

NOÇÕES DE MICOLOGIA

META

Introduzir alguns conceitos sobre importância, características próprias, morfologia, fisiologia e nutrição, cultivo, classificação, genética e reprodução sobre fungos e leveduras

OBJETIVOS

No final desta aula, o aluno deverá descrever, identificar e interpretar os principais aspectos associados às características gerais dos fungos e leveduras e sua participação como patógeno para o homem

PRÉ-REQUISITOS

Para acompanhar esta aula, o aluno deverá revisar conceitos de biologia estudados no ensino médio



Cultivo de fungo em meio de Sabouraud dentro de uma placa de Petri.
(Fontes: <http://pt.wikipedia.org>)

INTRODUÇÃO

Fungos são organismos eucarióticos quimio-heterotróficos, absorvem componentes orgânicos como fonte de energia. São aeróbios em sua grande maioria, mas alguns fungos anaeróbicos estritos e facultativos são conhecidos. Podem ser uni ou multicelulares e reproduzem-se sexuada ou assexuadamente. Alguns fungos apresentam ciclo parassexuado. Possuem parede celular rígida que pode ser composta de celulose, glicanas, mananas ou quitina e membrana celular com esteróis presentes. Seu principal material de reserva é o glicogênio.

Apresentam hábitat relativamente diversos, alguns são aquáticos – vivem principalmente em água doce, embora também sejam conhecidos fungos marinhos. A maioria, no entanto, vive em hábitat terrestres, no solo ou em matéria vegetal morta, geralmente desempenhando papel crucial na mineralização do carbono orgânico da natureza. Um grande número de fungos é parasita de plantas terrestres, sendo um dos principais responsáveis pela maioria das doenças de vegetais economicamente importantes. Poucos fungos são parasitas de animais, inclusive de humanos.



Micose fúngica na cabeça de uma criança.
(Fontes: <http://www.exame-aracatuba.com.br>)

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Durante muito tempo, os fungos foram considerados como vegetais e, somente a partir de 1969, passaram a ser classificados em um reino à parte.

Os fungos apresentam um conjunto de características próprias que permitem sua diferenciação das plantas: não sintetizam clorofila, não tem celulose na sua parede celular, exceto alguns fungos aquáticos e não armazenam amido como substância de reserva.

A presença de substâncias quitinosas na parede da maior parte das espécies fúngicas e a sua capacidade de depositar glicogênio os assemelham às células animais.

Os fungos são seres vivos eucarióticos, com um só núcleo, como as leveduras, ou multinucleados, como se observa entre os fungos filamentosos ou bolores. Seu citoplasma contém mitocôndrias e retículo endoplasmático rugoso.

São heterotróficos e nutrem-se de matéria orgânica morta - fungos saprofitos, ou viva - fungos parasitários. Suas células possuem vida independente e não se reúnem para formar tecidos verdadeiros.

Os componentes principais da parede celular são hexoses e hexoaminas, que formam mananas, ducanas e galactanas. Alguns fungos têm parede rica em quitina (N-acetil glicosamina), outros possuem complexos polisacarídios e proteínas, com predominância de cisteína. Fungos do gênero *Cryptococcus*, como o *Cryptococcus neoformans* apresentam cápsula de natureza polissacarídica, que envolve a parede celular.

