



INSTITUTO DE BOTÂNICA – IBt
Programa de Pós Graduação em
Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente
Curso de Capacitação de monitores e educadores

FUNGOS

PRINCIPAIS GRUPOS E APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS

Ricardo Ribeiro da Silva & Glauciane Danuza Coelho

São Paulo, outubro de 2006

FUNGOS

Principais grupos e aplicações biotecnológicas

Ricardo Ribeiro da Silva

Glauciane Danuza Coelho

Doutorandos na Seção de Micologia e Liquenologia – Instituto de Botânica

21
9
2005

Macrolepiota dolichanila

Foto: João Paulo Duarte

Introdução

Os fungos são conhecidos popularmente como mofos e bolores. No entanto, na maior parte das vezes, são lembrados somente pelos danos que algumas espécies causam, seja parasitando plantas ou causando problemas de saúde como alergias e micoses em animais. Podem promover a deterioração de combustível e grande variedade de materiais, como equipamentos ópticos e outros materiais de grande valor como obras de arte e arquitetônicas.

No entanto, os benefícios proporcionados pelos fungos não são tão divulgados quanto os prejuízos. Todos os dias as pessoas são beneficiadas por produtos originados direta ou indiretamente de fungos. Pode-se citar como exemplo a ação fermentativa de fungos na síntese de álcool etílico e dióxido de carbono, os quais são imprescindíveis na produção de bebidas como vinho e cerveja, alimentos como pães e massas em geral. Outras espécies podem ainda proporcionar sabor e aroma distintos em diferentes tipos de queijos. O consumo de cogumelos comestíveis é prática comum entre populações de outros países, principalmente os orientais, e em nosso país, sua utilização vem crescendo a cada dia.

Na medicina, os fungos receberam especial atenção a partir do desenvolvimento de alguns antibióticos, destacando-se a penicilina sintetizada a partir de metabólitos do fungo *Penicillium chrysogenum*. Esteróides e hormônios para crescimento vegetal são oriundos também de metabólitos desses organismos. Um dos exemplos notáveis da utilização dos metabólitos fúngicos na medicina é a administração de ciclosporina em pessoas submetidas a transplantes. Essa substância foi isolada a partir de fungos de solo (*Tolypocladium inflatum* e *Cylindrocarpon lucidum*) na década de 70.

Muitas enzimas fúngicas vêm sendo exploradas na indústria alimentícia e em outros processos biotecnológicos envolvidos na fabricação de sucos de frutas e também na indústria papeleira. Também a partir de certas espécies de fungos é possível sintetizar substâncias inseticidas que auxiliam no controle de pragas. Nas últimas décadas os fungos vêm sendo estudados quanto sua aplicação para recuperação de ambientes degradados por poluentes químicos.

1. Características gerais dos fungos

Muitas vezes os fungos foram comparados a vegetais, no entanto, são organismos que não possuem clorofila em suas células e, portanto não realizam fotossíntese. Todos os fungos são eucariotos e podem ser unicelulares (leveduras, quitrídias), ou multicelulares. Normalmente possuem dois núcleos em suas células os quais podem ser visualizados pelo microscópio óptico empregando-se técnicas de coloração apropriadas.

As células fúngicas agrupam-se em filamentos, podendo ou não apresentar septos entre elas, porém, mesmo quando presentes as funções metabólicas ocorrem sem impedimentos entre as células. Esses filamentos celulares são denominados hifas - Hypha, Gr = teia – (Figura 1) e o agrupamento intenso de hifas constituem o micélio (Figuras 2 e 3). É importante salientar que micélios fúngicos nunca constituem tecidos.

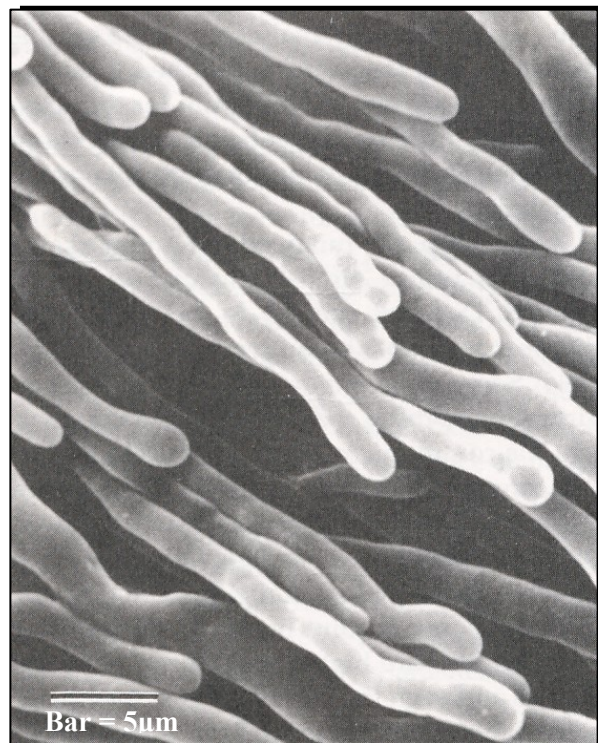


Figura 1: Micrografia eletrônica de hifas.
Foto: C.W. Mims, extraída de Alexopoulos et. al, 1996.

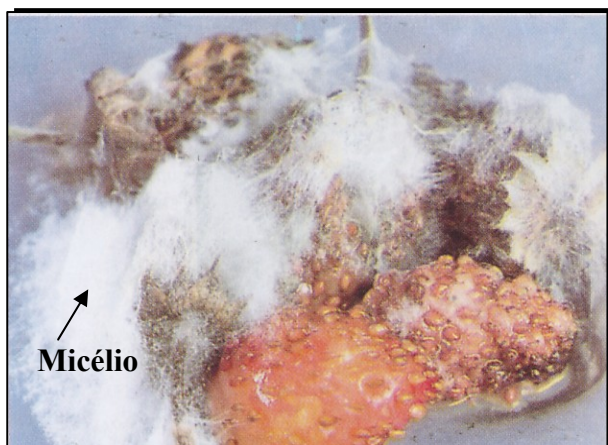


Figura 2: Morango mofado. Ilustração da formação do micélio.
Foto: Extraída de Raven et al., 1992



Figura 3: Micélio de *Aspergillus fumigatus* cultivado em placa de Petri, no laboratório.
Foto: Extraída de Raven et al., 1992

O crescimento das hifas é apical, porém, existem algumas regiões com extrema capacidade de crescimento, principalmente aquelas relacionadas às funções reprodutivas. Um diminuto fragmento de hifa pode originar um novo indivíduo. As hifas interagem entre si mesmo quando originadas de micélios ou esporos diferentes e com isso, aumentam a superfície e relações que estabelecem com o ambiente.

