



PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

PRODUTO EDUCACIONAL

Material didático: Principais grupos de fungos: uma interpretação com base em sua sistemática filogenética

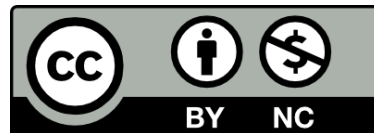
Edimar Cristiano Macedo

Nelson Menolli Jr.

São Paulo (SP)

2017

Este trabalho está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição-
NãoComercial 4.0 Internacional. Para ver uma cópia desta licença, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.



Produto Educacional apresentado como requisito à obtenção do grau de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pelo Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus São Paulo. Defesa realizada em 14/03/2017.

AUTORES

Edimar Cristiano Macedo: Possui graduação em Ciências Biológicas (Licenciatura) pela Universidade São Francisco (2005) e graduação em Matemática (Licenciatura) pela Universidade Metropolitana de Santos (2008). Kursou especialização em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do ABC (2012) . Também concluiu Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática (2017) do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de São Paulo (IFSP). Há treze anos, é Professor de Educação Básica II da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo com experiência em disciplinas da área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. É titular de cargo na EE Profª Augusta do Amaral Peçanha, com aulas de Biologia e Matemática nos ensinos Médio e Fundamental. Tem interesse em pesquisas relacionadas a análise de recursos didáticos e formação de professores de Ciências e Matemática.

Nelson Menolli Jr.: É professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFSP - Campus São Paulo), mestre e doutor em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente (Botânica) pelo Instituto de Botânica (IBt) e graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Desenvolve atividades de cunho taxonômico através de filogenia molecular e levantamento da diversidade de fungos Agaricales (Basidiomycota). Tem experiência nas áreas de Botânica e Microbiologia, com ênfase em Taxonomia e Filogenia de Agaricales, Cultivo de Cogumelos Comestíveis e Microbiologia Aplicada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem de fungo do gênero <i>Pilobolus</i>	10
Figura 2 – Exemplo de fungo ascomiceto sapróbio, decompondo uma fruta cítrica .	11
Figura 3 – Gráfico comparativo entre o percentual de espécies conhecidas de fungos e o número de espécies estimadas na biosfera	12
Figura 4 – Levantamento do número de espécies de fungos por Domínio Fitogeográfico do Brasil.....	13
Figura 5 – Síntese do sistema de classificação dos seres vivos em cinco reinos proposto por Robert Whittaker	14
Figura 6 – Relações filogenéticas entre os filos reconhecidos atualmente no reino Fungi.....	16
Figura 7 – Gametângios e Mitosporângios de fungos zoospóricos do gênero <i>Allomyces</i>	19
Figura 8 – Reresentantes do filo Chytridiomycota	19
Figura 9 – Esporângios de fungos do gênero <i>Rhizopus</i>	20
Figura 10 – Ascomicetos leveduriformes.. ..	21
Figura 11 – Ascomicetos	22
Figura 12 – Micrografia eletrônica de varredura de basidiósporos de fungos do gênero <i>Volvariella</i>	22
Figura 13 – Basidiomas.....	23
Figura 14 – Relações filogenéticas entre os filos reconhecidos atualmente no reino Fungi.	24

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	6
Principais grupos de fungos: uma interpretação com base em sua sistemática filogenética	10
Estudo de caso.....	10
Características gerais dos fungos.....	11
Diversidade e classificação dos fungos.....	12
Critérios utilizados na classificação dos fungos	15
Organize a sua síntese	23
Características evidenciadas no cladograma.....	24
Reflexões sobre o estudo de caso	24

APRESENTAÇÃO

O texto a seguir foi elaborado a partir de algumas reflexões apontadas durante a realização de uma pesquisa sobre o ensino de fungos e a abordagem de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais nos livros didáticos de biologia aprovados pelo PNL D 2015.¹

Trata-se de um texto de divulgação científica que aborda, de forma simultânea e por meio de conceitos, questionamentos e atividades, conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais para discutir alguns aspectos relacionados à origem e evolução dos fungos, um dos temas mais pobremente abordados nos livros analisados. O texto produzido é destinado aos professores de biologia que buscam um recurso adicional para apresentar aos seus alunos uma interpretação da classificação dos fungos com base em estudos de sistemática filogenética mais atuais.

Os conteúdos conceituais contemplados no texto incluem, além de uma breve apresentação de algumas características gerais dos fungos e da importância desses organismos para a biosfera, uma revisão da classificação mais atual dos principais filos de fungos com destaque às adaptações estruturais de cada grupo. A classificação apresentada foi escrita com base em reflexões presentes em publicações internacionais que discutem as principais características de cada filo. Nesse contexto, são exploradas algumas relações filogenéticas entre os filos de fungos descritos, atendendo, dessa forma, às orientações dos PCN+ que sugerem que a evolução deve ser o eixo central dos conceitos de biologia apresentados no ensino médio.

Quanto à dimensão procedimental, procurou-se trabalhar, no decorrer do texto, procedimentos relacionados ao trabalho experimental, à conceituação e aplicação de conceitos e à informação e comunicação, conforme classificação proposta por Oró (1999)². Além das descrições e questionamentos presentes ao longo do texto, que contribuem para o uso de vocabulário científico básico e para a extração de informações de textos, três seções do produto final foram elaboradas de forma a

¹Macedo, E. C. *O ensino de fungos e a abordagem de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais nos livros didáticos de biologia aprovados pelo PNL D 2015*. 2017. 88f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo. 2017.

²ORÓ, I. *Conhecimento do Meio Natural*. IN: ZABALA, A. *Como trabalhar os conteúdos procedimentais em aula*. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 1999.

permitir a abordagem de outros conteúdos procedimentais. A seção “Compreendendo o cladograma” convida o leitor a identificar, em um cladograma previamente elaborado, as características exclusivas dos filões de fungos discutidos e a formular hipóteses sobre a origem e diversificação dos fungos, abordando, assim, procedimentos relacionados ao trabalho experimental e também à informação e comunicação. A seção denominada “Estudo de caso” envolve conteúdos procedimentais relacionados, principalmente, à conceituação e aplicação de conceitos aprendidos, pois, ao ser apresentada uma situação-problema, o leitor é convidado a construir conceitos científicos básicos a partir de uma situação dada. Por fim, a seção “Organize sua síntese” foi estruturada de forma a permitir que o aluno possa desenvolver habilidades relacionadas à montagem de esquemas conceituais e à síntese de informações diversas a partir dos conceitos discutidos no texto.

A abordagem de conteúdos atitudinais, por sua vez, ocorreu de modo discreto, uma vez esse tipo de conteúdo é de natureza essencialmente implícita, conforme mencionado por Pozo e Crespo (2009)³. Sendo assim, o texto e as seções de atividades propostas foram estruturados de forma a incitar nos alunos valores, normas e atitudes relacionados, principalmente, ao conhecimento e à preservação dos fungos.