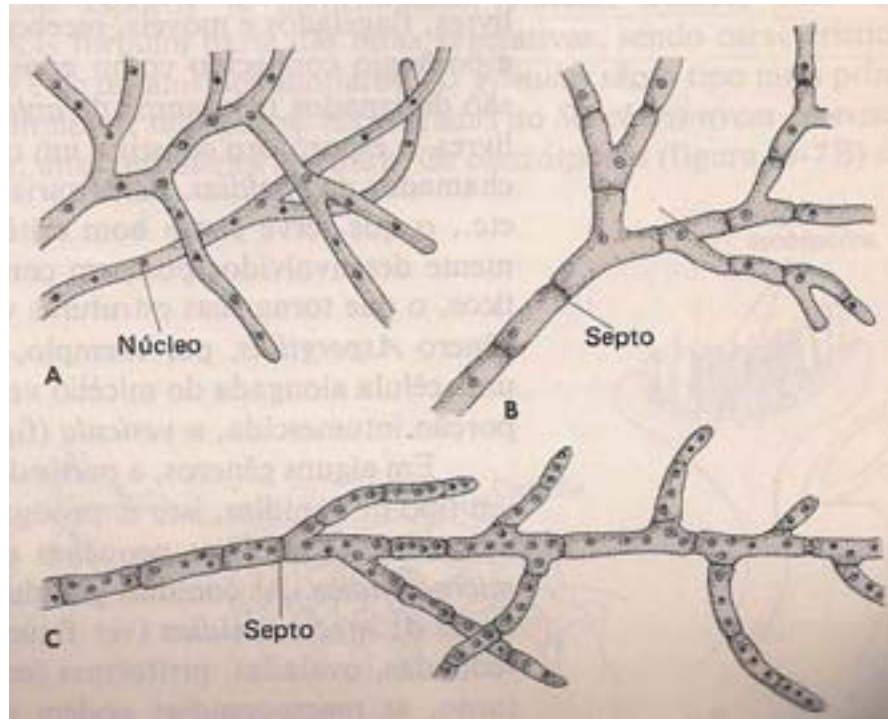
Protoplastos de fungos podem ser obtidos pelo tratamento de seus cultivos, em condições hipertônicas, com enzimas de origem bacteriana ou extraídas do caracol *Helix pomatia*.

Os fungos são ubíquos, encontrando-se no solo, na água, nos vegetais, em animais, no homem e em detritos, em geral. O vento age como importante veículo de dispersão de seus propágulos e fragmentos de hifa.

ESTRUTURA DOS FUNGOS

Os fungos podem se desenvolver em meios de cultivo especiais formando colônias de dois tipos: leveduriformes e filamentosos. As colônias leveduriformes são pastosas ou cremosas, formadas por microrganismos unicelulares que cumprem as funções vegetativas e reprodutivas. As colônias filamentosas podem ser algodonosas, aveludadas ou pulverulentas; são constituídas fundamentalmente por elementos multicelulares em forma de tubo — as hifas.

As hifas podem ser contínuas ou cenocíticas e tabicadas ou septadas (Figura 1). Possuem hifas septadas os fungos das divisões Ascomycota, Basidiomycota e Deuteromycota e hifas cenocíticas, os das divisões Mastigomycota e Zygomycota.



Ao conjunto de hifas, dá-se o nome de micélio. O micélio que se desenvolve no interior do substrato, funcionando também como elemento de sustentação e de absorção de nutrientes, é chamado de micélio vegetativo. O micélio que se projeta na superfície e cresce acima do meio de cultivo é o micélio aéreo. Quando o micélio aéreo se diferencia para sustentar os corpos de frutificação ou propágulos, constitui o micélio reprodutivo.

Os propágulos ou órgãos de disseminação dos fungos são classificados, segundo sua origem, em externos e internos, sexuais e assexuais. Embora o micélio vegetativo não tenha especificamente funções de reprodução, alguns fragmentos de hifa podem se desprender do micélio vegetativo e cumprir funções de propagação, uma vez que as células fúngicas são autônomas.

Estes elementos são denominados de taloconídios e compreendem os blastoconídios, arthroconídios e clamidoconídios.

Os blastoconídios, também denominados gêmulas, são comuns nas leveduras e se derivam por brotamento da célula-mãe. As vezes, os blastoconídios permanecem ligados à célula-mãe, formando cadeias, as pseudo-hifas, cujo conjunto é o pseudomicélio.

Os arthroconídios são formados por fragmentação das hifas em segmentos retangulares. São encontrados nos fungos do gênero *Geotrichum*, em *Coccidioides immitis* e em dermatófitos.

Os clamidoconídios têm função de resistência, semelhante a dos esporos bacterianos. São células, geralmente arredondadas, de volume aumentado, com paredes duplas e espessas, nas quais se concentra o citoplasma. Sua localização no micélio pode ser apical ou intercalar.