As células dos fungos não possuem plastídios e nem centríolo. As mitocôndrias são constituídas por cristas planas. Também estão presentes a estrutura de Golgi e os peroxissomos. Possuem parede celular constituída principalmente por quitina e β -glucanos. A membrana celular é constituída por ergosterol, um esteroide característico de fungos, também presente em algumas microalgas. Flagelos podem estar presentes somente nas estruturas de reprodução em alguns grupos.

São organismos heterotróficos que obtêm nutrientes por absorção, ou seja, lançam enzimas aos substratos onde colonizam e absorvem os nutrientes através da parede e membrana celular. Nas células dos fungos existe um fluxo citoplasmático o qual permite a difusão de nutrientes solúveis favorecendo o metabolismo entre as células. Exibem reprodução sexuada e/ou assexuada de diversas formas, bem como o fenômeno de parassexualidade, que consiste na recombinação genética na mitose. As estruturas de reprodução são diferentes daquelas somáticas, exibindo uma variedade de formas, as quais são utilizadas na classificação dos fungos.

2. Importância ambiental

É estimado hoje que existam cerca de 1,5 milhões de espécies de fungos, e desse número são conhecidas pelos micologistas somente cerca de 69.000 espécies. Infelizmente, devido à ação predatória do meio ambiente várias espécies de fungos estão sendo extintas antes mesmo de serem conhecidas, causando prejuízo imensurável para o equilíbrio ecológico, além de não se obter conhecimento do potencial biotecnológico dessas espécies. Foram agrupados em um reino a parte - Reino Fungi – por apresentarem características peculiares que os diferem tanto de animais como de vegetais, além do grande número de espécies encontradas por todo o planeta.

Os fungos utilizam uma variedade de substratos como fontes de carbono, entretanto, alguns grupos se especializaram em degradar substratos particulares, tornando-se mais competitivos perante outros microrganismos. Por essa razão os fungos são encontrados em praticamente todos os ambientes no planeta.

Apesar de estarem presentes na natureza em maior número que os animais, por exemplo, na maioria das vezes são observados somente quando espécies terrestres produzem bonitos cogumelos ou orelhas de pau. Porém, passa despercebida a importante ação desses organismos na manutenção e ciclagem de nutrientes na natureza.

Como não podem sintetizar moléculas orgânicas a partir de moléculas inorgânicas como fazem as plantas, os fungos são heterotróficos e obtêm energia degradando material orgânico depositado na natureza e colonizado por eles. Podem também parasitar plantas, animais e ainda outros fungos. Esses organismos secretam enzimas no substrato onde se encontram e absorvem as moléculas resultantes da ação dessas enzimas. Com isso, além de obterem nutrientes para seu crescimento também disponibilizam os produtos resultantes da degradação para ação de outros microrganismos, e por essa razão são os degradadores primários de material orgânico na natureza, participando ativamente nos ciclos de carbono, nitrogênio e fósforo além de outros nutrientes.

Percebemos como os fungos são importantes para manutenção da vida no planeta se considerarmos que em uma floresta, por exemplo, ocorre grande deposição de material vegetal como troncos, galhos e folhas. A lignina, celulose e hemicelulose são moléculas persistentes na natureza e estão presentes no tecido dos vegetais. Sem a atuação dos fungos não seria possível a reciclagem desse material. Isso porque a lignina, um dos constituintes da parede celular dos vegetais, apresenta grande estabilidade química e por essa razão apresenta considerável resistência no meio ambiente. Os fungos basidiomicetos lignocelulolíticos, ao que parece, são os únicos organismos que possuem enzimas capazes de desestabilizar as moléculas de lignina e assim, reciclar essa matéria orgânica disponibilizando os produtos da degradação para ação de outros microrganismos e o crescimento de outras plantas e eventualmente de animais. Portanto, as atividades dos fungos na natureza são tão necessárias para a continuidade da existência do planeta, quanto são aquelas desempenhadas pelos organismos produtores.

Muitos fungos também estabelecem relações simbióticas com outros organismos. Por exemplo, os líquens são associações simbióticas mutualísticas entre fungos (principalmente ascomicetos e basidiomicetos) e algas verdes ou cianobactérias. As algas fornecem aos fungos compostos carbônicos ricos em energia, enquanto os fungos fornecem às algas nutrientes minerais provenientes do ambiente, além de proteção às variações inóspitas do ambiente. Essa relação entre esses dois simbiontes confere aos líquens a capacidade de viverem em diversos ambientes.

Outra importante associação simbiótica entre fungos e raízes de grande parte das plantas superiores são as “micorrizas” (Figura 4). Nesse tipo de associação os fungos disponibilizam elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, como o fósforo, zinco, manganês e cobre. Em contrapartida, os fungos micorrízicos são providos de carboidratos oriundos das plantas que colonizam.

Existem dois tipos de micorrizas, as endomicorrizas, quando os fungos vivem internamente nas células das raízes, e as ectomicorrizas, quando estão presentes envolvendo as células de raízes, porém, sem penetrá-las.