As atitudes, entendidas como predisposições ou ideias prévias que orientam pessoas a atuar de determinadas maneiras (ZABALA, 1998)⁴, são discutidas na seção “Estudo de caso”, uma vez que ao ler a situação problema, o leitor é convidado a refletir, por meio de questionamentos, sobre a interferência dos fungos na qualidade de vida de outros seres vivos. Arelada a essa reflexão, alguns parágrafos do texto abordam o papel ecológico dos fungos, a fim de incitar valores ou ideias éticas sobre a importância da preservação desses organismos para o equilíbrio dos ecossistemas. Sabe-se que os fungos são essenciais para a preservação ambiental, mas poucas espécies foram catalogadas e descritas do ponto de vista morfofisiológico e evolutivo. Algumas pesquisas estimam que se conhece apenas 2% dos fungos existentes na biosfera, e por esse motivo diversas pesquisas devem ser realizadas para que se

³ POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. C. *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Porto Alegre: Artmed, 2009.

⁴ ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

possa delimitar estratégias eficazes para a preservação dos fungos, uma vez que é preciso conhecer o que se pretende preservar.

De modo geral, procurou-se abordar nesta proposta de produto final as três tipologias de conteúdo, mas, sem dúvida, a natureza dos conteúdos atitudinais dificulta sua abordagem em livros e textos impressos, como já também evidenciado e discutido na análise dos livros feita neste trabalho.

É evidente que este produto final não é capaz de suprir todas as oportunidades de melhoria da abordagem de fungos nos livros didáticos que foram analisados neste trabalho, mas a elaboração e disponibilização deste material tende a representar um pequeno complemento aos materiais impressos disponíveis às escolas públicas. Dessa forma, espera-se que trabalhos futuros ampliem a discussão de quais materiais curriculares podem auxiliar o docente na abordagem de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais no ensino de biologia.

Texto destinado aos professores de biologia que buscam um recurso adicional para apresentar aos seus alunos uma interpretação da classificação dos fungos com base em estudos de sistemática filogenética mais atuais.

Principais grupos de fungos: uma interpretação com base em sua sistemática filogenética

Principais grupos de fungos: uma interpretação com base em sua sistemática filogenética

Edimar Cristiano Macedo

Nelson Menolli Junior

Estudo de Caso

Depois de estudar diversas doenças causadas por fungos, um adolescente concluiu que seria necessário conhecer as principais características dos fungos para poder delinear estratégias adequadas para eliminar esses seres da biosfera. Ao justificar sua intenção, o adolescente disse que precisaríamos exterminar os fungos do planeta pois eles são os responsáveis por causarem doenças em seres vivos de diversas espécies. Com base na ideia e justificativa do adolescente, reflita sobre as questões abaixo e, em seguida, leia o texto a seguir para rever suas concepções acerca da biologia e diversidade dos fungos.



Figura 1: Imagem de fungo do gênero *Pilobolus*. Imagem cedida por Adriano Spielmann.

- A extinção dos fungos irá interferir na qualidade de vida dos demais seres vivos? Por quê?
- Todos os fungos causam doenças em outros organismos?
- Considerando os papéis desempenhados pelos fungos nos ecossistemas, quais impactos ecológicos poderiam surgir a partir de uma eventual extinção dos fungos?

Características gerais dos fungos

O que são fungos? Onde eles estão presentes? Qual a importância deles para o meio ambiente?

Os fungos, são seres uni ou pluricelulares eucariontes, reconhecidos pela nutrição heterótrofa por absorção, isto é, para obtenção de energia, em vez de ingerir o alimento como fazem os animais, os fungos lançam na matéria orgânica disponível no substrato algumas enzimas capazes de degradar os nutrientes que serão absorvidos pelo organismo. Nesse processo, os fungos conseguem obter as principais moléculas necessárias ao seu metabolismo, sendo capazes de utilizar o glicogênio como substância de reserva, característica que também está presente nos animais.

Os fungos estão presentes praticamente em todas as partes do planeta, ocupando diferentes *habitats*, incluindo ambientes aquáticos e terrestres, ou interagindo com diferentes organismos a partir de associações simbióticas. Esses seres fazem parte das atividades comuns do nosso dia a dia, participando da produção de alimentos e de bebidas, ou até mesmo por meio de danos que podem causar à saúde individual e coletiva.

Do ponto de vista ecológico, os fungos são essenciais para o equilíbrio dos ecossistemas. Alguns fungos são sapróbios, isto é, contribuem para a decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, liberam para o ambiente alguns nutrientes que podem ser absorvidos por seres produtores, reestabelecendo o ciclo de matéria orgânica nos ecossistemas. Outros fungos são simbiontes, podendo estabelecer relações harmônicas, por exemplo, com algas e cianobactérias ou com raízes de plantas. De qualquer forma, as associações dos fungos com outros seres vivos contribuem para o controle populacional de diversos ambientes, pois em diversos casos esses seres colaboram para a permanência de alguns organismos ao fornecer nutrientes para os mesmos, e, em outros, estabelecem relações desarmônicas capazes de limitar o crescimento de populações, cooperando para que a disponibilidade de recursos não se torne escassa para aqueles que habitam o respectivo ambiente.



Figura 2: Exemplo de fungo ascomiceto sapróbio, decompondo uma fruta cítrica. Imagem cedida por Adriano Spielmann.

Tendo em vista a importância econômica e ecológica dos fungos, é essencial zelar pela preservação desses organismos, uma vez que eles são essenciais para a manutenção da biodiversidade existente no planeta. Para isso, se faz necessário

conhecer não só as características gerais desses seres como também a diversidade de espécies presente na biosfera, além das possíveis adaptações dos fungos aos ambientes em que vivem.

Diversidade e classificação dos fungos

Uma das características impressionantes do reino Fungi é a capacidade de possuir representantes habitando diversas regiões do planeta, constituindo um reino cujo número de espécies é difícil de definir. Dados mais recentes determinam a existência de cerca de cem mil espécies de fungos conhecidas, havendo ainda pelo menos cinco milhões de espécies a serem descritas nos diversos biomas da biosfera, conforme demonstra a figura a seguir.