Formam-se em condições ambientais adversas, como escassez de nutrientes, de água e temperaturas não favoráveis ao desenvolvimento fúngico.

Entre outras estruturas de resistência devem ser mencionados os esclerócios ou esclerotos, que são corpúsculos duros e parenquimatosos, formados pelo conjunto de hifas e que permanecem em estado de dormência, até o aparecimento de condições adequadas para sua germinação. São encontrados em espécies de fungos das divisões Ascomycota, Basidiomycota e Deuteromycota.

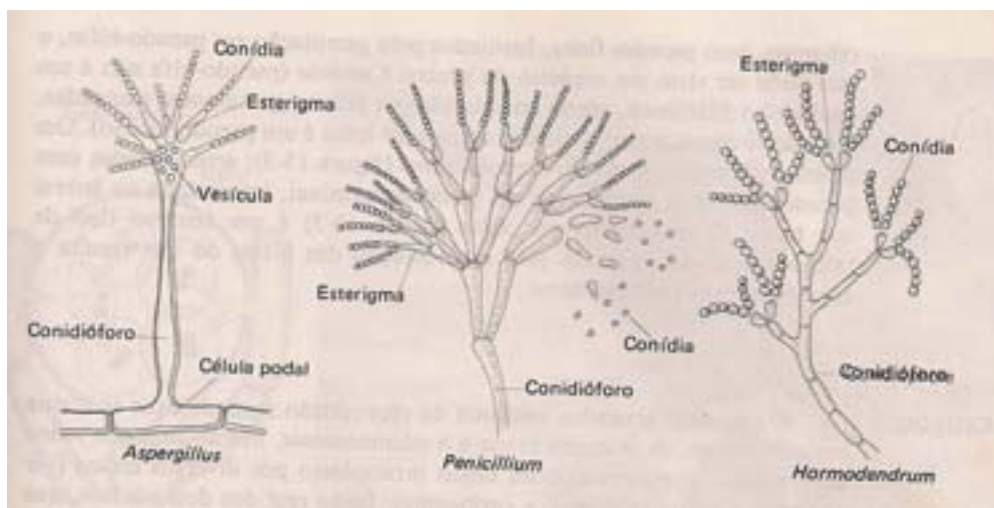
REPRODUÇÃO DOS FUNGOS

Os fungos se reproduzem em ciclos assexuais, sexuais e parassexuais.

A reprodução assexuada abrange quatro modalidades: 1) fragmentação de artroconídios; 2) fissão de células somáticas; 3) brotamento ou gemulação do blastoconídios-mãe; 4) produção de conídios.

Os conídios representam o modo mais comum de reprodução assexuada; são produzidos pelas transformações do sistema vegetativo do próprio micélio (Figura 3). As células que dão origem aos conídios são denominadas células conidiogênicas.

