

ANA GRAZIELA GOMES TRAVASSOS
JULIANA MESQUITA VIDAL MARTINEZ DE LUCENA

Fungos da Amazônia

Amazon Fungi



Fungos da Amazônia

Amazon Fungi

ANA GRAZIELA GOMES TRAVASSOS
JULIANA MESQUITA VIDAL MARTINEZ DE LUCENA

CRÉDITOS

Autores:

Ana Graziela Gomes Travassos
Juliana Mesquita Vidal Martínez de Lucena

Projeto Gráfico:

Ana Graziela Gomes Travassos

Imagens:

Google.com/imagens
Canva.com

Ilustrações:

Ana Graziela Gomes Travassos

Fotografias:

Ana Graziela Gomes Travassos

FICHA CATALOGRÁFICA

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

T779f Travassos, Ana Graziela Gomes.
Fundos da Amazônia = Amazon fungi / Ana Graziela Gomes Travassos, Juliana
Mesquita Vidal Martínez de Lucena. – Manaus, 2024.
130 p. : il. color.

Produto educacional proveniente da dissertação - Fungos da Amazônia: um
recurso didático para a graduação (Programa de Pós-Graduação em Ensino
Tecnológico). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas,
Campus Manaus Centro, 2024.
ISBN 978-65-85652-59-9

1. Micologia. 2. Fungos. 3. Biodiversidade - Amazônia. 4. Recursos - ensino. I.
Lucena, Juliana Mesquita Vidal Martínez de. (Orient.) II. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 570.7

DESCRIÇÃO TÉCNICA DO PRODUTO

Este produto foi desenvolvido com base em uma pesquisa de mestrado do Programa de Pós-graduação em Ensino Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. A dissertação é intitulada "Fungos da Amazônia: um recurso didático para a graduação".

Linha de pesquisa: Alternativas Mediadoras para a Eficácia do Ensino e Aprendizagem em Contextos Tecnológicos

Nível de ensino a que este produto se destina: Ensino Superior.

Área de conhecimento: Ciências da Natureza, Ciências Biológicas.

Categoria deste produto: Material didático instrucional.

Público-alvo: Professores e estudantes de graduação.

Finalidade: Contribuir para aprimorar o ensino de Micologia nos cursos de graduação de Licenciatura em Ciências Naturais e Ciências Biológicas, com foco especial na diversidade de fungos da Amazônia.

Registro do Produto: Biblioteca Paulo Sarmento IFAM, Campus Manaus Centro.

ISBN 978-65-85652-59-9

Organização do produto: O produto é composto por este livro didático e pelo site <https://fungosdaamazonia.my.canva.site/fungosdaamazonia>.

Disponibilidade: irrestrita, mantendo-se respeito a autoria do produto, não sendo permitido o uso comercial por terceiros.

Divulgação: por meio digital e impresso.

País: Brasil

Estado: Amazonas

Cidade: Manaus

Idioma: Português.

AS AUTORAS



Ana Graziela Gomes Travassos

Formada em Licenciatura em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, atua na área de Microbiologia, com foco em atividade antimicrobiana, como fungos endofíticos, fungos da Amazônia e atividade antibiofilme. Além disso, está envolvida na criação de recursos didáticos em 3D para o ensino de Biologia.



Juliana Mesquita Vidal Martínez de Lucena

Professora titular no Instituto Federal do Amazonas, graduada em Ciências Biológicas e Odontologia pela UFAM, doutora em Odontologia pela Eberhard-Karls Universität Tübingen. Suas pesquisas focam em microbiologia, especialmente antimicrobianos vegetais e fungos endofíticos, recursos naturais e o ensino contextualizado na Amazônia.

Prefácio

Caro leitor,

É com grande satisfação que apresentamos este livro didático sobre os fungos da Amazônia. Esta obra nasceu da necessidade de ensinar Micologia e da percepção de uma escassez de recursos sobre fungos em língua portuguesa que fizessem jus ao seu valor biológico.

O conhecimento sobre os fungos é essencial, pois esses organismos desempenham papéis fundamentais em diversos ecossistemas, incluindo a floresta amazônica, mas muitas vezes são negligenciados nas salas de aula daqueles que serão os futuros professores. Então, mais especialmente dedicamos aos professores e estudantes de Licenciatura.

A formação inicial do biólogo/professor de biologia deve incluir um vasto conhecimento sobre a diversidade biológica, tendo à sua disposição informações científicas aprofundadas sobre todos os grupos taxonômicos. Entretanto, a discussão sobre o ensino de Micologia não vem perpassando os interesses de pesquisa, repercutindo na carência significativa de publicações específicas sobre o tema, bem como na captação de novos talentos para essa área.

O que mais motivou a criação deste livro? Sem dúvida, a apaixonante diversidade e versatilidade dos fungos amazônicos.

Esta obra foi cuidadosamente elaborada para contribuir com a difusão de conhecimentos e despertar a curiosidade para o fascinante mundo da Micologia. Esperamos que este livro seja uma fonte valiosa de conhecimentos para inspirar o ensino e a pesquisa sobre nossos fungos.

Desejamos a todos uma jornada educativa enriquecedora e estimulante através das páginas deste livro.

Cordialmente,

- As Autoras

Sumário

Unidade 1 - O reino Fungi	14
Contexto histórico	15
Evolução	20
Filogenia de fungos	26
Relações ecológicas	29
• Líquens	30
• Micorrizas	32
• Parasitismo	34
• Predação	37
• Saprofitismo	39
Unidade 2 - Caracterização dos Filos	44
Citologia de Fungos	45
• Parede celular	48
• Estruturas vegetativas	49
• Reprodução	50
Diversidade do Reino Fungi	53
• Filo Chitridiomycota	54
• Filo Zigomycota	55
• Filo Glomeromycota	60
• Filo Ascomycota	62
• Filo Basidiomycota	66
• Deuteromycotas	68
Unidade 3 - Biodiversidade Amazônica	72
• A biodiversidade Amazônica	73
• Alimentação	74
• Compostos de interesse farmacêutico	76
• Compostos com outras aplicações industriais e/ou agroindustriais	78
• Fungos patogênicos	81

Unidade 4 - Recursos para o ensino de Micologia	85
Ensinando Micologia	86
• Coleta de Microfungos do solo	88
• Identificação Morfológica de Microfungos	91
• Crescimento em câmara úmida	96
• Microcultivo	98
• Trilha para visualização de Macrofungos	102
• Identificação Morfológica de Macrofungos	105
• Técnica esporada	107
• Micropigmentos	110
• Sugestão de projeto de aprendizagem para o ensino de micologia	112
Glossário	115
Referências	124

Unidade 1

O Reino Fungi





Capítulo 1

Contexto histórico

Os fungos estão na terra desde muito antes de serem descritos pela ciência. Os relatos históricos indicam seus primeiros registros nos tempos dos faraós, quando os cogumelos eram considerados “plantas da imortalidade”, servidos apenas para grandes autoridades, sendo proibidos para pessoas comuns.

Alguns autores consideram que a palavra micologia tenha se originado da lenda da cidade Micenas (fig. 1.1). Segundo ela, Perseu, após cumprir a visão de um oráculo matando acidentalmente seu avô Acrisius, que seria o sucessor de Argos, envergonhado pelo ocorrido, voltou a Argos e persuadiu Megapenthes a trocar seu reino pelo dele, fundando assim, a cidade Micenas (cogumelo). O nome da cidade foi escolhido devido ao cogumelo ter a capacidade de sanar a sede de Perseu, tornando-o símbolo desse reino próspero.

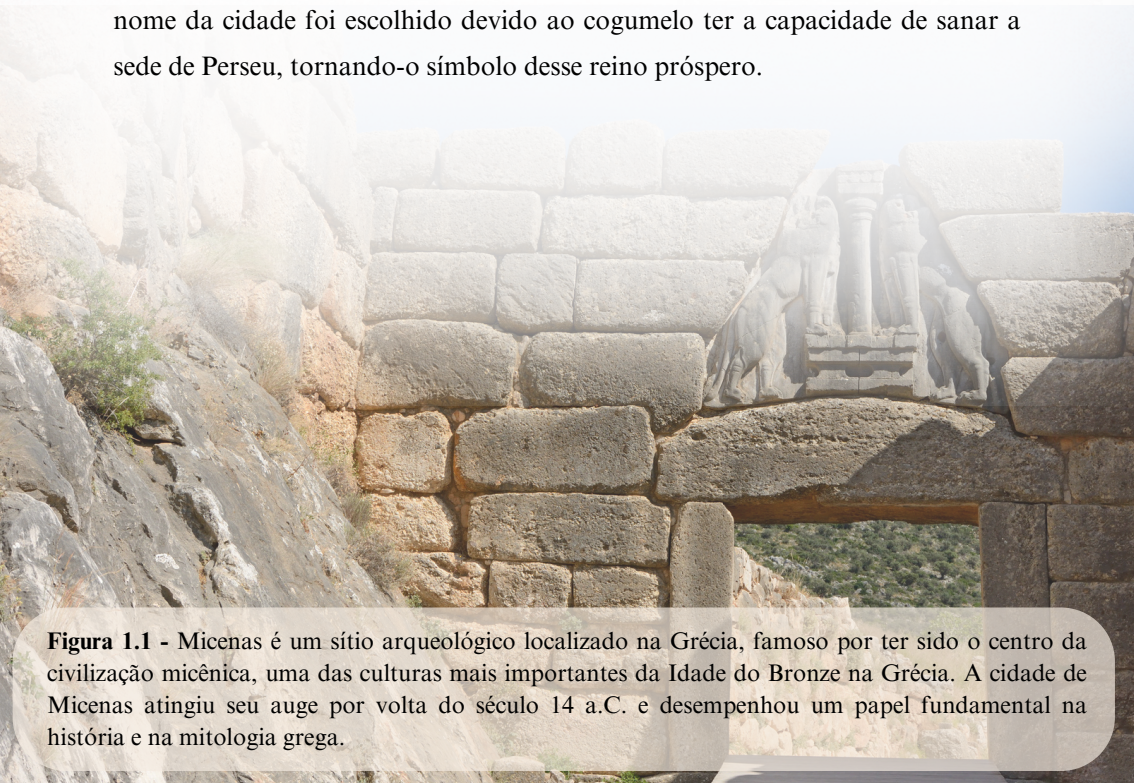


Figura 1.1 - Micenas é um sítio arqueológico localizado na Grécia, famoso por ter sido o centro da civilização micênica, uma das culturas mais importantes da Idade do Bronze na Grécia. A cidade de Micenas atingiu seu auge por volta do século 14 a.C. e desempenhou um papel fundamental na história e na mitologia grega.

Algumas obras literárias pelo mundo retratam os fungos como seres mágicos representando elementos de transformação como no livro "Alice no País das Maravilhas", escrito por Lewis Carroll. Na obra, Alice entra em um mundo surreal e fantástico e encontra personagens e situações peculiares. Os fungos, com sua variedade de formas e cores, bem como suas **propriedades mágicas**, se encaixam perfeitamente nesse contexto, fornecendo um elemento adicional de surrealismo e fantasia à história.

A espécie que ficou famosa no livro foi a *Amanita muscaria*, espécie descrita por Albertus Magnus no século XII. O termo "*muscaria*" é atribuído a esse fungo, devido à sua capacidade de atrair e matar moscas domésticas quando esmagado e misturado ao leite. Diz-se que até hoje, em áreas rurais da Romênia, a espécie é comumente colocada nos batentes das janelas para evitar a entrada de moscas.

Em regiões do nordeste da Ásia, povos primitivos adotaram o hábito de consumir esse fungo como uma forma de escapar dos longos e melancólicos dias de inverno. Relatos sugerem que o *Amanita muscaria* (fig. 1.2) pode induzir estados de euforia e alucinação, nos quais as pessoas podem gritar ou conversar com seres invisíveis.



Figura 1.2 - O *Amanita muscaria* é um cogumelo venenoso e psicoativo com aparência distintiva, com um chapéu (píleo) vermelho com inúmeros pontos brancos.

Propriedades mágicas - são efeitos alucinógenos causados pela presença de opióides em cogumelos ao serem ingeridos por humanos. Acredita-se que esses cogumelos possam induzir experiências transcendentais, visões e insights espirituais.

Um exemplo notável da estreita relação entre os seres humanos e os fungos foi a descoberta de um fóssil humano nos Alpes, que continha em sua bolsa um tipo de fungo capaz de produzir substâncias inflamáveis. Essa descoberta sugere que esses fungos eram utilizados para a obtenção de aquecimento.

A descoberta farmacêutica dos fungos remonta há muitos séculos. Culturas antigas, como os egípcios, gregos e chineses, já faziam uso de fungos para tratar uma variedade de doenças. No entanto, a descoberta científica e a exploração sistemática das propriedades farmacêuticas dos fungos começaram a se desenvolver somente a partir do século XX.

Um marco importante para a ciência foi a descoberta da penicilina por Alexander Fleming em 1928 (fig. 1.3). Fleming, um bacteriologista escocês, observou que uma colônia de bolor do gênero *Penicillium* (fig. 1.4) tinha inibido o crescimento de bactérias cultivadas em uma placa de Petri. Esse achado levou ao desenvolvimento da penicilina como o primeiro antibiótico eficaz contra uma ampla gama de infecções bacterianas.

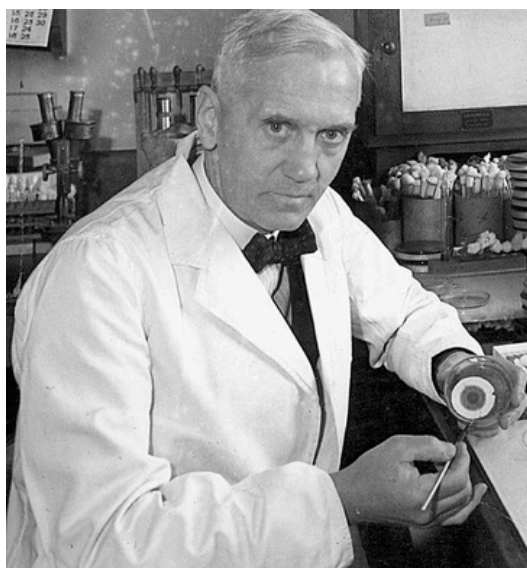


Figura 1.3 - Alexander Fleming foi um bacteriologista e farmacologista escocês famoso cuja descoberta revolucionou a medicina ao permitir o tratamento eficaz de infecções bacterianas, salvando milhões de vidas. Por sua contribuição, ele recebeu o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1945. Fleming é uma figura crucial no desenvolvimento da terapia antibiótica. Fonte: [google.com/images](https://www.google.com/images)

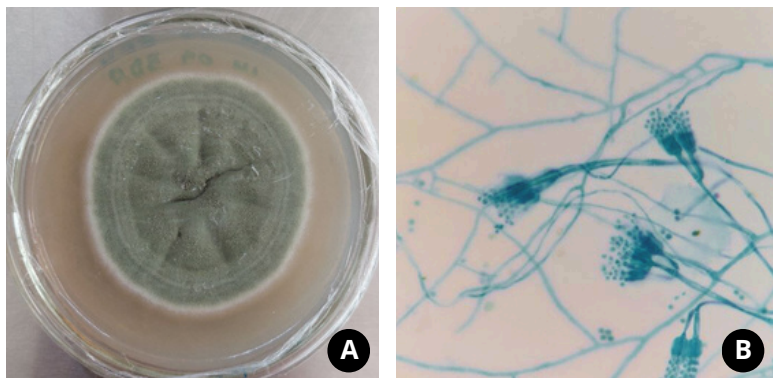


Figura 1.4 - O gênero *Penicillium* inclui várias espécies de fungos filamentosos, sendo o *Penicillium notatum* o mais conhecido por sua capacidade de produzir a penicilina. Imagem: A. colônia em BDA, isolada de solo coletado em Manaus, Amazonas; B. Estruturas reprodutivas (conidióforos) em lâmina corada com azul de lactofenol (400x).

Ao longo da história, os fungos têm despertado interesse na sociedade devido às suas características físicas, como cor, odor e formato, bem como às suas propriedades farmacológicas e usos culinários (fig. 1.5). Na região amazônica, não é diferente, e muitos povos indígenas, como os Yanomami, Tucano e Nambiquara, têm classificações específicas para algumas espécies de fungos, reconhecendo-os como comestíveis, não comestíveis, medicinais e até mesmo como protetores de magia. A rica diversidade de fungos na Amazônia desempenha um papel importante na cultura e na subsistência dessas comunidades, revelando a complexa relação entre os seres humanos e o Reino Fungi.



Figura 1.5 - Exemplos de aplicações para os fungos. A. teste de antibiograma; B. alimentação; C. micélios resistentes que podem ser utilizados como substitutos para o tijolo de concreto.



História da nossa gente

Quando pensamos na alimentação indígena, as primeiras coisas que lembramos são os peixes e a mandioca. Isso está tão arraigado na mente das pessoas, porque pouco se sabe sobre o potencial alimentício das florestas e sobre os costumes das comunidades que vivem mais afastadas dos grandes centros urbanos.

Uma fonte recente descreve ricamente essa cultura de cultivo e consumo alimentar de macrofungos dos povos originários do Brasil, é a *Enciclopédia dos Alimentos Yanomami: cogumelos*.

A obra está dividida em cinco capítulos, construída por indígenas e não indígenas de forma bilíngue.

As principais vantagens para a alimentação à base de cogumelos estão na rapidez do cultivo e na facilidade de encontrar essas espécies a maior parte do ano, embora

no período de chuva exista um crescimento maior.

O livro também dispõe de formas de cultivos, e de preparo para consumo de quinze espécies diferentes, além do valor nutricional de cada uma delas.

Por fim, os autores destacam que a obra não se direciona apenas a fazer uma divulgação científica sobre cogumelos comestíveis, mas também a dar destaque para esses traços da cultura dos povos nativos da Amazônia, e como o conhecimento tradicional pode contribuir para a sociedade atual.

Figura 1.6 - Os Cogumelos Sanõma são frutos do sistema agrícola praticado pelos Yanomami. Como caçadores e coletores, os Sanõma possuem um profundo conhecimento sobre a rica biodiversidade presente em seu território. Fonte: cogumeloyanomami.org.br.



Evolution [i:v]

process in whi

Capítulo 2

Evolução

Acredita-se atualmente, embora não haja certeza sobre o momento exato de sua origem na Terra, que os fungos evoluíram a partir de um grupo de organismos de organização simples, já eucariontes, há cerca de 1,5 bilhão de anos atrás. Nesse estágio inicial, eles eram unicelulares e aquáticos, com a capacidade de se locomoverem por meio de flagelos. Esses organismos, conhecidos como coanoflagelados, se dividiram em duas grandes linhagens, dando origem tanto aos animais, quanto aos fungos.

Durante a era Paleozoica cambriana, ocorreu o surgimento de várias espécies de cordados e peixes, seguido por uma explosão de diversidade de animais e algas marinhas. No período Siluriano, as primeiras plantas vasculares começaram a aparecer, juntamente com os prototaxites, uma espécie sobre a qual ainda não há consenso para classificação a nível de reino. O prototaxites não se assemelha a nenhum organismo existente hoje e é descrito como um possível líquen gigante, alcançando cerca de 22 metros de altura. No período Devoniano, com a colonização dos ambientes terrestres pelas plantas, observou-se o surgimento de micorrizas, uma relação entre fungos e plantas que continua até os dias atuais.

O período carbonífero foi marcado por uma abundância de fungos decompositores, mas que não tinham a habilidade de degradar a lignina, o que pode ter contribuído para o acúmulo de resíduos vegetais apenas parcialmente decompostos que, ao longo de milhares de anos foram sendo compactados, formando os depósitos de carvão e petróleo explorados atualmente.

A habilidade dos fungos de decompor matéria orgânica moldou as paisagens da Terra que conhecemos hoje (fig. 2.1, 2.2).

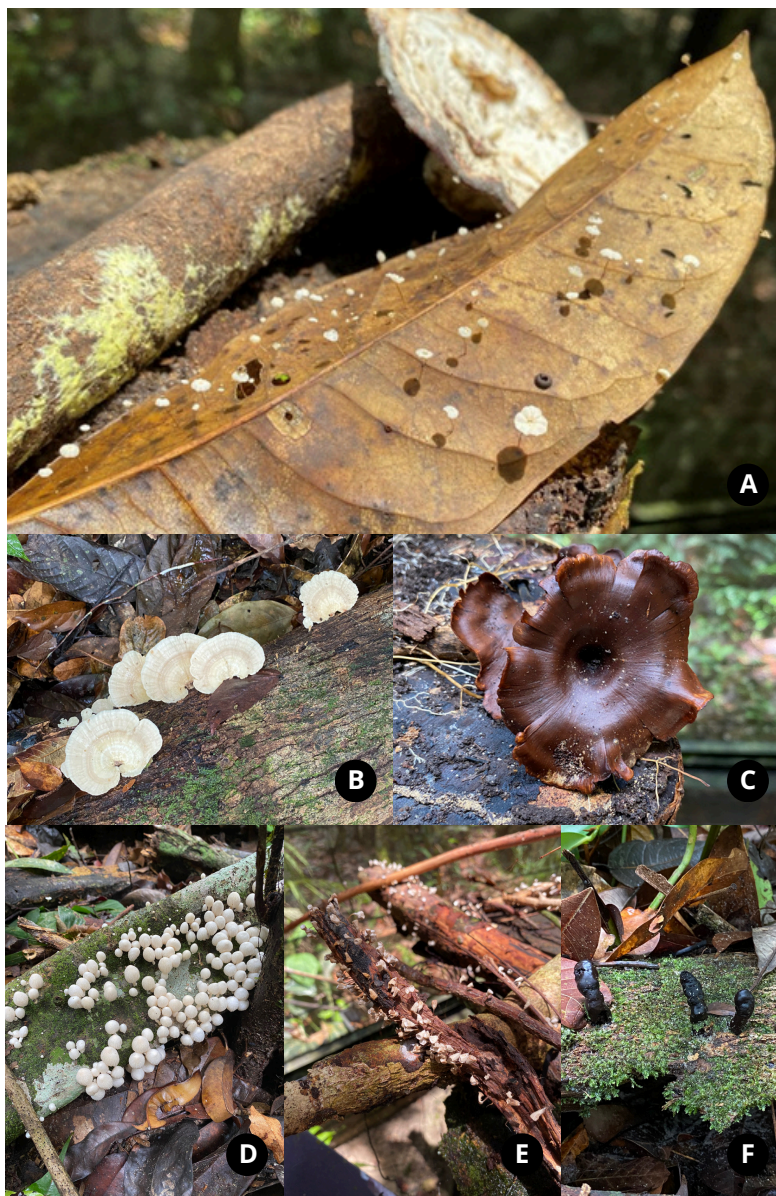


Figura 2.1 - Exemplos de fungos na natureza; A. *Marasmius guyanensis* crescendo em folha; B. espécie não identificada de orelha de pau; C. espécie não identificada de cogumelo; D. fungo do gênero *Coprinellus* sobre um tronco caído; E. fungo da espécie *Caripia montagnei* crescendo em galhos de árvore; F. fungo do gênero *Xilaria* crescendo em troncos com musgo. Todos foram registrados no Museu da Amazônia (MUSA, Manaus, 2021).

Tempo geológico e principais eventos evolutivos



Figura 2.2 - Esquema da evolução dos fungos na Terra, adaptado de Neves e Antero (2020).

Na Era Mesozoica, no período Jurássico, houve um aumento significativo de macrofungos, incluindo cogumelos e orelhas-de-pau, que começaram a fazer parte da paisagem. A imagem no início da unidade retrata um dos fósseis mais antigos de cogumelos da espécie *Gondwanagaricites magnificus*, pertencente ao período Cretáceo, encontrado no Brasil, e sob guarda da Micoteca URM da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Na Era Cenozoica, espécies de fungos foram evoluindo e ocupando diferentes nichos associados a todos os tipos de organismos.

As características que diferenciam os reinos Animalia e Fungi estão relacionadas à forma de nutrição, embora ambos sejam heterótrofos, pois os animais se alimentam por ingestão e os fungos se alimentam por absorção. O número cromossômico também difere na estrutura somática, em que os animais são diploides, enquanto por boa parte de seu ciclo de vida os fungos possuem células haploides e dicarióticas. Do ponto de vista filogenético, os fungos estão mais intimamente relacionados ao reino animal do que ao reino vegetal.

Embora hoje saibamos que os fungos não possuem muitas semelhanças com o Reino Plantae, por muito tempo acreditou-se que eles estavam mais próximos. Em 1935, Carlos Linnaeus (1707-1778) desenvolveu um sistema de classificação dos seres vivos, que tinha suas limitações e era baseado em informações imprecisas. Ele classificava os organismos em dois grandes grupos: plantas e animais. Os fungos eram considerados organismos "crípticos" porque eram frequentemente encontrados em ambientes úmidos, o que levou a classificá-los como plantas.

Em 1959, Robert Harding Whittaker (1920-1980) propôs uma nova classificação dos seres vivos, baseada nos modos de nutrição. Ele identificou três principais formas de nutrição: fotossíntese (conversão de energia luminosa em nutrientes), absorção (captação de nutrientes químicos dissolvidos em água) e ingestão

Evolução dos fungos

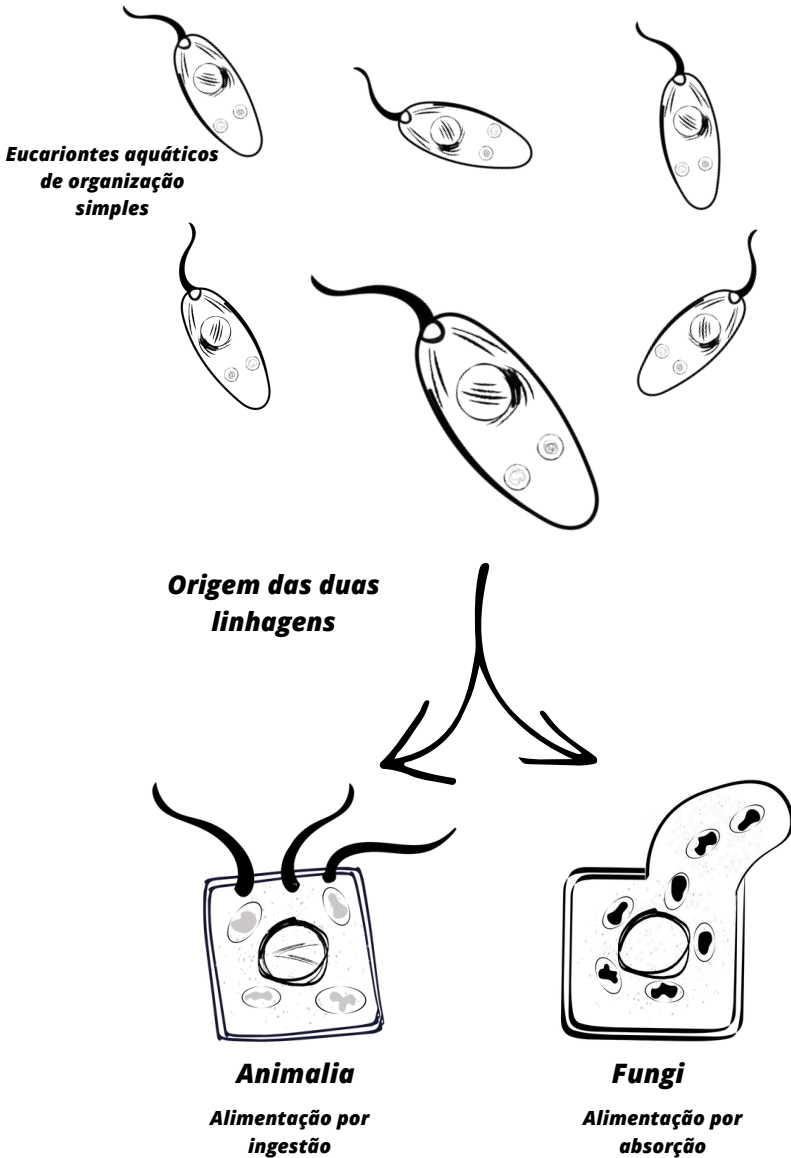


Figura 2.3 - A evolução a partir de organismos aquáticos unicelulares eucarióticos, equipados com flagelos e notavelmente semelhantes aos coanoflagelados, resultou no surgimento de duas linhagens distintas: uma que levou ao desenvolvimento dos animais, que se alimentam por meio da digestão, e outra que deu origem aos fungos, os quais se nutrem por absorção (Fonte: A autora, 2022)

(consumo de partículas de alimentos não dissolvidos). Whittaker foi responsável por classificar os seres vivos em cinco reinos: "Monera", considerado o reino mais primitivo, com nutrição exclusivamente por absorção; "Protista", que inclui organismos eucariontes com três grupos nutricionais: algas fotossintéticas, protozoários que se alimentam por ingestão e fungos inferiores que se nutrem por absorção; "Plantae", plantas verdes fotossintéticas e algas superiores; "Animalia", organismos que se alimentam por ingestão; e "Fungi", organismos com parede celular que não possuem pigmentos fotossintéticos e se alimentam por absorção.