Percentual de espécies de fungos conhecidas em relação ao número de espécies estimadas na biosfera

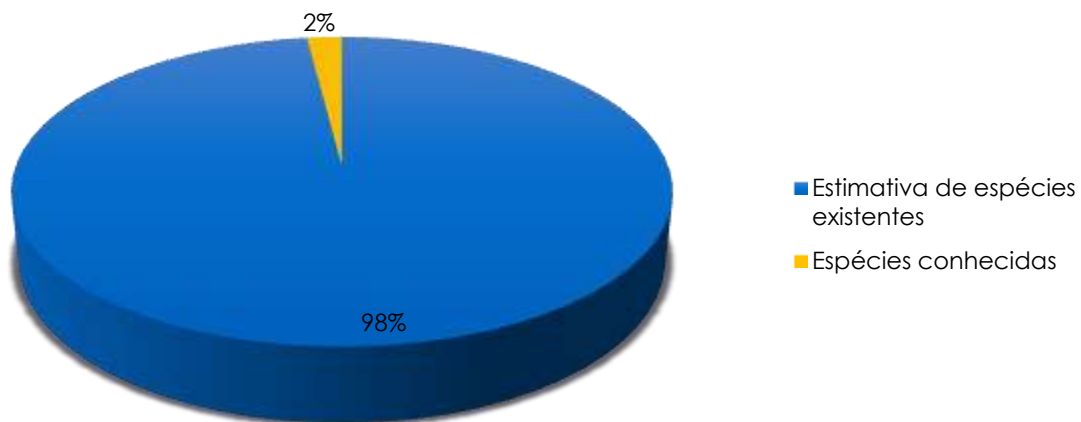


Figura 3: Gráfico comparativo entre o percentual de espécies conhecidas de fungos e o número de espécies estimadas na biosfera.

Obter um número exato de espécies é uma tarefa praticamente impossível, já que a compilação do número de espécies conhecidas depende de estudos históricos e atuais e da interação de pesquisadores e instituições que atuam em diferentes partes do mundo. Isso dificulta a pesquisa em regiões com imensa diversidade, mas com precária infraestrutura para a pesquisa, como é o caso de algumas áreas tropicais do globo, incluindo o Brasil.

No Brasil, por exemplo, estima-se que os biomas brasileiros possuem cerca de 14% das espécies de fungos conhecidas mundialmente. Dentre os principais biomas e

domínios do Brasil, há mais registros de espécies de fungos em áreas de Mata Atlântica, de Caatinga e da Amazônia, regiões onde estão os principais grupos de pesquisa que estudam fungos no país. Por outro lado, pouco se sabe a respeito de espécies do Pantanal e dos Pampas, conforme demonstra a figura seguinte. Dessa forma, é necessário ampliar o conhecimento acerca da diversidade dos fungos, para que se possa delimitar estratégias eficazes para a preservação dos fungos e dos demais seres vivos, uma vez que é imprescindível conhecer aquilo que se pretende preservar.

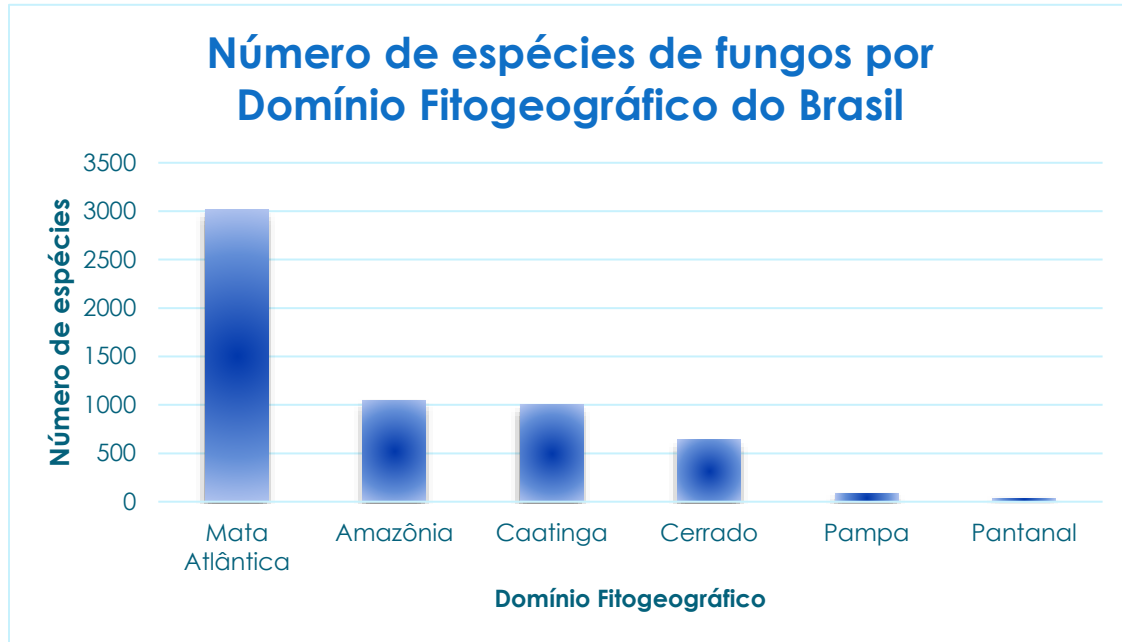


Figura 4: Levantamento do número de espécies de fungos por Domínio Fitogeográfico do Brasil¹.

Ao constituir um reino próprio, os fungos compartilham diversas características que já intrigaram pesquisadores se esses seres deveriam ser inseridos no reino Plantae ou no reino Animalia, quando a classificação dos seres vivos ainda era centrada nesses dois grupos de organismos. A classificação dos seres vivos proposta por Carl von Linné (Carlos Lineu, 1707-1778) em meados do século XVIII considerava apenas características morfofisiológicas para identificar os seres vivos em dois grupos principais, os animais e as plantas. Nesse sistema de classificação as plantas eram caracterizadas por serem seres sésseis, pela presença da parede celular e pela capacidade de realizar fotossíntese. Os animais, por sua vez, eram conhecidos por não realizarem fotossíntese, não possuírem parede celular e pelo fato de conseguirem se locomover. Diante dessas características, os fungos foram considerados membros do reino Plantae principalmente por possuírem

¹ MAIA, L. C. *et al.* *Diversity of Brazilian Fungi*. Rodriguésia, Rio de Janeiro, v. 66, n. 4, p. 1033-1045, 2015. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/rod/v66n4/2175-7860-rod-66-04-01033.pdf>>. Acesso em: 03 de abril de 2017.

Principais grupos de fungos: uma interpretação com base em sua sistemática filogenética

parede celular e também pela presença de estruturas até então consideradas como semelhantes às raízes.

O sistema de classificação de dois reinos foi questionado com o advento de contribuições da biologia evolutiva e de estudos mais avançados sobre morfologia celular. Além disso, a descrição de novos grupos de seres vivos demonstrava que os dois reinos não eram suficientes para representar a diversidade da vida existente no planeta. Por esse motivo, novas propostas de classificação surgiram para melhor refletir a evolução e relação dos diversos grupos de seres vivos.