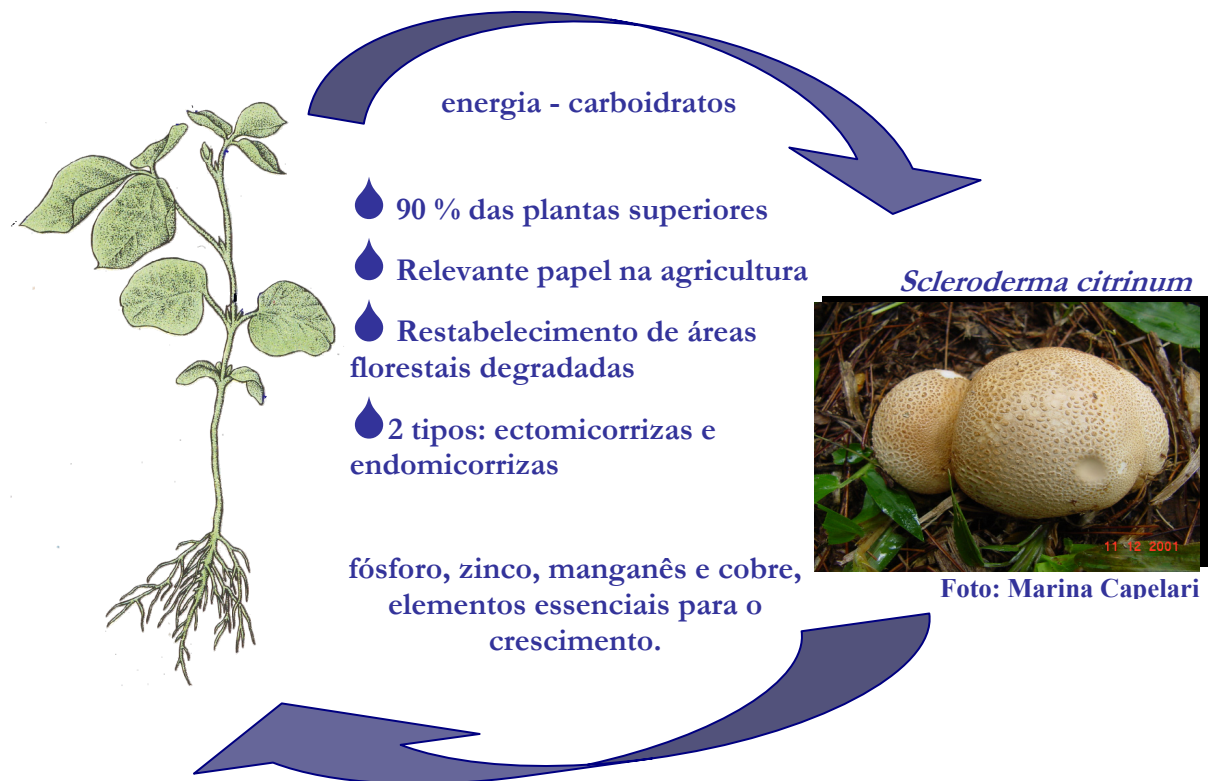


Figura 4: Relação simbiótica entre plantas superiores e fungos.

As Endomicorrizas (Figura 5) compreendem menos de 200 espécies de fungos do grupo dos zigomicetos, distribuídos amplamente pelo planeta. As hifas das endomicorrizas penetram as células corticais das raízes, formando estruturas ramificadas semelhantes a minúsculas árvores, denominadas arbúsculos ou então, simples dilatações denominadas vesículas. Por essa razão, as endomicorrizas são freqüentemente chamadas de micorrizas vesículo-arbusculares.

As Ectomicorrizas (Figura 6) são comumente encontradas em regiões temperadas. Esses fungos não penetram as raízes, colonizando-as ao redor e também entre as células do córtex, formando uma estrutura conhecida como **rede de Hartig**. Essa rede funciona como uma interface entre o fungo e a planta, e prolonga a vida das suas células e também das células da raiz. Essas micorrizas são formadas por fungos basidiomicetos, incluindo muitos gêneros de cogumelos, por ascomicetos, inclusive espécies formadoras de trufas, e também de espécies de zigomicetos. Cerca de 5.000 espécies estão envolvidas nesse tipo de associação, apresentando alto grau de especificidade.



Arbúsculos crescendo dentro de células da raiz de alho porro, presentes em infecções jovens



Vesículas, estruturas escuras e ovais, comum em infecções tardias

Figura 5: Endomicorriza - *Glomus versiforme*, zigomiceto associado a raízes de alho porro (*Allium porrum*).
Fotos: Extraídas de Raven et al., 1992.

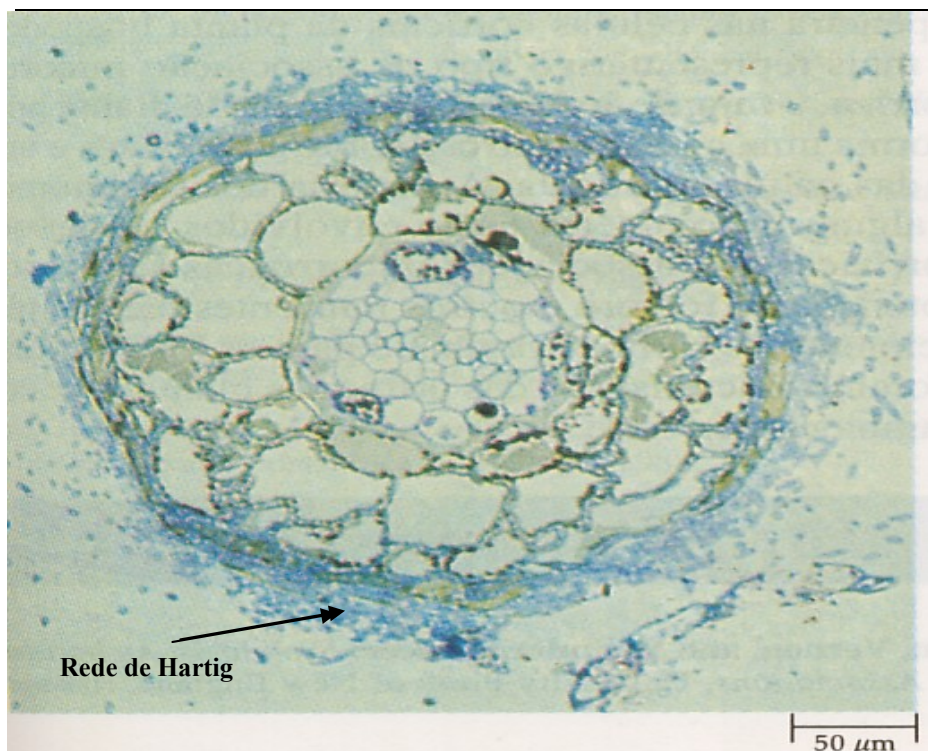


Figura 6: Seção transversal de raiz ectomicorrizada de *Pinus sp.* As hifas do fungo formam um manto ao redor da raiz e também penetram entre as células corticais formando a **Rede de Hartig**
Foto: Imagem extraída de Raven et al., 1992.

