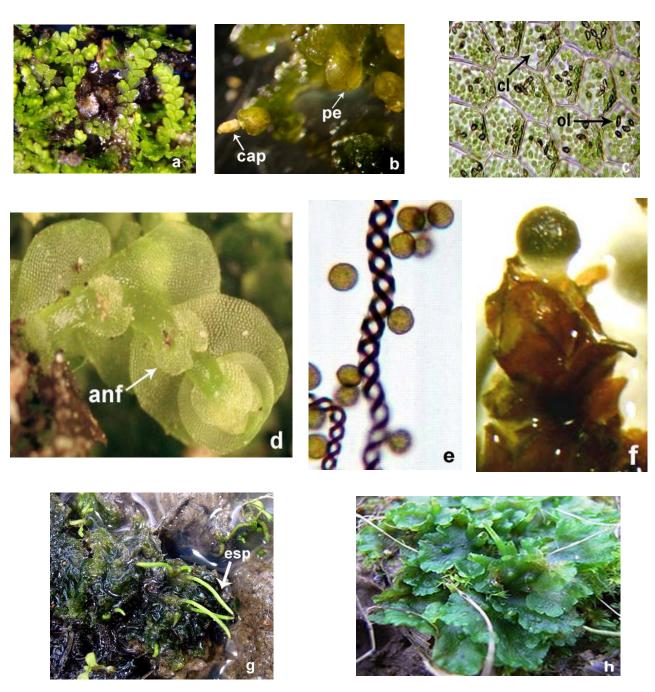
Os antóceros se caracterizam por terem os gametófitos achatados dorsiventralmente, multilobados, comumente formando rosetas, fixos ao substrato através de rizoides lisos, hialinos e unicelulares (Figura 42). O esporo, ao germinar, forma um protonema globoso que dá origem a um único gametóforo (Figura 42).

Figura 41. Hepáticas talosas: \underline{a} e \underline{b} – *Riccia plano-biconvexa* Steph. - gametófitos com cerca de 6 mm de largura, crescendo numa fenda de rocha em Cacimba de Dentro, PB. \underline{c} a \underline{f} : *Riccia* sp.– espécimes de João Pessoa, PB; \underline{c} – face dorsal do gametófito com escamas (esc) na face ventral; \underline{d} - face ventral do gametófito com rizóides (ri); e - quatro esporófitos com cápsulas (cp) maduras mergulhadas no gametófito; \underline{f} – detalhe da cápsula com os esporos (es). \underline{g} – *Marchantia sp* – gametófito com arquegonióforos (arq) e anteridióforos (ant). Fotos a a f: hepáticas da Paraíba.



Fontes: Fotos <u>a</u> e <u>b</u> - GMiranda; <u>c</u>, <u>d</u>, <u>e</u> e <u>f</u> - JDarc; <u>g</u> - <u>www.wikipedia.org</u>

Figura 42. Hepáticas folhosas.a e b - Microlejeune sp: a - face dorsal dos gametófitos com as 2 fileiras de filídios; b - perianto fechado (pe) e esporófito com cápsula alongada (cap) e seta hialina e curta saindo do perianto. c – detalhe das células do filídio mostrando óleocorpos (ol) e cloroplastos (cl).d e e Catpogeia sp: d – face ventral do gametófito com 1 fileira ventral de anfigastros (anf); e – elatérios e esporos. e - Frullania sp: esporófito emergindo do perianto, com seta curta e hialina. Antócero: f. Anthoceros sp – gametófitos (10 - 11 mm de diâmetro) com esporófitos (10 -15 mm de altura) crescendo à margem de um barreiro em Cacimba de Dentro, PB; g – Anthoceros sp: gametófitos com esporófitos no início de sua formação.



Fonte: Fotos <u>a</u>, <u>b</u>: J.Darc; Fotos <u>c</u>, <u>d</u> e <u>e</u>; <u>www.bioimages.org.uk/</u>; Foto <u>f</u>; AMSAndrade; Foto <u>g</u>: <u>www.wikipedia.org</u> Fotos <u>a</u>, <u>b</u>, <u>e</u> e <u>f</u>: hepáticas e antóceros da Paraíba.

O talo é multiestratificado e nas camadas da região ventral são formadas cavidades – câmaras mucilaginosas – com poros voltados para o exterior. Essas cavidades são ocupadas por

colônias de cianofíceas do gênero *Nostoc*. Essas cianobactérias fixadoras de nitrogênio vivem em simbiose com o antócero, fornecendo-lhe os compostos nitrogenados e recebendo abrigo e carboidratos.

:: SAIBA MAIS... ::



As células do talo têm paredes finas, geralmente com um único cloroplasto grande e discoide, frequentemente com um pirenoide.