Robert Whittaker (1920-1980) foi o responsável pela proposição, em 1969, de um dos sistemas de classificação mais conhecidos e ainda bastante difundido nos dias de hoje. Na ocasião, o pesquisador organizou os seres vivos em cinco reinos (Monera, Protista, Fungi, Plantae e Animalia) com base principalmente na estrutura celular e no metabolismo de cada grupo, conforme representado na figura seguinte. Posteriormente, na medida em que se ampliava o estudo sobre os seres procariontes, Carl Woese, no final do século XX, propôs uma classificação dos seres vivos em três domínios, considerando o domínio como uma categoria taxonômica que abrange um ou mais reinos. Nessa classificação, todos os seres eucariontes foram inseridos no domínio Eukarya, enquanto que os seres procariontes foram inseridos nos domínios Archaea e Bacteria (ou Eubacteria), sendo que esses últimos diferem principalmente quanto à composição da parede celular e quanto aos ambientes em que habitam.



Figura 5: Síntese do sistema de classificação dos seres vivos em cinco reinos proposto por Robert Whittaker.

Com a proposta de classificação em domínios e com os fundamentos de sistemática filogenética que têm sido cada vez mais compreendidos, a classificação em reinos é constantemente revisada, uma vez que os tradicionais reinos Monera e Protista, por exemplo, contêm grupos de seres vivos que não possuem um ancestral comum. Contudo, os fungos ainda se constituem como um grupo natural com definição

bastante semelhante à originalmente proposta na classificação em reinos por R. Whittaker.

Critérios utilizados na classificação dos fungos

Apesar dos fungos já terem sido considerados como plantas, evidências moleculares sugerem que os fungos, animais e outras linhagens de eucariotos, incluindo os Coanoflagelados e os Nuclearídeos, divergiram de um ancestral comum flagelado. Desse modo, acredita-se que os grupos de fungos que apresentam esporos flagelados sejam mais primitivos quando comparados aos demais grupos que perderam sua fase flagelada em algum momento da história evolutiva. De acordo com esse pressuposto, os fungos mais primitivos eram aquáticos e inúmeras adaptações possibilitaram a ocupação desses organismos em diversos ambientes do globo, constituindo um reino bastante diverso do ponto de vista morfológico, genético e fisiológico e cuja classificação em filos está em constante reformulação.

Para entender as causas da reformulação da classificação dos fungos é importante refletir sobre como esses seres são classificados e quais critérios são utilizados para determinar a qual grupo pertence uma determinada espécie. Há quem interprete a classificação de um grupo de seres vivos como produto de uma sistemática definitiva, de modo que o respectivo grupo seja classificado com base na presença ou ausência de determinadas características estruturais ou funcionais. Contudo, tal interpretação é equivocada, pois há várias classificações alternativas possíveis para o mesmo grupo de seres vivos, uma vez que diversas características podem embasar a inserção desses organismos em um determinado grupo.

As classificações mais recentes levam em conta a biologia evolutiva dos organismos estudados, de modo que são inseridos em um mesmo grupo aqueles seres que compartilham um ancestral comum. Os grupos assim formados são denominados monofiléticos, oriundos de um tipo de classificação conhecida como sistemática filogenética, que consiste em realizar agrupamentos de seres vivos com base no conhecimento atual sobre as relações de parentesco entre os táxons. Dessa forma, as classificações atuais, com base em fundamentos de sistemática filogenética, tentam refletir a história natural dos grupos de seres vivos, apresentando agrupamentos possíveis a partir do que se conhece sobre a evolução dos grupos estudados.

Um recurso importante para o ensino de sistemática filogenética é o uso de cladogramas, que consistem em diagramas utilizados para representar relações de parentesco entre determinados grupos. Em alguns cladogramas, é possível identificar quais características são exclusivas de cada grupo e quais são compartilhadas pelos mesmos. Nesse caso, é importante observar, a partir do ancestral comum, quais características possibilitaram as divergências adaptativas que levaram ao surgimento de grupos derivados.

Principais grupos de fungos: uma interpretação com base em sua sistemática filogenética

Os estudos mais atuais de sistemática e filogenia de diferentes grupos de fungos estão baseados, principalmente, em dados moleculares a partir da comparação de sequências nucleotídicas de regiões e genes específicos do DNA ribossomal. Dados morfológicos e fisiológicos são também levados em consideração a fim de identificar o maior número possível de variáveis que favoreçam o entendimento da história evolutiva dos fungos.

Com base em contribuições dos estudos moleculares atuais, a sistemática filogenética dos fungos tem sido constantemente reformulada com a proposição ou supressão de alguns filis ou outras categorias em diferentes níveis taxonômicos. Pouco a pouco, a classificação tradicional dos fungos em quatro filis (Chytridiomycota, Zigomycota, Ascomycota e Basidiomycota) tende a entrar em desuso, pois contém agrupamentos que não são monofiléticos.

A figura a seguir consiste em um cladograma que representa as relações de parentesco entre oito filis de fungos: Cryptomycota, Microsporidia, Chytridiomycota, Blastocladiomycota, Zoopagomycota, Mucoromycota, Ascomycota e Basidiomycota. Cada ramificação existente na figura esclarece que há um conjunto de características que permitiram as divergências adaptativas e que resultaram no surgimento de outros grupos. Essas características são discutidas a seguir ao longo do texto.