3. Classificação dos fungos

Os fungos foram agrupados em um único reino, Reino Fungi, por Whittaker em 1969, onde procurou-se reunir todos os fungos com características típicas. Foi proposto por Alexopoulos et al. (1996) a classificação dos fungos que ainda é considerada pelos micologistas, embora já exista proposta mais recente conforme publicada por Kirk et al. (2001), que agrupa os fungos com base em estudos de biologia molecular. Entretanto, essa classificação ainda não é totalmente aceita entre os micologistas.

Aqui será considerada a que foi proposta por Alexopoulos et al. (1996), a qual agrupa no Reino Fungi os filos Chytridiomycota; Zygomycota; Ascomycota; Basidiomycota.

- Reino Fungi**
- Filo Chytridiomycota**
- Classe Chytridiomycetes**
- Filo Zygomycota**
- Classe Zygomycetes**
- Ordens: Mucorales
 - Entomophthorales
 - Zoopagales
 - Dimargaritales
 - Endogonales
 - Kickxellales
 - Glomales
- Classe Trichomycetes**
- Ordens: Harpellales
 - Amoebidiales
 - Asellariales
 - Eccriniales
- Filo Basidiomycota**
- Classe Basidiomycetes**
- Ordens: Agaricales
 - Boletales
 - Russulales
 - Aphylophorales
 - Auriculariales
 - Ceratobasidiales
 - Dacrymycetales
 - Tremellales
 - Tulasnellales
 - Lycoperdales
 - Tulostomatales
 - Sclerodermatales
 - Phallales
 - Nidulariales
- Classe Teliomycetes**
- Ordens: Uredinales
 - Septobasidiales
- Classe Ustomycetes.**
- Ordens: Cryptobasidiales
 - Cryptomycocolacales
 - Exobasidiales
 - Graphiolales
 - Platyglloeales
 - Sporidiales
 - Ustilaginales

4. Principais características dos grupos de fungos

4.1 Filo Chytridiomycota

Agrupa apenas uma classe, Chytridiomycetes, distribuindo-se em 100 gêneros e aproximadamente 1.000 espécies das quais a maioria são aquáticas, encontradas em água doce e algumas espécies em águas marinhas de regiões estuarinas com baixa salinidade. Também são encontrados no solo. Poucas espécies são anaeróbias e geralmente estão associadas a intestinos de herbívoros. Ao que parece os fungos desse grupo parecem ser os ancestrais comum dos outros grupos de fungos.

A grande maioria dos fungos quitridiomycetos são sapróbios, existindo também espécies parasitas de plantas, animais e outros fungos. Dentre os hospedeiros vegetais esses fungos parasitam plantas superiores, musgos e fitoplancton. Em animais podem parasitar nematóides, rotíferos, mosquitos e besouros. Outros fungos quitridiomycetos podem também ser seus hospedeiros assim como espécies pertencentes aos grupos dos ascomicetos e basidiomicetos.

Esse grupo tem grande importância ambiental, pelo fato de muitas espécies permanecerem microscópicas após seu desenvolvimento e, portanto, são os primeiros fungos a iniciarem o processo de degradação de material orgânico como quitina, queratina, celulose e hemicelulose. Apesar de se saber que esses fungos são largamente distribuídos em diferentes ambientes, ainda há muito o que descobrir a respeito desse grupo. Isso porque técnicas empregadas para isolamento e cultivo de outros fungos geralmente não satisfazem as necessidades dos quitridiomycetos para crescerem em laboratório, diminuindo assim o interesse de pesquisadores em especializarem-se nesses fungos.

Em geral, esses fungos possuem hifas (também chamadas de talos) simples, alongadas e cenocíticas, apresentando septos somente nas estruturas de reprodução. A parede celular desses organismos é conhecida por conter quitina e glucanos. As células reprodutoras são móveis (zoósporos e gametas) com um flagelo liso e posterior.

Algumas espécies desenvolvem rizóides finos (Figura 6) que penetram no substrato para ancorar-se e absorverem nutrientes. Outras espécies desse grupo são unicelulares e originam-se como um todo nas estruturas de reprodução, com formas globosas ou ovóides. Porém, também existem espécies que formam micélio bem desenvolvido.

Existem espécies nesse grupo que são importantes economicamente, devido aos prejuízos que causam. Alguns exemplos são *Physoderma maydis* que causa pequenas manchas em milho de cor marrom e *Urophycitis alfalfae* que causa as verrugas na alfafa. Várias espécies do gênero *Coelomyces* parasitam larvas de mosquitos, desempenhando com isso importante papel no controle desses insetos. Os quitridiomycetos encontrados no rumem de gado e ovelhas, assim como os que são encontrados no

intestino de cavalos, parecem estar associados com a importante função de auxiliar na degradação das fibras vegetais no interior de intestinos de herbívoros.



Figura 6: Representante dos Chytridiomycetes com rizóides

Foto: Carmen Lídia A. P. Zottarelli

4.2 Filo Zygomycota

4.2.1 Classe Zigomycetes

Os fungos dessa classe são descendentes de ancestral comum dos fungos quitridiomycetes. A parede celular desses fungos é constituída por quitina e quitosano. O micélio é formado por hifas cenocíticas, apresentando septos somente nos órgãos de reprodução ou quando a colônia envelhece. A reprodução sexuada origina estruturas chamadas de zigosporângios que irão formar os zigósporos. Podem também se reproduzirem assexuadamente seja por fragmentação, pois os fungos possuem grande capacidade de regeneração, ou ainda pela formação estruturas de reprodução assexuada como gemas, clamidósporos ou azigoesporângios (Figura 7). As estruturas de reprodução dos fungos dessa classe muitas vezes formam ornamentações muito bonitas e são utilizadas para identificação das espécies.