Os gametófitos são bissexuados (ou unissexuados) e os gametângios ficam embebidos nas camadas superiores do talo.

O esporófito é constituído de pé e cápsula alongada e cilíndrica e neste grupo não há formação de seta. A base do esporófito é envolta por uma estrutura tubular do gametófito (Figura 43).

Uma característica marcante dos antóceros é a presença de **meristema intercalar** – tecido localizado entre o pé e a base da cápsula. A atividade deste meristema promove um crescimento indeterminado da cápsula na maioria dos gêneros (exceto *Notothylas*), por toda a estação favorável. A cápsula se abre através de uma ou duas fendas longitudinais, do ápice para a base e, à medida que libera os esporos maduros, novos tecidos vão sendo formados na base pelo meristema intercalar.

O invólucro da cápsula é multiestratificado e frequentemente apresenta estômatos. Há uma **columela** – uma coluna cilíndrica de tecido estéril no centro da cápsula ao redor da qual estão as células esporígenas. Entre os esporos, existem estruturas multicelulares higroscópicas - **pseudoelatérios**, que auxiliam na dispersão dos esporos (Figura 43).

Presença de gametângios mergulhados no talo, de câmaras mucilaginosas com colônias de *Nostoc* e de esporófito persistente com pseudoelatérios caracteriza os antóceros.

7.3. BRYOPHYTA (Classe BRYOPSIDA ou MUSCI)

Os musgos são geralmente as briófitas mais conspícuas na vegetação e mostram uma diversidade estrutural muito maior do que outros grupos de briófitas. O filo Bryophyta contém cerca de 13000 espécies em quase 700 gêneros e são tradicionalmente agrupados em três classes ou subclasses baseado principalmente na estrutura da cápsula: Bryopsida, Andreaeopsida e Sphagnopsida (Raven, Evert e Eichhorn, 2007). Glime (2006) adota a classificação dos musgos, com base em mais evidências genéticas e bioquímicas, em seis classes que acrescentou às anteriores, as classes Takakiopsida, Andreaobryopsida e Polytrichopsida.

Os hidroides e leptoides podem estar presentes tanto no gametóforo (caulídio) quanto no esporófito (seta) de alguns representantes.

Em musgos, o esporo ao germinar forma um protonema filamentoso, ramificado e com várias gemas que dão origem a gametóforos sempre folhosos com os filídios geralmente

dispostos radialmente em mais de três fileiras (simetria radiada) (Figura 44). Em *Fissidens*, os filídios têm disposição dística e pinada (Figura 44).

Existem dois tipos de talo quanto à posição do esporófito em relação ao gametófito: talo **acrocárpico** – gametófito ereto, caulídio simples ou pouco ramificado, produzindo arquegônios e, consequentemente, esporófitos terminais (Figura 44); e talo **pleurocárpico** – gametófito geralmente prostrado, com caulídio ramificado, produzindo arquegônios e esporófitos em ramos laterais curtos.

Os rizoides são sempre multicelulares com septos oblíquos, aclorofilados e frequentemente tem paredes espessas e pigmentadas de marrom. Esses rizoides estão localizados ou na base do eixo do caulídio nos talos acrocárpicos ou na face ventral do caulídio nos talos pleurocárpicos.

Os filídios são uniestratificados na maior parte, exceto na costa ("nervura") que é multiestratificada. A costa pode ser simples, dupla ou mesmo ausente, podendo estender-se (costa excurrente) ou não (costa percurrente) até o ápice do filídio. Em *Octoblepharum* sp, o filídio se resume em uma costa larga e longa formada por várias camadas de células incolores e clorofiladas; a parte laminar uniestratificada e incolor está restrita à região basal do mesmo. As células do filídio são alongadas e raramente possuem os oleocorpos; estes, quando presentes são simples e pequenos.

Nas formas acrocárpicas, os gametângios são formados em grupos no ápice do caulídio possuindo entre eles, filamentos estéreis (paráfises) formando a cabeça anteridial ou a cabeça arquegonial (Figuras 40 e 45).