Após o estudo do ácido ribonucleico ribossômico (rRNA), Carl Woese (1928-2012) descobriu que diferentes grupos de organismos apresentavam diferenças no arranjo ou sequência de seus nucleotídeos de rRNA. Em 1977, Woese descreveu que existem dois principais tipos de bactérias: arqueobactérias e eubactérias, que possuem características tão distintas entre si quanto em relação aos organismos eucariontes (fig. 2.4).

Classificação dos Seres Vivos

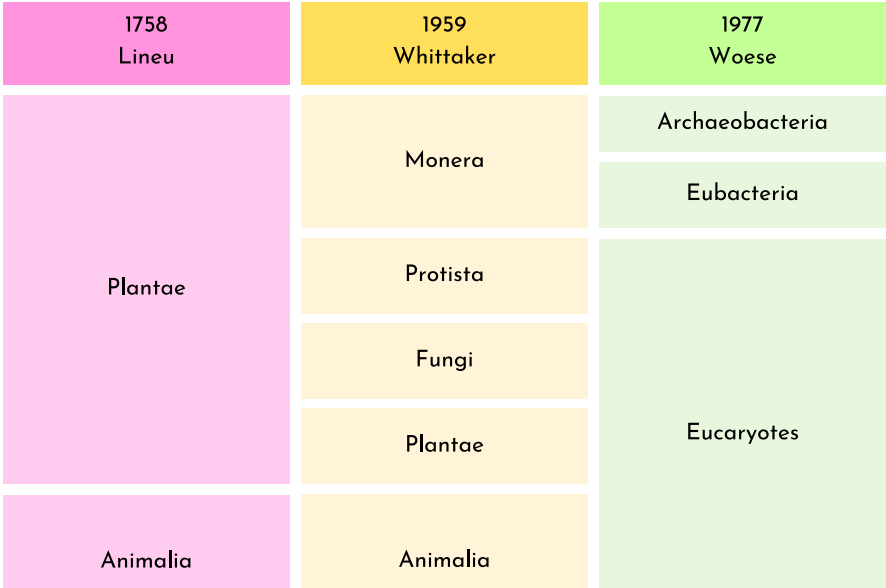


Figura 2.4 - Modelos de classificação dos seres vivos, de Lineu a Woese. Fonte: a autora.

Capítulo 3

Filogenia dos fungos

Os fungos são organismos eucariontes que apresentam uma série de características distintas. Eles possuem parede celular composta principalmente por quitina, diferenciando-se das plantas e animais. Ao contrário das plantas, os fungos não possuem clorofila, o que os torna incapazes de realizar fotossíntese. Eles são heterótrofos, obtendo nutrientes por meio da absorção de matéria orgânica do ambiente.

Eles podem existir tanto na forma unicelular quanto na forma multicelular, com muitas espécies desenvolvendo estruturas especializadas chamadas hifas, que são filamentos tubulares que formam uma massa chamada de micélio. O micélio cresce e se torna visível, podendo produzir estruturas reprodutivas sexuadas como é o caso dos cogumelos e orelhas-de-pau.

A aplicabilidade dos fungos é extremamente diversificada. Eles desempenham um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica, auxiliando na reciclagem de nutrientes no ecossistema. Além disso, muitas espécies de fungos têm propriedades



Animais

Fungos

Algas

Protozoários

farmacêuticas importantes e são utilizadas na produção de antibióticos, como a penicilina. No entanto, alguns fungos também podem ser patogênicos, causando doenças em humanos, animais e plantas.

Do ponto de vista filogenético, os fungos têm origem em organismos aquáticos unicelulares simples, semelhantes aos coanoflagelados que conhecemos hoje. Esses ancestrais aquáticos evoluíram ao longo do tempo para se adaptarem a uma variedade de habitats, incluindo ambientes terrestres e aquáticos, resultando na grande diversidade de fungos que encontramos atualmente.

Dentro do reino dos fungos, existem diversos filos que apresentam características distintas e desempenham papéis importantes nos ecossistemas (fig. 3.1). São esses:

- O filo Chytridiomycota é composto principalmente por fungos aquáticos, muitos dos quais possuem flagelos em algum estágio do seu ciclo de vida. Podem ser unicelulares ou multicelulares e podem viver tanto como decompositores, quanto como parasitas.
- No filo Zygomycota, observa-se a transição para o ambiente terrestre. Esses fungos perderam os flagelos e desenvolveram estruturas reprodutivas chamadas zigósporos. São geralmente multicelulares e desempenham funções como decompositores ou parasitas.
- O filo Glomeromycota é composto por fungos simbiotes que estão obrigatoriamente associados às raízes das plantas. Eles estabelecem uma relação mutualística com os vegetais, desempenhando um papel essencial na absorção de nutrientes e no crescimento das plantas.
- No filo Ascomycota, registra-se a evolução do corpo de frutificação e do micélio vegetativo. O corpo de frutificação permite a produção e dispersão de esporos em uma área maior. Os fungos desse filo podem ter uma vida livre ou estabelecer simbiose com outros organismos.

- Por fim, tem-se o filo Basidiomycota, que inclui os famosos cogumelos e orelhas-de-pau. Esses fungos desenvolvem estruturas reprodutivas elaboradas chamadas basídios, que produzem basidiósporos. São amplamente conhecidos pela diversidade de formas e são importantes decompositores no ecossistema.

Cada um desses filios desempenha um papel fundamental na Terra, contribuindo para a reciclagem de nutrientes e para a saúde dos ecossistemas. A compreensão da diversidade e das características evolutivas dos fungos nos permite apreciar sua importância ecológica e seu impacto na natureza.

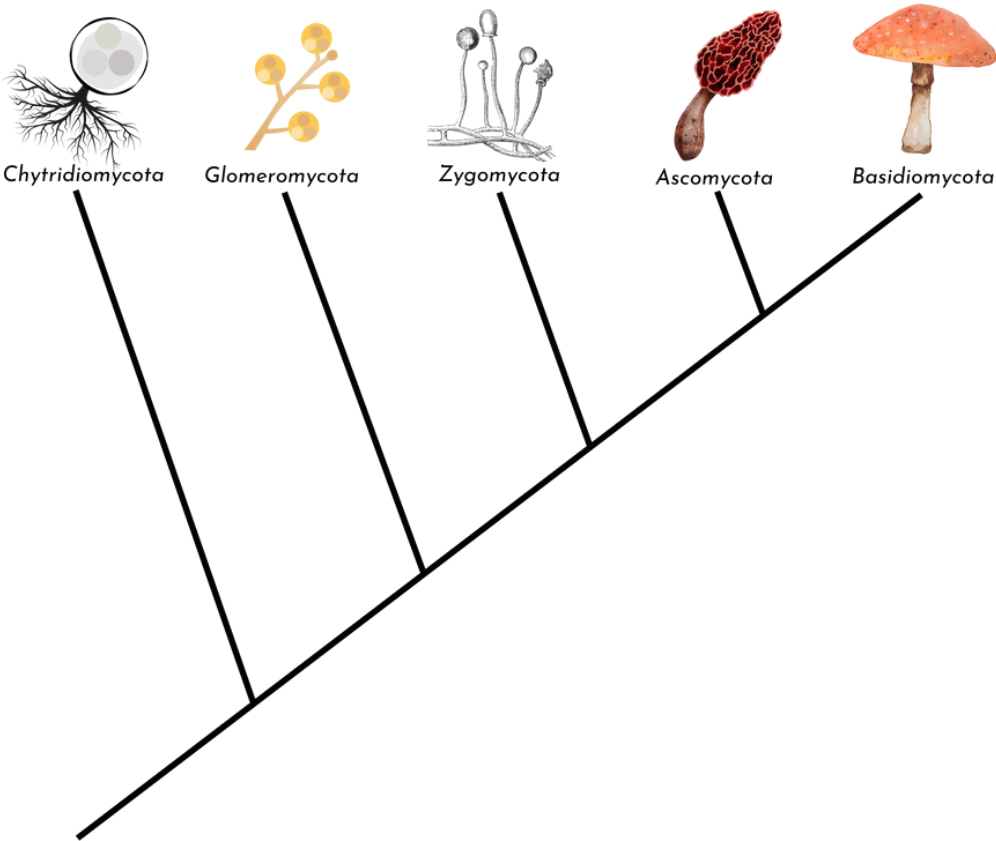


Figura 3.1 - Cladograma simplificado da filogenia de fungos. Fonte: a autora.



Capítulo 4

Relações ecológicas

Estudar Ecologia é essencial para compreender as interações entre os organismos e como eles se relacionam com o ambiente físico. Os fungos desempenham papéis vitais em uma infinidade de ecossistemas, contri-buindo para o equilíbrio dinâmico da natureza. Essas relações são fun-damentais para entender a diversidade da vida e a complexidade dos ecossistemas.

Em primeiro lugar, tem-se o mutualismo, uma interação em que tanto o fungo quanto o outro organismo se beneficiam e dependem um do outro. Essa associação simbiótica é essencial para a sobrevivência e o funcionamento de ambos os participantes.

É importante destacar que as interações ecológicas podem ser complexas e variar em diferentes contextos. Os fungos desempenham papéis-chave na decomposição de matéria orgânica (fig. 4.1), na ciclagem de nutrientes e na formação de associações simbióticas benéficas com plantas e outros organismos.



Figura 4.1 - Orelha-de-pau encontrado no MUSA, Manaus - AM.

Por outro lado, existem as relações de parasitismo e predação. No parasitismo, o fungo se beneficia em detrimento do outro organismo, que é adversamente afetado. Essa interação geralmente é mais específica e íntima, com o parasita dependendo de um único hospedeiro durante seu ciclo de vida. Na predação, vários indivíduos da espécie afetada são sacrificados como alimento para os predadores fúngicos.

Ao compreender e estudar as diversas interações que os fungos estabelecem com outros seres vivos, ampliamos nosso conhecimento sobre a ecologia e o funcionamento dos ecossistemas.

4.1 Líquens

Os líquens são organismos versáteis que podem ser encontrados em uma variedade de ambientes, como troncos de árvores, muros, rochas, solos desnudos e até mesmo em estruturas como madeira morta, ossos de animais, telhas de cerâmica e metais enferrujados. Eles têm a capacidade única de se adaptar a condições ambientais extremas, suportando variações de temperatura, alta radiação solar e dessecação. Essas características tornam os líquens organismos extremófilos, capazes de sobreviver em locais que muitos outros não conseguiriam.

A associação entre um fungo e uma alga ou cianobactéria é o que constitui um líquen (fig. 4.2). O fungo desempenha um papel fundamental na determinação da forma e aparência do líquen, enquanto a alga ou cianobactéria fornece suprimento alimentar na forma de carbono por meio da fotossíntese. Essa associação mutualista pode envolver os três organismos juntos, resultando em uma parceria simbiótica complexa.

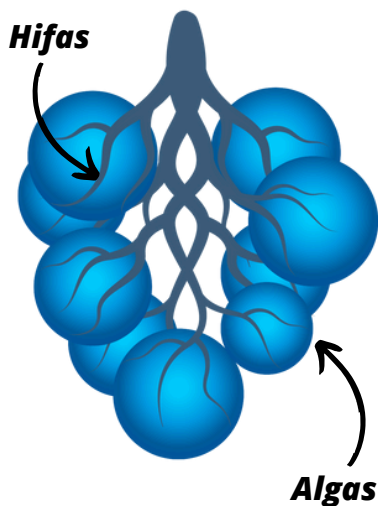


Figura 4.2 - Esquema de representação dos líquens, associação de algas e fungos. Fonte: As autoras.

Existem centenas de gêneros de fungos que vivem em mutualismo com algas e cianobactérias, sendo a maioria deles pertencente aos Ascomicetos. Os líquens são reconhecidos por sua longevidade e crescimento lento, podendo viver por milhares de anos. Sua reprodução ocorre principalmente por meio de propágulos, pequenos fragmentos dispersos pelo ar, e tanto a reprodução assexuada quanto a sexuada podem ocorrer, com o fungo controlando o processo.



Figura 4.3 - Líquens encontrados em árvores de ambientes florestais. Fonte: Canva.

Além de sua importância ecológica, os líquens desempenham papéis essenciais na natureza. Eles absorvem água do ambiente rapidamente e podem ser indicadores de poluição, pois são sensíveis a substâncias tóxicas, como o dióxido de enxofre. Sua presença em diferentes ecossistemas contribui para a formação de solos, desgaste de rochas e ciclagem de nutrientes. Os líquens também são utilizados por muitos povos devido à sua capacidade de sintetizar diversas substâncias, utilizadas para tingimento de objetos, fabricação de fármacos antibacterianos e antivirais, entre outros usos.

4.2 Micorrizas

A micorriza é um tipo de simbiose mutualista entre fungos e raízes de plantas, resultado de um longo processo evolutivo. Fósseis de quatrocentos milhões de anos mostram a presença de estruturas fúngicas nas raízes das plantas pioneiras do meio terrestre.

Atualmente, cerca de 90% das espécies de plantas dependem das micorrizas para um crescimento saudável. Esse tipo de interação desempenha um papel crucial na conquista do ambiente terrestre pelas plantas. Inicialmente, as plantas tinham raízes pouco desenvolvidas para a absorção de água e nutrientes do solo, mas possuíam a capacidade de fotossintetizar e produzir seu próprio alimento a partir da luz solar.

Assim, os fungos micorrízicos começaram a viver nas raízes das plantas (fig. 4.4), aumentando sua capacidade de exploração do solo. Essa associação resultou em uma maior absorção de água e nutrientes, como fosfato, nitrato, cobre e manganês. Em troca, as plantas fornecem carbono aos fungos. As plantas com micorrizas se desenvolvem melhor em solos salinos, excessivamente ácidos e instáveis, como em dunas. Existem dois grupos principais de micorrizas: endomicorrizas e ectomicorrizas.

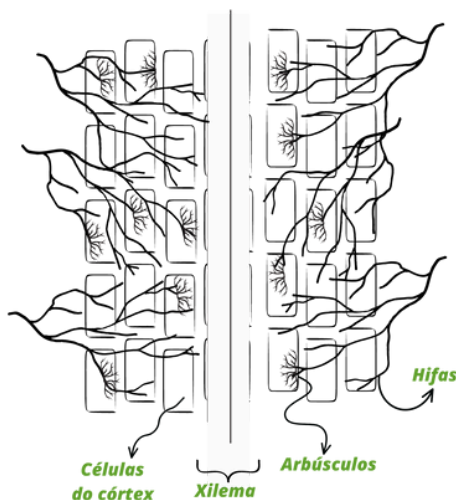


Figura 4.4 - Exemplo de como as endomicorrizas crescem em conjunto com as raízes das plantas. Fonte: As autoras.

Além disso, há outros tipos de micorrizas presentes em plantas específicas, como Ericales, monótroas e orquídeas. Nas endomicorrizas, os fungos penetram nas células externas da raiz, enquanto nas ectomicorrizas eles envolvem as células externas, mas não penetram. As endomicorrizas são mais comuns, ocorrendo em cerca de 300.000 espécies de plantas, enquanto as ectomicorrizas são encontradas em apenas cerca de 2.000 espécies de plantas florestais.

O estudo das micorrizas levou ao desenvolvimento de aplicações na agricultura para promover o crescimento e desenvolvimento de plantas economicamente importantes. Além das micorrizas, existem os fungos endofíticos, que se alojam principalmente nas partes aéreas das plantas e crescem dentro do tecido vegetal. Esses fungos não são mutualistas, mas estabelecem uma relação de cooperação com as plantas, beneficiando-as em nutrição, proteção e disseminação.

As formigas-cortadeiras também estabelecem uma relação mutualista com os fungos (fig. 4.5). Elas cultivam fungos em seus ninhos, alimentando-os com folhas cortadas, e em troca as formigas se alimentam dos fungos. Além disso, as formigas produzem substâncias que eliminam fungos indesejáveis. Essa relação mutualista entre formigas e fungos evoluiu ao longo de milhões de anos e resultou em mudanças mútuas benéficas para ambas as espécies. Outros animais, como cupins e besouros, também se associam a fungos para obter benefícios.

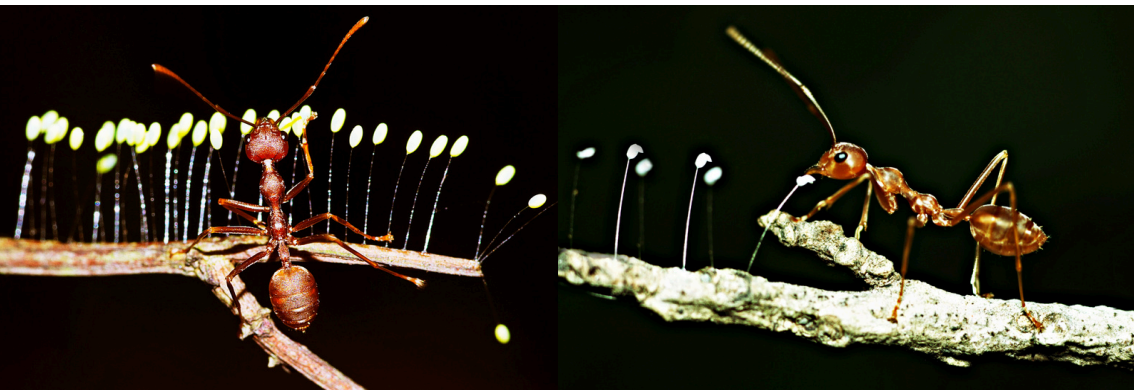


Figura 4.5 - Formigas cultivando fungos em suas colônias, um exemplo notável de simbiose e agricultura de insetos. Fonte: Canva.

4.4 Parasitismo

No início deste capítulo, foi apresentado o conceito de parasitismo, uma relação em que uma espécie é beneficiada enquanto a outra sofre algum tipo de prejuízo. Existem diversos fungos que se enquadram nessa interação parasítica, causando doenças que podem levar à morte dos hospedeiros. Esses fungos são conhecidos como agentes patogênicos, responsáveis por causar doenças em várias espécies de plantas, animais domésticos e até mesmo animais selvagens e gente.

Animais de estimação e animais de criação, como gatos, cães, aves, equinos, bovinos e caprinos, assim como animais selvagens, como tatus, morcegos e roedores, podem ser vítimas desses fungos patogênicos. Além disso, muitas vezes, esses animais doentes podem transmitir doenças para os seres humanos. Por exemplo, a "tinha" é uma doença fúngica que pode infectar a pele e os pelos, inclusive em humanos.



Esporotricose

A esporotricose é uma infecção fúngica causada pelo *Sporothrix schenckii*, que ocorre naturalmente no solo, palha, vegetais, espinhos e madeira. Anteriormente, a doença era comum em jardineiros, agricultores e pessoas em contato com plantas e solo em ambientes naturais contendo o fungo em materiais orgânicos.

A transmissão ocorre pelo contato direto do fungo com a pele ou mucosas através de acidentes com espinhos, palha, lascas de madeira, contato com vegetais em decomposição, arranhões ou mordidas de animais doentes, principalmente gatos.



Fonte: Canva.

Os sintomas variam dependendo da forma de manifestação da doença, seja cutânea (afetando a pele) ou extracutânea

(afetando órgãos internos). Após a contaminação da pele pelo fungo, uma lesão inicial semelhante a uma picada de inseto se desenvolve.

O período de incubação varia de uma semana a um mês, podendo chegar a seis meses após a entrada do fungo no organismo.

Nos felinos, os sintomas mais comuns são feridas profundas na pele, geralmente com pus, que não cicatrizam e tendem a se espalhar rapidamente, além de espirros frequentes.



Fonte: Canva.

A esporotricose não é considerada uma doença grave e tem cura tanto em humanos quanto em animais. O tratamento deve ser iniciado rapidamente após avaliação clínica e acompanhamento médico, e sua duração pode variar de três a seis meses, ou até um ano, para a cura completa.

A principal medida de prevenção e controle é evitar a exposição direta ao fungo. É recomendado o uso de luvas e roupas de mangas longas ao manusear materiais provenientes do solo e plantas, além do uso de calçados adequados em atividades rurais e de jardinagem. Uma boa higienização do ambiente ajuda a reduzir a dispersão de fungos e, conseqüentemente, novas infecções.

Fonte: OMS - Organização Mundial da Saúde - Esporotricose Humana.

É importante estar atento aos sinais de doença em nossos animais, como cansaço, sonolência, falta de apetite e alterações na pele e pelos. Ao detectar esses sinais, é recomendado isolá-los e levá-los ao veterinário para um diagnóstico e tratamento adequado. Para prevenir a infecção por fungos e outros microorganismos, é essencial alimentar os animais adequadamente e mantê-los em um ambiente limpo e arejado.

Os seres humanos também podem ser afetados por doenças fúngicas, algumas das quais podem ser apenas incômodas,

enquanto outras podem ser graves e até mesmo fatais. Os fungos patogênicos desempenham um papel importante na regulação das populações, evitando o crescimento excessivo de certas espécies. No entanto, em situações de desequilíbrio ambiental causadas principalmente pela interferência humana, as populações de patógenos e hospedeiros podem entrar em um desequilíbrio, resultando em um declínio acentuado de algumas espécies, como os anfíbios.



Figura 4.6 - Insetos infectados por fungo zumbi, uma demonstração impressionante de parasitismo e controle da vida selvagem (a, b, c e d). Fonte: Canva.

As populações de insetos podem ser alvo de ataques por fungos entomófagos, resultando em altos índices de mortalidade, o que é conhecido como epizootia. Um exemplo disso foi registrado em uma região de Manaus, onde a população de uma espécie de formiga do gênero *Camponotus* foi dizimada pelo fungo *Cordyceps unilateralis*. Além disso, fungos do gênero *Cordyceps* têm a capacidade de se hospedar em outros insetos, como dípteros. Esses fungos entomófagos penetram no corpo do inseto através do tegumento e se proliferam nos tecidos internos. Em seguida, muitos deles emitem estruturas de reprodução chamadas conidióforos para fora do corpo do animal.

O controle biológico é uma estratégia que utiliza microrganismos, como vírus, bactérias e fungos, para controlar populações de organismos indesejáveis, reduzindo ou substituindo o uso de produtos químicos prejudiciais ao meio ambiente. Essa abordagem tem vantagens, como a especificidade de ação, a redução de resíduos no ambiente e a ação prolongada. Existem fungos parasitas que podem ser utilizados no controle biológico de insetos e plantas, diminuindo as populações indesejáveis.

No entanto, para que o controle biológico seja efetivo, são necessários investimentos em pesquisas para entender melhor a biologia e ecologia dos organismos envolvidos, além de uma mudança de mentalidade dos produtores rurais, que muitas vezes priorizam resultados imediatos. O controle biológico é uma técnica viável economicamente, benéfica para o ambiente e sua aplicação pode ser expandida com o apoio governamental e jurídico adequado.

4.5 Predação

Quando se pensa em fungos, normalmente os imaginamos como organismos inertes, com crescimento de hifas quase imperceptível, que penetram lentamente no substrato, secretando enzimas e toxinas para obter nutrientes. Surpreendentemente, alguns desses fungos são predadores altamente eficientes, capazes de capturar e matar suas presas para se alimentar. As vítimas são pequenos animais que habitam o solo e representam uma excelente fonte de proteína para mais de 150 espécies de fungos predadores. Para adquirir essa habilidade, ao longo da evolução, eles desenvolveram características que lhes permitem realizar essa façanha. Os mecanismos utilizados por esses fungos são diversos e engenhosos.

Um dos mecanismos mais sofisticados de predação empregados pelos fungos é a produção de "anéis de constrição". Esses anéis funcionam como armadilhas e são formados por hifas compostas por três células (fig. 4.7).

Quando estimuladas pela passagem de um nematódeo, que é a presa do fungo, essas células aumentam de tamanho em uma fração de segundo, aprisionando o verme e digerindo-o em seguida. Essas células possuem alta pressão de turgor, o que significa que têm grande capacidade de absorção de água devido à concentração de certas substâncias em seu interior.

Esse processo, no entanto, não ocorre o tempo todo, pois a parede celular, uma estrutura rígida que envolve a membrana da célula, impede a absorção de água e a expansão das células. No entanto, na porção central dessas células, existem duas linhas de fraqueza que, ao serem tocadas pelo nematódeo, se rompem, fazendo com que a parede celular se abra e permitindo a entrada de água nas células. Isso faz com que elas aumentem de volume, aprisionando e esmagando o nematódeo. A maioria dos fungos predadores são nematófagos e apresentam um grande potencial para o controle biológico desses animais.

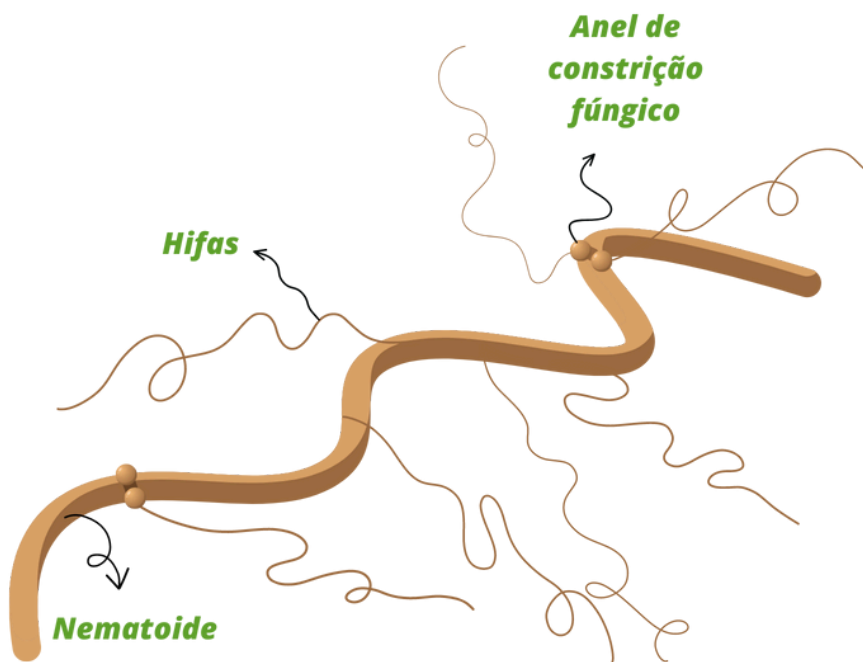


Figura 4.7 - Fungos agindo sobre nematoides, um exemplo de interações na escala microscópica da natureza. Fonte: As autoras.