Nessa classe estão compreendidas cerca de 770 espécies de fungos terrestres. Apesar da maioria delas serem saprófitas existem muitas espécies parasitas e outras ainda formadoras de micorrizas. A espécie *Choanephora cucurbitarum*, por exemplo, é uma espécie parasita de plantas superiores que ataca flores e frutos, causando vários prejuízos em plantações e cultivo de flores ornamentais. Espécies dos gêneros *Mucor* e *Rhizopus* são saprófitas em alimentos estocados. *Rhizopus stolonifer* e *Mucor racemosus* são espécies que promovem a deterioração de frutas e vegetais e também de cereais armazenados em silos. Algumas espécies pertencentes a esses gêneros podem ainda ser parasitas do homem causando várias doenças graves.

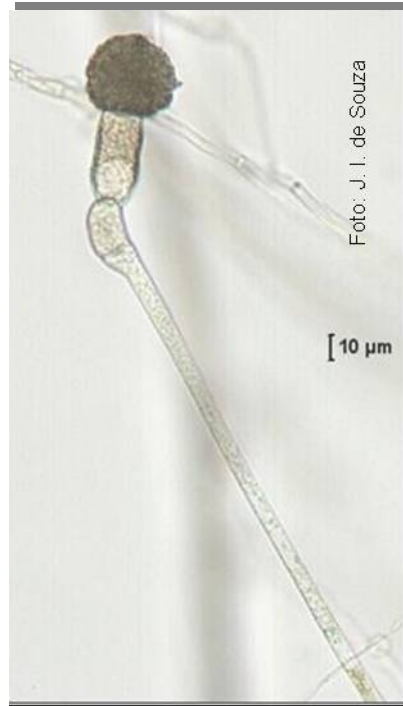


Figura 7: Azigosporangio de *Mucor bainieri*.

Fonte: José Ivanildo de Souza

Existem ainda fungos zigomicetos que também parasitam outros fungos, como espécies dos gêneros *Spinellus* e *Syzygites* que são parasitas de cogumelos.

Muitas espécies formam micorrizas com plantas superiores, principalmente os pertencentes à ordem *Glomales* os quais formam endomicorrizas vesículo arbusculares com a maioria das angiospermas, com algumas gimnospermas e ainda com espécies de briófitas.

4.2.1 Classe Trichomycetes

A classe dos Trichomycetes agrupa fungos ecologicamente e morfológicamente distintos dos outros grupos. Todos os membros desse grupo são associados com artrópodes, como insetos e crustáceos comumente encontrados em ambientes aquáticos. A relação entre esses fungos e seus hospedeiros não é totalmente compreendida, não sendo possível afirmar que tal relação seja de simbiose. A maioria das espécies é encontrada nos intestinos de seus hospedeiros, porém existem espécies que crescem na superfície externa deles. O formato das hifas lembra fios de cabelos, o que de fato originou o nome do grupo Trichomycetes. Esses fungos absorvem os nutrientes do lúmen intestinal de seus hospedeiros onde se localizam. Alguns estudos indicam que os hospedeiros podem se beneficiar da presença dos fungos. Certas larvas de mosquitos sofreram alterações no seu crescimento devido à carência de esteróis e

vitaminas B, quando cresceram na ausência do fungo *Smittium culisetae*, o que não foi observado em larvas infestadas por esses fungos. Por outro lado, o fungo *S. morbosum* destrói larvas de mosquitos por penetrarem em células da cutícula do intestino desses organismos.

As hifas de tricomietos são septadas próximas às estruturas de reprodução, entretanto, muitas espécies apresentam suas hifas totalmente septadas com septo perfurado não impedindo o fluxo de nutrientes entre as células.

Esses fungos podem se reproduzir assexuadamente ou sexuadamente. Porém, não é muito esclarecida a reprodução sexuada, exceto em alguns gêneros.

4.3 Filo Ascomycota

Compreendem cerca de 30.000 espécies de fungos terrestres. São responsáveis por estragarem alimentos formando bolores com coloração verde-azulados, vermelhos e marrons. Entretanto, desempenham importante papel em nos ambientes terrestres de todo o planeta.

Os ascomicetos diferem dos outros grupos porque apresentam estruturas em forma de sacos responsáveis pela reprodução sexuada, denominada **asco**, onde são formados os **ascosporos** haplóides após a meiose. A formação dos ascos ocorre em estrutura complexa denominada **ascoma**, composta por hifas entrelaçadas e firmemente compactadas. Os ascomas podem ser abertos em forma de xícaras, fechados ou ainda esféricos, com formato de pêras, com pequeno poro através do qual saem os ascosporos. A reprodução assexuada se dá pela formação e liberação de conídios pelos conidióforos que são hifas modificadas responsáveis pela produção dos conídios.

O micélio dos ascomicetos terrestres possui hifas septadas. Porém, existem poros nesses septos que permitem a passagem de material citoplasmático e dos núcleos entre as células.

Além de espécies sapróbias, também existem ascomicetos parasitas de vegetais, os quais causam graves problemas econômicos em alguns países. A espécie *Cryphonectria parasítica* ataca folhas de castanheiras comprometendo seu desenvolvimento. Este fungo é nativo da china e foi introduzido acidentalmente na América do Norte causando grave problema ambiental e econômico.

Os fungos comestíveis conhecidos como “morchelas” e também as trufas são ascomicetos. O ascoma de *Morchella esculenta* é muito procurado por apreciadores. Entretanto somente foi possível o cultivo dessa espécie em 1983, não sendo possível até hoje sua produção em escala industrial. A espécie *Tuber melanosporum* é uma trufa comestível muito apreciada. Essa espécie é micorrízica das raízes de carvalho e mantém seus ascomas sob o solo, liberando seus esporos quando apodrecem ou são destruídos por animais. Na Europa, muitos cachorros e porcos são treinados para farejarem e encontrarem os ascomas desse fungo.