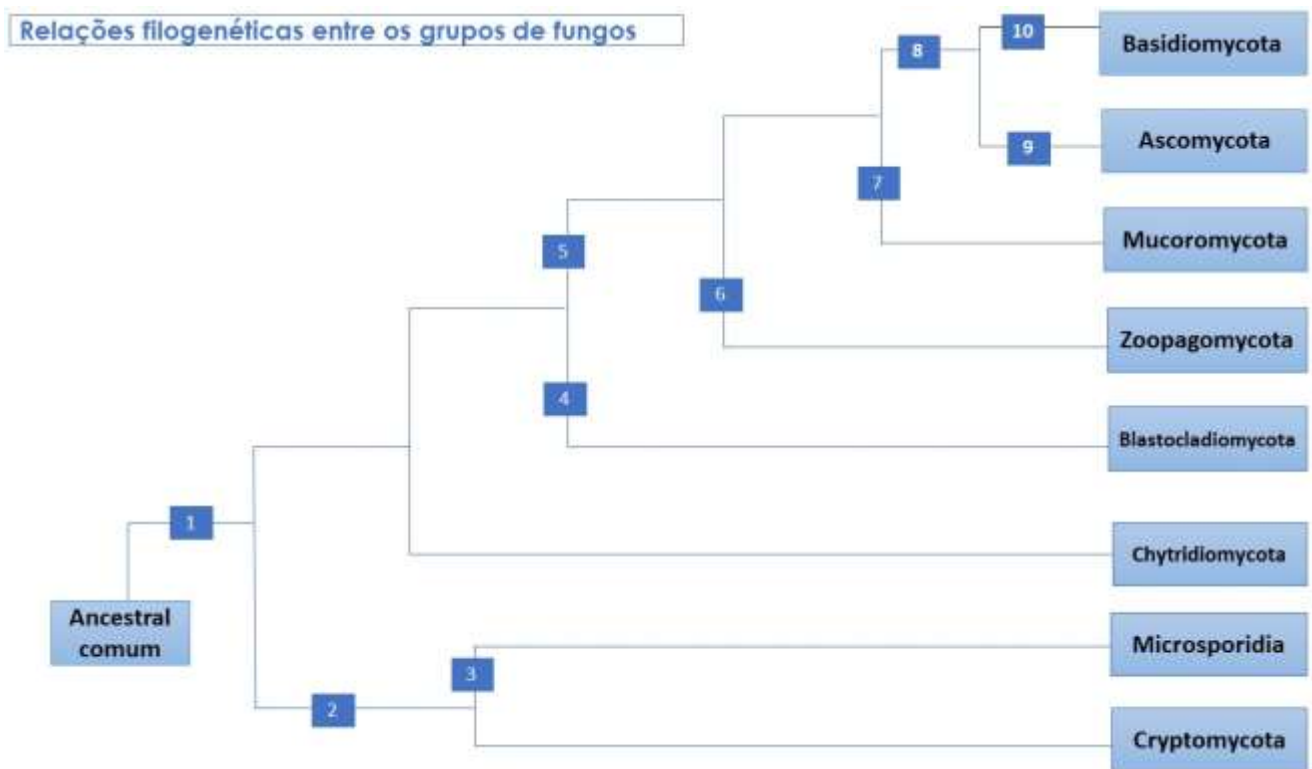


Figura 6: Relações filogenéticas entre os filis reconhecidos atualmente no reino Fungi.

Compreendendo o cladograma

Observe o cladograma. Ele apresenta as relações filogenéticas entre os grupos de fungos abordados no texto. Os números indicados na figura indicam características exclusivas de determinados grupos ou características que contribuíram para a ocorrência das divergências adaptativas desses organismos.

Para a identificar as características representadas pelos números relacione o texto seguinte ao cladograma e responda as questões abaixo:

- a) Quais são as principais características apresentadas pelo ancestral comum dos grupos de fungos?
- b) A perda de flagelo ocorreu em quais momentos da história evolutiva dos fungos?
- c) A presença de zigósporos ocorre em quais grupos?
- c) Quais grupos possuem hifas dicarióticas? Qual a principal diferença entre os dois filios de fungos que apresentam esse tipo de hifa?

Após responder as questões observe o cladograma novamente e identifique as características indicadas pelos números.

Classificação dos fungos em filios

Dentre os grupos de fungos reconhecidos dentro da classificação mais atual, os mais primitivos, pertencentes aos filios Cryptomycota e Microsporidia, possuem células com as menores dimensões, quando comparados com os demais filios de fungos. Os representantes desses filios são sempre unicelulares e sintetizam proteínas a partir de ribossomos 70s, tipo menor de ribossomos característicos de seres procariontes, como bactérias e arqueas. Ambos os grupos foram recentemente incorporados ao reino Fungi, apesar de ainda existirem controvérsias se esses seres realmente são considerados fungos.

Os representantes do filo Cryptomycota possuem esporos flagelados e podem ser encontrados em água doce ou salgada, em ambientes terrestres ou no interior de outros seres vivos, nesse último caso, caracterizados pelo hábito endoparasita. Uma especificidade desse grupo é a ausência de quitina na parede de suas células, substância cuja presença era considerada uma característica existente em todos os fungos. Nesse aspecto, é importante ressaltar que o ciclo de vida dos seres que integram esse filo não foi completamente estudado e, por esse motivo, não é possível afirmar que a ausência de quitina nas paredes celulares é característica de todas as etapas da vida desses fungos. Muitas pesquisas sobre os Cryptomycota ainda vêm sendo realizadas

para o melhor entendimento de características morfofisiológicas e evolutivas desse grupo que hoje inclui algo em torno de 30 espécies conhecidas.

Alguns autores sugerem que os filos Cryptomycota e Microsporidia possuem um ancestral comum endoparasita. Uma grande diferença morfológica entre os dois grupos é a presença de flagelos nos esporos dos representantes de Cryptomycota e a ausência nos diversos tipos de esporos dos Microsporidia. No filo Microsporidia, que inclui aproximadamente 1.300 espécies conhecidas, o desenvolvimento de um tubo polar nos esporos desses organismos, usado para infiltrar na célula hospedeira, é uma característica que permitiu a adaptação ao modo de vida parasita obrigatório, tendo como hospedeiros principais as aves, os peixes e alguns animais invertebrados.

Assim como os representantes do filo Cryptomycota, os integrantes dos filos Chytridiomycota (com 726 espécies conhecidas) e Blastocladiomycota (com 179 espécies conhecidas) se reproduzem por meio de zoósporos, que são esporos flagelados capazes de locomoção em ambiente aquático, fato esse que implica a dependência da água para a reprodução desses fungos. Essa semelhança já foi considerada, no passado, suficiente para considerar os organismos zoospóricos do reino Fungi como pertencentes a um único filo – Chytridiomycota. A principal diferença entre Chytridiomycota e Blastocladiomycota encontra-se em uma particularidade dos representantes de Blastocladiomycota que são os únicos organismos do reino que possuem alternância de gerações haploides e diploides em seu ciclo de vida. Dois grupos de fungos zoospóricos atualmente tratados em Chytridiomycota ainda causam dúvidas quanto ao tratamento dentro da categoria taxonômica em nível de filo, a saber pelos representantes de Monoblepharidomycota (que abrange fungos zoospóricos de reprodução sexual oogâmica²) e Neocallimastigomycota (que inclui fungos zoospóricos anaeróbios especializados em vida no sistema digestório de animais herbívoros), grupos considerados por alguns pesquisadores como filos distintos de Chytridiomycota em decorrência das suas especificidades morfológicas e moleculares.

Possivelmente, os grupos mais derivados de fungos perderam a fase flagelada nas diferentes etapas de seu ciclo de vida, o que contribuiu para a adaptação desses organismos a diversos ambientes da biosfera, incluindo a irradiação dos mesmos no ambiente terrestre e a inúmeras associações com outros seres vivos. Esses grupos, que incluem os representantes de Zoopagomycota, Mucoromycota, Ascomycota e Basidiomycota e que diferem entre si principalmente pelo tipo de esporo de reprodução

² Reprodução Oogâmica: forma de produção em que um microgameta produzido pelo organismo masculino fecunda um macrogameta produzido pelo gameta feminino.

sexuada que apresentam, são caracterizados pelo crescimento e desenvolvimento celular na forma filamentosa, por meio de hifas³ que, em conjunto, formam o micélio⁴.