As helmintoses, doenças causadas por nematoides, causam prejuízos significativos à pecuária, reduzindo a produtividade do rebanho e resultando em atraso no desenvolvimento e até mesmo morte dos animais. O uso de medicamentos anti-helmínticos é prejudicial, pois os nematoides desenvolvem resistência a essas substâncias. Isso implica o aumento das doses aplicadas e o desenvolvimento de novos anti-helmínticos aos quais os nematoides ainda não tenham resistência. Além disso, esses produtos também contaminam o meio ambiente e se acumulam no leite e na carne dos animais, prejudicando os consumidores.

Diante desses problemas, o controle biológico com fungos nematófagos tem se mostrado uma alternativa muito promissora. É o caso dos fungos do gênero *Monacrosporium*, que têm eficácia comprovada no combate a nematoides parasitas de bovinos, caprinos e equinos, e até mesmo contra nematoides de vida livre. Experimentos demonstraram que bovinos tratados com o fungo *M. sinense* tiveram uma redução de cerca de 70% no número de larvas dos nematoides *Cooperia* spp. e *Haemonchus* spp. Esses resultados comprovam a eficácia dos fungos predadores no controle de espécies que causam prejuízos ao homem. Assim, mais uma vez é desmistificada a ideia amplamente difundida de que os fungos são apenas causadores de malefícios.

4.6 Saprofitismo

Os fungos desempenham um papel ecológico crucial como agentes decompositores na natureza (fig. 4.8). Esses fungos, conhecidos como sapróbios ou saprófitas, transformam os cadáveres de plantas, animais e materiais de excreção em nutrientes que podem ser reutilizados pelos seres vivos.

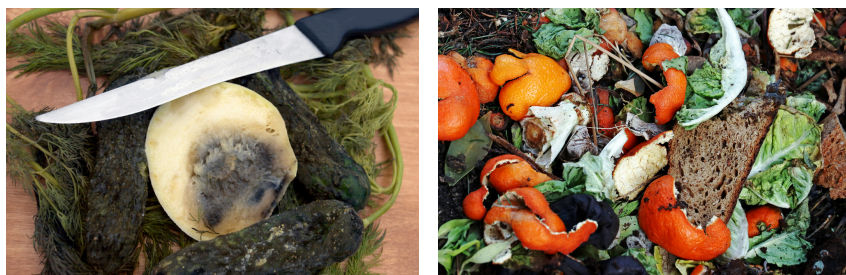


Figura 4.8 - Exemplo de produtos para consumo em decomposição (a) e resíduos para descarte em decomposição (b). Fonte: Canva.

Com as bactérias, eles são os principais de-compositores de matéria orgânica na natureza. A decomposição desempenha um papel fundamental na teia alimentar, que envolve produtores, consumidores e decompositores. Os decompositores, incluindo os fungos sapróbios, são essenciais para o reaproveitamento de materiais na teia alimentar.

Embora os fungos desempenhem um papel essencial na natureza, eles também podem causar problemas em ambientes humanos. Produtos como tecidos, couro e objetos de madeira podem servir como substratos para fungos decompositores, causando danos em construções e contaminação de alimentos. No entanto, os fungos são adaptados a ambientes úmidos e quentes, e métodos como refrigeração, salga, desidratação, congelamento, fervura, irradiação, pasteurização e embalagens a vácuo atrasam seu crescimento.

Apesar de alguns inconvenientes, os benefícios trazidos pela ação decompositora dos fungos na natureza são extremamente relevantes. Eles desempenham um papel vital na ciclagem de nutrientes, permitindo a reutilização dos elementos químicos presentes na Terra desde os primórdios. Em ecossistemas florestais, os fungos desempenham um papel particularmente importante na decomposição da madeira, degradando a celulose e a lignina. Existem fungos especializados na degradação de lignina (decomposição branca) e outros na degradação de celulose (decomposição marrom).

Além disso, alguns fungos são coprófilos, habitando e se alimentando de fezes de animais (fig. 4.9). Suas estruturas reprodutivas (esporos) são dispersas pela vegetação e, ao serem ingeridas por animais herbívoros, passam pelo sistema digestivo e são eliminadas juntamente com as fezes. Nos substratos fecais, os esporos germinam, os fungos se desenvolvem e produzem corpos de frutificação, liberando novos esporos e reiniciando o ciclo.

Ciclo de vida de fungos coprófilos

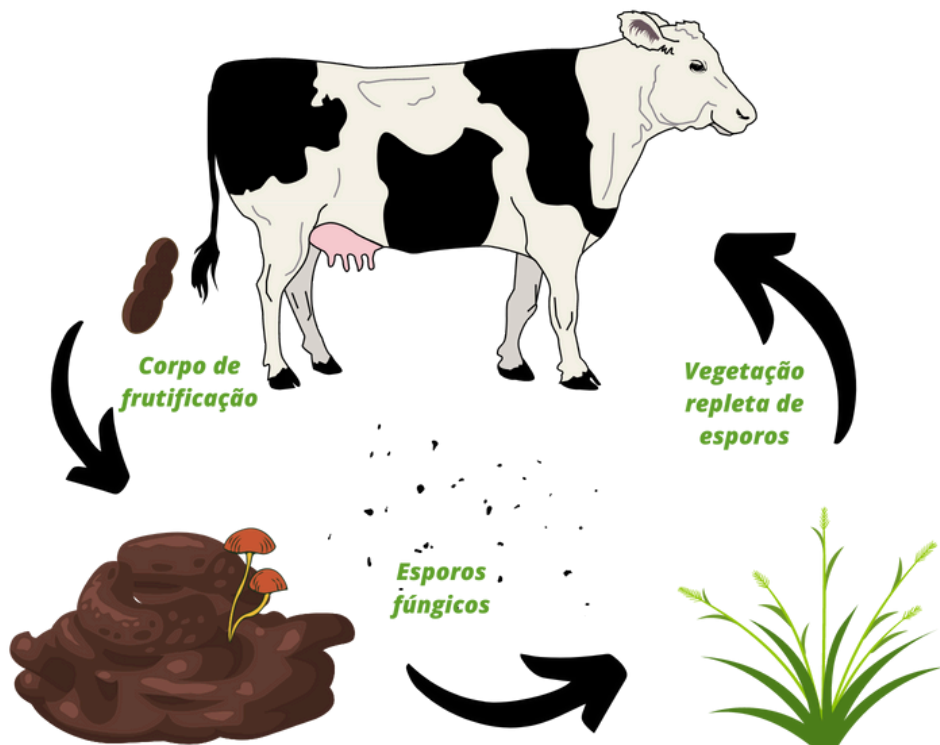


Figura 4.9 - Ciclo de vida de fungos coprófilos desde a colonização de matéria fecal até a liberação de esporos. Fonte: As autoras.

Os fungos decompositores de celulose e lignina também desempenham um papel importante nos ecossistemas aquáticos. Eles atuam na decomposição de folhas que caem na água, tornando-as acessíveis como alimento para organismos aquáticos. Fungos como os Chitridiomicetos alteram a estrutura complexa das folhas, permitindo que outros organismos as utilizem como fonte de energia.

Em resumo, os fungos decompositores têm um papel vital na reciclagem de nutrientes na natureza. Apesar de poderem causar transtornos em ambientes humanos, seus benefícios são essenciais para a manutenção dos ecossistemas e a sustentabilidade do planeta.



Questões para estudo

1. Qual foi o período histórico em que os primeiros registros de fungos surgiram nos tempos dos faraós?

- a) Paleozoico
- b) Mesozoico
- c) Jurássico
- d) Carbonífero

2. Qual era a designação dos cogumelos nos tempos dos faraós?

- a) Plantas da imortalidade
- b) Plantas sagradas
- c) Plantas medicinais
- d) Plantas alucinógenas

3. De acordo com alguns autores, de onde se acredita que a origem da palavra "micologia" tenha surgido?

- a) Cidade de Mycenae
- b) Lenda de Perseu
- c) Civilização egípcia
- d) Oráculo de Argos

4. Qual espécie de cogumelo ficou famosa no livro "Alice no País das Maravilhas"?

- a) *Amanita muscaria*
- b) *Amanita phalloides*
- c) *Psilocybe cubensis*
- d) *Boletus edulis*

5. Qual era a propriedade mágica atribuída aos cogumelos no livro "Alice no País das Maravilhas"?

- a) Capa de invisibilidade
- b) Poder de cura
- c) Capacidade de voar
- d) Efeito alucinógeno

6. Qual é o nome científico da espécie de cogumelo descrita por Albertus Magnus no século XII?

- a) *Amanita muscaria*
- b) *Amanita phalloides*
- c) *Psilocybe cubensis*
- d) *Boletus edulis*

7. Qual é a habilidade do fungo *Amanita muscaria* mencionada no texto?

- a) Atrair e matar moscas domésticas
- b) Produzir substâncias inflamáveis
- c) Induzir estados de euforia
- d) Ser utilizado para obter energia e vigor

8. Em que região do mundo povos primitivos adotaram o hábito de consumir o *Amanita muscaria* como forma de escapar dos longos e melancólicos dias de inverno?

- a) Nordeste da Ásia
- b) Região amazônica
- c) Escandinávia
- d) Romênia

9. Qual foi a descoberta farmacêutica dos fungos mais importante do século XX?

- a) Antibióticos
- b) Antidepressivos
- c) Analgésicos
- d) Anti-inflamatórios

10. Qual foi o primeiro antibiótico eficaz contra uma ampla gama de infecções bacterianas?

- a) Penicilina



Questões para estudo

- b) Estreptomicina
- c) Tetraciclina
- d) Cefalosporina

11. Qual é o papel dos fungos na decomposição da matéria orgânica?

- a) Reciclagem de nutrientes
- b) Produção de alimentos
- c) Polinização de plantas
- d) Síntese de oxigênio

12. Como os fungos se alimentam?

- a) Por ingestão
- b) Por fotossíntese
- c) Por absorção
- d) Por respiração

13. Qual é a principal diferença estrutural entre os fungos e as plantas?

- a) Presença de clorofila
- b) Presença de parede celular de quitina
- c) Presença de tecidos vasculares
- d) Presença de sementes

14. Qual foi o sistema de classificação utilizado inicialmente por Carlos Linnaeus para os fungos?

- a) Reino Fungi
- b) Reino Plantae
- c) Reino Protista
- d) Reino Animalia

15. Qual foi a contribuição de Robert Harding Whittaker para a classificação dos seres vivos?

- a) Propôs a classificação em cinco reinos
- b) Propôs a classificação em três domínios
- c) Propôs a classificação em sete filos
- d) Propôs a classificação em duas superclasses

16. O que Carl Woese descobriu em relação aos diferentes grupos de organismos?

- a) Identificou a existência de seres vivos extraterrestres
- b) Identificou a existência de bactérias resistentes a antibióticos
- c) Identificou a existência de arqueobactérias
- d) Identificou a existência de fungos parasitas

17. Como os fungos obtêm nutrientes?

- a) Por fotossíntese
- b) Por ingestão
- c) Por absorção
- d) Por respiração

18. Qual é a importância dos fungos na cadeia alimentar?

- a) Produtores primários
- b) Consumidores primários
- c) Consumidores secundários
- d) Decompositores

19. Quais são as principais estruturas do corpo dos fungos?

- a) Raízes, caule e folhas
- b) Pétalas, estames e pistilos
- c) Hifas, micélio e esporos
- d) Capa, estipe e lâminas

20. Qual é o filo que inclui os cogumelos e orelhas-de-pau?

- a) Ascomycota
- b) Basidiomycota
- c) Zygomycota
- d) Glomeromycota

Unidade 2

A caracterização dos filos



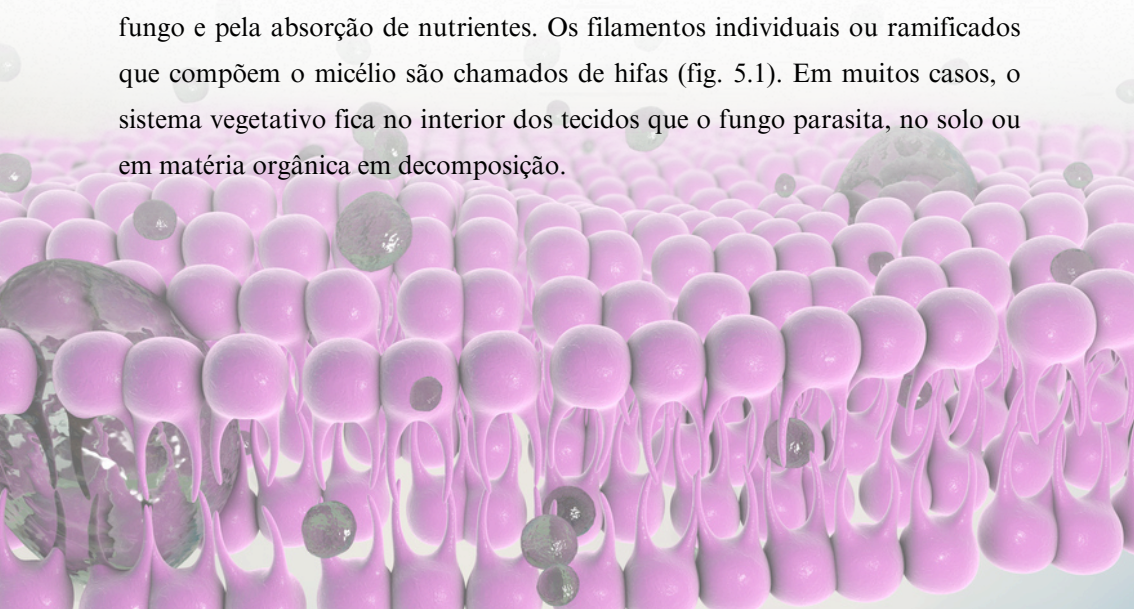


Capítulo 5

Citologia de fungos

Os fungos são organismos eucariontes, podendo ser unicelulares (leveduras) ou multicelulares (filamentosos). Eles são geralmente haploides, podendo ser homotáticos ou heterotáticos, e possuem uma parede celular contendo quitina e β -glucano. Ao contrário das plantas, não têm plastos nem pigmentos fotossintéticos.

A maioria dos fungos se reproduz a partir de esporos (reprodução sexuada) ou conídios (reprodução assexuada), que podem ser comparados às sementes das plantas superiores, embora não sejam morfologicamente semelhantes a elas. Para germinar, os esporos ou conídios requerem calor e umidade, resultando na formação de finos filamentos chamados de tubos germinativos. Esses tubos se ramificam, formando uma massa filamentosa conhecida como micélio, que constitui o sistema vegetativo responsável pelo crescimento do fungo e pela absorção de nutrientes. Os filamentos individuais ou ramificados que compõem o micélio são chamados de hifas (fig. 5.1). Em muitos casos, o sistema vegetativo fica no interior dos tecidos que o fungo parasita, no solo ou em matéria orgânica em decomposição.



Quando os esporos ou conídios estão prontos para serem dispersos, ocorre uma diferenciação nas hifas vegetativas, que se projetam verticalmente acima do micélio. Essa estrutura é conhecida como esporóforo (no caso de esporos) ou conidióforo (no caso de conídios), e é sobre eles que os esporos ou conídios se formam. As hifas podem ser cenocíticas (sem septos), apocíticas (com septos), unicarióticas (um núcleo por septo) ou multicarióticas (mais de um núcleo por septo).



Figura 5.1 - Esquema apresentando as variações e tipos de hifas. Fonte: As autoras.

O ciclo de vida dos fungos compreende duas fases principais: uma somática, dedicada às atividades nutricionais, e outra reprodutiva, na qual os fungos podem se reproduzir sexual ou assexualmente. Em ambos os casos, uma variedade de estruturas pode ser formada, dependendo da espécie. Estruturas assexuadas, assim como sexuais, podem ser formadas individualmente ou em grupos, neste último caso, resultando na formação de corpos de frutificação.

Portanto, com base no tipo de reprodução que realizam, os fungos podem ser divididos em três grupos:

1. **Holomorfo:** Este grupo engloba fungos que passam por ambas as formas de reprodução em seu ciclo de vida, ou seja, reprodução sexuada e assexuada.
2. **Anamorfo:** São fungos que, em seu ciclo de vida, realizam apenas a reprodução assexuada.
3. **Teleomorfo:** Esses fungos, em seu ciclo de vida, realizam apenas a reprodução sexuada.

Essa classificação é útil para descrever a variedade de estratégias reprodutivas encontradas na diversidade de fungos existentes.

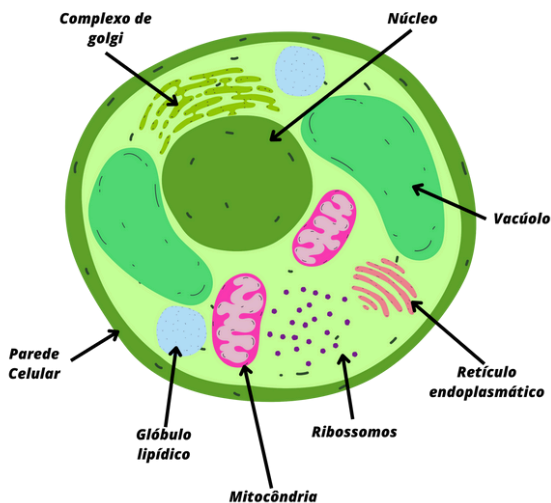


Figura 5.2 - Esquema de célula genérica de fungo com suas organelas. Fonte: As autoras.

Sua célula possui as seguintes estruturas:

Núcleo: Assim como em outras células eucarióticas, o núcleo contém o material genético do fungo, organizado em cromossomos, e é responsável pelo controle das atividades celulares.

Mitocôndrias: São os locais de produção de energia da célula, através do processo de respiração celular, onde ocorre a síntese de ATP (adenosina trifosfato), a moeda energética da célula.

Retículo Endoplasmático: Existem dois tipos principais: o retículo endoplasmático rugoso, que está envolvido na síntese de proteínas, e o retículo endoplasmático liso, que está envolvido na síntese de lipídios e na desintoxicação celular.

Complexo de Golgi: Responsável pela modificação, embalagem e distribuição de proteínas e lipídios, e síntese de carboidratos. Diferente da célula animal, tem forma de um conjunto de túbulos.

Ribossomos: São responsáveis pela síntese de proteínas na célula.

Glóbulo lipídico: é uma grande gota de lipídios envolvida por uma membrana lipídica. Essa estrutura desempenha diversas funções vitais, como armazenamento de energia, regulação do metabolismo lipídico e proteção contra o estresse oxidativo.

Hidrogenossomos: são estruturas presentes em certos fungos e protistas anaeróbicos, semelhantes às mitocôndrias, mas adaptadas a ambientes sem oxigênio, essenciais para a respiração anaeróbica.

Vacúolos: São estruturas de armazenamento que contêm água, nutrientes e resíduos. Nos fungos, os vacúolos podem ter funções de armazenamento, digestão e regulação osmótica.

Parede Celular: É uma estrutura rígida que envolve a membrana plasmática das células fúngicas, fornecendo suporte e proteção. A composição da parede celular pode variar entre os diferentes grupos de fungos, mas geralmente contém quitina, glicanos e outros polissacarídeos.

5.1 Parede celular

A composição da parede celular dos fungos é bastante complexa do ponto de vista químico (fig. 5.3). Ela é caracterizada por uma matriz externa mucilaginosa, composta por um polissacarídeo solúvel. Nos fungos verdadeiros, essa parede é predominantemente formada por uma matriz de fibras de quitina. Por outro lado, os Oomycetes têm uma parede celular composta principalmente de celulose, o que é uma das razões para classificá-los como pseudofungos. Já os protistas Myxomycetes, também enquadrados na categoria de pseudofungos, não possuem uma parede celular em sua estrutura.

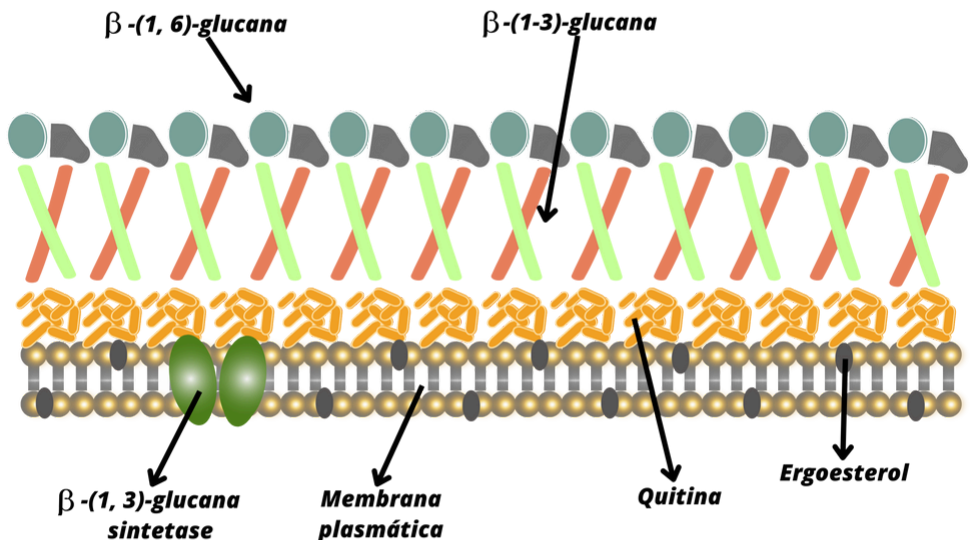


Figura 5.3 - Esquema descrevendo a parede celular dos fungos. Fonte: As autoras.

O glicogênio desempenha um papel fundamental como substância de reserva em fungos e animais. Estruturalmente, tanto o glicogênio quanto o amido são polissacarídeos compostos por uma sequência de unidades de glicose. No caso do amido, ele se divide em duas frações: amilose, que possui uma cadeia linear e com poucas ramificações, e amilopectina, altamente ramificada. O glicogênio, por sua vez, se assemelha à estrutura altamente ramificada da amilopectina do amido, apresentando ainda mais ramificações.

5.2 Estruturas vegetativas

As colônias dos fungos são descritas como estruturas vegetativas devido à sua composição celular dedicada ao catabolismo e ao crescimento. No caso dos bolores (fungos filamentosos) e fungos carnosos, o talo, ou corpo, consiste em longos filamentos de células chamadas hifas, que podem crescer até proporções significativas (fig. 5.4).

Essas hifas frequentemente possuem aberturas que permitem a continuidade do citoplasma entre as células adjacentes. As hifas crescem por alongamento das extremidades, sendo capazes de se regenerar e formar novas hifas a partir de fragmentos quebrados. Ademais, a parte da hifa responsável pela nutrição é chamada de hifa vegetativa, enquanto aquela associada à reprodução é denominada hifa reprodutiva ou aérea. Quando as condições ambientais são favoráveis, as hifas crescem e formam uma massa filamentosa conhecida como micélio, visível a olho nu.

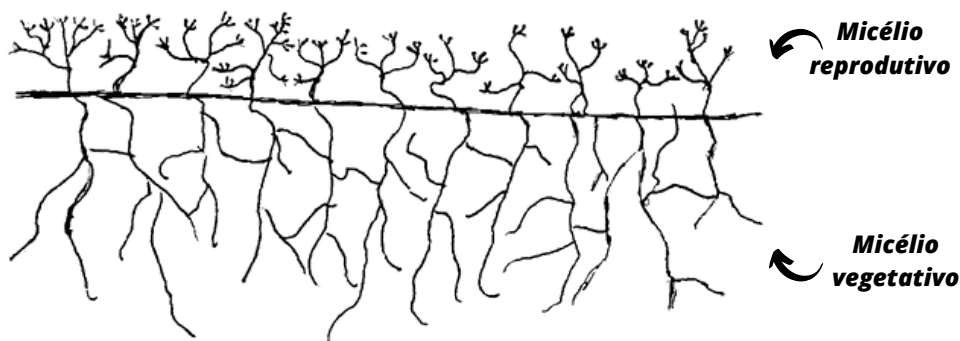


Figura 5.4 - Micélio fúngico de fungos filamentosos. Fonte: As autoras.

As leveduras, por sua vez, são fungos unicelulares e não filamentosos, frequentemente esféricos ou ovais, e se reproduzem por brotamento ou fissão. As leveduras são capazes de realizar crescimento anaeróbico facultativo, permitindo sua sobrevivência em diversos ambientes, e podem ser empregadas na produção de bebidas fermentadas e no processo de panificação. Algumas espécies de fungos, especialmente as patogênicas, exibem dimorfismo, podendo crescer tanto na forma de fungos filamentosos quanto de leveduras, dependendo das condições ambientais, como temperatura e concentração de CO₂.

5.3 Reprodução

Nos fungos, bem como em algas e outros organismos, ocorrem dois principais tipos de reprodução: a reprodução assexuada, que envolve apenas mitose, e a reprodução sexuada, resultante das etapas de plasmogamia, cariogamia e meiose. A reprodução assexuada é primordial para a multiplicação e dispersão, enquanto a reprodução sexuada tem como objetivo principal criar diversidade genética para a prole.

Existem dois tipos de reprodução assexuada: reprodução "somática" e reprodução esporica. A reprodução "somática" abrange processos como gemação ou brotamento, fissão (divisão transversal) seguida pela separação de células filhas e fragmentação de hifas. A reprodução esporica, por sua vez, envolve a produção de mitósporos, que são derivados da mitose. Esses mitósporos podem ser móveis, chamados de zoósporos, ou imóveis, denominados aplanósporos. Fungos com zoósporos são predominantes em ambientes aquáticos, parasitando plantas e animais e dependendo de meios líquidos, enquanto aqueles com aplanósporos predominam em ambientes terrestres.

Os aplanósporos são esporos sem flagelos. Quando são produzidos dentro de esporângios, são chamados de endósporos, enquanto aqueles produzidos externamente são chamados de exósporos, como os conídios. Esses esporos

podem ser unicelulares ou multicelulares, e uma única espécie pode produzir até quatro tipos diferentes de esporos com morfologias distintas, como observado em algumas espécies de ferrugem, como o *Puccinia P. Micheli*.

Os esporos resultantes da reprodução assexuada são produzidos em grande quantidade e são resistentes a diversas condições ambientais. Sua dispersão pode ocorrer ativamente ou passivamente por vários meios, incluindo a atmosfera, água de rios e chuvas, ou por meio de insetos e outros animais.

A reprodução sexuada nos fungos envolve tanto a isogamia quanto a heterogamia, incluindo anisogamia e oogamia, dependendo da morfologia e dimensões dos gametas, especialmente em fungos que produzem esporos ou gametas flagelados. No final do processo de reprodução sexuada, ocorre a formação de esporos chamados meiósporos, que são derivados da meiose.

Os fungos podem apresentar gametângios femininos e masculinos em indivíduos distintos ou no mesmo indivíduo. Quando ambos os sexos estão presentes no mesmo organismo, os gametas masculinos e femininos podem ou não ser compatíveis, e a compatibilidade sexual é indicada pelos sinais (+) e (-).

É importante notar que os fungos não se enquadram nas terminologias hermafroditas, monoicos e dioicos, pois são denominadas espécies heterotáticas quando têm sexos separados ou quando apresentam ambos os sexos, mas são autoincompatíveis. Já as espécies homotáticas são caracterizadas por indivíduos com ambos os sexos autocompatíveis.

Os processos morfológicos e fisiológicos envolvidos na fusão de gametas (fusão) são diversos, e hormônios desempenham papéis nesse processo. Cinco tipos distintos de reprodução sexuada foram identificados morfológicamente:

a) Conjugação ou copulação de planogametas, que envolve a fusão de gametas móveis.