Grande parte das espécies de leveduras são ascomicetos unicelulares que se distribuem em 60 gêneros com aproximadamente 500 espécies conhecidas. As células de leveduras se reproduzem de maneira diferente, produzindo células filhas descendentes ou também se dividem por brotamento. Entretanto algumas leveduras também podem assumir crescimento micelial em condições ambientais propícias. Existem espécies que são parasitas do homem e no interior de tecidos humanos exibem crescimento em forma de leveduras. Porém, quando estão fora do corpo humano exibem crescimento micelial e inclusive se comportam como saprófitas.

4.4 Filo Basidiomycota

São agrupados nesse filo fungos conhecidos popularmente como cogumelos e orelhas de pau (Figuras 8), outros conhecidos como fungos gelatinosos, gasteromicetos, ferrugens e carvões, e ainda espécies unicelulares. São fungos terrestres na grande maioria, existindo também muitas espécies parasitas (ferrugens) e ainda outras que estabelecem relações simbióticas com coccídeos. Nesse grupo também são encontradas espécies liquenizadas. São difundidos por todo o planeta e talvez seja o grupo mais visualizado na natureza, devido ao tamanho dos cogumelos e orelhas de pau os quais são produzidos para reprodução sexuada desses fungos.

O micélio desses fungos é constituído por hifas septadas que podem ser simples ou possuírem **ansas**, estrutura característica do grupo e também é conhecida como **septo dolipórico**, utilizada na transferência de um dos núcleos após sua divisão. Entretanto, não ocorre impedimento do material citoplasmático de uma célula para outra. Uma outra característica marcante desses fungos é a produção de esporos (basidiósporos) de origem sexuada, em uma estrutura especializada denominada **basídio** (Figura 9) que está localizada nos basidiomas (cogumelos e orelhas de pau).

Muitas espécies de basidiomicetos são degradadoras de madeira e podem ser divididos em dois grandes grupos: os fungos causadores de podridão branca e os causadores de podridão parda. Os primeiros são dotados de complexo enzimático, que os tornam capazes de converter moléculas de celulose, hemicelulose e lignina em água e CO₂. A madeira, depois de sofrer a ação desses fungos, fica com aspecto esponjoso, fibroso ou laminado e com cor esbranquiçada, o que caracteriza o nome do grupo. Os fungos causadores de podridão parda, por sua vez, são responsáveis pela degradação da celulose e hemicelulose e deixam a madeira com aspecto amorfa e desintegrada ao final do processo de degradação, restando apenas moléculas de lignina modificada de coloração parda. Ao que parece, os fungos basidiomicetos causadores de podridão branca são os únicos organismos capazes de converter lignina em CO₂ e água.



Cogumelos

Fotos: Marina Capelari

Orelha de pau



Figura 8: Fungos basidiomicetos

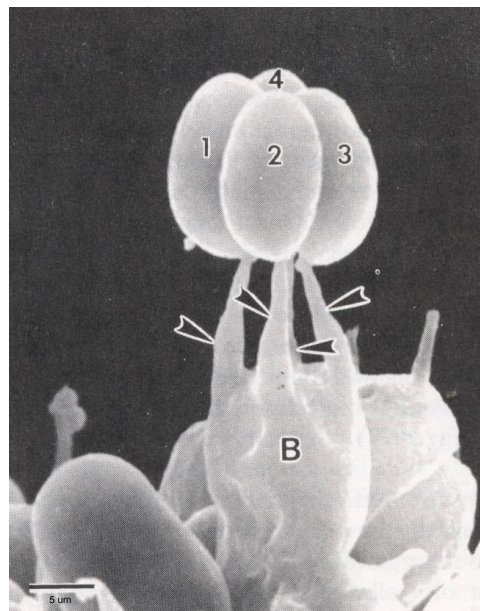


Figura 9: Micrografia eletrônica de um típico holobasídio, localizado nas lamelas de cogumelos.

Foto: C.W.Mims, extraída de Alexopoulos et al., 1996.

A importância dos basidiomicetos para o meio ambiente está relacionada com a capacidade em secretar enzimas capazes de degradar e desestabilizar moléculas orgânicas persistente. Por essa razão, são pesquisados e utilizados para degradação de resíduos lignocelulósicos persistentes no meio ambiente.

Nesse grupo existem muitos fungos produtores de cogumelos comestíveis. Entretanto, é muito importante que não se utilize cogumelos retirados da natureza para alimentação. Porque existem espécies tóxicas para o organismo humano, e somente especialistas teriam condições de observar no ambiente se a espécie é ou não comestível. Recomenda-se a utilização de cogumelos comercializados os quais são provenientes de produtores especializados.

4.5 Filo Deutoromycota

Consiste em um grupo artificial que compreende cerca de 2.600 gêneros e 15.000 espécies. As espécies desse grupo também são designados como fungos imperfeitos ou fungos mitospóricos.

Como característica principal esses fungos apresentam reprodução assexuada por produção de conidióforos e conídios. Nesse tipo de reprodução só está presente divisões celulares por mitose, e por isso, vem sendo empregado a terminologia de **fungos mitospóricos**.

Os deutoromicetos podem se reproduzirem de maneira assexuada e sexuada ou ainda das duas formas ao mesmo tempo, sendo estas espécies denominadas como fungos holomorfos, ou seja, produzindo conídios ao mesmo tempo em que são formados ascos e ascomas ou basídios e basidiomas. Quando exibem somente estruturas conidiais diz-se que os fungos estão na fase assexuada ou fase imperfeita ou anamorfa. Ou ainda, quando apresentam somente estruturas sexuadas como ascomas e ascos, ou basidiomas e basídios são ditos como na fase sexuada, perfeita ou teleomorfa.

Podem ser encontrados sob a forma de conídios, hifas ou estruturas somáticas em todos os ambientes, como solo, serapilheira, sobre plantas e animais, em ecossistemas aquáticos, no ar, associados a insetos ou crescendo nos produtos fabricados pelo homem.