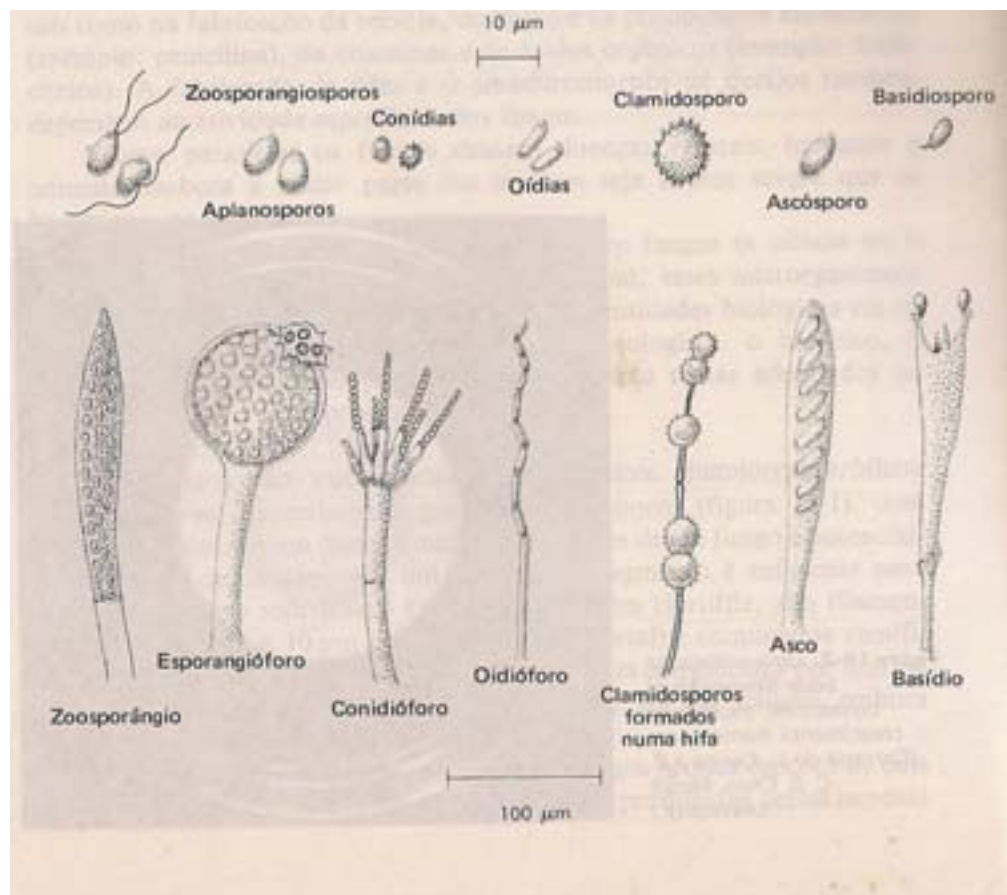
Os conídios podem ser hialinos ou pigmentados, geralmente escuros - os feoconídios; e podem apresentar formas diferentes— esféricos, fusiformes, cilíndricos, piriformes etc; ter parede lisa ou rugosa; serem formados de uma só célula ou terem septos em um ou dois planos; e apresentar-se isolados ou agrupados.



As hifas podem produzir ramificações, algumas em plano perpendicular ao micélio, originando os conidióforos, a partir dos quais se formarão os conídios. Normalmente, os conídios se originam no extremo do conidióforo, que pode ser ramificado ou não. Outras vezes, o que não é muito freqüente nasce em qualquer parte do micélio vegetativo, e neste caso são chamados de conídios sésseis, como no *Trichophyton rubrum*.

O conidióforo e a célula conidiogênica podem formar estruturas bem diferenciadas, peculiares, o aparelho de frutificação, também denominado de conidiação que permite a identificação de alguns fungos patogênicos.

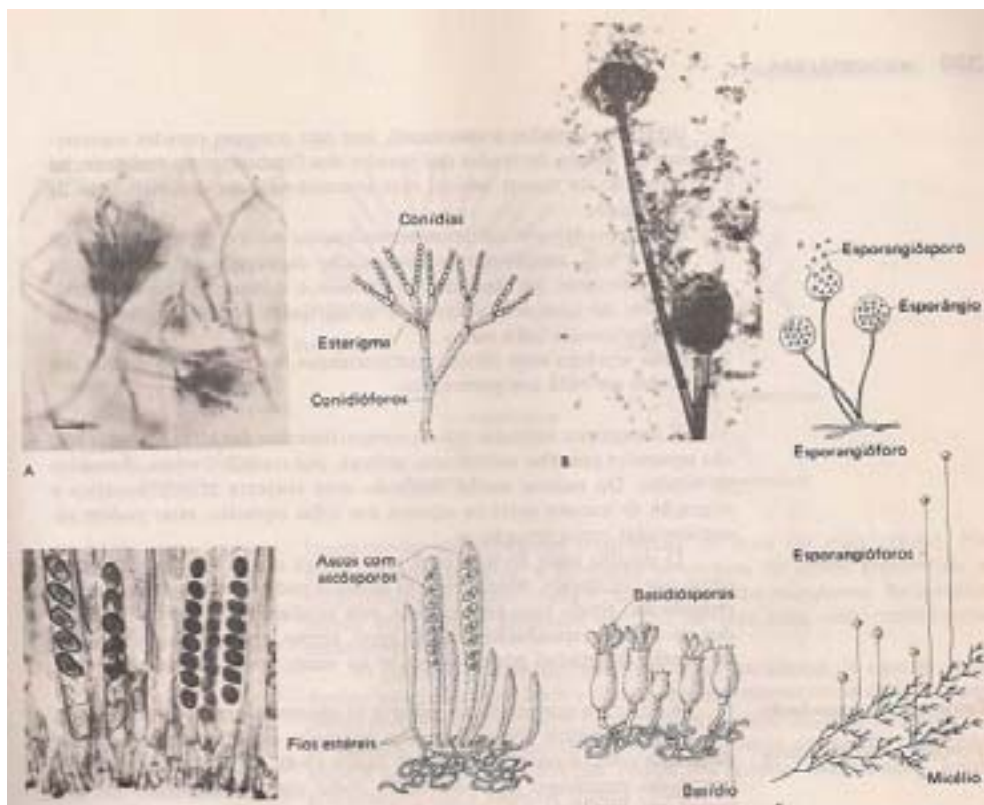
No aparelho de conidiação tipo aspergilo, os conídios formam cadeias sobre fiálides, estruturas em forma de garrafa, em torno de uma vesícula que é uma dilatação na extremidade do conidióforo.