- b)** Espermatização, onde o gameta "feminino" permanece fixo enquanto o "masculino" se desprende e se funde a ele, semelhante ao que ocorre nas algas vermelhas.
- c)** Somatogamia, onde hifas somáticas pouco diferenciadas entram em contato, levando à fusão e à transferência de núcleos.
- d)** Contato de gametângios, onde hifas diferenciadas (gametângios) se encontram e ocorre a transferência de núcleos.
- e)** Conjugação ou copulação de gametângios, que envolve a fusão de hifas diferenciadas (gametângios) e, conseqüentemente, de núcleos.

Além disso, foi observado um fenômeno genético intrigante em Ascomycota em laboratório, chamado ciclo parassexual. Muitas espécies de fungos podem apresentar esse ciclo, no qual a recombinação ocorre no micélio e a haploidização ocorre por mitose, não por meiose, como no processo sexual convencional. O ciclo parassexual ocorre em micélios com heterocariose, que é a presença de dois tipos de núcleos, resultando na fusão, mitose e haploidização gradual por não disjunção, levando à formação de núcleos haploides.

Uma das características distintivas dos fungos está relacionada à divisão nuclear, que é intranuclear. Os processos de meiose e mitose nesses organismos diferem significativamente daqueles observados em plantas, animais e em muitos protozoários. Ao contrário desses grupos, o envelope nuclear não se desintegra completamente durante a divisão celular nos fungos. Em vez disso, ocorre uma constrição na região central do envelope, que eventualmente se rompe, permitindo então que a carioteca se reforme ao redor dos núcleos filhos.

Com a exceção dos fungos quitrídios pertencentes ao filo Chitridiomycota, os fungos não apresentam centríolos. Em vez disso, a organização dos microtúbulos durante a mitose ou meiose é coordenada pelos chamados corpos polares do fuso (SPBs).



Capítulo 6

Diversidade no Reino Fungi

De acordo com métodos de biologia molecular, o Reino Fungi é um grupo monofilético composto tradicionalmente por cinco principais filos: Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota e Basidiomycota (Fig. 6.1). Esses filos são agrupados pela presença de quitina na parede celular, pelo modo de nutrição absorptiva, pela utilização de glicogênio como substância de reserva e pela presença de estrutura somática haploide ou dicariótica na maior parte do ciclo de vida.

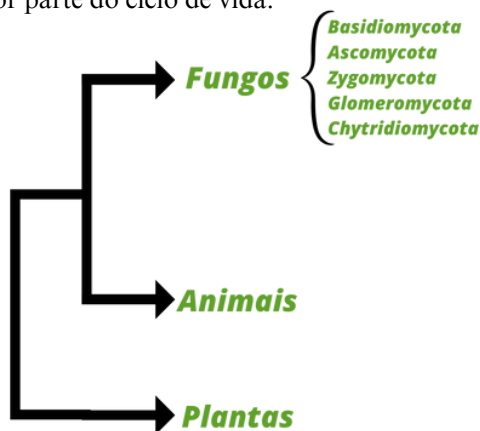


Figura 6.1 - Cladograma apresentando os representantes do reino Fungi, Animalia e Plantae.

Esses filos, em conjunto, compreendem menos de 5% das espécies conhecidas do Reino Fungi. No entanto, devido à predominância de espécies microscópicas, que exigem abordagens de estudo complexas e variadas, há uma escassez de especialistas dedicados à reconstrução de sua história evolutiva e à identificação das espécies dentro desses grupos de fungos. Ascomycota e Basidiomycota são atualmente classificados como

sub-reino Dikarya, pois são os únicos que possuem espécies com uma estrutura somática filamentosa (hifas, micélio) regularmente septada e podem apresentar uma fase dicariótica. Isso significa que eles são haploides ou dicarióticos durante a maior parte de seu ciclo de vida. Apenas os fungos em fase dicariótica são capazes de formar estruturas reprodutivas macroscópicas, como cogumelos e orelhas-de-pau, embora nem todas as espécies nesses filos sejam visíveis a olho nu. Além das dificuldades metodológicas associadas ao estudo de espécies microscópicas, os taxonomistas também enfrentam desafios significativos ao lidar com esses organismos. Outros grupos outrora considerados como fungos são classificados nos reinos Protista (Myxomycota) e Stramenopila (Oomycota) e são conhecidos como pseudofungos.

5.4 Filo Chytridiomycota

Os quitrídios, também conhecidos como quitridiomycetos, são principalmente encontrados em ambientes aquáticos e compreendem um grupo de aproximadamente 800 a 1000 espécies conhecidas. No entanto, alguns quitrídios também são capazes de sobreviver em ambientes terrestres, inclusive em solos de regiões desérticas. Esses fungos são altamente variáveis não apenas em termos de seus habitats, mas também em relação a aspectos reprodutivos e ciclos de vida. Eles possuem uma parede celular rica em quitina, assim como outros fungos, e armazenam glicogênio como reserva energética.

Os processos de divisão celular nos quitrídios são semelhantes aos observados em outros fungos verdadeiros, ocorrendo de forma intranuclear, o que significa que o envelope nuclear permanece intacto até as fases finais da telófase. Os quitrídios são organismos cenocíticos, ou seja, possuem células multinucleadas sem a formação de compartimentos separados por septos, exceto quando se desenvolvem estruturas reprodutivas. Uma característica distintiva dos quitrídios em relação a outros fungos é a presença de flagelo (fig. 6.2).

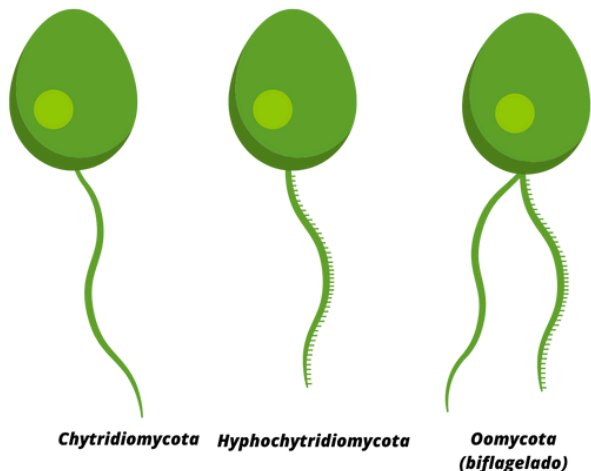


Figura 6.2 - Célula flagelada encontrada em grupos conhecidos tradicionalmente como fungos, destacando as diferenças observadas em Chytridiomycota em relação aos grupos Oomycota e Hyphochytridiomycota. Principal diferença está na quantidade e tipo de flagelo. Fonte: As autoras.

Em geral, os quitrídios são organismos eucárpicos, mas algumas espécies unicelulares podem adotar uma forma holocárpica, na qual todo o organismo se transforma em uma estrutura de reprodução. Essas espécies são monocêntricas, ou seja, possuem um único esporângio. Por outro lado, outras espécies formam micélio e podem ser policêntricas, com a formação de mais de um esporângio. Os quitrídios podem atuar como parasitas de plantas, algas, protozoários e oomicetos aquáticos. Algumas espécies são saprófobas, utilizando insetos mortos como substrato, enquanto outras estão associadas a organismos vivos.

Existem três tipos de reprodução sexual reconhecidos nesse grupo de fungos (fig. 6.3). O primeiro é a copulação planogamética, que ocorre quando gametas idênticos (isogâmicos) ou de diferentes tamanhos (anisogâmicos) ou formas (heterogâmicos) se fundem. O segundo é a copulação gametangial, que envolve a fusão de gametângios e a transferência de material genético. O terceiro é a somatogamia, que é a fusão das estruturas somáticas (hifas) dos fungos.

Eucárpico -

Refere-se a um organismo que forma as estruturas reprodutoras em determinadas porções do talo e continua efetuando suas funções somáticas.

Holocárpico -

Refere-se a um organismo cujo talo se converte em uma ou mais estruturas reprodutoras.

Ciclo de vida de Chytridiomycota

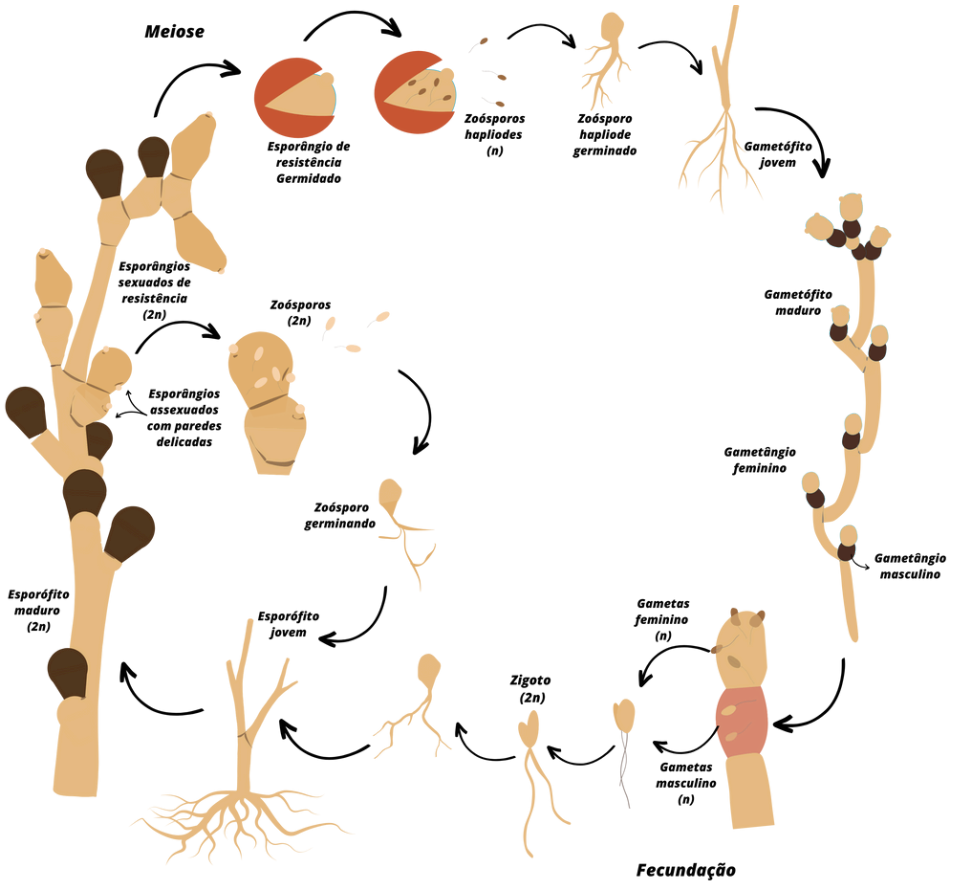


Figura 6.3 - Ciclo de vida de Chytridiomycota. Fonte: Adaptado de Raven et al., (2001).

Além disso, a reprodução assexual ocorre por meio da produção de zoósporos em zoosporângios. Durante o ciclo de vida, pode ocorrer uma alternância isomórfica ou heteromórfica de gerações. No caso mais conhecido, o gênero *Allomyces* E. J. Butler apresenta uma alternância de gerações isomórficas (diplobionte), o que significa que podem existir indivíduos diploides ou haploides. Os esporângios ou zoosporângios ($2n$) produzem zoósporos uniflagelados (n) por meio da meiose. Esses zoósporos se desenvolvem em estruturas somáticas morfologicamente idênticas aos esporângios e produzem gametângios, que, por sua vez, produzem gametas de tamanhos diferentes.

5.5 Filo Zygomycota

A maioria dos Zygomycota é encontrada no ambiente terrestre, em contato com o ar, o que é evidenciado pela ausência de gametas flagelados. Há aproximadamente 1000 espécies conhecidas neste filo, e elas podem atuar como saprófitas, parasitas de plantas e animais, ou estabelecer relações simbióticas através da formação de micorrizas. Os gêneros *Rhizopus Ehrenb.* e *Mucor P. Micheli ex L.* são conhecidos como bolores ou mofos indesejáveis (fig. 6.4).

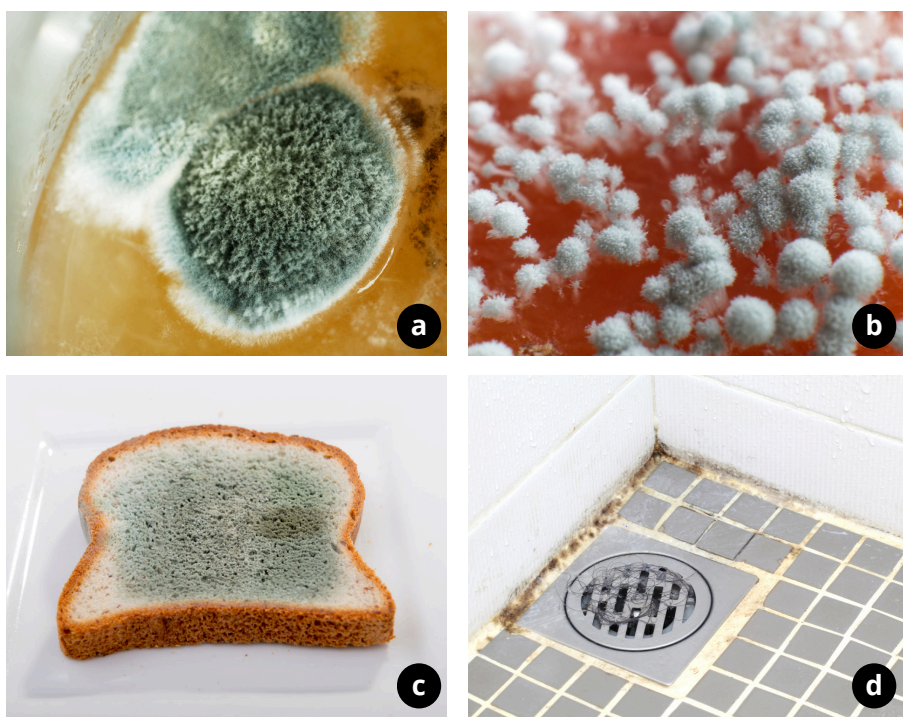


Figura 6.4 - Bolores e mofo são tipos de fungos que se desenvolvem em ambientes úmidos e escuros, se alimentando de matéria orgânica em decomposição. Eles são conhecidos por sua aparência de manchas ou crescimentos de cor escura, esverdeada ou preta, frequentemente com uma textura fofa ou peluda. Imagens ilustrando o crescimento em meio de cultura (a e b), pão (c) e paredes de banheiro (d). Fonte: Canva.

Os Zygomycota possuem diferentes modos de reprodução, incluindo a reprodução sexuada e assexuada. A reprodução sexuada ocorre por meio da copulação gametangial, em que os gametângios se unem para formar um zigospórângio, característico desse filo. Podemos observar espécies homotáticas, em que os gametângios são do mesmo tipo, ou heterotáticas, com gametângios de tipos diferentes. Já a reprodução assexuada pode ocorrer por meio de fragmentação do micélio, formação de clamidósporos ou produção de esporos em estruturas reprodutivas assexuais, como esporângios.

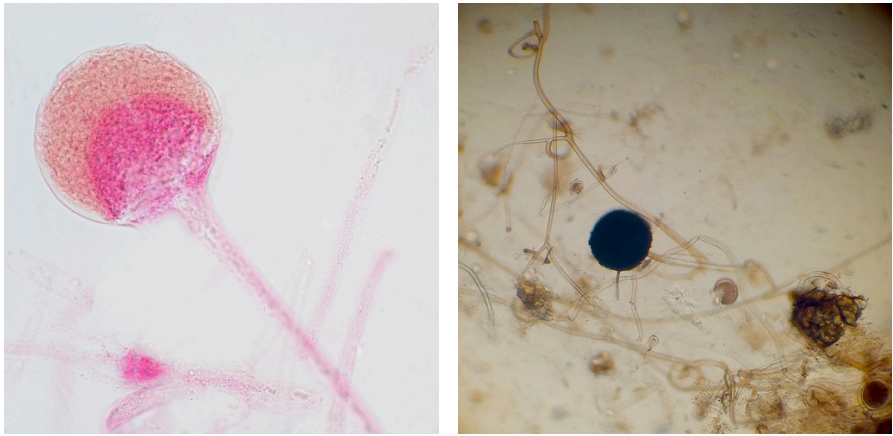


Figura 6.5 - Imagens do gênero *Rhizopus*. Fonte: Canva.

Os gêneros *Rhizopus* e *Pilobolus* são exemplos que ilustram bem as características desse filo. No caso do *Rhizopus*, seu micélio é cenocítico e haploide, formado por hifas altamente ramificadas que se espalham pelo substrato, com rizoides imersos e estolões superficiais (fig. 6.5). Macroscopicamente, esses fungos apresentam uma aparência aveludada e branca, sendo conhecidos como mofos ou bolores. A reprodução assexuada ocorre por meio da produção de esporos em esporângios localizados nas extremidades de esporangióforos eretos, originados próximo aos rizoides. Esses esporos são dispersos pelo ar e germinam dando origem a novos micélios idênticos ao anterior. Já a reprodução sexuada envolve a conjugação de gametângios compatíveis, resultando na formação de um zigósporo após a plasmogamia e a cariogamia. Os zigósporos maduros possuem uma parede resis-

te e ornamentada, desempenhando o papel de esporos de resistência. Durante a germinação do zigósporo, ocorre a meiose, originando diretamente um esporângio (fig. 6.6).

Por outro lado, o gênero *Pilobolus* é conhecido por seu processo de reprodução assexuada. Esses fungos crescem em excrementos frescos de herbívoros, geralmente após três a oito dias da defecação, e desempenham um papel essencial na decomposição. *Pilobolus* possui um sistema fisiológico interessante de dispersão de esporos e coevolução, envolvendo herbívoros, gramíneas e larvas presentes no trato digestivo desses animais. Os esporangióforos, que podem atingir até 5 cm de comprimento, são transparentes e fototrópicos positivos, crescendo em direção à luz. Na extremidade dos esporangióforos, há uma vesícula subesporangial dilatada, que contém os esporos. Essa vesícula funciona como uma lente, concentrando a luz em um ponto específico e otimizando a resposta fototrópica.

Ciclo de Vida Zygomycota

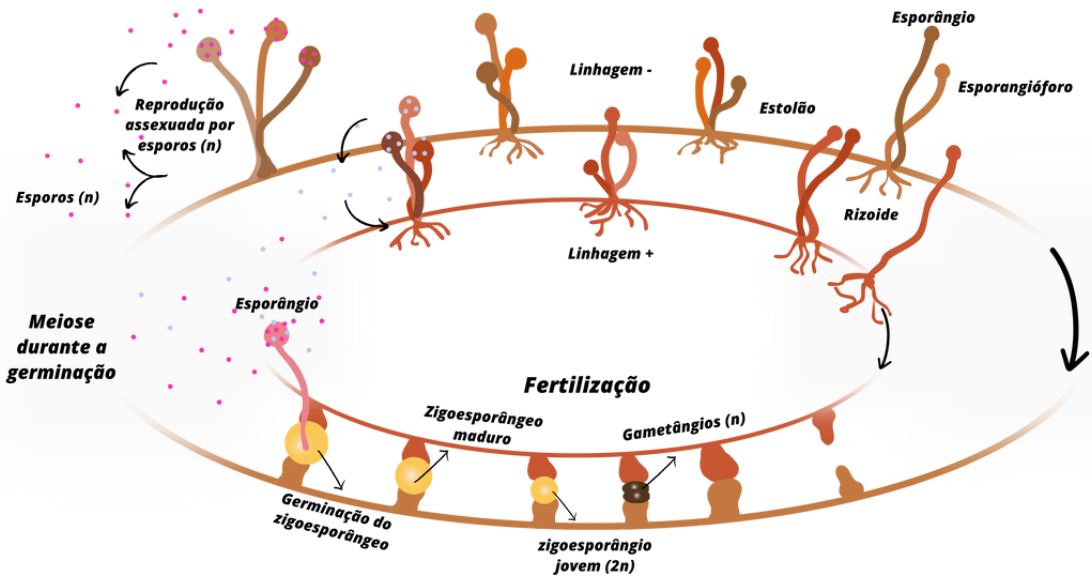


Figura 6.6 - Ciclo de vida de Zygomycota. Fonte: Adaptado de Raven et al., (2001).

Além disso, é importante ressaltar que alguns gêneros de Zygomycota podem causar doenças em plantas, como o *Rhizopus*, enquanto outros estabelecem relações simbióticas, como as ectomicorrizas. Alguns também podem ser parasitas de animais e são utilizados no controle biológico de pragas, como é o caso dos nematoides.

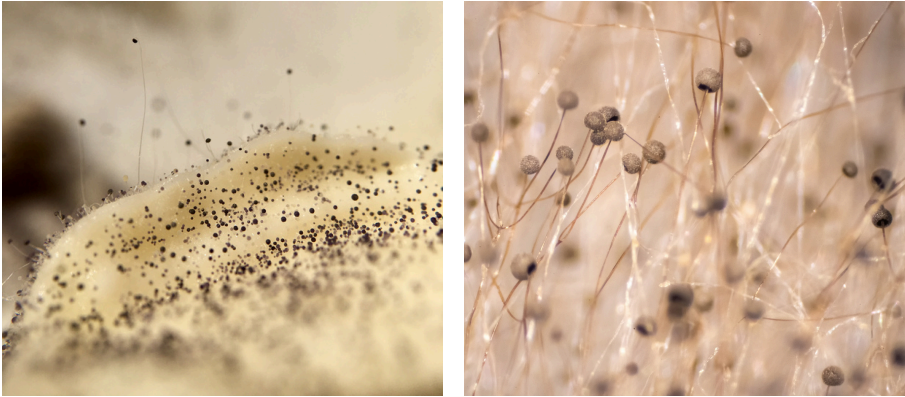


Figura 6.7 - Imagens aumentadas de colônias de espécies do filo Zygomycota.

Fonte: Canva.

5.6 Filo Glomeromycota

Até recentemente, esses fungos eram reconhecidos como uma ordem denominada Glomales dentro do grupo Zygomycota. No entanto, estudos recentes propuseram que devido à sua biologia e morfologia distintas, essas espécies fossem elevadas ao status de filo, surgindo assim o filo Glomeromycota. Análises moleculares confirmaram que os Glomeromycota formam um grupo monofilético e, embora apresentem micélio cenocítico, estão filogeneticamente mais próximos dos sub-reinos Dikarya, que englobam os filos Ascomycota e Basidiomycota.

Apesar de ser um filo relativamente pequeno, com cerca de 200 espécies conhecidas, os Glomeromycota desempenham um papel crucial nos aspectos ecológicos e evolutivos. São conhecidos como mutualistas obrigatórios das plantas, estabelecendo uma associação simbiótica chamada de endomicorriza (fig. 6,8), na qual estão intimamente ligados às raízes de mais de 90% das plantas vasculares. Essa simbiose traz diversos

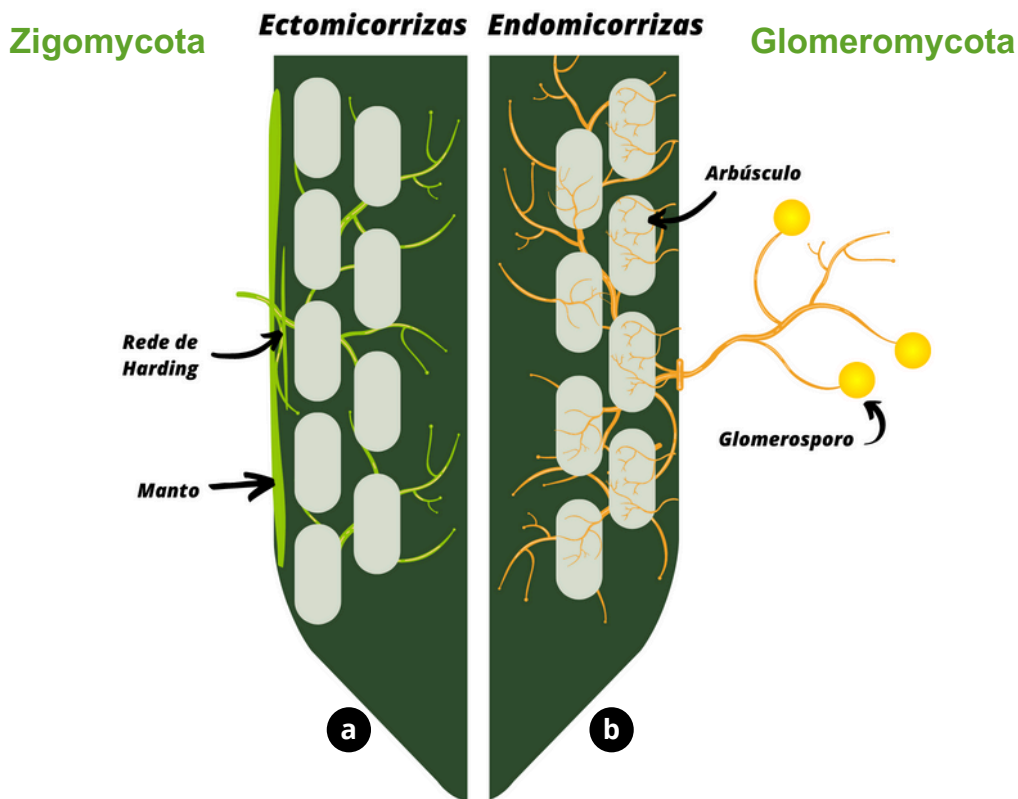


Figura 6.8 - Desenho esquemático mostrando os dois principais tipos de micorriza: ectomicorrizas (a) e endomicorrizas ou micorrizas arbusculares (b). Fonte: As autoras.

benefícios, como a ampliação da capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas, bem como a proteção contra patógenos do solo que atacam as raízes. Por esse motivo, têm sido alvo de estudos para um melhor aproveitamento na agricultura. Por muito tempo, foram chamados de Fungos Vesículo-Arbusculares (FMA) devido à formação de vesículas para o armazenamento de nutrientes e arbúsculos para as trocas de nutrientes entre as células vegetais e o fungo. Dessa forma, além de fornecer um sítio reprodutivo, eles também obtêm açúcares provenientes da fotossíntese das plantas. As vesículas são estruturas intercelulares, enquanto os arbúsculos penetram a parede das células vegetais, estabelecendo-se entre elas e a membrana plasmática.

Do ponto de vista evolutivo, há teorias que explicam a importância desses fungos na colonização do ambiente terrestre pelas plantas, devido à sua relação mutualística com elas. De fato, o fóssil mais antigo de fungo, datado de aproximadamente 400 milhões de anos atrás, do período em que as plantas estavam se expandindo por terra, parece ser de um esporo desse grupo de fungos (Devoniano) (fig. 6.9).

Éon	Fanerozoico										
Era	Paleozoico						Mesozoico			Cenozoico	
Período	Cambriano	Ordoviciano	Siluriano	Devoniano	Carbonífero	Permiano	Triássico	Jurássico	Cretáceo	Paleógeno	Neógeno

Figura 6.9 - Períodos evolutivos do planeta. Fonte: As autoras.

Como a reprodução sexuada ainda não é conhecida nesse grupo de fungos, os taxonomistas se baseiam principalmente nas características morfológicas dos esporos para determinar as espécies. As análises moleculares têm contribuído para uma melhor compreensão da história evolutiva e das relações filogenéticas entre as espécies.

5.7 Filo Ascomycota

Ascomycota compreende mais de 64.000 espécies descritas e engloba muitos fungos conhecidos por sua importância econômica (fig. 6.10). Entre eles estão os patógenos de plantas responsáveis por pragas que prejudicam a agricultura, assim como os entomopatógenos (*Cordyceps* s.l.) - citado anteriormente - que utilizam insetos para completar parte de seu ciclo de vida.



Figura 6.10 - Fungo do gênero *Xylaria*, registrado no MUSA, Manaus - AM, 2021. Fonte: As autoras.