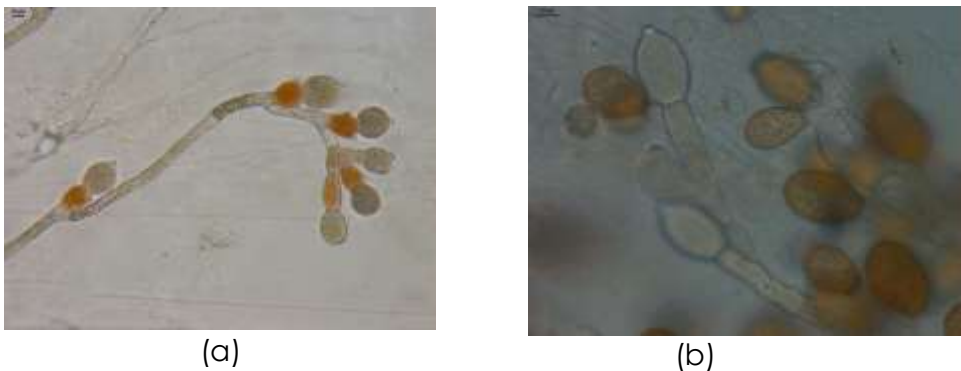


Figura 7: (a) Gametângios⁵ masculinos (alaranjados) e femininos (nas extremidades) e (b) Mitosporângios⁶ (incolores na extremidades) e Meiosporângios⁷ (de coloração castanha) de fungos zoospóricos do gênero *Allomyces* (filo Blastocladiomycota). Essas estruturas formarão zoósporos haploides e diploides, característica exclusiva desse grupo que possui alternância de gerações haploides e diploides.

Imagens cedidas por Carmen Lidia Amorim Pires-Zottarelli.



Figura 8: Reresentantes do filo *Chytridiomycota*. (a) Fungo zoospórico da espécie *Chytriumyces aureus*; (b) Liberação de zoósporos em zoosporângios de um fungo da espécie *Polychytrium aggregatum*. Imagens cedidas por Carmen Lidia Amorim Pires-Zottarelli.

Alguns desses fungos apresentam zigósporos, que são esporos constituídos de vários núcleos zigóticos que se formam quando hifas de micélios distintos crescem em direção umas às outras até que seus núcleos haploides se fundem formando vários núcleos dizigóticos⁸ em uma mesma massa de citoplasma. O zigósporo permanece protegido por uma parede denominada esporângio (figura 9) que posteriormente se

³ Hifas: células filamentosas que constituem o corpo dos fungos filamentosos.

⁴ Micélio: porção vegetativa dos fungos, constituído por um conjunto de hifas.

⁵ Gametângios estrutura reprodutiva que atua na produção de gametas haploides.

⁶ Mitosporângio: estrutura reprodutiva que atua na produção de zoósporos diploides por mitose.

⁷ Meiosporângio: Estrutura reprodutiva que atua na produção de zoósporos haploides por meiose.

⁸ Núcleos dizigóticos: núcleos diploides resultantes da união de dois núcleos haploides.

rompe, liberando vários zigósporos que irão germinar quando as condições ambientais estiverem favoráveis.

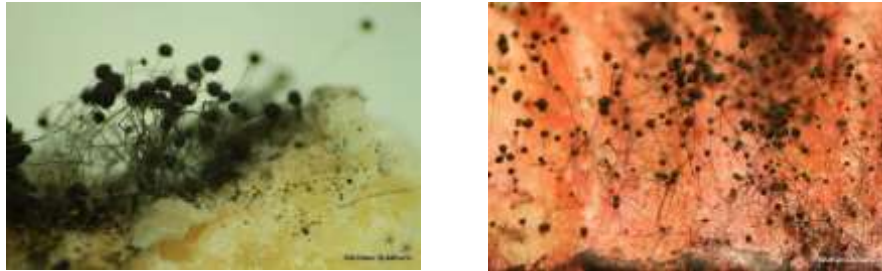


Figura 9: Esporângios de fungos do gênero *Rhizopus*. Imagens cedidas por Adriano Spielmann.

Os zigomicetos (fungos que se reproduzem por meio de zigósporos) podem ser encontrados de forma livre no solo ou estabelecendo inúmeras associações com outros seres vivos. Alguns zigomicetos formam endomicorrizas, que consistem em associações mutualísticas⁹ na qual o fungo se desenvolve abaixo da parede celular de células de raízes de plantas. Há também espécies que são parasitas de plantas e animais, sendo que dentre as que parasitam animais há poucas espécies conhecidas que causam infecções graves no homem ou em animais domésticos.

Os zigomicetos, que inclui pouco mais de 1.200 espécies conhecidas, já foram considerados como membros de um único filo, denominado Zygomycota. Entretanto, a inserção de todos os zigomicetos em um único filo tem sido questionada por diversos pesquisadores devido à não monofilia do grupo. Diversas propostas de classificação têm surgido na medida em que o parentesco evolutivo entre os fungos zigomicetos é melhor compreendido. Uma das propostas mais recentes, levando em consideração principalmente dados moleculares e ecológicos, é tratar os zigomicetos em dois filios: Zoopagomycota e Mucoromycota.

Dentro dessa classificação, o filo Zoopagomycota inclui os zigomicetos que participam de relações simbióticas (harmônicas ou desarmônicas) com animais, enquanto que, de modo análogo, os zigomicetos que participam de relações ecológicas com plantas estão inseridos no filo Mucoromycota. Com base nesse agrupamento, também fazem parte do filo Mucoromycota os fungos endomicorrízicos anteriormente tratados em um filo distinto, Glomeromycota.

É importante ressaltar que a classificação dos zigomicetos discutida neste texto é apenas uma das propostas de classificação, uma vez que tais proposições ainda são muito recentes e trata-se de um grupo cuja sistemática ainda está em constante

⁹ Associação mutualística: interação ecológica entre organismos de espécies diferentes na qual todos os envolvidos são beneficiados e dependentes dessa interação.

alteração na medida em que as relações filogenéticas entre esses organismos vêm sendo mais bem compreendidas.

Os dois últimos grupos de fungos abordados neste texto diferem dos demais principalmente com relação ao tipo de hifas que possuem. Ao contrário dos demais fungos, que possuem hifas contínuas com massa citoplasmática contendo centenas de núcleos, os representantes de Ascomycota (com 64.163 espécies conhecidas) e Basidiomycota (com 31.515 espécies conhecidas) apresentam hifas septadas dicarióticas, isto é, com paredes transversais que delimitam compartimentos celulares individualizados, sendo que cada compartimento possui dois núcleos de origem genética distinta. Apesar das hifas septadas estarem presentes também em alguns zigomicetos, a principal característica estrutural que representa uma novidade evolutiva dos Ascomycota e Basidiomycota é a presença de hifas dicarióticas, ausentes nos zigomicetos.