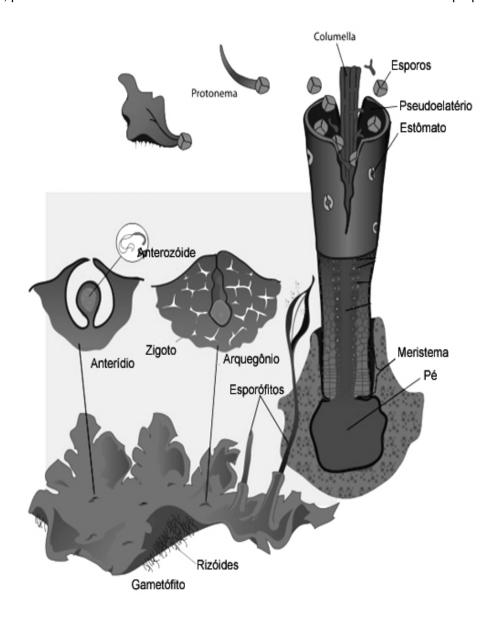
Após a fecundação oogâmica, o zigoto inicia o seu desenvolvimento em embrião; a cápsula ainda jovem é elevada pela seta rígida que se alonga e a parede do arquegônio se rompe e permanece no ápice da cápsula formando a caliptra até a maturação dos esporos (Figuras 39, 44 e 45). Em *Calymperes*, a caliptra é persistente pemanecendo na cápsula mesmo após a sua abertura e a dispersão dos esporos (Figura 44).

O invólucro estéril da cápsula é sempre multiestratificado, e geralmente tem estômatos e se abre através de uma tampa apical — **opérculo** (Figuras 39 e 44); quando o opérculo cai, expõe geralmente, os dentes do peristômio que formam 1 ou 2 fileiras ao redor da abertura da cápsula e servem para dispersar os esporos (Figura 44). Dentro da cápsula há uma coluna central de tecido estéril — **columela.** Não há formação de elatérios ou pseudoelatérios.

Em musgos como nas hepáticas, a produção, maturação e liberação dos esporos são simultâneas. Após a liberação dos esporos o esporófito seca, morre e se desprende do gametófito.

Presença de protonema filamentoso com várias gemas, rizoides multicelulares, filídios dispostos em espiral e de cápsula com opérculo e peristômio são características marcantes dos musgos.

Figura 43. Ciclo de vida digenético haplodiplôntico com alternância heteromórfica dos antóceros. Gametófito bissexuado. Esporófito com pé, meristema intercalar e cápsula longa e cilíndrica com columela, esporos, pseudoelatérios e envoltório multiestratificado com estômatos. Protonema pequeno e taloide.



Fonte: www.wikipedia.org (com legenda traduzida).

Figura 44. Musgos. <u>a</u> a c - *Calymperes* sp: <u>a</u> - gametófitos formando tapete sobre tronco de árvore viva (note alguns com esporófitos; <u>b</u> - ápice do filídio com propágulos; <u>c</u> - detalhe da cápsula aberta com opérculo (op) e a caliptra persistente(cal). <u>d</u> - *Minium* sp: <u>d</u> - detalhe dos gametófitos masculinos com cabeças anteridiais (cab). <u>e</u> e <u>f</u> *Octoblepharum* sp: <u>e</u> gametófitos com esporófitos; <u>f</u> - detalhe da cápsula aberta mostrando os dentes do peristômio (dp). <u>g</u> a <u>i</u> *Fissidens* sp: <u>g</u> - gametófito com duas fileiras de filídios; <u>h</u> - detalhe da cápsula fechada com opérculo e caliptra. Fotos <u>a</u> e <u>b</u>: AMSAndrade;



Fonte: Fotos <u>c</u>, <u>e</u>, <u>f</u> e <u>h</u>: JDarc; Foto <u>d</u>: <u>www.bioimages.org.uk/</u>; Foto <u>g</u>: <u>www.wikipedia.org</u> Fotos <u>a</u> a <u>c</u>, <u>e</u> <u>f</u>, e <u>h</u> : musgos da Paraíba.

Figura 45. Arquegônio de musgo. A. Cabeça ou bolsa arquegonial. B. Arquegônio com uma oosfera. C. Anterozoide alcançando a oosfera. D. Desenvolvimento do embrião dentro do arquegônio.

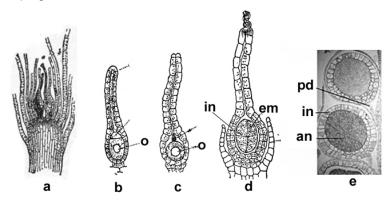
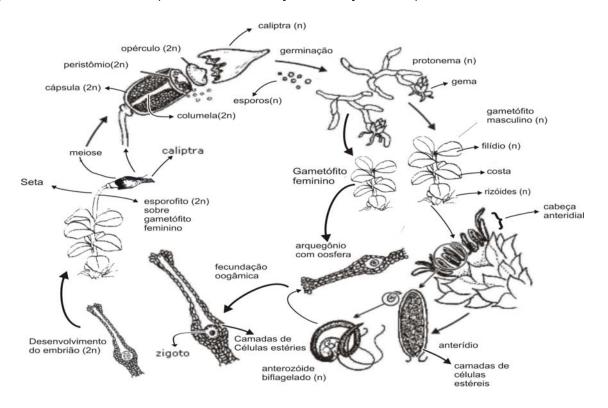


Figura 46. Ciclo de vida digenético haplodiplôntico dos musgos. Protonema fliamentoso e ramificado. Gametóforos folhosos e unissexuados e acrocárpicos: cabeça anteridial e arquegonial (não representada na figura) no ápice dos caulídios. Após oogamia, desenvolvimento do embrião dentro do arquegônio, seguido de crescimento do esporófito até a maturação e liberação dos esporos.