Além disso, existem também patógenos que afetam os seres humanos, embora os Ascomycota sejam conhecidos, em geral, pelos benefícios que trazem para a humanidade, como as trufas, as leveduras e os produtores de penicilina.

Quanto à estrutura filamentosa somática, o micélio, embora seja regularmente septado, é funcionalmente cenocítico, permitindo a passagem de organelas de um compartimento para outro através dos poros dos septos. Durante a maior parte de seu ciclo de vida, o micélio é haploide ou dicariótico.

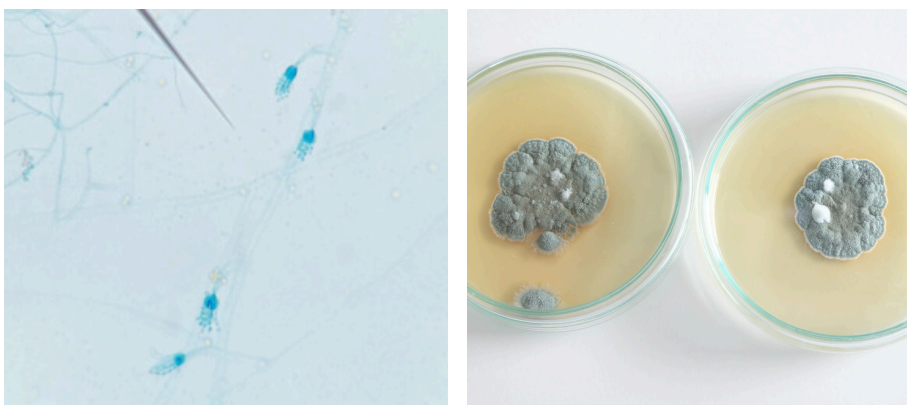


Figura 6.11 - Fungo do gênero *Penicillium* em lâmina de microcultivo (400x) e cultivado em placa. Fonte: Canva.

A reprodução assexuada ocorre geralmente por meio da formação de esporos através de mitose (mitósporos). Um exemplo disso são os conídios (exósporos) produzidos nas extremidades dos conidióforos (fig. 6.11). A reprodução sexuada é altamente variável nesse grupo, podendo ocorrer por meio do contato ou copulação de gametângios, somatogamia e/ou espermatização. A presença de ascos, onde ocorre a cariogamia, meiose e maturação interna dos esporos, é um traço distintivo do grupo. A reprodução sexuada nos Ascomycota sempre envolve a formação de ascos, dentro dos quais os ascósporos haploides são formados após a meiose (fig. 6.12). A formação dos ascos ocorre geralmente dentro de uma estrutura complexa composta por hifas entrelaçadas e firmemente compactadas, chamada ascoma, que pode ou não estar imersa em uma estrutura micelial macroscópica chamada

estroma. A camada de ascos é denominada himênio ou camada himenial. Muitos ascomas são macroscópicos e podem ser classificados de acordo com sua morfologia:

- **Cleistotécio:** ascoma completamente fechado;
- **Peritécio:** ascoma aberto por um poro, com himênio protegido;
- **Apotécio:** ascoma aberto, com himênio exposto.

Ciclo de vida de Ascomycota

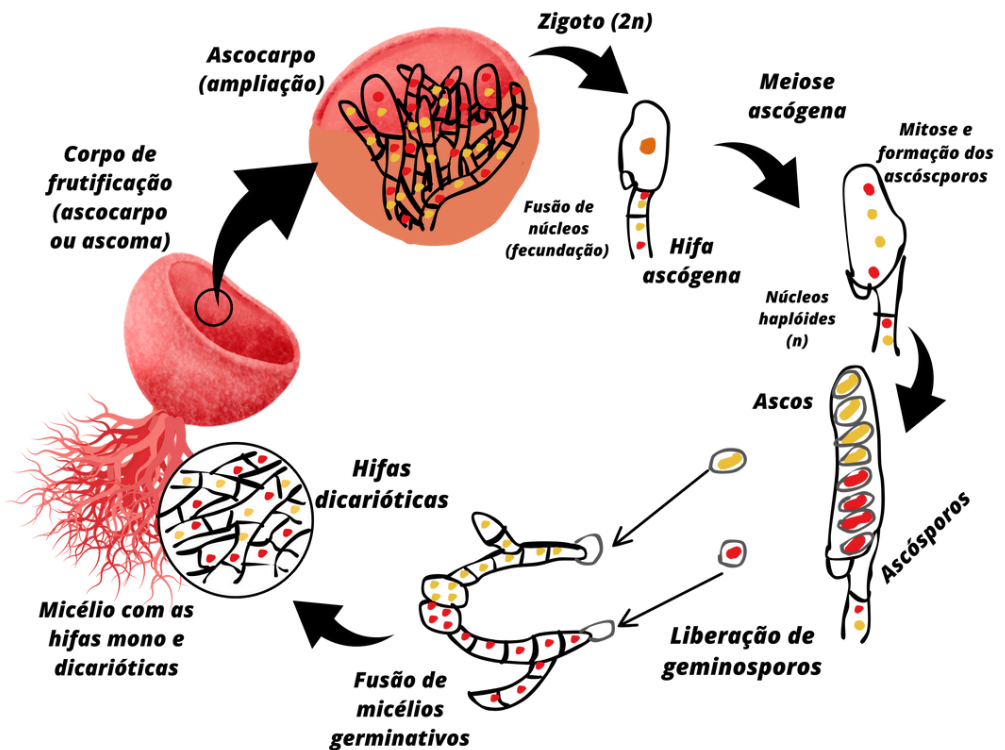


Figura 6.12 - Ciclo de vida de Ascomycota. Fonte: Adaptado de Raven et al., (2001).

A reprodução sexuada pode ocorrer no mesmo micélio que produz esporos assexuadamente. A formação de gametângios multinucleados, chamados anterídeos (masculinos) e ascogônios (femininos), precede a reprodução sexuada por contato ou copulação. Os núcleos masculinos penetram o ascogônio por meio de uma ramificação chamada tricogine. A plasmogamia ocorre nesse momento, mas a cariogamia não. Os núcleos masculinos se unem aos núcleos femininos, e as hifas ascógenas começam a crescer para fora do ascogônio. À medida que essas hifas se desenvolvem, os pares de núcleos compatíveis migram para dentro delas, e a divisão celular ocorre de maneira que as células resultantes sejam invariavelmente dicarióticas ($n+n$), o que significa que possuem dois núcleos haploides compatíveis.

Essa fase dicariótica também pode ser formada sem a formação de gametas ou gametângios, por meio da somatogamia e/ou espermatização. Essa união somática entre um mitosporo e uma hifa receptiva ocorre entre haploides compatíveis e resulta na fase dicariótica ($n+n$), assim como na reprodução que envolve gametângios, levando à formação de ascos. Os ascos se formam nas extremidades das hifas ascógenas dicarióticas.

Geralmente, é a célula apical da hifa dicariótica que cresce e forma um gancho ou crozier. Nessa célula recurvada, os dois núcleos se dividem de forma que as fibras de seus fusos de divisão fiquem paralelas entre si. Dois dos núcleos filhos ficam próximos à ponta do gancho, um dos outros dois núcleos fica próximo à ponta da hifa, e o último fica próximo ao septo basal do gancho. Dois septos são então formados, dividindo o gancho em três células, sendo que a célula do meio se transforma em asco. É nessa célula que a cariogamia ocorre, formando um núcleo diploide ($2n$).

Logo após a cariogamia e a formação do zigoto, o asco jovem começa a se alongar. O núcleo diplóide sofre meiose, seguida geralmente por uma divisão mitótica, originando um asco com oito núcleos haploides (n). Esses núcleos são envolvidos por porções de citoplasma para formar e amadurecer os ascósporos internamente.

5.8 Filo Basidiomycota

Os Basidiomycota apresentam várias semelhanças com os Ascomycota. Durante a maior parte do ciclo de vida, a estrutura somática é haploide. No entanto, através da reprodução sexuada (somatogamia ou espermatização), eles podem se tornar dicarióticos, produzindo esporos meióticos em estruturas chamadas basídios.

Ao contrário dos Ascomycota, os Basidiomycota não possuem gametângios diferenciados. A união ocorre entre hifas somáticas distintas (somatogamia heterotática). Após a fertilização, um micélio dicariótico secundário é formado, em oposição ao micélio primário haploide. Alguns Basidiomycota podem apresentar grampos de conexão, semelhantes aos Crozier dos Ascomycota, mas quando presentes, estão em todos os septos do micélio dicariótico. Nem todas as espécies de Basidiomycota possuem grampos de conexão.



Figura 6.13 - (a) Registros de cogumelos (gênero *Coprinellus*) e (b) orelha-de-pau (*Pycnoporus sanguineus*) encontrados em Manaus - AM, e em Presidente Figueiredo - AM respectivamente. Fonte: As autoras.

Sob condições ambientais específicas, ocorre a diferenciação e formação de uma estrutura reprodutiva macroscópica chamada basidioma, que ainda é dicariótico (fig. 6.13 e 6.14). No basidioma, especificamente nos basídios que formam a porção himenial, ocorre a cariogamia ($2n$), seguida da meiose, que restabelece a condição haploide (n) nos esporos (basidiosporos). Os basidiosporos amadurecem externamente aos basídios. Dessa forma, basídios e ascos são considerados homólogos, mas diferentes, pois produz seus meiosporos externamente, enquanto o outro o faz internamente.



Figura 6.14 - Registros de cogumelos (*Marasmius guyanensis*), no Musa, Manaus-Am.
Fonte: As autoras.

Assim como nos Ascomycota, os basídios se originam em uma região específica do basidioma chamada himênio. Macroscopicamente, o himênio pode configurar um tipo específico de estrutura chamada himenóforo (lamelar, tubular, liso, denteado, etc.) no basidioma. Algumas espécies de Basidiomycota possuem ciclos de vida mais complexos, como o gênero *Puccinia* P. *Micheli*, que apresenta até quatro tipos de esporos. A formação de basídios envolve a cariogamia, semelhante ao ciclo anterior. O ciclo de vida é ilustrado na figura 6.15.

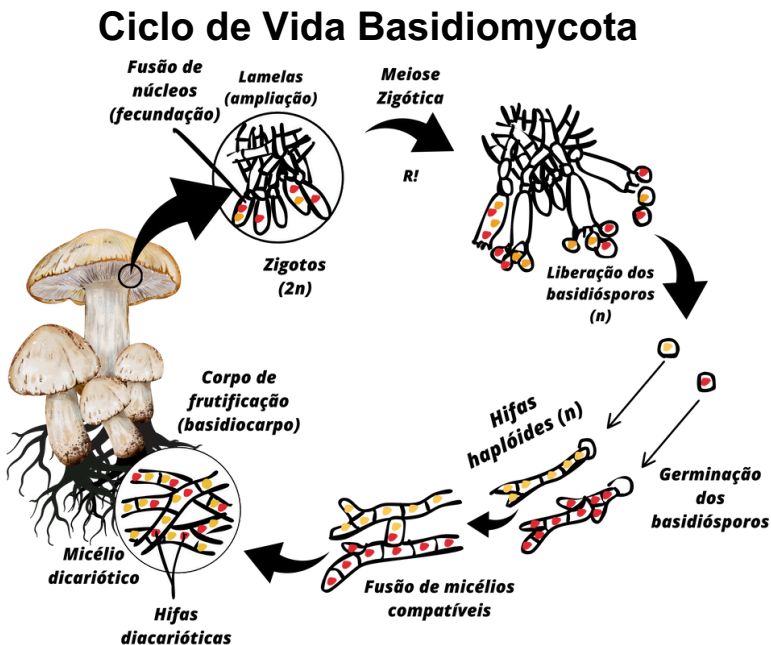


Figura 6.15 - Ciclo de vida de Basidiomycota. Fonte: Adaptado de Raven et al., (2001).

Neste filo, os Basidiomycota são reconhecidos como o maior grupo de macrofungos, incluindo cogumelos e orelhas-de-pau, entre outras formas. Essas espécies produzem estruturas reprodutivas macroscópicas e foram as primeiras a serem estudadas e descritas por micólogos, quando os fungos eram considerados Criptógamos no reino das Plantas. No século XIX, Persoon estabeleceu o primeiro sistema de classificação de fungos (*Synopsis Methodica Fungorum*) para este grupo de macrofungos, que incluía duas classes: Angiotécio e Gimnotécio. Fries aprimorou essa classificação (*Systema Mycologicum*), agrupando as espécies com himenóforos lamelados, poroides, com dentes e lisos nas famílias Agaricaceae, Polyporaceae, Hydnaceae e Corticeaceae, respectivamente.

Com o avanço da microscopia e da biologia molecular, houveram várias alterações nessa classificação, e os sistemas atuais buscam um arranjo mais natural com base na história evolutiva dos grupos e nas relações filogenéticas entre as espécies. Embora as análises moleculares sejam agora amplamente utilizadas, elas devem ser consideradas como complementares ao estudo dos fungos. A morfologia (macro, micro e/ou ultraestrutural) ainda é e sempre será muito importante, pois é nela que residem as principais hipóteses taxonômicas.

5.9 Deuteromycota

Os Deuteromycota, conhecidos também como fungos imperfeitos, formam um grupo diversificado de fungos historicamente reconhecido pela ausência de uma fase sexual conhecida em seu ciclo de vida. No entanto, é importante destacar que o termo "Deuteromycota" não possui uma designação taxonômica formal, sendo utilizado como uma categoria de conveniência para agrupar fungos cuja fase sexual ainda não foi identificada ou é pouco conhecida. Esses fungos exibem uma ampla variedade de formas, tamanhos e habitats, sendo encontrados em ambientes terrestres, aquáticos e até mesmo em ambientes extremos.

Muitos são saprófitos, alimentando-se de matéria orgânica em decomposição, enquanto outros são patógenos de plantas, animais e seres humanos, causando uma variedade de doenças. Alguns Deuteromycotas também desempenham papéis benéficos, como a produção de antibióticos e enzimas industriais.

Embora a ausência de uma fase sexual conhecida seja uma característica marcante dos Deuteromycotas, isso não implica necessariamente que eles não possuam essa fase; simplesmente pode não ter sido observada ou compreendida em detalhes. Em termos de diversidade, os Deuteromycotas abrangem uma ampla gama de espécies que ocupam diversos habitats, desde ambientes terrestres até ambientes aquáticos e extremos. A taxonomia desses fungos tem sido desafiadora devido à falta de informações sobre sua fase sexual em muitos casos.

No entanto, avanços na biologia molecular e em técnicas de análise genética têm contribuído significativamente para elucidar as relações filogenéticas dentro deste grupo e compreender melhor sua ecologia e evolução.

Além de sua importância ecológica, os Deuteromycotas também têm impactos significativos na saúde humana. Alguns fungos deste grupo são patógenos oportunistas (ex: os gêneros *Aspergillus*, *Candida* e *Cryptococcus*), capazes de causar infecções fúngicas em indivíduos com sistemas imunológicos comprometidos, especialmente em pacientes com AIDS, câncer, diabetes ou que estejam sob tratamento com medicamentos imunossupressores. enquanto outros desempenham papéis benéficos na produção de compostos úteis, como antibióticos e enzimas industriais.

Embora representem um desafio para os taxonomistas devido à falta de informações sobre sua fase sexual em muitos casos, os Deuteromycotas continuam sendo alvo de estudo e pesquisa devido ao seu potencial biotecnológico e impacto na saúde humana e no meio ambiente.

Questões para estudo

1. Qual é uma característica comum aos fungos, em relação ao número de cromossomos (ploidia)?
 - a) São sempre diploides.
 - b) São geralmente haploides.
 - c) São diploides ou triploides.
 - d) São sempre triploides.
2. Qual é o principal componente da parede celular dos fungos verdadeiros?
 - a) Quitina
 - b) Celulose
 - c) Amido
 - d) Glicogênio
3. Como os esporos ou conídios dos fungos germinam?
 - a) Requerem luz e ar para germinar.
 - b) Requerem calor e umidade para germinar.
 - c) Germinam sem qualquer requisito específico.
 - d) Requerem nutrientes orgânicos para germinar.
4. Qual estrutura é responsável pelo crescimento do fungo e absorção de nutrientes?
 - a) Esporos
 - b) Conídios
 - c) Micélio
 - d) Hifas
5. O que acontece quando os esporos ou conídios estão prontos para serem dispersos?
 - a) Formam o micélio.
 - b) Crescem verticalmente acima do micélio.
 - c) São absorvidos pelas hifas.
 - d) Ficam inativos.
6. Como os fungos podem ser classificados com base no tipo de reprodução que realizam?
 - a) Homotáticos e heterotáticos
 - b) Reprodutores sexuados e assexuados
 - c) Monoicos e dioicos
 - d) Esporóforos e conidióforos
7. O que caracteriza os fungos do grupo "holomorfo"?
 - a) Eles só realizam reprodução sexuada.
 - b) Eles realizam apenas reprodução assexuada.
 - c) Eles passam por ambas as formas de reprodução em seu ciclo de vida.
 - d) Eles não se reproduzem.
8. Qual termo é frequentemente utilizado como sinônimo de Deuteromycotas?
 - a) Fungi Exatos
 - b) Fungi Imperfeitos
 - c) Fungi Primários
 - d) Fungi Incompletos
9. Quais são os dois principais tipos de reprodução assexuada em fungos?
 - a) Plasmogamia e cariogamia
 - b) Conjugação e meiose
 - c) Reprodução "somática" e reprodução esporica
 - d) Espermatização e somatogamia
10. Que tipo de reprodução sexuada envolve a fusão de gametas móveis?
 - a) Espermatização
 - b) Contato de gametângios
 - c) Conjugação ou copulação de gametângios
 - d) Somatogamia

Questões para estudo

11. Qual é uma das principais características dos Deuteromycotas?

- a) Presença de uma fase sexual conhecida em seu ciclo de vida
- b) Capacidade de produzir esporos sexualmente
- c) Predominância em habitats extremamente frios
- d) Ausência de uma fase sexual observada em seu ciclo de vida

12. Quais são os dois filos de fungos considerados como parte do sub-reino Dikarya?

- a) Zygomycota e Glomeromycota.
- b) Basidiomycota e Chytridiomycota.
- c) Ascomycota e Basidiomycota.
- d) Glomeromycota e Zygomycota.

13. Em que filo de fungos é encontrada a característica distintiva da presença de flagelos?

- a) Ascomycota.
- b) Basidiomycota.
- c) Chytridiomycota.
- d) Zygomycota.

14. Como ocorre a reprodução assexuada nos Zygomycota?

- a) Através da formação de ascas.
- b) Por meio de mitose.
- c) Pela formação de esporos meióticos.
- d) Usando flagelos para se reproduzir.

15. Qual filo de fungos é conhecido por estabelecer relações simbióticas com plantas, melhorando a absorção de nutrientes por elas?

- a) Chytridiomycota.

- b) Zygomycota.
- c) Glomeromycota.
- d) Ascomycota.

16. Como ocorre a reprodução sexuada nos Basidiomycota?

- a) Pela formação de esporos assexuados.
- b) Pela formação de gametângios.
- c) Através da conjugação.
- d) Por somatogamia ou espermatização.

17. O que caracteriza o himênio, uma parte importante dos basidiomas?

- a) A camada onde ocorre a cariogamia.
- b) A estrutura que produz esporos assexuados.
- c) A parede celular rica em quitina.
- d) A fase dicariótica do ciclo de vida dos fungos.

18. O filo Chytridiomycota é principalmente encontrado em que tipo de ambiente?

- a) Ambientes terrestres.
- b) Águas salinas.
- c) Solos de regiões desérticas.
- d) Ambientes aquáticos.

19. Explique a importância ecológica da simbiose entre os Glomeromycota e as plantas.

20. Comparando os processos de reprodução sexuada nos Ascomycota e Basidiomycota, descreva as principais diferenças entre esses dois filos de fungos.

21. Discuta as semelhanças e diferenças entre os filos Zygomycota e Basidiomycota com relação ao ciclo de vida, reprodução e estruturas somáticas.

Unidade 3

A biodiversidade amazônica





Capítulo 7

A diversidade amazônica

A diversidade biológica da Amazônia é uma das maiores do mundo, com uma variedade de espécies de plantas, animais e microorganismos, além de outros grupos taxonômicos, que supera a de qualquer outra região do planeta. A floresta amazônica é um ecossistema complexo e único, que abriga cerca de 10% de todas as espécies conhecidas na Terra.

Esse bioma é o lar de diversas espécies de animais, incluindo onças pintadas, antas, preguiças, tucanos, araras, macacos e muitas outras. Além de abrigar uma variedade de plantas, como árvores de grande porte, orquídeas e bromélias, e toda a legião de artrópodes, micro e macrofungos, bactérias e vírus que desempenham papéis importantes na regulação do clima e na manutenção da qualidade do ar e da água, interagindo entre si e com a humanidade.



Muitas espécies de seres vivos ainda pouco conhecidas e, menos ainda, estudadas se escondem nos recônditos da floresta: os fungos. Esses microorganismos ainda com pouco destaque diante dos olhos leigos, revelam-se em aplicações biotecnológicas, oferecendo um potencial imenso para impulsionar não apenas a ciência, mas também a economia.

Este capítulo traz uma breve revisão das principais pesquisas que vem sendo desenvolvidas com fungos coletados em diferentes pontos da Amazônia, organizadas com base em seu principal foco:

7.1 Alimentação

A partir de um levantamento realizado no campus do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), em Manaus, revelou a ocorrência de macrofungos das espécies *Auricularia polytricha* (Mont.) Sacc., um tipo de orelha-de-pau, *Lentinula boryana* (Berk. & Mont.) Pegler, mesmo gênero do saboroso e mais conhecido shitake (*Letinula edodes*); *Lentinus strigellus* Berk., sinonímia de *Panus strigellus*, *Oudemansiella platensis* (Speg.) Speg., *Polyporus tenuiculus* (P. Beauv.) Fr., e *Pleurotus* sp. chamado de cogumelo-ostra e com uma variedade de colorações a depender da espécie. Algumas dessas espécies são conhecidas e consumidas especialmente na Ásia e, como de ocorrência espontânea na Amazônia são consumidas por populações tradicionais, como os Yanomami.

Outras contribuições incluem as espécies *Auricularia delicata*, *Lentinus crinitus* e *Cookeina speciosa* como as mais abundantes dentre 16 espécies coletadas na região da Área de Proteção Ambiental (APA) Lago do Amapá (Rio Branco, AC), pertencentes aos filos Basidiomycota e Ascomycota. A variedade de espécies fúngicas comestíveis na Amazônia fica evidente também em diversas outras publicações que acessam o conhecimento tradicional e estão disponíveis ao final deste livro.

Muitos macrofungos comestíveis são decompositores de madeira e, como tal, oferecem a oportunidade de estudar as melhores formas de cultivá-los, podendo tornar-se opção de trabalho e renda para as comunidades interioranas. As técnicas de cultivo perpassam a pesquisa com substratos que utilizam diferentes resíduos madeiros como, por exemplo, o uso da serragem de *Simarouba amara* Aubl. (marupá), *Ochroma pyramidale* Cav. ex. Lam. (pau de balsa) e *Anacardium giganteum* Hanc. ex Engl. (cajuí) no cultivo de *Lentinus strigosus* ou *Panus strigellus*. São contribuições relevantes que podem impactar o desenvolvimento econômico sustentável da região pela produção de alimentos com qualidade e pelo aproveitamento rentável de um subproduto do extrativismo da madeira.

Outro atributo expressivo das pesquisas com macrofungos comestíveis é o estudo nutricional e suas variações a depender do substrato utilizado. Aplicações com espécies do gênero *Pleurotus* cultivados em resíduos de frutos amazônicos indicaram percentuais adequados de fibras, proteínas e carboidratos. Por serem fungos, trazem ainda a vantagem de não apresentarem gorduras, mas sim outros compostos que beneficiam o sistema imunológico. Além disso, muitos desses fungos são também produtores de metabólitos de interesse farmacêutico.



Figura 7.1 - Fungo comestível do gênero *Cookeina*, facilmente encontrado na Amazônia.
Fonte: Canva.

O isolamento e cultivo inédito de *P. strigellus* no Amazonas, resultou não só na produção de semente-inóculo para seu cultivo, mas na caracterização da espécie e sua atividade enzimática com detecção de amilase, celulase, esterase e lipase. Isto exemplifica o potencial da produção de fungos comestíveis aliada ao aproveitamento do know-how sobre a espécie para seu aproveitamento biotecnológico. Esse e muitos outros fungos, muitas vezes escondidos sob a vegetação, revelam habilidades extraordinárias na produção de enzimas como celulases, xilanases e lipases, fundamentais para a conversão da biomassa em produtos valiosos.

7.2 Compostos de interesse farmacêutico

Os fungos endofíticos representam uma fonte promissora de recursos biológicos valiosos devido à imensa diversidade de espécies de plantas e ambientes encontrados na região. Esses microorganismos têm coevoluído com as plantas amazônicas ao longo de milhões de anos, desenvolvendo adaptações que lhes permitem colonizar os tecidos das plantas hospedeiras de forma benigna e benéfica.

Nessa adaptação mútua, muitos simbiossistemas desenvolveram sistemas que sintetizam metabólitos secundários com resultados que beneficiam fungo e planta associados. No entanto, a literatura científica sobre os fungos amazônicos e seu potencial biotecnológico ainda é escassa, com um aumento vagaroso, porém, constante do número de publicações nos últimos 10 anos.

Resultados das buscas por aplicação

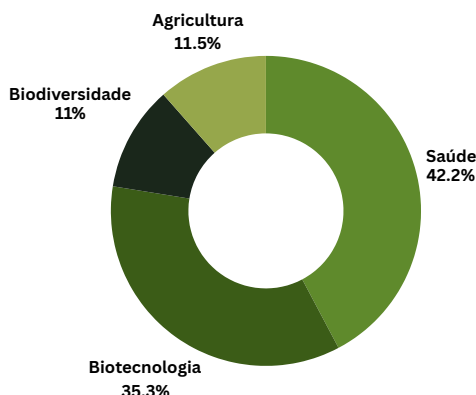


Figura 7.2.1 - Gráfico resultante de levantamento de pesquisas realizadas na Amazônia. Fonte: As autoras.

Um dos aspectos mais interessantes dos fungos endofíticos é sua capacidade de produzir uma vasta gama de compostos químicos bioativos, muitos dos quais têm potencial aplicação em diversas áreas. Por exemplo, alguns fungos endofíticos da Amazônia têm sido estudados por sua capacidade de produzir antibióticos e antifúngicos naturais, que podem ser úteis no desenvolvimento de novos medicamentos para o tratamento de doenças infecciosas.

Alguns estudos promissores com endofíticos filamentosos indicam sua ação inibitória contra patógenos de mamíferos, como *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*, assim como fitopatógenos. Também foi documentada a produção de enzimas capazes de remover biofilmes microbianos, como no caso de lipases e proteases obtidas de cepas de *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. isolados de *Myrcia guianensis*. Os fungos desempenham um papel fundamental em diversas áreas da biotecnologia, contribuindo para a obtenção de substâncias com potencial terapêutico e/ou com aplicações para o equilíbrio ambiental e a produção agrícola. A manipulação desses organismos tem sido fundamental na busca por novas tecnologias que beneficiam a saúde humana e o meio ambiente.

Os metabólitos secundários produzidos por fungos endofíticos podem exibir atividades biológicas interessantes, como antitumorais, antioxidantes, antiinflamatórias e imunomoduladoras. Isso os torna alvos potenciais para a descoberta de novos fármacos e produtos naturais para tratamento de diversas doenças, incluindo câncer, doenças neurodegenerativas e distúrbios metabólicos.



Figura 7.2.2 - Teste de antibiograma realizado com compostos isolados de fungos.
Fonte: Canva.