São sapróbios com grande importância para a ciclagem de nutrientes, porém, também existem espécies parasitas de plantas e animais, incluindo o homem.

A classificação das espécies desse grupo continua sendo problemática. Os taxonomistas sempre utilizam as estruturas sexuais dos fungos para agrupá-los, ordená-los e relacioná-los aos seus ancestrais, o que não é possível para os deutoromicetos porque a maioria das espécies apresenta somente reprodução assexuada.

5. Utilização de fungos em processos biotecnológicos

A fermentação de alimentos visa acentuar o sabor e aroma e é muito apreciado pelos povos orientais, os quais têm como costume promover a fermentação de soja, arroz, trigo e outros cereais. Além da

acentuação no sabor dos alimentos, tem-se a liberação de substâncias benéficas para o organismo humano, como muitas enzimas e polissacarídeos.

O **Tempeh** é um fermentado de soja que a torna mais leve e nutritiva produzida a partir da utilização dos fungos *Rhizopus ligosporus*, *R. oryzae*, *R. arrhizus* ou *R. stolonifer*, e também com a participação, com menor relevância, de bactérias e outros fungos. O **Tofu**, também chamado de queijo de soja, é preparado a partir da fermentação da soja utilizando-se outros zigomicetos, como *Actinomucor elegans* ou outras espécies do gênero *Mucor* e de *Rhizopus*. O **oncom**, uma comida típica da Indonésia, trata-se de uma pasta de amendoim fermentada pela espécie *Rhizopus oligosporus*.

O acúmulo de resíduos agrícolas como palha de arroz, trigo e outros cereais, e também dos resíduos agroindustriais dentre eles, tortas de algodão, soja e bagaço de cana-de-açúcar, além de serragem de madeira, muitas vezes representam problemas ambientais porque são substratos persistentes no meio ambiente difícil de serem degradados. Devido à capacidade de converter lignina em CO₂ e água, fungos basidiomicetos são muito utilizados em processos biotecnológicos a fim de degradar substratos lignocelulósicos, e muitas vezes, são utilizados como substratos para a produção de **cogumelos comestíveis** (Figuras 10) ou ainda para produção de biomassa fúngica a ser empregada em processos industriais. A bioconversão desses resíduos em cogumelos comestíveis já é atividade bem estabelecida. Cogumelos possuem até cinco vezes mais proteínas que a carne de bovinos e suínos, além de serem destituídos das gorduras insaturadas altamente prejudiciais para o organismo de animais. Os produtos finais da degradação do substrato lignocelulósicos podem ainda ser utilizados como fertilizantes em plantações, suplementos para ração de animais ou ainda serem reciclados e misturados a outros materiais orgânicos, para utilização em terra de cobertura de plantações de champignon.

Com acentuado valor para indústria farmacêutica e também para indústria alimentícia o β-caroteno é utilizado com fonte de provitamina A, sendo possível sua extração a partir de muitos fungos zigomicetos, os quais produzem esses carotenóides. Como exemplos, destacam-se as espécies *Blakeslea trispora*, *Phycomyces blakesleeanus*, *Choanephora cucurbitarum*. A biotina - vitaminas H e B8 - é produzida pelos fungos *Rhizopus delemar* e *R. japonicus* com grande nível de pureza. Os ácidos linolêico e linolênico são produzidos por fungos do gênero *Mortierella*, sendo essenciais para mamíferos. Outros produtos originados a partir do metabolismo de fungos zigomicetos são ácidos cítrico, láctico, fumárico e succínico, amilases, proteases, cortisona e hidroxiprogesterona.

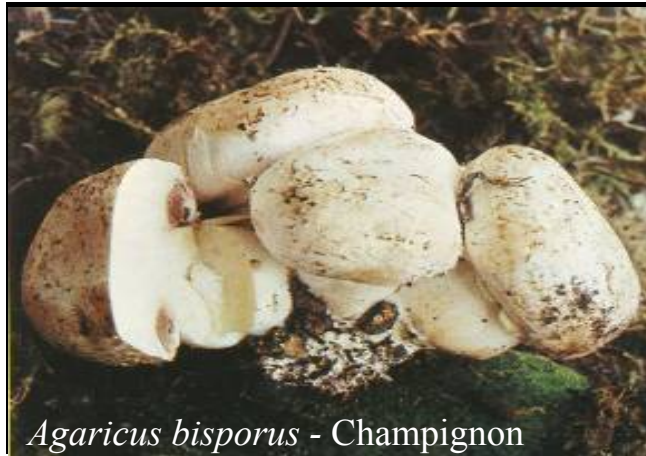


Foto: Rosana Mazieiro.

Fotos: Marina Canelari



Figura 10: Cogumelos comestíveis

A extração de polissacarídeos de fungos basidiomicetos vem sendo estudada de longa data. Essa e outras substâncias são utilizadas no tratamento de doenças em humanos, principalmente o câncer. Já foi demonstrada a eficácia nas respostas do sistema imunológico em tratamentos de tumores malignos. Pesquisadores americanos e chineses têm demonstrado em seus estudos as atividades antitumorais dos polissacarídeos e triterpenóides extraídos de várias espécies do gênero *Ganoderma*. Além disso, substâncias extraídas de outras espécies de basidiomicetos são aplicadas para a diminuição do colesterol, redutores de pressão sanguínea, potencializadores do sistema imunológicos e também como drogas para controle cardíaco.