Fonte: Esquema: G. Bezerra.

:: HORA DE TRABALHAR!!! ::



EXERCÍCIOS

- 1)Faça um glossário com as palavras que se encontram no texto em negrito.
- 2)Faça um quadro comparativo entre os gametófitos das hepáticas, musgos e antóceros usando as seguintes características: protonema; rizóides; forma e simetria do gametóforo; forma e disposição dos filídios; cloroplastos; caliptra.
- 3)Faça um quadro comparativo entre os esporófitos das hepáticas, musgos e antóceros usando as seguintes características: localização do esporófito; tamanho e aparência da seta; columela, peristômio, deiscência da cápsula e estratégias para a liberação dos esporos.

REFERÊNCIAS

ALEXOPOULOS, C.J.; MIMS, C.W.; BLACKWELL, M. Introductory Mycology. 4ª ed. John Wiley & Sons Inc. 868 p. 1996.

BELL, P.R.; HEMSLEY, A.R. **Green Plants.** Their origin and Diversity. 2^a. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

BONONI, V.L.R.; GRANDI, R.A.P. **Zigomicetos, Basidiomicetos e Deuteromicetos: Noções Básicas de Taxonomia e Aplicações Biotecnológicas**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Instituto de Botânica. 181 p. 1999.

ESPOSITO, E.; AZEVEDO, J.L. Fungos: Uma Introdução à Biologia, Bioquímica e Biotecnologia. Caxias do Sul: EDUCS. 510 p. 2004.

GLIME, J. M. **Bryophyte Ecology**. Vol. 1. Physiological Ecology. E-book sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. 2006. Disponível em http://www.bryoecol.mtu.edu/ Acesso em 22/10/2008.

GRADSTEIN, S. R.; COSTA, D. P. da **The Hepaticae and Anthocerotae of Brazil**. Nova York: The New York Botanical Garden Press. 2003.

GRAHAM, L. E.; WILCOX, L. W. Algae. Prentice-Hall, Inc. 2000.

GUERRERO, R.T.; SILVEIRA, R.M.B. Glossário Ilustrado de Fungos: Termos e Conceitos à Micologia. 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS. 93 p. 1996.

HAWKSWORTH, D.L., et al. **Ainsworth and Bisby's dictionary of fungi**. 8^a ed. Cambridge: CAB International University Press. 616 p. 1995.

HOEK, C. van den; MANN, D. G.; JAHNS, H. M. **Algae** An Introduction to Phycology. Cambridge: Cambridge University Press. 2002.

KENDRICK, B. **The Fifth Kingdom**. Newburyport: Focus. 373 p. 2000. Parcialmente disponível em: http://www.mycolog.com/fifthtoc.html. Acesso em 12/Dezembro/2008.

LEE, R. E. Phycology. 3a. ed. Cambridge: Cambridge University Press. 2005.

MATOS-BRITO, A.E.R. de & PORTO, K.C. 2000. **Guia de Estudos de Briófitas do Ceará.** EUFC, Fortaleza. 66p.

MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. V. **Cinco Reinos** – Um Guia ilustrado dos Filos da Vida na Terra. 3ª. Ed. Guanabara Koogan.

OLIVEIRA, E. C. Introdução à Biologia Vegetal. São Paulo: EDUSP. 2003.

PURVES, W. K. et al. Vida – A Ciência da Biologia. 6ª. ed. Artmed Editora. 2002.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan. 2007.

REVIERS, B. de. Biologia e Filogenia de Algas. São Paulo: Editora Artmed. 2006.

SCHOFIELD, W. B. Introduction to Bryology. MacMillan Publishing Company. 1985.

SMITH, G. M. Manual of Phycology. Ronald Press Co. 1951.

Tree of Life, Web Project - http://tolweb.org/Fungi/2377

VOLK, T. - Tom Volk's Fungi: http://botit.botany.wisc.edu/toms-fungi/

WOESE, C. R. Bacterial Evolution. Microbiological Reviews: 221-171. 1987.

WOESE, C. R.; KANDLER, O.; WHEELIS, M. L. Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria and Eucarya. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, USA, 87: 4576-4579. 1990.