7.2 Compostos com outras aplicações industriais e/ou agroindustriais

Os biossurfactantes, compostos detergentes produzidos por microorganismos, podem ser desenvolvidos a partir de fungos endofíticos da região amazônica, por exemplo, ganhando destaque em meio às preocupações com a preservação ambiental e a busca por soluções sustentáveis. Esses microrganismos, isolados do interior de plantas nativas como a pimenta-de-macaco e a vassourinha, revelaram um potencial surpreendente na produção de compostos químicos com essas propriedades.

Esses produtos não apenas apresentam aplicações multifacetadas em setores industriais diversos, como também se destacam como uma alternativa ecologicamente viável para a biorremediação, uma vez que podem contribuir significativamente para a recuperação de ecossistemas afetados por contaminação por petróleo e outros poluentes.

Outra área de pesquisa promissora envolve o potencial dos fungos endofíticos da Amazônia na agricultura e na biotecnologia agrícola. Muitos desses fungos têm a capacidade de promover o crescimento e a saúde das plantas hospedeiras, aumentando sua resistência a estresses abióticos, como seca, salinidade e temperatura elevada, e aos ataques de patógenos. Além disso, eles podem ser aproveitados para o desenvolvimento de biofertilizantes, biopesticidas e bioprotetores naturais, como já acontece com o *Trichoderma harzianum*, com ampla distribuição geográfica, mas também isolado de espécies amazônicas como *Piper marginatum* (falsa-caapeba). O uso de compostos sintetizados biologicamente pode reduzir a dependência de produtos químicos nocivos e promover práticas agrícolas mais sustentáveis.

Na Amazônia, a participação dos fungos na agricultura assume um papel ainda mais significativo devido à imensa biodiversidade e complexidade dos ecossistemas que integram o bioma. Essa região abriga uma grande variedade de espécies de plantas, muitas das quais são endêmicas e possuem adaptações específicas aos diferentes habitats, como solos ácidos, inundáveis e de baixa fertilidade.

Certos fungos entomopatogênicos, como do gênero *Beauveria*, por exemplo, já foram isolados como endófitos de herbáceas como a *Stachytarpheta cayenensis*, e podem ser utilizados como agentes de controle biológico de insetos-praga, reduzindo a necessidade de pesticidas químicos e minimizando os impactos ambientais associados ao seu uso. A rica biodiversidade de fungos na Amazônia oferece um vasto potencial para a descoberta de novos compostos bioativos com aplicações na agricultura.

A investigação sobre fungos endofíticos na região Amazônica demonstra um crescimento no interesse na biodiversidade da floresta tropical e na busca por novas fontes de produtos naturais com potencial biotecnológico e farmacológico. Essa abordagem visa contribuir para a compreensão da biodiversidade microbiana da Amazônia e para o desenvolvimento de estratégias de conservação e uso sustentável dos recursos naturais da região.

Os fungos desempenham diversas funções vitais para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Por exemplo, as micorrizas, simbiose entre fungos e raízes de plantas, são particularmente importantes em solos pobres em nutrientes, como os encontrados em grande parte da região amazônica. Essas associações aumentam a absorção de nutrientes pelas plantas, melhorando a produtividade e a saúde da floresta, assim como podem ser de grande valor para o desenvolvimento de técnicas de permacultura e produção de alimentos em sistemas agroecológicos.

Os decompositores são essenciais para a ciclagem de nutrientes e a manutenção da fertilidade do solo na Amazônia. Eles decompõem a matéria orgânica, liberando nutrientes essenciais que são reciclados no ecossistema e

disponibilizados para as plantas. Isso é especialmente importante em sistemas agrícolas sustentáveis, como a agrofloresta, onde a matéria orgânica é um insumo crucial para a fertilidade do solo.



Figura 7.2.1 - Folha passando pelo processo de decomposição. Fonte: Canva.

Também presente no solo, o gênero *Trichoderma* sp., revelou-se como peça-chave no desenvolvimento vegetal em uma pesquisa liderada pela Embrapa, que investigou mais de mil linhagens desse fungo aplicadas em conjunto com duas fontes de fósforo, e constatou que muitas delas promovem o crescimento da soja.

O *Trichoderma* sp. solubiliza o fósforo presente no solo, facilitando a sua absorção pelas plantas. Como resultado, a soja cresce de forma mais rápida e os produtores podem economizar na aplicação deste nutriente. Além de ser vantajoso para os produtores, o uso desse fungo reduz os riscos de poluição por fósforo em corpos d'água, contribuindo para a sustentabilidade da produção agrícola.

Os bioinoculantes de *Trichoderma* sp. são formulados com base em estruturas do fungo, geralmente por esporos, e podem ser aplicados através do tratamento de sementes ou diretamente no solo. Eles são utilizados para

beneficiar a germinação e o crescimento inicial das plantas. Esses biofertilizantes têm potencial para serem aplicados em diversas culturas agrícolas, desde hortaliças até grandes culturas como soja, milho e feijão.

Essa pesquisa destaca a importância dos microorganismos solubilizadores de fosfato como uma estratégia sustentável para gerenciar a deficiência de fósforo em solos agrícolas. Além disso, ressalta o potencial da Amazônia como fonte de bioprospecção de fungos e produtos gerados por eles, contribuindo para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis.

7.3 Fungos patogênicos

Os fungos patogênicos são microorganismos que podem causar doenças em plantas, animais e seres humanos. Na Amazônia, onde a biodiversidade é excepcionalmente rica, uma variedade de fungos patogênicos coexiste com uma vasta gama de espécies vegetais e animais. Esses fungos podem representar uma ameaça significativa para a saúde das plantas nativas, culturas agrícolas, animais selvagens e até mesmo para a saúde humana.

Um exemplo de fungo patogênico na Amazônia pertence ao gênero *Fusarium*, que pode causar doenças em uma ampla variedade de plantas, incluindo culturas agrícolas importantes. O *Fusarium* pode infectar as raízes, caules, folhas e frutos das plantas, resultando em sintomas como murcha, manchas foliares, podridão das raízes e morte das plantas. Essas doenças podem causar perdas significativas na produção de alimentos e impactar negativamente a segurança alimentar das comunidades locais.

Outro exemplo é o fungo da ferrugem (*Puccinia psidii*), que afeta uma variedade de plantas na região amazônica, incluindo árvores nativas, como o Araçá-boi (*Eugenia stipitata*), e outras culturas agrícolas importantes. A ferrugem causa lesões nas folhas das plantas, prejudicando sua capacidade de realizar a fotossíntese e, consequentemente, afetando seu crescimento e desenvolvimento.



Figura 7.3.1 - Ferrugem causada por fungos em folha de araçá boi. Fonte: Canva.

Dentre os patógenos humanos, destacam-se aqueles que causam desde as micoses cutâneas, até as micoses profundas como a histoplasmose e a coccidioidomicose. Estas doenças são geralmente transmitidas através do contato direto com os fungos ou de seus esporos, que podem ser inalados ou inoculados no trato com animais ou atividades agrícolas, ou no contato com a pele e secreções de pessoas contaminadas.

Micose Cutânea: Também conhecida como dermatofitose ou tinea, é uma infecção fúngica da pele causada por dermatófitos, que são fungos que se alimentam de queratina, uma proteína encontrada na pele, cabelo e unhas. Os típicos dermatófitos pertencem aos gêneros *Trichophyton*, *Microsporon* e *Epidermophyton*, porém, outras espécies como a levedura *Candida albicans*, podem produzir micoses na pele e seus anexos. Essas infecções podem causar sintomas como coceira, vermelhidão, descamação da pele e erupções cutâneas. A transmissão pode ocorrer através do contato direto com uma pessoa ou animal infectado, ou pelo contato com superfícies contaminadas.



Figura 7.3.2 - Tinea, dermatofitose causada pelos fungos *Trichophyton* ou *Microsporum*. Fonte: Canva.

As micoses cutâneas ou superficiais são especialmente favorecidas pelo clima quente e úmido da região norte do Brasil, sendo imprescindível a difusão de conhecimentos básicos sobre higiene pessoal e sobre a proteção das mãos e dos pés com luvas e sapatos apropriados quando no trato com plantas e animais domésticos.

Histoplasmose: É uma infecção fúngica causada pelo fungo *Histoplasma capsulatum*, encontrado principalmente em solos ricos em excrementos de aves e morcegos. A doença é comumente adquirida pela inalação dos esporos do fungo, que são liberados quando o solo é revolvido, como durante a escavação ou limpeza de galinheiros ou cavernas. Os sintomas variam de leves, semelhantes aos da gripe, a graves, como pneumonia e inflamação dos órgãos internos. Em casos graves, a histoplasmose pode ser fatal, especialmente em pessoas com sistema imunológico comprometido.



Figura 7.3.3 - Histoplasmose em paciente imunocomprometido. Fonte: FERREIRA & BORGES, 2009.

Coccidioidomicose: Também conhecida como febre do vale, é uma infecção causada pelo fungo *Coccidioides immitis* ou *Coccidioides posadasii*, encontrado em regiões áridas e semiáridas, como partes do sudoeste dos Estados Unidos, América Central e América do Sul. A infecção ocorre pela inalação dos esporos do fungo presentes no solo, que são liberados durante condições climáticas favoráveis, como ventos fortes ou tempestades de poeira. Os sintomas podem variar de leves, semelhantes aos da gripe, a graves, como pneumonia e infecções sistêmicas. Em casos graves, a coccidioidomicose pode levar à hospitalização e até à morte, especialmente em pessoas com sistemas imunológicos enfraquecidos.



Figura 7.3.4 - Coccidioidomicose causado por *Coccidioides immitis*. Fonte: Anais Brasileiros de Dermatologia, 2010.

Essas doenças têm sido associadas ao desmatamento na Amazônia, de acordo com dados do Ministério da Saúde. O desmatamento e a degradação ambiental podem desencadear uma série de mudanças no ecossistema, incluindo a liberação de esporos fúngicos presentes no solo, que podem levar à disseminação dessas doenças.

Com o aumento do desmatamento e das atividades humanas na região amazônica, como a agricultura e a mineração, há uma maior exposição das pessoas aos ambientes naturais que abrigam esses fungos patogênicos. Além disso, o desmatamento pode alterar o equilíbrio ecológico da região, favorecendo o crescimento de determinadas espécies de fungos e aumentando o risco de infecções em humanos e animais.

Portanto, medidas de conservação ambiental e controle do desmatamento são essenciais não apenas para a preservação da biodiversidade da Amazônia, mas também para proteger a saúde pública e reduzir a incidência dessas doenças fúngicas na região. O monitoramento epidemiológico e a conscientização da população sobre os riscos associados ao desmatamento também são fundamentais para mitigar os impactos negativos na saúde humana.

Em suma, os fungos patogênicos representam uma preocupação significativa na Amazônia, tanto para a saúde das plantas e animais quanto para a saúde humana. O monitoramento e controle desses microorganismos são essenciais para proteger a biodiversidade da região e garantir a segurança e a saúde das comunidades locais.



Unidade 4

Recursos para o ensino de micologia



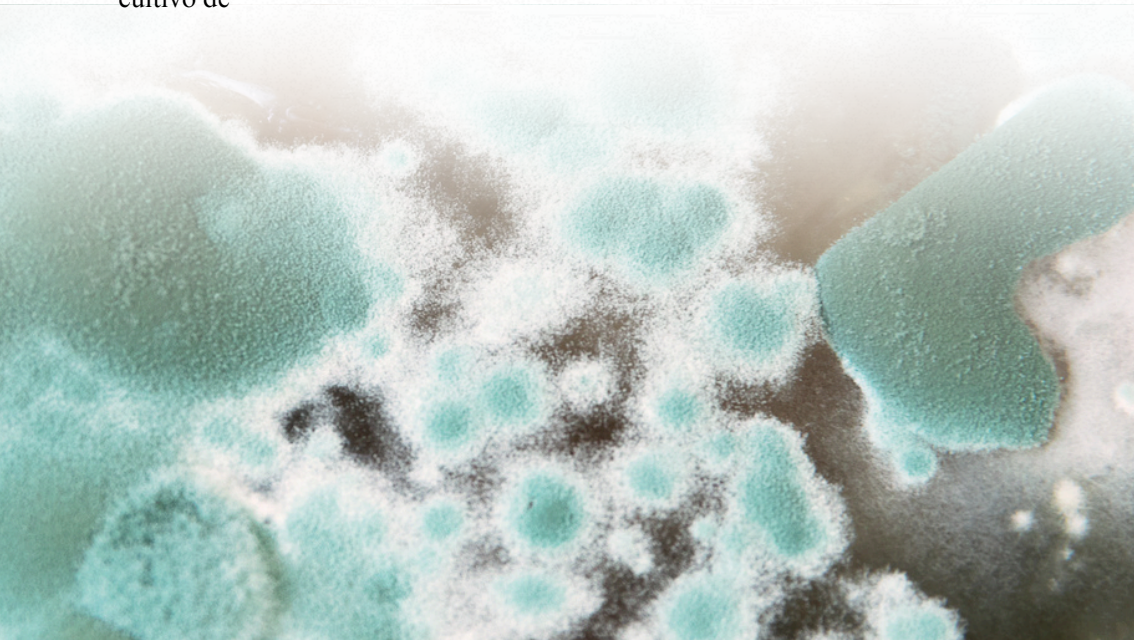


Capítulo 8

Ensinando Micologia

Recursos para o ensino de micologia desempenham um papel crucial na promoção da aprendizagem significativa, uma teoria fundamental na pedagogia, proposta por Ausubel. Essa abordagem educacional prioriza a criação de conexões significativas entre o novo conhecimento e os conceitos prévios dos alunos. Ao adotar essa perspectiva, os recursos educacionais são projetados para fornecer experiências de aprendizado que vão além da mera memorização de fatos, visando uma compreensão profunda e duradoura dos princípios da micologia.

Nesse contexto, os recursos para o ensino de micologia são elaborados para envolver os alunos de maneira ativa e participativa, incentivando-os a construir significado a partir dos conteúdos apresentados. Por meio de atividades práticas, como observação de amostras de fungos ao microscópio, cultivo de



culturas fúngicas em laboratório e análise de estudos de caso, os alunos são desafiados a aplicar seus conhecimentos prévios na compreensão dos conceitos de micologia. Essa abordagem permite que os alunos não apenas memorizem informações, mas também as integrem em seu repertório cognitivo de forma significativa.

Além disso, o uso de tecnologias educacionais, como simulações virtuais e ambientes de aprendizado online, oferece aos alunos a oportunidade de explorar os conceitos de micologia de maneira interativa e imersiva. Essas ferramentas permitem uma aprendizagem autodirigida, na qual os alunos podem explorar o conteúdo de acordo com seu próprio ritmo e estilo de aprendizagem. Ao integrar esses recursos com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, os educadores podem criar experiências educacionais que são profundamente envolventes e que capacitam os alunos a desenvolver uma compreensão sólida e contextualizada dos fungos e seu papel nos ecossistemas e na saúde humana.

Atenção professores!



Este capítulo destina-se a professores interessados em metodologias para o ensino de micologia, abrangendo atividades práticas em laboratório e dinâmicas para sala de aula. A micologia, como disciplina, apresenta desafios e oportunidades únicas no processo de ensino-aprendizagem, exigindo uma variedade de estratégias didáticas para tornar o aprendizado envolvente e significativo. Ao longo deste capítulo, serão apresentadas metodologias que visam facilitar a compreensão dos conceitos de micologia, destacando suas vantagens, desafios e aplicações práticas. O objetivo é fornecer recursos úteis para professores promoverem um aprendizado enriquecedor e inspirador sobre os fungos.

8.1 Coleta de microfungos do solo

Em razão de sua grande importância ecológica, os fungos podem ser encontrados nos mais diversos espaços e em formatos diferentes. O ar, as superfícies, os organismos e o solo são exemplos de onde os fungos podem se desenvolver. O solo apresenta grande importância quando se trata da função ecológica dos fungos, visto que nesse ambiente o fungo pode praticar a decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes. Além disso, alguns dos principais filos de fungos, com potencialidades e grande diversidade morfofisiológica como os Ascomycetos, os Glomeromicetos e os Basidiomicetos são encontrados no solo. Para que uma parte dessa diversidade possa ser conhecida, as análises micológicas a partir de amostra de solo se tornam importante para o aproveitamento dos estudos em micologia dos alunos.

Objetivos de aprendizagem:

- Realizar a coleta de solo em área pré-determinada para os ensaios microbiológicos;
- Identificar e caracterizar fatores bióticos e abióticos que influenciam nos resultados;
- Compreender a importância ecológica dos fungos naquele ambiente

Observações importantes:

De modo a se fazerem comparativos e discussões nos resultados das análises microbiológicas, é preferível que se façam as coletas em ambientes com climas e condições bióticas diferentes, como solo seco e úmido, em períodos climáticos diferentes e com a presença e ausência de matéria orgânica, por exemplo. Uma vez escolhido é necessário determinar qual tipo de solo será coletado e se as coletas serão realizadas de forma superficial ou em profundidade. No último caso usa-se a régua para as medições e as comparações futuras.

Materiais e equipamentos de laboratório

- Ágar Batata-Dextrose (BDA): calcular 2 placas de Petri por cada diluição para cada amostra (12 placas).
- Agitador de tubos;
- Agitador magnético;
- Água destilada estéril: preparar volume suficiente, sendo 9ml para cada amostra;
- Alça de platina;
- Álcool 70 INPM;
- Béquer de 400 ml;
- Bico de Bunsen ou Infravermelho;
- Canetas marcadoras;
- Filme PVC;
- Ponteiras amarelas estéreis;
- Ponteiras azuis estéreis;
- SWAB: no mínimo 1 por placa;
- Tubos de ensaio contendo 9ml de água destilada estéril: 1 para cada diluição;

Procedimentos

- Pesar 10g (ou 10ml) de cada amostra adquirida;
- Homogeneizar a amostra em 9 ml de água peptonada estéril;
- Transferir 1 ml da solução para os tubos de ensaio, realizando a diluição seriada até 5 (DILUIÇÃO 10-5). Agitar bem para homogeneizar;
- Identificar as placas de Petri com a diluição, sendo 2 placas para cada uma, incluindo a amostra original (2x5 diluições + 2x1 amostra original);
- Inocular 50 µl de cada diluição em cada placa de Petri (em duplicata) e espalhar cuidadosamente e de forma homogênea com o SWAB em toda a superfície da placa.

- Incubar a 25° C por três dias e observar diariamente.
- Assim que for observado crescimento que permita a contagem, contar as colônias para cada diluição e anotar os resultados. No final, calcular o número de unidades formadoras de colônias (UFC/ml).
- Após a contagem, será coletada a amostra de uma das colônias visualizadas na placa, e será transferida para a lâmina de microscopia através do esfregaço com a alça de platina.
- Após o esfregaço, fazer a coloração das placas através do método de coloração com corante azul algodão.
- Em seguida fazer a visualização no microscópio com a objetiva de imersão 400x.
- Fotografar os microorganismos visualizados nos microscópios.
- Preencher a ficha de identificação.

Questionamentos importantes:

1. Qual a relação que se daria entre o crescimento fúngico nas placas oriundas das diferentes áreas e profundidades das coletas?
2. Qual possível influência do clima e da matéria orgânica na quantidade de colônias fúngicas formadas?

8.2 Identificação morfológica de colônias

A cultura de um micro-organismo refere-se à sua habilidade de crescer em meios nutritivos artificiais, evidenciando-se macroscopicamente pela formação de uma unidade estrutural chamada colônia.

As colônias de certos fungos frequentemente exibem morfologias distintas quando cultivadas em meios com composições químicas idênticas e sob condições de incubação semelhantes. A análise dos aspectos macroscópicos de uma colônia possibilita sugestões sobre a espécie fúngica presente na cultura. Portanto, o conhecimento da morfologia macroscópica das colônias é fundamental para uma identificação preliminar precisa de determinadas espécies fúngicas.

Ao observar as características culturais de um fungo específico, alguns aspectos que podem ser considerados incluem:

Para o processo de caracterização macro morfológica, considere os aspectos abaixo:

A) **Tamanho da colônia:** considere o tempo de crescimento e se a colônia cobre toda superfície da placa ou se fica restrita ao seu centro. Algumas espécies de fungos se desenvolvem e tomam toda a superfície e outras se desenvolvem na parte central.



Figura 8.1 - Meio de cultura com fungos filamentosos de variados tamanhos. Fonte: Canva.

B) **Bordas:** podem se apresentar das mais variadas formas, algumas bem delimitadas e outras com projeções irregulares. Seguem alguns tipos de bordas que podem ser observadas: inteira, franjada, lisa, ondulada, lobulada, encrespada ou arredondada.

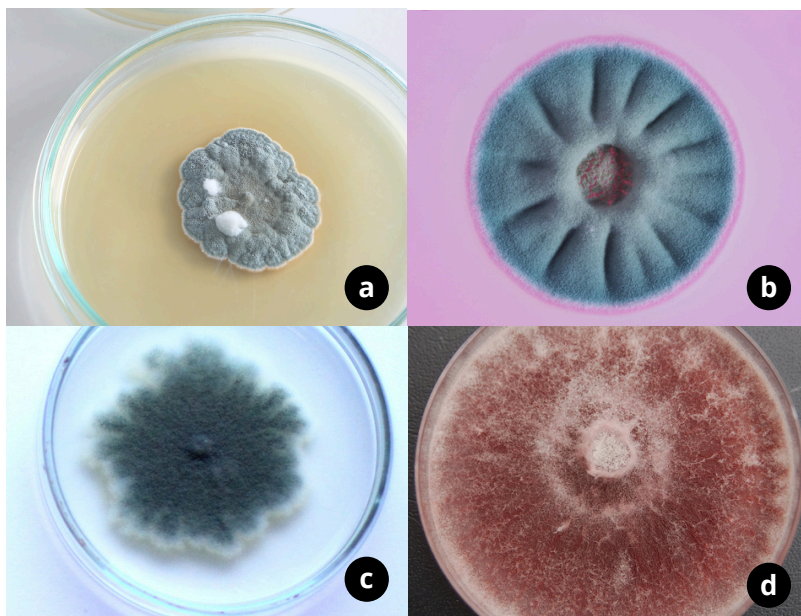


Figura 8.2 - Colônias de fungos isoladas com diferentes tipos de bordas (a) ondulada; (b) lisa; (c) lobulada; (d) filamentosa. Fonte: Canva.

C) **Aspecto/textura:** o aspecto pode ser considerado com um dos principais pilares para esse tipo de identificação. Os fungos filamentosos podem apresentar os seguintes aspectos:

Algodonoso: semelhante a algodão.

Furfuráceo: punhado de substância farinácea

Penugento: semelhante a pena de aves.

Arenoso ou pulverulento: semelhante a areia de praia ou pó

Veludoso: semelhante a veludo.

Membranoso: aderido ao meio de cultura, recobrimdo-o com uma película.

Glabrosas: com aspecto compacto, coriáceo, superfície lisa ou irregular, com ausência de filamento.

Cremosas: aspecto cremoso, comumente leveduras, bactérias e actinomicetos.

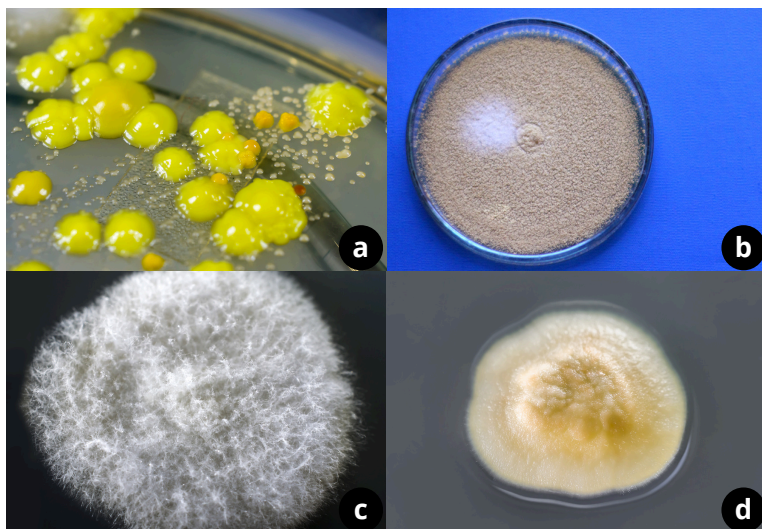


Figura 8.3 - Colônias com diferentes tipos de texturas (a) cremosa; (b) arenoso; (c) algodonosa; (d) glabrosa. Fonte: Canva.

D) Relevo: aspecto da topografia geral da colônia. Podem ser:

Cerebriforme: topografia de altos e baixos, formando ondas ou circonvulações, semelhante ao cérebro.

Rugosa: semelhante à cerebriforme, mas com pregas menos evidentes, às vezes radiais e partindo da parte central.

Apicular: saliência na parte central, lembrando um pequeno cume.

Crateriforme: se aprofundam no meio de cultura, lembrando crateras.

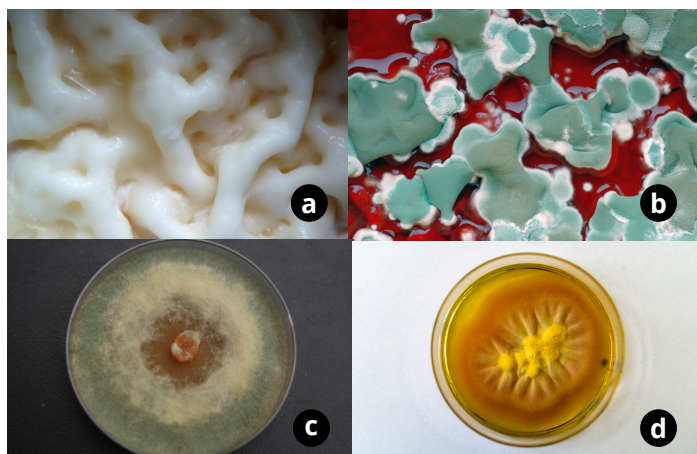


Figura 8.4 - Colônias com diferentes tipos de relevo (a) cerebriforme; (b) crateriforme; (c) apicular; (d) rugosa. Fonte: Canva.

Características a serem observadas em microscopia de fungos microscópicos

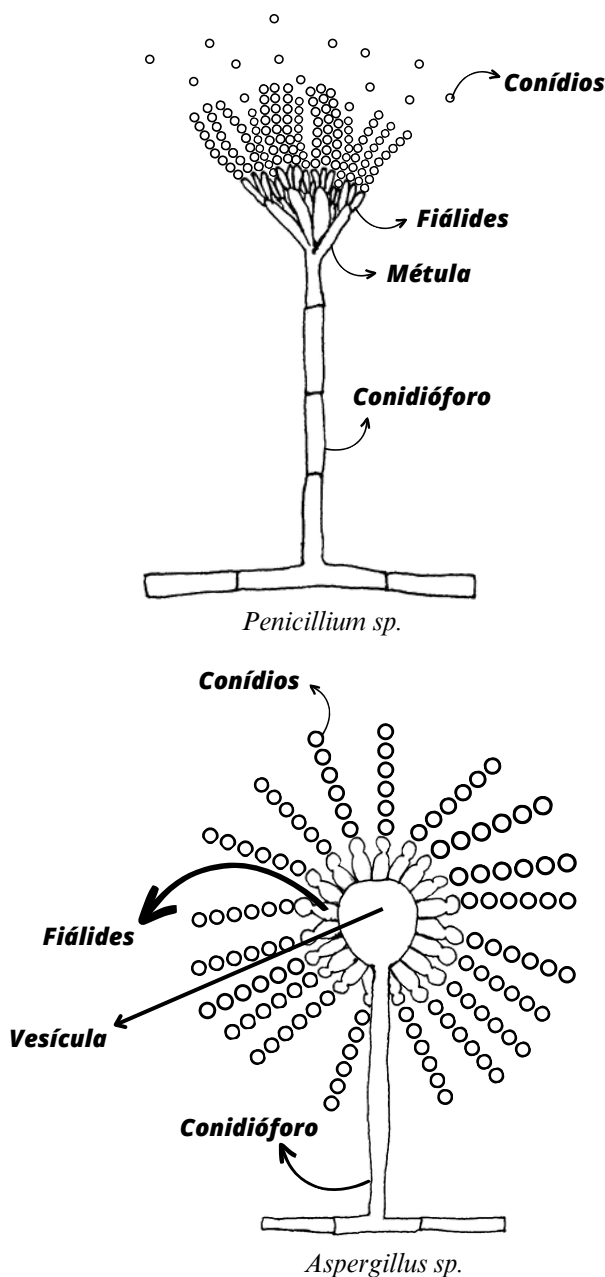


Figura 8.7 - Esquema da morfologia das espécies do gênero *Penicillium* e *Aspergillus*.