A produção de compostos químicos que não participam facilmente dos ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre originaram grave problema de poluição para o meio ambiente. A biorremediação, utilização de microrganismos para eliminação de compostos tóxicos, vem sendo muito estudada nos últimos anos. Além de ser de baixo custo, pode resultar na transformação dos contaminantes em produtos

finais inócuos ou na sua mineralização (transformação do composto nos seus constituintes minerais). São muitas as espécies de zigomicetos que são utilizadas em biorremediação. Por exemplo, espécies de zigomicetos degradadores de hidrocarbonetos são *Cunninghamella bainieri*, *C. elegans* e *Syncephalastrum racemosum*. As que promovem oxidações de alcanos são *Absidia spinosa*, *Rhizopus stolonifer*, e muitas espécies de *Cunninghamella*. Os fungos **basidiomicetos lignocelulolíticos** também são utilizados para biodegradação de substâncias químicas recalcitrantes à degradação biológica no meio ambiente. Esse interesse baseia-se na capacidade desses organismos de degradar diversas moléculas poluentes como pesticidas clorados (DDT), dioxinas (2,3,7,8 – tetraclorodibenzo-p-dioxina), hidrocarbonetos aromáticos (benzo- α -pireno), além de bifenilas policloradas, pentaclorofenol e hexaclorobenzeno. A capacidade desses fungos em degradar tais substâncias está relacionada ao sistema enzimático inespecífico que possuem, capaz de desestabilizar moléculas com grande estabilidade química, além do fato de lançarem as enzimas no substrato onde colonizam, característica essa de todos os fungos, e dessa maneira, sofrendo menos a ação tóxica dessas substâncias. Desse modo, tem sido largamente estudada a utilização destes fungos em **processos de biorremediação** (Figura 11) de materiais, como solos, resíduos e efluentes industriais, contaminados com substâncias recalcitrantes à degradação biológica.

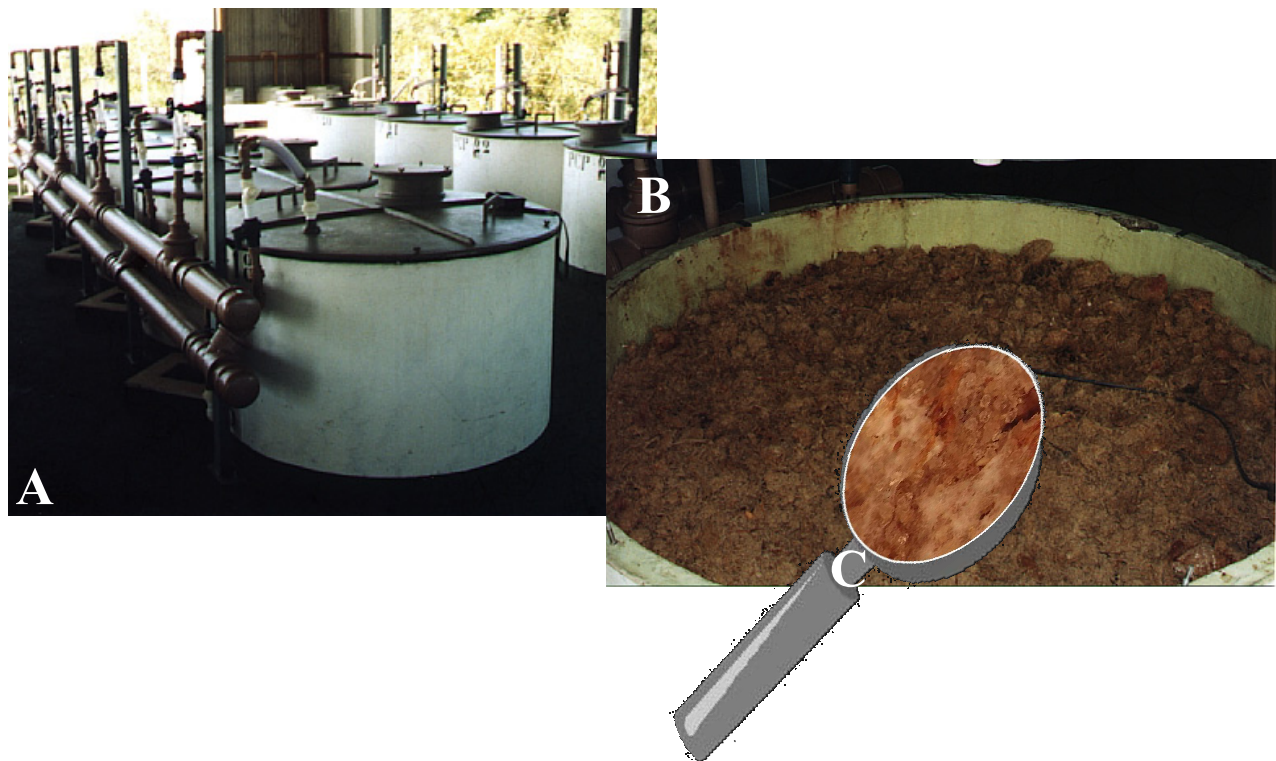


Figura 11: A) Biorreatores utilizados em estudos que utilizam basidiomicetos para biorremediação de solos contaminado com organoclorados. B) Solo contaminado com organoclorado colonizado por basidiomicetos. C) Detalhe do fungo colonizando solo

6. Bibliografia sugerida:

Alexopoulos, C.J.; Mims, C.W.; Blackwell, M, 1996. Introductory Mycology. John Wiley & Sons, INC, New York. 4th ed, 869p.

Bononi, V.L.R. (org), 1998. Zigomicetos, Basidiomicetos e Deuteromicetos: noções básicas de taxonomia e aplicações biotecnológicas. São Paulo: Instituto de Botânica, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 184p.

Bononi, V.L.R.; Capelari, M.; Mazieiro, R.; Trufem, S.F.B., 1995 Cultivo de cogumelos comestíveis. São Paulo, Ícone. 206p.

Raven P. H., Evert, R.F., Eichhorn, S.E., 1992. Biologia Vegetal. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan S.A. 5^o ed. 728p.

Agradecimentos:

Dr. Dácio Roberto Matheus, pela orientação dedicada no trabalho de doutorado além da revisão desse texto.

Dra. Kátia Maria Gomes Machado, por toda ajuda no trabalho de doutorado e também pela revisão desse texto;

Dra. Marina Capelari, pelo fornecimento e permissão de uso de imagens;

Dra. Adriana de Mello Gugliota, pelo apoio e revisão ao texto;

Dr. José Ivanildo de Souza, pelo fornecimento e permissão de uso de imagem;

À CAPES pelo auxílio financeiro através da bolsa de doutorado, concedida pelo Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente do Instituto de Botânica de São Paulo.