Quanto ao modo de vida, em ambos os grupos podemos encontrar representantes de vida livre, parasitas ou estabelecendo associações mutualísticas. Quanto à morfologia básica, é também comum aos dois filós a presença de representantes que formam estruturas macroscópicas (macrofungos) e se desenvolvem de forma filamentosa, apesar de que a ocorrência de fungos filamentosos que não formam estruturas macroscópicas ou que se desenvolvem de modo leveduriforme¹⁰ também ocorra em ambos os filós. De forma geral, os representantes de Ascomycota e Basidiomycota diferem principalmente quanto ao tipo de esporângios e esporos que são produzidos durante o ciclo de vida sexuado desses fungos.

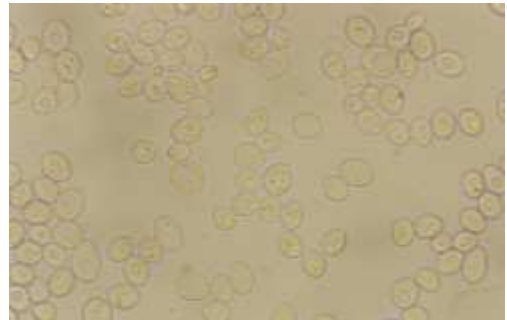


Figura 10: Ascomicetos leveduriformes. Imagem cedida por Nelson Menolli Junior.

Os ascomicetos (representantes de Ascomycota) possuem esporângios em forma de saco denominados ascos, que por sua vez são responsáveis pela produção de ascósporos, que consistem em esporos de origem sexuada que se desenvolvem no interior dos ascos. É no filo Ascomycota que está classificada a maioria dos fungos que formam leveduras e daqueles que estabelecem relações mutualísticas com algas ou cianobactérias, formando os líquens. Em diversos representantes de Ascomycota, os ascos estão localizados no ascoma, estrutura macroscópica, comum a vários representantes do filo, conforme demonstra a figura seguinte.

¹⁰ Leveduriforme: forma de desenvolvimento unicelular de alguns fungos que não constituem hifas, as chamadas leveduras.

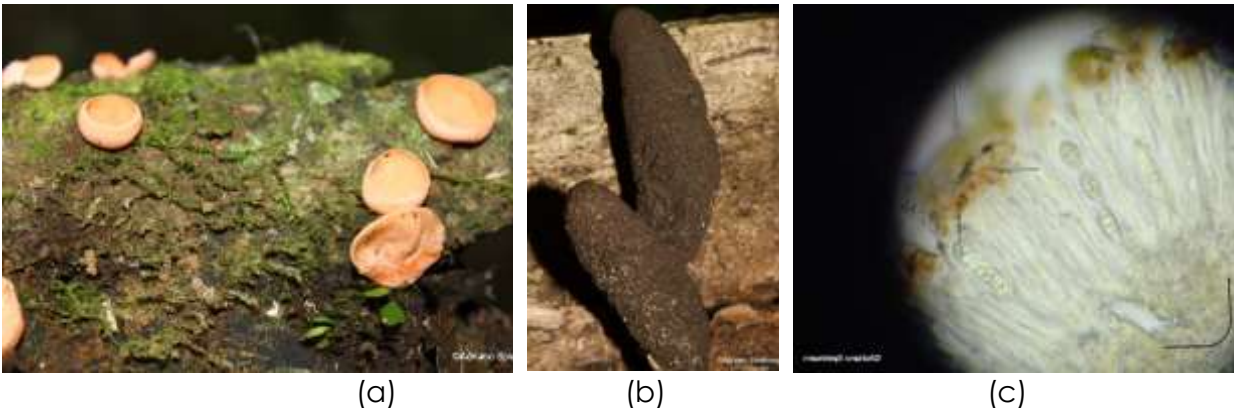


Figura 11: Ascomicetos. (a, b) Ascomas; (c) Ascósporos se desenvolvendo no interior de um asco. Imagens cedidas por Adriano Spielmann.

De modo análogo, os basidiomicetos possuem esporângios denominados basídios, que são estruturas que darão origem aos basidiósporos, esporos de origem sexuada produzidos pelos basídios. Os basidiósporos se desenvolvem fora dos basídios, característica esta que difere dos esporos dos ascomicetos, que possuem desenvolvimento dentro de esporângios (os ascos), conforme a figura a seguir.

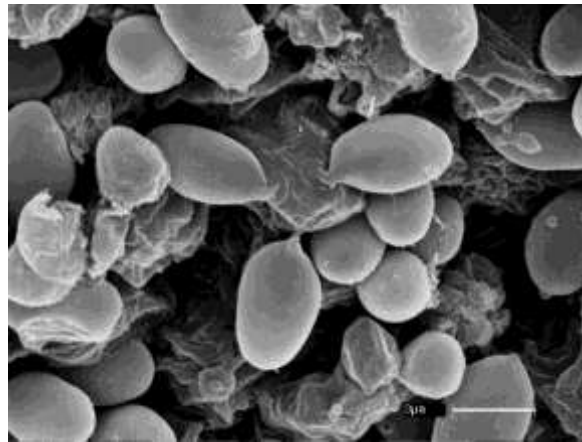


Figura 12: Micrografia eletrônica de varredura de basidiósporos de fungo do gênero *Volvariella* ligados ao basídio. Imagem cedida por Nelson Menolli Junior.

Na maioria dos fungos basidiomicetos, os basídios são formados em regiões específicas de uma estrutura macroscópica chamada basidioma, ou também popularmente conhecida como cogumelo ou orelha-de-pau, conforme demonstra a figura seguinte.



(a)



(b)

Figura 13 Basidiomas de (a) *Amanita muscaria* e (b) *Flaviporus liebmanii*. Imagens cedidas por (a) Cassius V. Stevani e (b) Viviana Motato-Vásquez.

Organize a sua síntese

Ao comparar as características dos grupos discutidos neste texto é possível ter noção do quão diverso é o reino Fungi e que ainda há muito o que se descobrir sobre a diversidade desses organismos e a importância deles para o equilíbrio ecológico da biosfera a partir das relações que são estabelecidas com os demais seres vivos. Muitas pesquisas já foram publicadas a fim de esclarecer a diversidade e a complexidade desses organismos, mas não há dúvidas de que ainda há muito o que se descobrir sobre os fungos e de que o conhecimento e a preservação deles estão diretamente relacionados com a preservação da biodiversidade existente no nosso planeta.

Após a leitura de um texto é importante sintetizar as informações discutidas a fim de identificar os conceitos aprendidos e, conseqüentemente, quais elementos do texto não foram compreendidos. Para auxiliar nesse processo, verifique se, após a leitura deste texto, você é capaz de:

1. Identificar algumas características compartilhadas por todos os grupos de fungos.
2. Compreender as relações filogenéticas entre os filos de fungos exploradas pelo cladograma.
3. Associar cada grupo de fungos às suas respectivas características principais.
4. Elaborar um quadro comparativo com os oito filos de fungos apresentados no texto.