Fonte: As autoras.

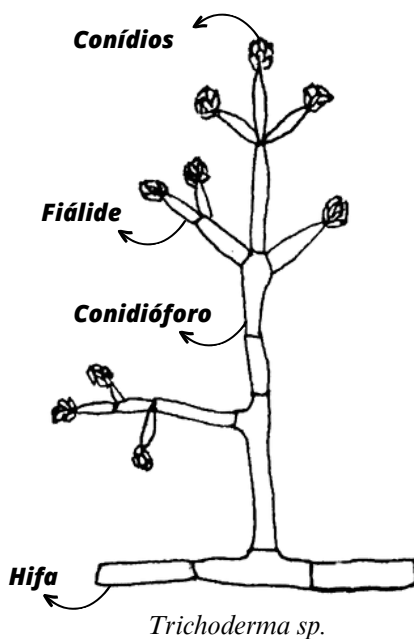
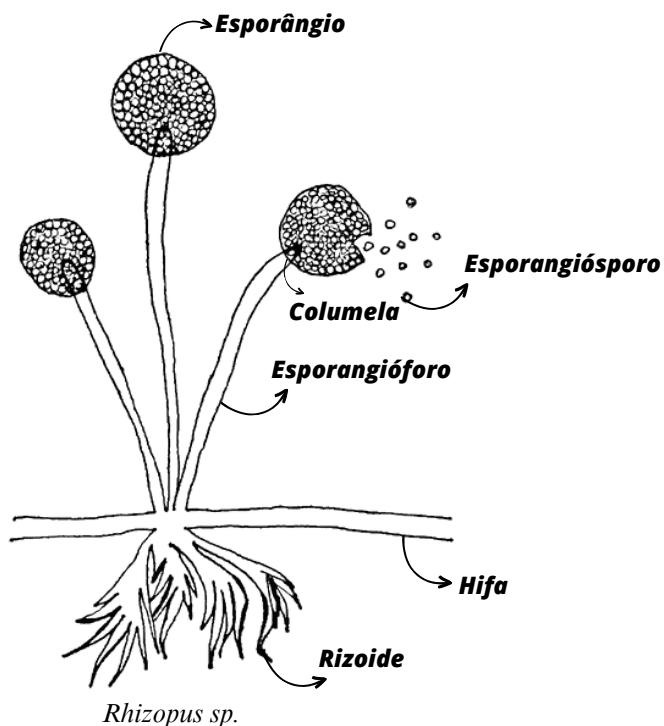


Figura 8.7 - Esquema da morfologia das espécies do gênero *Rhizopus* e *Trichoderma*.
Fonte: As autoras.

8.3 Crescimento em câmara úmida

Os fungos filamentosos têm a capacidade de se desenvolver em uma variedade de superfícies, desde alimentos esquecidos no armário até troncos de árvores caídas na natureza. Sua função principal é decompor matéria orgânica, desempenhando um papel essencial no equilíbrio ecológico global. Este processo de decomposição é crucial para ciclos biogeoquímicos, como os da água, do oxigênio e do carbono. Os fungos, por meio da digestão extracelular, quebram macromoléculas em componentes mais simples, que retornam à natureza como nutrientes. A atividade proposta envolve a observação do crescimento de micélio fúngico em alimentos e insetos, utilizando "câmaras úmidas" para simular condições ideais de crescimento.

Objetivos de aprendizagem:

- Acompanhar o crescimento fúngico na matéria orgânica dentro de câmara úmida;
- Compreender o processo de decomposição feito pelos fungos e seu papel ecológico;
- Entender como ocorre a colonização fúngica na matéria orgânica;

Materiais

- Placa de petri ou frasco de vidro transparente com tampa e esterilizado;
- Algodão;
- Água destilada estéril;
- Amostras de frutos, pães, alimentos; insetos;
- Pinça grande;
- Plástico filme;
- Caneta;

Procedimento

Em um ambiente controlado e com auxílio da pinça coloque a amostra no centro da placa ou dentro do frasco. Umedeça bem o algodão e o coloque envolta da amostra. Em seguida feche e sele com plástico filme, identificando com a data e o nome da amostra. Leve à estufa bacteriológica ou a um ambiente com temperatura controlada a 25° C. Acompanhe e faça anotações por uma semana. Registre em fotografias todos os dias se possível.

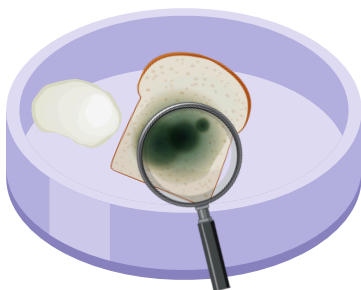


Figura 8.5 - Ilustração de pão de forma com fungo crescendo em câmara úmida. Fonte: As autoras.

Discussões

Reúna as anotações realizadas discuta com os colegas sobre seus resultados. Levante questões sobre como o micélio cresceu e também o porquê da ausência de crescimento se for o caso.

Atividades

Reúna todas as fotografias e as coloque na forma de portfólio, caracterizando cada foto com as seguintes observações:

1. Característica da colônia
2. Mudanças observadas
3. Quaisquer observações ou dúvidas

Apresente aos colegas e socialize os resultados

8.4 Microcultivo

A técnica de micro cultivo fúngico é utilizada para se analisar com mais precisão as estruturas do micélio vegetativo e reprodutor de fungos filamentosos, o que é mais difícil do que a técnica de esfregaço, por exemplo. O procedimento consiste na inoculação e crescimento do fungo diretamente da lâmina que será analisada, utilizando-se um fragmento quadrado de meio de cultura. Esse crescimento é realizado dentro de uma placa de petri na forma de câmara úmida, durante incubação por 72 horas.

Objetivos de aprendizagem:

1. Executar um micro cultivo em lâmina.
2. Realizar análise em microscópio das estruturas fúngicas.

Materiais necessários para o microcultivo

- Sistema esterilizado em autoclave com placa de petri e dentro uma lâmina e duas lamínulas;
- Placa com meio de cultura ágar Sabouraud esterilizado e cortado em quadrados;
- Amostra do fungo filamentoso;
- Alça metálica;
- Bico de Bunsen ou esterilizador;
- Cabine de segurança biológica ou fluxo laminar;
- Água destilada estéril;
- Esmalte incolor (base)

Procedimentos

Dentro da cabine de segurança biológica ou fluxo laminar, retirar um quadrado de 5 mm de ágar Sabouraud e transportá-lo, com a alça metálica, sobre a lâmina. Logo após, e com a alça esterilizada, retirar pequenas porções da colônia fúngica e semear sobre os quatro cantos desse quadrado, e na sequência colocando uma das laminulas sobre os inóculos. Para formar uma câmara úmida, umedeça pequenas bolas de algodão em água destilada estéril e as coloque junto na placa. Feche o sistema, mas não os sele com plástico filme ou similares, colocando em estufa bacteriológica a 25° C ou em temperatura ambiente em local controlado dentro do laboratório.

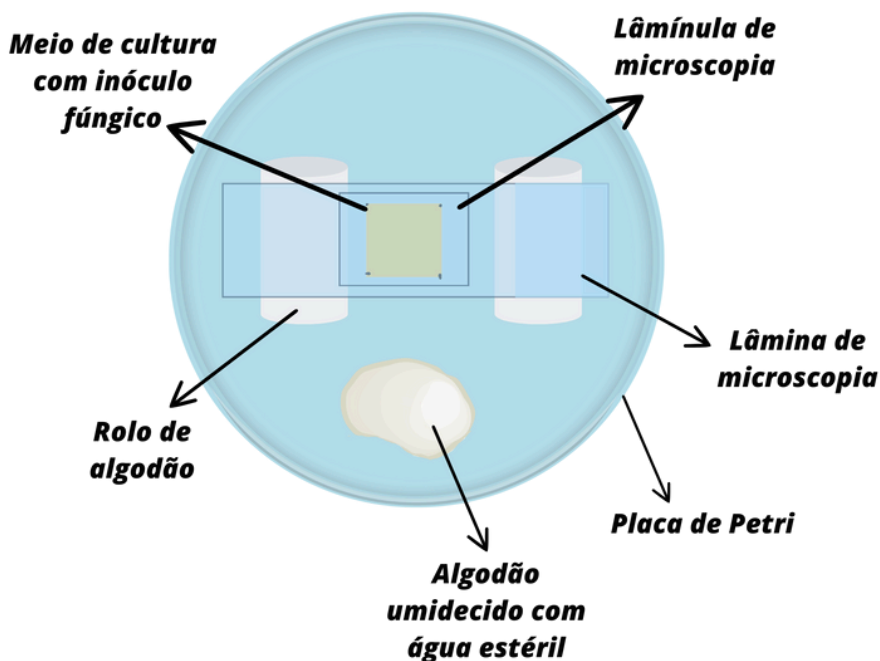


Figura 8.6 - Esquema para o microcultivo realizado em placa. Fonte: As autoras.

Procedimentos

Observado o crescimento, abra o sistema e retire a lamínula, observando sempre para que o quadrado de meio não deslize. Em seguida retire o quadrado com alça ou pinça esterilizados e o descarte em recipiente com álcool para ser descartado. Monte as lâminas de forma separada com Lactofenol Azul de Algodão e feche com esmalte incolor para a visualização em microscópio.

Atividades

Após a visualização das estruturas em microscópio óptico e com todo o aporte teórico dado pelo professor, utilize o quadro abaixo e as características morfológicas da próxima página para auxiliá-lo na caracterização micro morfológica, e em seguida os esquematize nos campos indicados.

Características dos fungos filamentosos	Fungo 1	Fungo 2	Fungo 3	Fungo 4
Hifa septada/não septada				
Conídios/ esporos				
Conidióforo/ esporangióforo				
Esporangiosporo				

Ficha de observação microscópica



Amostra:_____

Características:_____

Amostra:_____

Características:_____

8.4 Trilha para visualização de macrofungos

Esta metodologia tem como objetivo a exploração e observação de cogumelos em seu ambiente natural, convidando alunos, cientistas amadores e profissionais, interessados na diversidade e complexidade do reino dos fungos. Durante uma trilha de visualização e coleta de cogumelos, os participantes têm a oportunidade de percorrer florestas, parques naturais e outras áreas verdes em busca de uma ampla variedade de espécies de fungos. Essa atividade proporciona uma oportunidade para aprender sobre a ecologia, biologia e importância dos fungos nos ecossistemas terrestres.

Objetivos de aprendizagem:

- Introduzir os participantes ao mundo dos fungos através de uma exploração micológica em ambientes não formais, como florestas, parques naturais ou áreas verdes urbanas.
- Aprender a identificar espécies de fungos presentes na natureza, bem como coletar e classificar.

Observações importantes:

Esta atividade pode ser ajustada de acordo com a faixa etária e o conhecimento dos alunos, sendo adaptável para crianças, adolescentes e adultos interessados na biodiversidade amazônica.

Questionamentos importantes:

1. Como os fungos observados durante a trilha de visualização e coleta contribuem para a saúde e equilíbrio dos ecossistemas locais?
2. Quais medidas de conservação e preservação ambiental podem ser adotadas pelos participantes para garantir a sustentabilidade das populações de fungos e de seus habitats naturais após a atividade?

Materiais necessários para a visualização de macrofungos em ambiente natural

- Equipamentos de Proteção Individual (EPI) - calça, sapato fechado, blusa com manga, chapéu ou boné e protetor solar.
- Câmera fotográfica - para o registro das espécies encontradas em seu ambiente natural.
- Régua ou fita métrica - para medir as espécies encontradas durante as fotografias para comparação.
- Termômetro de ambiente - para medir a temperatura e a umidade do ambiente da coleta.
- GPS - marcar a localização da área de estudo da espécie.
- Ficha de campo, lápis e borracha - cada espécime deve ter informações anotadas na ficha de campo.

Materiais necessários para a coleta de macrofungos em ambiente natural

- Faca ou pá - para ajudar na remoção do fungo do seu substrato.
- Saco de papel - utilizado para acondicionar individualmente os espécimes, identificado com as informações da coleta.
- Caixa térmica - para transportar os espécimes coletados.

Procedimento

Durante a trilha, observe atentamente o ambiente em busca de cogumelos e orelhas de pau. Registre suas características morfológicas e o habitat em que são encontrados. Fotografe-os antes da coleta e faça anotações detalhadas na ficha de campo, incluindo localização, data e características do ambiente. Esses registros são essenciais para estudos futuros sobre a biodiversidade local.

Ficha de campo



Local: _____ Data: ____/____/____

Nº de identificação: _____ Nº de indivíduos: _____

Temperatura: _____ Umidade: _____ Coordenadas: _____

Habitat:

() SOLO

() TRONCO

() FOLHA

() ANIMAL

() OUTRO: _____

COR: _____

CHAPÉU: _____

ESTIPE: _____

HIMÊNIO: _____

TAMANHO: _____

ODOR: _____

OBSERVAÇÕES: _____

8.5 Identificação morfológica de macrofungos

a) **Micélio Reprodutivo ou Aéreo ou Estroma:** é o corpo de frutificação do fungo, constituído por hifas aéreas ou reprodutivas, cuja função é formar e liberar os esporos. Basidioma ou Basidiocarpo refere-se à estrutura reprodutiva complexa dos fungos Basidiomycota, enquanto Ascoma ou Ascocarpo é a estrutura reprodutiva complexa dos fungos Ascomycota.

b) **Píleo:** também conhecido como chapéu, é a porção superior do estipe que carrega o himenóforo.

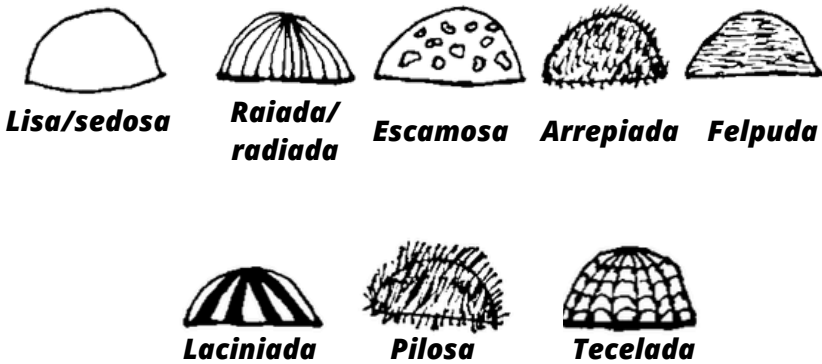


Figura 8.6 - Esquema mostrando os tipos de píleo. Fonte: As autoras.

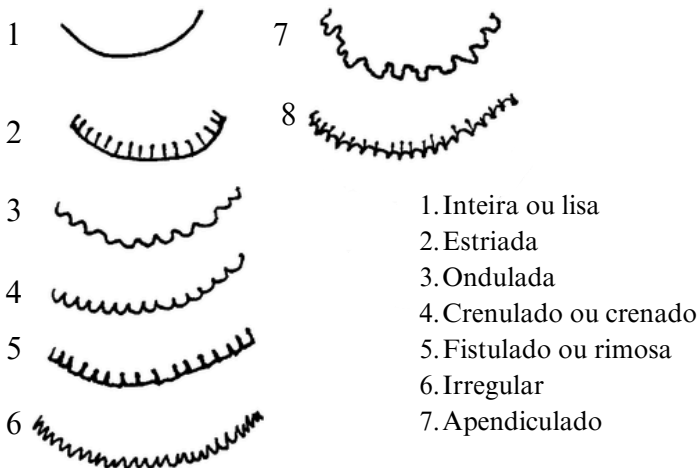


Figura 8.7 - Esquema mostrando os formatos da borda do píleo. Fonte: As autoras.

c) **Himenóforo**: refere-se à parte do macrofungo que suporta o himênio, podendo apresentar-se na forma de lamelas, poros, dentes, pregas, entre outros.

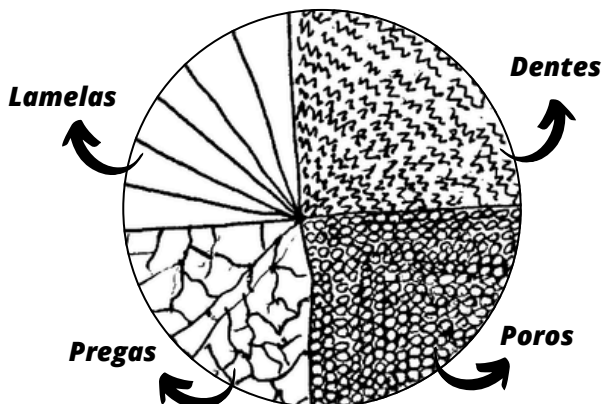


Figura 8.8 - Esquema mostrando os tipos de Himenóforo. Fonte: As autoras.

d) **Estipe**: também chamado de haste, pé ou pedúnculo, é a parte do fungo que sustenta o estroma (micélio reprodutivo).

e) **Anel**: é uma estrutura circular presente no estipe da maioria dos cogumelos.

f) **Volva**: é uma estrutura que envolve a base do estipe em alguns cogumelos.

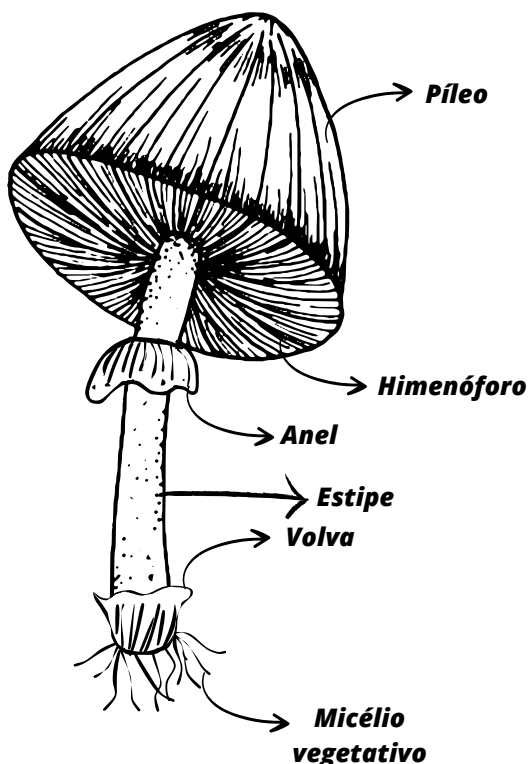


Figura 8.9- Esquema mostrando a estrutura de cogumelos. Fonte: As autoras.

8.6 Técnica esporada

A técnica de esporada em fungos desempenha um papel fundamental no estudo e na identificação desses microorganismos, permitindo a observação e coleta de esporos que são essenciais para sua classificação e caracterização. Ao proporcionar uma maneira de visualizar e coletar os esporos, essa técnica oferece insights valiosos sobre a diversidade e o ciclo de vida dos fungos, além de contribuir significativamente para a pesquisa científica e o desenvolvimento de aplicações práticas. Neste contexto, este roteiro didático visa fornecer orientações claras e práticas para a realização da técnica de esporada em fungos, abordando procedimentos específicos para diferentes tipos de fungos, como cogumelos e orelha-de-pau, e destacando sua importância no contexto da micologia e da biotecnologia.

Objetivos de aprendizagem:

1. Capacitar os alunos a compreenderem o processo de esporulação em fungos e sua importância na identificação e classificação desses microorganismos.
2. Fornecer instruções detalhadas e práticas para a realização da técnica de esporada em fungos, incluindo procedimentos específicos para cogumelos e fungos tipo orelha-de-pau.
3. Promover o desenvolvimento de habilidades práticas de laboratório, como manipulação de amostras, observação microscópica e registro de resultados.

Observações importantes:

A técnica de esporada é essencial para a obtenção dos esporos de fungos, especialmente aqueles que se apresentam na forma de cogumelo, mas também aplicável aos fungos tipo orelha-de-pau.

Materiais necessários para Cogumelos

- Cogumelos (diversas espécies)
- Papel retangular (metade branca e metade preta, se possível)
- Tesoura
- Béquer
- Água destilada ou deionizada
- Lâminas de vidro
- Resina e lamínulas (para fixação dos esporos)
- Microscópio óptico

Materiais necessários para Orelhas-de-pau

- Fungos tipo orelha-de-pau
- Placas de Petri
- Papel toalha
- Água destilada ou deionizada
- Lâminas de vidro
- Resina e lamínulas (para fixação dos esporos)
- Microscópio óptico

Procedimento para Cogumelos

Inicialmente, utiliza-se um pedaço de papel retangular, preferencialmente dividido entre uma metade branca e outra preta, com um pequeno corte circular no centro para encaixar a haste (estipe) do cogumelo. Este deve ser posicionado com o himênio (himenóforo) em contato com o papel e a estipe submersa em água dentro de um béquer. Durante 24 horas, em local escuro, os esporos se desprenderão das lamelas e marcarão o papel. Após esse período, é possível observar a coloração da esporada, além de coletar os esporos para fixação em lâminas com resina (ou esmalte de unha incolor) e lamínula, para análise em microscópio óptico.

Procedimento para Orelhas-de-pau

A obtenção de esporos ocorre com o himênio das orelhas de pau voltado para baixo sobre uma lâmina de vidro, disposta sobre uma placa de Petri forrada com papel toalha umedecido com água deionizada ou destilada. A placa deve ser tampada e armazenada em ambiente escuro por 24 horas para a obtenção dos esporos. No dia seguinte, a lâmina é observada para confirmar a presença dos esporos. Caso sejam encontrados, estes são fixados em resina (ou esmalte de unha incolor) e lamínula para posterior análise em microscópio óptico.

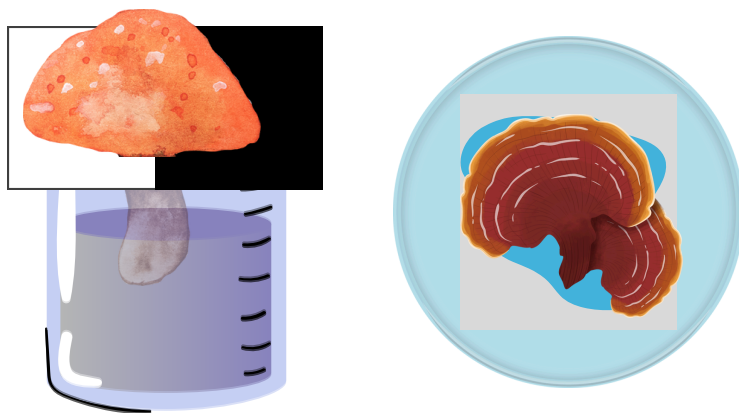


Figura 8.10 - Esquema da técnica esporada com cogumelo e orelha-de-pau.

Fonte: As autoras.

Questionamentos importantes:

1. Por que é importante realizar a técnica de esporada ao estudar fungos, especialmente aqueles na forma de cogumelos?
2. Explique o objetivo da técnica de esporada de cogumelos e descreva os passos envolvidos na sua realização.

8.7 Micopigmentos

O micopigmento refere-se à técnica de extração de pigmentos naturais de fungos para uso em diversas aplicações, como tintas, cosméticos e alimentos. Durante a prática, os participantes terão a oportunidade de aprender sobre os diferentes tipos de fungos que podem produzir pigmentos, os métodos de extração e as aplicações desses pigmentos. A atividade envolverá a identificação de fungos adequados para a produção de micopigmentos, a preparação das amostras, a extração dos pigmentos e a observação dos resultados obtidos. Este roteiro didático oferece uma introdução prática e educativa ao fascinante mundo dos micopigmentos, destacando seu potencial como alternativa sustentável e natural aos pigmentos sintéticos.

Objetivos de aprendizagem:

1. Demonstrar os métodos de preparação das amostras e extração dos pigmentos a partir de fungos.
2. Promover a compreensão das aplicações dos micopigmentos em diversas áreas, como tintas, cosméticos e alimentos.
3. Estimular o interesse pela biotecnologia e pela utilização de recursos naturais de forma sustentável.

Observações importantes:

Para essa técnica, pode-se utilizar variedades de cogumelos e orelhas de pau coletados com uma grande variedade de formatos e cores. Estimule os alunos a tentar descobrir qual cor resultará a extração de cada espécie. É importante anotar durante o procedimento, o passo a passo além das observações feitas pelos alunos

Materiais

- Corpos de frutificação (cogumelos e orelhas-de-pau)
- Álcool 70°
- Gilete ou faca para triturar os corpos de frutificação
- Béquer ou Erlenmeyer para fazer infusão
- Tecido ou linha de origem animal para corar
- Água
- Sal
- Recipiente para a solução de água com sal (mordente)
- Vinagre
- Bicarbonato de sódio

Procedimento

Neste método, os corpos de frutificação do fungo são macerados em álcool (como etanol ou metanol) para extrair os pigmentos solúveis. Primeiro, triture os pedaços do fungo e misture-os em álcool 70°. Deixe repousar por 15 minutos e, em seguida, mergulhe o material a ser corado (recomenda-se tecido ou linha de origem animal). Observe o material adquirir a tonalidade desejada e remova-o do molho. Deixe a tintura secar e, em seguida, mergulhe-a em água com sal por 30 minutos como mordente. Por fim, seque ao sol. Alternativamente, o álcool 70° pode ser substituído por água quente, vinagre e água com bicarbonato de sódio, nessas opções é possível haver uma alteração na coloração.



Figura 8.11 - Esquema da técnica de tingimento a base de cogumelo e orelha-de-pau.

Fonte: As autoras.

8.8 Sugestão de projeto de aprendizagem para o ensino de micologia

A educação superior passa por um processo de curricularização da extensão que visa consolidar o tripé da formação universitária: ensino, pesquisa e extensão. Esta proposta de projeto de aprendizagem vem atender a uma necessidade dos cursos de Licenciatura em Ciências Naturais e em Ciências Biológicas, de oportunizar ao aluno da educação básica, assim como ao público leigo, informações científicas e tecnologias aplicadas no campo da Micologia. Propõe-se que ao final da disciplina, o resultado que os alunos devem apresentar, por se tratar de uma aplicação da metodologia de aprendizagem baseada em projetos, o artefato, seja uma Exposição Micológica onde eles poderão divulgar todo o conhecimento aprendido sobre os fungos.

Objetivos de aprendizagem

1. Divulgar para estudantes da educação básica e ao público leigo os conhecimentos sobre fungos e seu papel no mundo.

Observações importantes

As abordagens utilizadas foram a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) de Bender, 2014 e a avaliação de rubricas analíticas de Mendonça e Coelho, 2018.

Projeto ABP: Exposição Micológica		
O quê?	Quando?	Como?
Questão motriz:	Como divulgar para o público em geral a importância dos fungos e suas funções na natureza e na vida das pessoas?	Deve ser respondida ao longo da disciplina e por meio do artefato apresentado para a comunidade ao final.
Âncoras:	Vídeos e textos sobre atividades extensionistas sobre fungos, materiais e técnicas de laboratório (assim como materiais alternativos), recursos naturais, reaproveitamento de materiais, etc.	No início da disciplina para que as atividades que devem culminar com a apresentação do artefato sejam feitas no decorrer das aulas e/ou como tarefas extraclasse.
Brainstorming:	Formação de grupos para discutir as estratégias que o grupo adotará para responder à questão motriz. Distribuição de tarefas, estabelecimento de metas e prazos a cumprir, seleção de materiais, etc.	Logo após a apresentação da questão motriz, mas pode ser repetido em alguns momentos ao longo das aulas, caso necessário.
Autonomia	As ideias que surgirem nos grupos devem ser respeitadas e direcionadas para o objetivo comum, dando liberdade de ação e garantindo o respeito à “voz e vez” do aluno.	Durante todo o projeto. A ABP deve proporcionar a liberdade criativa, a responsabilização do aluno pelo processo de aprendizagem.
Aprendizagem colaborativa	O trabalho em grupo e o debate de ideias, com distribuição de atribuições e responsabilidades favorece a construção coletiva e o senso de pertencimento.	Durante todo o projeto. A ABP favorece a conexão de saberes e o desenvolvimento coletivo de habilidades pelo exercício do respeito mútuo.
Artefato	Exposição Micológica	O artefato da ABP precisa ser divulgado ao público. Nesse caso, o artefato é a própria exposição construída a muitas mãos, e é no contato com os visitantes que os alunos deverão expor o conhecimento aprendido sobre os fungos.
Avaliação	Sugere-se a avaliação por rubricas analíticas.	Pode-se criar rubricas específicas para avaliar o andamento do projeto, assim como para avaliar apenas o artefato: a exposição.

Glossário



A

Ágar – Produto extraído de algumas espécies de algas marinhas vermelhas, muito utilizado na culinária por suas propriedades gelatinificantes. Na fungicultura, o ágar é utilizado em conjunto com outros elementos (água e nutrientes) na fabricação do meio de cultura, utilizado nas placas de Petri para cultivo de fungos.

Alginato – ficocolóide encontrado em algas pardas (ver definição de ficocolóide).

Artrósporo ou artroconídio – esporo formado pela desarticulação da hifa de fungos filamentosos ou leveduras.

Asco – a célula que produz esporos no corpo de frutificação dos ascomycotas.

Ascocarpo – corpo de frutificação de fungos ascomicetos.

Ascomicetos – uma classe de fungos que produzem seus esporos em células semelhantes a sacos chamados de ascos.

Ascosporos – esporos sexuais produzidos em ascos de fungos ascomicetos.

Autoclave – Máquina utilizada para esterilizar materiais por meio do vapor quente sob pressão. As altas temperaturas atingidas eliminam os microrganismos e esteriliza o material.

Autodigestão – digerir a si mesmo ou liquefazer.

B

Bactéria – Tipo de micro-organismo celular procarionte.

Basídio – Célula localizada nas lamelas responsável pela produção dos esporos.

Basídio – célula que produz esporos de fungos Basidiomicetos.

Basidiocarpo – corpo de frutificação dos fungos basidiomycota.

Basidiomiceto – uma classe de fungos que produzem esporos em basídios.

Basidiósporos – esporos sexuais produzidos nos basídios de fungos basidiomycota.

Binucleada – que possui dois núcleos por célula.

Biotrófico – se alimenta de células vivas de outros organismos.

Blastosporo ou **blastoconídio**: esporos formados por brotamento ou gemulação.

Bloco – termo utilizado na fungicultura para se referir ao saco de substrato colonizado pelo micélio.

Bolor – fungo filamentosos, multicelular, constituído de hifas.

Brotamento ou gemulação – reprodução com divisão de citoplasma através de estrangulamento.

Bulboso – com base em forma de bulbo.

C

Caliptra – nome dado à estrutura em forma de capuz que recobre a cápsula dos musgos e das hepáticas e se desenvolve a partir da parede do arquegônio.

Camada de cobertura (casing) – Fina camada de material úmido, geralmente poroso (fibra de coco, turva, terra, vermiculita) que é aplicada em cima do bloco durante a fase de frutificação para melhorar o microclima da superfície, estimulando a formação dos primórdios (pins).

Carragenana – ficocoloide encontrado em algas vermelhas (ver definição de ficocolóide).

Celulose – Polissacarídeo considerado um dos principais constituintes da parede celular dos vegetais.

Cenocítica – hifa desprovida de septos, o mesmo que hifa contínua.

Chapéu – topo do cogumelo.

Clamidósforo – estruturas de resistência, constituídas de reserva nutritiva e membrana bastante espessa, permitindo resistir aos fatores externos, semelhante aos esporos.

Cogumelo – estrutura reprodutiva dos fungos, cuja função é proteger as células produtoras dos esporos e elevá-las, aumentando o poder de dispersão.

Colonização – etapa de crescimento do micélio, quando ele percorre o substrato.

Conídio – esporo assexuado externo.

Contaminação – Surgimento de um organismo não desejado no cultivo.

Cultura – Um pedaço vivo de micélio, que pode ser replicada e expandida.

Cultura líquida – Líquido contendo micélio em suspensão, utilizado na inoculação do spawn.

D

Demácio ou demaciáceo – fungos negros que têm pigmento melanóide (acastanhado), na parede celular.

Desmotubulos – são extensões tubulares do retículo endoplasmático contidos nos plasmodesmos.

Deuteromycetes – termo obsoleto para grupo fúngico o qual não se sabe sobre a reprodução sexuada.

Dicariótico – Ocorrência de dois núcleos geneticamente diferentes na mesma célula.

Dimórfico – que apresenta duas formas: leveduriforme e filamentosa.

E

Endófito – fungo que vive com a planta sem causar sinais visíveis de prejuízos a mesma.

Endolíticos – vive no interior de rochas.

Endomicorriza – micorriza com hifas fúngicas que penetram as células da planta hospedeira.

Esporângio – órgão de reprodução assexuada interna, geralmente em forma de vesícula e contém inúmeros esporos denominados de esporangiosporos.

Esporóforo – corpo de frutificação dos fungos.

Esporopolenina – substância que reveste o esporo de briófitas evitando sua desidratação.

Esporos – estrutura reprodutiva dos fungos, geralmente em uma única célula.

Esterilização – Eliminação completa de qualquer forma de vida.

Estipe – O talo dos cogumelos.

Exploração – o termo exploração está relacionado à retirada do recurso do ambiente utilizando máquinas ou não, para fins de beneficiamento, transformação e utilização. Portanto, o maior impacto no meio ambiente é causado pela exploração. O termo exploração é tradicionalmente utilizado como sinônimo do anterior, entretanto, relaciona-se à fase de prospecção: busca e reconhecimento da ocorrência dos recursos naturais, e estudos para determinar se os depósitos ou populações têm valor econômico.

F

Fagotrófico – organismo heterotrófico ou mixotrófico que ingere alimento sólido, ao contrário do osmotrófico que se alimenta de substâncias orgânicas dissolvidas na água.

Fenótipo – características físicas observáveis resultante da interação entre o genótipo e o ambiente externo.

Feo-hifomiceto – fungo filamentoso demáceo.

Feromônios – substâncias que funcionam como mensageiros entre seres da mesma espécie, desencadeando respostas fisiológicas e comportamentais.

Ficocolóides – substâncias químicas (ágar, carragenana e alginato) presentes nos diferentes grupos de macroalgas que são utilizadas como geleificantes ou espessantes pela indústria farmacêutica, de cosméticos e alimentícia. Estas substâncias são frequentemente utilizadas na produção de géis, gelatinas e cremes diversos.

Ficólogo(a) – termo que se refere a quem estuda as algas.

Filamentoso – fungos que possuem hifa, que pode ser septada ou não septada (cenocítica), hialina (hifomicetos) ou demácea (feo-hifomicetos).

Fluxo Laminar Horizontal – máquina capaz de filtrar o ar, utilizada na inoculação de material estéril, impedindo a contaminação das amostras.

Fluxos de colheita – formação coletiva de muitos cogumelos em um mesmo período de tempo.

Fototrópico – que cresce em direção a luz.

Frústulas – o termo frústula ou tecas denominam a parede externa das diatomáceas.

Frutificação – estágio do ciclo de vida do fungo onde os cogumelos são produzidos.

Fusiforme – (descrevendo a haste) em forma de fuso, cônico na parte superior e inferior.

G

G2G – inoculação de grãos esterilizados utilizando grãos previamente colonizados com o micélio.

Genótipo – composição genética da célula que, em conjunto com fatores externos, determinam o fenótipo.

Glicogênio – o glicogênio é um polissacarídeo encontrado em animais.

Grampos de conexão – protuberância presente nas hifas da maioria dos basidiomicetos, indicando que a célula é diplóide.

H

Haustórios – estruturas absorvitivas que ou penetram ativamente no citoplasma de células do hospedeiro.

Hialino – que não tem cor, translúcido, assumindo a cor do corante utilizado.

Hifa – reunião de células justapostas, formando estrutura tubular, filamentosa, que compõe o corpo vegetativo de alguns fungos.

Hifomiceto – fungo filamentoso.

Higroscópico – substância capaz de absorver ou reter água.

Homogêneo – sendo o mesmo em toda parte.

I

Isocontes – flagelos iguais na forma e tamanho.

L

Levedura – fungo em regra unicelular que se reproduz geralmente por brotamento.

Lignina – uma macromolécula tridimensional amorfa encontrada nas plantas, cuja função é conferir rigidez aos tecidos vegetais.

Lorica – invólucro (envoltório, parede) rígido que recobre alguns tipos de algas.

Lux – unidade de medida usada na medição do fluxo luminoso em uma determinada área.

M

Meristoderme – presente na ordem Laminariales (Phaeophyceae), região meristemática situada logo abaixo das células da epiderme do talo das espécies do referido grupo.

Micélio – corpo de fungo, que pode ficar para dentro ou para fora da madeira ou do meio de cultura.

Micélio – uma rede de hifas.

Micélio primário – hifas haplóides.

Micélio secundário – hifas diplóides.

Micobionte – parceria de fungo ou líquen ou micorriza.

Micófago – que se alimenta de fungos.

Micologia – o estudo dos fungos.

Micorriza – relação dimbiótica estabelecidas entre algumas espécies de fungos e raízes de plantas.

Micron – unidade de medida equivalente a 1 milionésimo de metro.

Microscópio – equipamento óptico utilizado para amplificar imagens e objetos, muito utilizado na microbiologia.

Mixamebas – células haplóides, amebóides, independentes e móveis, podem funcionar como gametas.

Monocariótico – estado haplóide do micélio, contendo um núcleo por célula.

Monotub – câmara de frutificação feita com caixa organizadora plástica.

Myxomycetes – grupo comumente encontrado na forma de limo.

N

Núcleo celular – local da célula onde se concentra o material genético (cromossomos).

O

Organela – diferentes estruturas que estruturam a célula.

P

Paramilo – material de reserva, correspondendo a agregações lineares de glicose.

Parasitismo – processo em que organismo se alimenta de outro (hospedeiro).

Pasteurização – tratamento que visa uma diminuição drástica de micro-organismos, mas não sua total eliminação.

Píleo – chapéu do cogumelo.

Pirenóide – o pirenóide é uma massa fundamentalmente proteica, incolor, que se observa no estroma dos plastos de muitas algas dos mais variados grupos.

Poros – orifícios dos tubos de fungos poliporosos, por onde saem os esporos.

Primórdio – massa densa que se forma no micélio e que dará origem aos cogumelos.

Procariótico(a) – organismo ou célula que possuem uma organização muito simples, com o material genético (DNA) espalhado pelo citoplasma.

Pseudohifa – uma série de blastoconídios que permanecem aderidos uns aos outros, formando filamentos semelhantes a hifas.

R

Rizomórfico – com forma de raiz.

Rubisco – abreviatura de ribulose-bisfosfato carboxilase oxigenase.

S

Saprófita – um organismo que obtém seus nutrientes de matéria orgânica morta.

Saprófito – que se alimenta de matéria orgânica morta.

Saprotrófico – estágio morfofogenético distinto que absorve substâncias do meio, como alguns fungos atuais.

Senescência – processo de envelhecimento do organismo.

Septo – uma parede separando as células da hifa.

Séssil – não sai do lugar.

Spawn – conhecido no Brasil como “semente”, corresponde aos grãos colonizados pelo micélio dos cogumelos, utilizados na inoculação do substrato.

Strain – linhagem, raça.

Substrato – serragem, palhas, composto ou qualquer substância que promova o crescimento do micélio.

T

Taxonomia – classificação de organismos baseado nas suas relações naturais.

Termófilo – micro-organismos que vivem em temperaturas de 24 a 60°C.

Termogênese – processo de geração de calor pela ação de micro-organismos.

Tilacóides – tilacóides são uma espécie de lamelas formadas por estruturas membranosas observadas no interior dos cloroplastos.

Tuberculado – com granulações ou nodosidades.

V

Véu – película presente no cogumelo ligando as bordas do chapéu ao talo, protegendo as estruturas produtoras de esporos até a abertura do chapéu.

Z

Zygomycota - uma classe de fungos com hifas que não possuem paredes transversais.

Referências

- ALEXOPOULOS, C. J., C. W. MIMS, and M. BLACKWELL. *Introductory Mycology* (4th Ed.). John Wiley and Sons, New York, EUA. 1996. 868p.
- BARTHELEMY, J. L.; DA SILVA, M. I. L.. Estudo sobre a diversidade de fungos zoospóricos que ocorreram no Lago do Puraquequara, Manaus, Amazonas. *Micologia: Fungos e/ou seus Metabólitos como Objeto de Estudo*. 1ed. Ponta grossa: Atena Editora, 2020, v. 10, p. 74-97.
- BRAGA-NETO R; JESUS, M. A.; ZUCARATTO, R.. Guia de fungos macroscópicos da Reserva Florestal Adolpho Ducke. Manaus: PPBio_INPA, 2008 (Livro Guia).
- CALIXTO, C. M. F.; CAVALHEIRO, E. T. G.. Penicilina: Efeito do acaso e do momento histórico no desenvolvimento científico. *Química Nova na Escola* (Impresso), v. 34, p. 118-123, 2012.
- CAMARGO, I. DE; DE OLIVEIRA, M. F.; REGANHAN-CONEGLIAN, C. M.; RÉGO, A. P. J.; QUITERIO, G. M.; BIDOIA, E. D.. Ação de fungos micorrízicos e biofertilizante em solo contaminado com diesel. *Holos Environment* (Online), v. 17, p. 110, 2017.
- CAPRONI, A. L.; GRANHA, J. R. D. O.; FORNACIARI, A. J.; NOBRE, C. P.; MENDONÇA, L. P.; BERBARA, R. L. L.. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in an Amazon Environment after Mining. *FLORAM*, v. 25, p. 1-9, 2018.
- CARVALHO, A. C.; SOTÃO, H. M. P.; FRANÇA, I. F. Fungos causadores de ferrugens (Pucciniales) em plantas da Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazônia Central, Brasil. *Rodriguésia*, 69: 663–672. 2018.
- CARVALHO, R. S.; HANADA, R. E.; ABREU, R. L. S.; ARAUJO, C. C. N.. A Prevalência dos Fungos *Trichoderma* spp. e *Lasidiopodia theobromae* na Espécie Florestal da Amazônia, Cardeiro (*Scleronema micranthum* (Ducke) Ducke, Bombacaceae). In: Claudia Eugenio da Silva; Marta Martins Brasil; Roberto Daniel de Araújo; Lizit Alencar da Costa; Claudete Catanhede do Nascimento; Nabor Silveira Pio. (Org.). *Contextualização Amazônica*. 1ed. Manaus: EDUA, 2010, v. 1, p. 5-79.
- CAVALCANTE, F. S.; CAMPOS, M. C. C.; LIMA, J. P. S.. A percepção ambiental sobre fungos: uma revisão integrativa. *Novos Cadernos Naea*, v. 24, p. 81-98, 2021

CECHINEL, Laina. Isolamento de fungos a partir de solo com uso intenso de agroquímicos, visando a biorremediação. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia de Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

COELHO, M., FIGUEIREDO, A. DA S. F. ., MARTIM, S. R. M., & TEIXEIRA, M. F. S. T. (2022). CICLO DE PRODUÇÃO DE COGUMELOS COMESTÍVEIS CULTIVADOS EM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS DA FRUTICULTURA AMAZÔNICA: UM ESTUDO DE CASO. CONCILIUM, 22(2), 284–294. [HTTPS://DOI.ORG/10.53660/CLM-116-138](https://doi.org/10.53660/CLM-116-138).

COIMBRA, C. E., & WELCH, J. R. (2018). ENCICLOPÉDIA DOS ALIMENTOS YANOMAMI (SANÖMA): COGUMELOS. EDITED BY APIAMÖ, R. M., AUTUORI, J., ISHIKAWA, N. K., MARTINS, M. S., MENOLLI JR., N., SANUMA, C., SANUMA, L. R., SANUMA, M., SANUMA, O. I., & TOKIMOTO, K. (2016). INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, SÃO PAULO. 108 PP. ETHNOBIOLOGY LETTERS, 9(2), 309-311.

DO CARMO, W.; DO CARMO, M. G.. Desmatamento, queimadas e ameaça de extinção da flora e fauna na Amazônia brasileira. Revista científica do instituto idea. – ISSN 2525-5975 / RJ / Revista nº 2 – ANO 8 (2019). P. 58.

DRECHSLER-SANTOS, ER; Horta PA. Sistemática Vegetal I: Fungos. 2015. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - capítulo de livro).

EVERT, R. F., EICHHORN, S. E. Raven Biology of Plants. 8a. Ed. Worth Publishers, New York, 2013.

FAVORETTI, V.; SILVA, V. V. ; LIMA, R. A. . O ensino de Ecologia em espaços não formais de ensino: percepção e aprendizagem de alunos do Ensino Médio no Sul do Amazonas. Revista Cocar (ONLINE), v. 14, p. 01-19, 2020.

FERREIRA, M. S.; BORGES, A. S. . Histoplasmosse. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, v. 42, p. 192-198, 2009.

FREIRE, F. C. O.; VASCONCELOS, F. R.; COUTINHO, I. B. L. Fungos endofíticos: uma fonte de produtos bioativos de importância para a humanidade. Essentia, v. 16(1):61-102. 2014.

FREITAS, R. O.; CARRENHO, R.. Guia Digital de Fungos Micorrízicos Arbusculares da Reserva Florestal Adolpho Ducke e Reserva do PDBFF. Manaus: INPA, 2013.

- GIESE, E. C.; MARTINEZ, G. C.; PEREIRA, J. O.; DEKKER, R. F. H.; BARBOSA, A. M.. Seleção de isolados de *Colletotrichum* da biodiversidade da Amazônia como produtores de lacases utilizando uma metodologia simplificada. *Semina. Ciências Agrárias* (Online), v. 30, p. 397, 2009.
- GUARRO, J.; GENE, J.; STCHIGEL, A. M. *Developments in Fungal Taxonomy Clinical Microbiology. Reviews*, vol. 12, n. 3, p. 454–500, 1999.
- HEADS, S. W.; MILLER, A. N.; CRANE, J. L.; THOMAS, M. J.; RUFFATTO, D. M.; METHEVEN, A. S.; RAUDABAUGH, D. B.; WANG, Y. The oldest fossil mushroom. *Plos One*, [s. l], v. 12, n. 6, p. 1-6, jun. 2017.
- KIRK, P. M., P. F. CANNON, J. C. DAVID & J. A. *Dictionary of the Fungi*. 10 ed. Wallingford, UK: CABI, p. 340. 2008.
- KIRK, P. M., P. F. CANNON, J. C. DAVID & J. A. Stalpers. *Dictionary of the Fungi*. 9 ed. CABI Publishing. 2001.
- Matias, R. R.; Sepúlveda, A. M. G.; Batista, B. N.; de Lucena, J. M. V. M.; Albuquerque, P. M.. Degradation of *Staphylococcus aureus* Biofilm Using Hydrolytic Enzymes Produced by Amazonian Endophytic Fungi. *APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY*, v. 193, p. 1-17, 2021.
- NARANJO-ORTIZ, M. A. Fungal evolution: diversity, taxonomy and phylogeny of the Fungi. *Biol Rev Camb Philos Soc*. 94(6): 2101–2137. 2019.
- NEVES, M. A.; SPRICIGO, M. C.. Uma breve história dos fungos na evolução da Terra. 1. ed. Florianópolis: PPG em Biologia de Fungos, Algas e Plantas, 2023. v. 1. 10p
- OTTONI, L. C. C.; YAMAGUCHI, N. U.; OYAMA, J.; YAMAGUCHI, M. U.. Ocorrência de fungos em água para consumo humano. *Enciclopédia Biosfera*, v. 10, p. 3426-3433, 2014.
- Paes, L. S.; Queiroz, M. S. M.; Ferreira, M. V.; Neta, M. A. F.; Casas, L. L.; Oliveira, A. T.; de Lucena, J. M. V. M. Aspectos estruturais, químicos e micológicos de *Stachytarpheta cayennensis*. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 2018, n. 20, 204 -212.

PAMPHILE, J. A. et al. Aplicações biotecnológicas de metabólitos secundários extraídos de fungos endofíticos: o caso do *Colletotrichum* sp.. *Uningá Journal*, [S.l.], v. 53, n. 1, July 2017. ISSN 2318-0579. Available at: <<http://34.233.57.254/index.php/uninga/article/view/1403>>. Data de acesso: 13 abr. 2022.

PEREIRA E da, Trichomycete fungi (Zygomycota) associated with mosquito larvae (Diptera: Culicidae) in natural and artificial habitats in Manaus, AM Brazil, . *Neotropical Entomology*, № 34, c. 325. 2005.

PESSOA, L. S.; CARVALHO, C. S. M.; SALES-CAMPOS, C.. Cultivo experimental de Basidiomicetos com possível potencial comestível da região amazônica em diferentes substratos. In: VII Simpósio Internacional sobre Cogumelos no Brasil, 2013, Manaus. VII Simpósio Internacional sobre Cogumelos no Brasil e VI Simpósio Nacional sobre Cogumelos Comestíveis. Brasília: Embrapa, 2013. v. 1.

PICOS-MUÑOZ PA, GARCÍA-ESTRADA RS, LEÓN-FÉLIX J, SAÑUDO-BARAJAS A, ALLENDE-MOLAR R. Lasiodiplodia theobromae en cultivos agrícolas de México: Taxonomía, Hospedantes, Diversidad y Control. *Rev Mex Fitopatol*. 2015; 33 (1): 54–74.

PINHEIRO SB, SOUZA ES, CORTEZ AC, ROCHA DF, MENESCAL LSF, CHAGAS VS, et al. Cryptococcal meningitis in non-HIV patients in the State of Amazonas, Northern Brazil. *Braz.J. Microbiol*. 2021;52:279–88.

PUTZKE, J. e PUTZKE, M. Os Reinos dos Fungos. v. 1. 1. ed. EDUNISC. Santa Cruz do Sul, 1998. 606 p. il

REYES H. A., FERREIRA P. F. A., SILVA L. C., COSTA M. G., NOBRE C. P., GEHRING C.. Arbuscular mycorrhizal fungi along secondary forest succession at the eastern periphery of Amazonia: Seasonal variability and impacts of soil fertility. *Applied Soil Ecology* 136: 10, 2019.

SANTOS, W. S., ALVES, R. M., DIAS, A. C. A. A.. A importância do contexto Amazônico no ensino de Botânica na Educação Básica. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, e46910817459, 2021.

SILVA, S.; NEGRI, M. F. N.; HENRIQUES, M.; OLIVEIRA, R.; WILLIAMS, D. W.; AZEREDO, J.. *Candida glabrata*, *Candida parapsilosis* and *Candida tropicalis*: biology, epidemiology, pathogenicity and antifungal resistance. *FEMS Microbiology Reviews* (Print), v. no, p. no-no, 2011.

SILVA, R. R., COELHO, G. D. *Fungos: principais grupos e aplicações biotecnológicas*. Instituto de Botânica – Ibt. São Paulo. Out, 2006.

STROBEL, G.; DAYSE, B. Bioprospecção de endófitos microbianos e seus produtos naturais. *Microbiol. Mol. Biol.* v. 67, p. 491-502, 2003.

TAKAHASHI, J.A., LUCAS, E.M.F. Ocorrência e diversidade estrutural de metabólitos fúngicos com atividade antibiótica. *Química Nova*, v.31, n.7,p. 1807-1813, 2008.

TERÇARIOLI, G. R.; PALEARI, L. M.; BAGAGLI, E.. *O incrível mundo dos fungos*. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2010. v. 1. 125p.

TORTORA, G. J., FUNKE, B. R., CASE.; *Microbiologia*. 12. ed. Artmed, Porto Alegre, Brasil, 2017. 952 p.

TRAVASSOS, A. G. G.; DE LUCENA, J. M. V. M. Iniciação científica articulando conhecimentos biológicos e químicos com perspectivas biotecnológicas. In: *PET-Biologia IFAM: 10 anos integrando atividades de ensino, pesquisa e extensão*. Paes, L. S.; Peixoto, E. A.; Oliveira, A. T. (org). Guarujá, SP: Científica Digital, 2022. p. 147-160. DOI: 10.37885/211206887.

VARGAS-ISLA, R., YUYAMA, L. K. O., AGUIAR, J. P. L., ISHIKAWA, N. K. USO DA BAINHA INTERNA DA PUPUNHEIRA (*Bactris gasipaes*) PARA PRODUÇÃO DE SEMENTE-INÓCULO DE *Panus strigellus* (em inglês) - PRODUCTION OF *Panus strigellus* SPAWN USING THE INTERNAL SHEATH OF PEACH PALM (*Bactris gasipaes*) AS A SUBSTRATE. *Interciencia*, v. 38, n. 10, 2013. p. 733-736.

VALENCIA-AGUILAR A, RUANO-FAJARDO G, LAMBERTINI C, DA SILVA LEITE D, TERÇARIOLI, G. R.; PALEARI, L. M.; BAGAGLI, Eduardo. *O incrível mundo dos fungos*. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2010. v. 1. 125p .

TOLEDO LF, MOTT T. Chytrid fungus acts as a generalist pathogen infecting species-rich amphibian families in Brazilian rainforests. *Dis Aquat Organ.* (2015) 114:61–7. 10.3354/dao02845

WHITTAKER, R. H. On the broad classification of organisms. *Quarterly Review of Biology*. 34:210-226. 1959.

WHITTAKER, R. H. New concepts of kingdoms of organisms. *Science*. New York. 163:150-160. 1969.

WOESE, C. R., KANDLER, O., WHEELIS, M. L.; Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. Vol. 87, pp. 4576-4579, Junho, 1990.

YANOMAMI, Floriza da Cruz Pinto; VIEIRA, Marina A. R. de Mattos; ISHIKAWA, Noemia Kazue (Orgs.). *Përisi, Marasmus Yanomami – Përisiyoma pë wāha oni – O fungo que as mulheres Yanomami usam na cestaria*. São Gabriel da Cachoeira: Associação de Mulheres Yanomami Kumirāyōma; São Paulo: Instituto Socioambiental, 2019.

ZENT, E. L.; ZENT, S.; ITURRIAGA, T. Knowledge and use of fungi by a mycophilic society of the Venezuelan Amazon. *Economic Botany*, v. 58, n. 2, p. 214-226, 2004.



FUNGOS DA
AMAZÔNIA

Este livro se destina a professores, alunos e entusiastas com interesse em mergulhar no mundo da Micologia encontrados na biodiversidade amazônica. Ele aborda desde os fundamentos da micologia até aspectos avançados da pesquisa na região. Com uma abordagem didática e acessível, é um recurso indispensável para todos os interessados em compreender e explorar a diversidade e importância dos fungos amazônicos.