Agora identifique as principais ideias e conceitos discutidos e escolha o gênero textual que julgar adequado para a escrita da sua síntese.

Características evidenciadas no cladograma

Conforme mencionado anteriormente, algumas características que contribuíram para as divergências adaptativas nos grupos de fungos foram abordadas no texto e representadas no cladograma por indicativos numéricos. A figura a seguir apresenta, além do cladograma, as respectivas características que foram representadas pelos números.

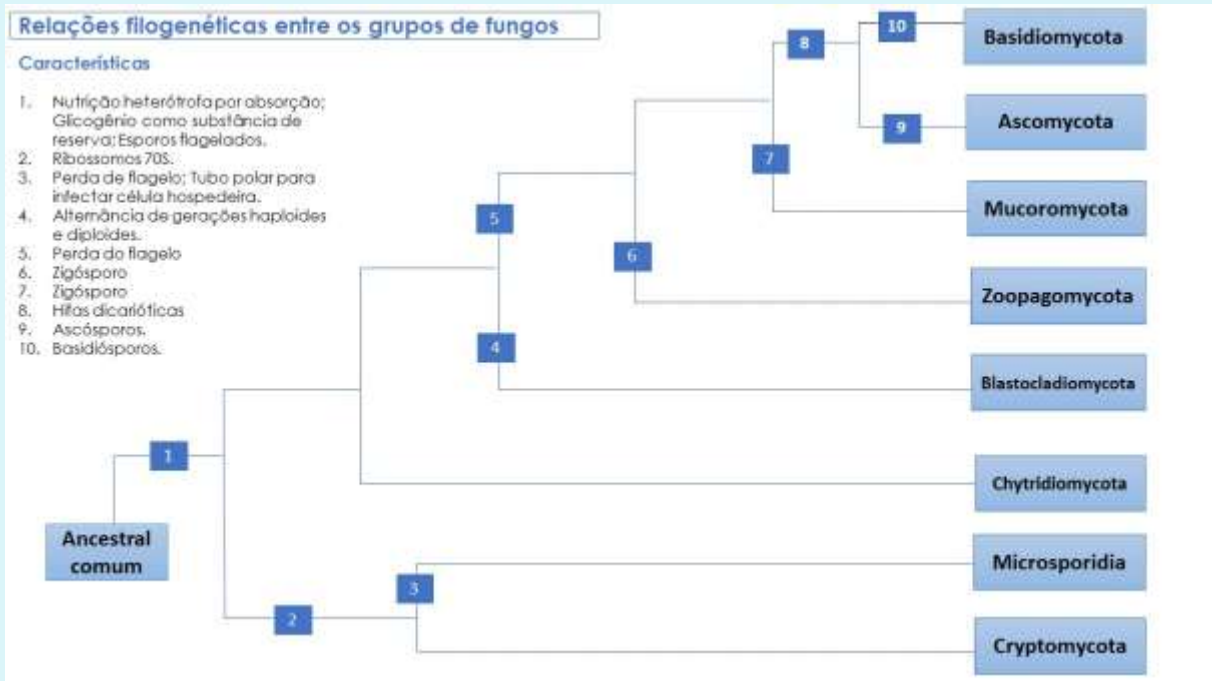


Figura 14: Relações filogenéticas entre os filos reconhecidos atualmente no reino Fungi.

Reflexões sobre o estudo de caso

Após o estudo de alguns grupos de fungos é possível analisar com mais clareza o argumento do estudante mencionado no início do texto. Ao participar de relações harmônicas e desarmônicas com os demais seres vivos, os fungos contribuem para o equilíbrio das cadeias alimentares e, conseqüentemente, para a preservação da biodiversidade no planeta, seja a partir da ciclagem de nutrientes ao decompor a matéria orgânica, quando estabelecem relações de mutualismo com plantas, auxiliando-as a adquirir água e nutrientes do solo ou quando parasitam animais e plantas, atuando no controle populacional de diversas espécies. Sendo assim, é um equívoco mencionar que os fungos devem ser extintos do planeta.

Bibliografia consultada e sugerida

BLACKWELL, M. 2011. The fungi: 1, 2, 3, ... 5.1 million species? *American Journal of Botany* 98: 426-438

EVERT, R. F.; HEICHHORN, S. E. Raven – *Biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Kirk, P.M.; Cannon, P.F.; Minter, D.W.; Stalpers, J.A. (Eds.). *Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi*, 10 ed. Wallingford: CAB International, 2008.

Maia, L.C.; Carvalho Júnior, A.A.; Cavalcanti, L.H.; Gugliotta, A.M.; Drechsler-Santos, E.R.; Santiago, A.L.M.A.; Caceres, M.E.S.; Gibertoni, T.B.; Aptroot, A.; Giachini, A.J.; Soares, A.M.S.; Silva, A.C.G.; Goto, B.T.; Lira, C.R.S.; Montoya, C.A.S.; Pires-Zottarelli, C.L.A.; Silva, D.K.A.; Soares, D.J.; Rezende, D.H.C.; Luz, E.D.M.N.; Gumboski, E.L.; Wartchow, F.; Karstedt, F.; Freire, F.M.; Coutinho, F.P.; Melo, G.S.N.; Sotão, H.M.P.; Baseia, I.G.; Pereira, J.; Oliveira, J.J.S.; Souza, J.F.; Bezerra, J.L.; Araujo-Neta, L.S.; Pfenning, L.H.; Gusmão, L.F.P.; Neves, M.A.; Capelari, M.; Jaeger, M.C.W.; Pulgarin, M.P.; Menolli Jr., N.; Medeiros, P.S.; Friedrich, R.C.S.; Chikowski, R.S.; Pires, R.M.; Melo, R.F.; Silveira, R.M.B.; Urrea-Valencia, S.; Cortez, V.G.; Silva, V.F. Diversity of Brazilian Fungi. *Rodriguésia* 64: 1033–1045, 2015.

McLaughlin, D.; Spatafora, J.W. (Eds.). *Systematics and Evolution*. The Mycota: a comprehensive treatise on Fungi as experimental systems for basic and applied research, v. 7A, 2 ed., Berlin: Springer-Verlag, 2014.

Spatafora, J.W.; Chang, Y.; Benny, G.L.; Lazarus, K.; Smith, M.E.; Berbee, M.L.; Bonito, G.; Corradi, N.; Grigoriev, I.; Gryganskyi, A.; James, T.Y.; O'Donnell, K.; Roberson, R.W.; Taylor, T.N.; Uehling, J.; Vilgalys, R.; White, M.M.; Stajich, J.E. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycetes fungi based on genome-scale data. *Mycologia* 108:1028–1046, 2016.

Whittaker, R. H. New concepts of kingdoms of organisms. *Science*, Nova Iorque, v. 163, p. 150-160, 1969.