Nos penicílios falta a vesícula na extremidade dos conidióforos que se ramificam dando a aparência de pincel. Como no aspergilo, os conídios formam cadeias que se distribuem sobre as fiálides (Figura 4).

Quando um fungo filamentosos forma conídios de tamanhos diferentes, o maior será designado como macroconídio e o menor microconídio.

Alguns fungos formam um corpo de frutificação piriforme denominado picnídio, dentro do qual se desenvolvem os conidióforos, com seus conídios—os picnidioconídios. Essa estrutura é encontrada na *Pyrenochaeta romeroi*, agente de eumicetoma.



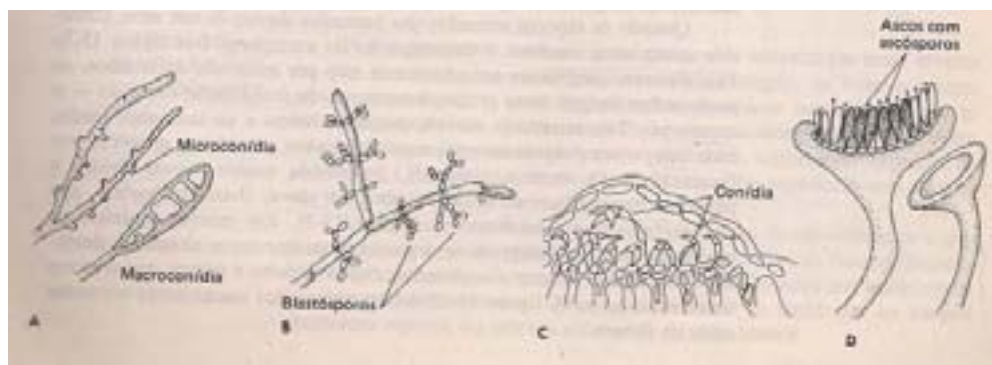
Os propágulos assexuados internos se originam de esporângios globosos, por um processo de clivagem de seu citoplasma, e são conhecidos como esporangiósporos ou esporos. Pela ruptura do esporângio, os esporos são liberados.

Os esporos sexuados se originam da fusão de estruturas diferenciadas com caráter de sexualidade. O núcleo haplóide de uma célula doadora funde-se com o núcleo haplóide de uma célula receptora, formando um zigoto. Posteriormente, por divisão meiótica, originam-se quatro ou oito núcleos haplóides, alguns dos quais se recombinarão, geneticamente.

Os esporos sexuados internos são chamados ascósporos e se formam no interior de estruturas em forma de saco, denominadas ascos. Os ascos podem ser simples, como em leveduras dos gêneros *Saccharomyces* e *Hansenula*, ou se distribuir em lóculos ou cavidades do micélio, dentro de um estroma, o ascostroma ou ainda éster contidos em corpos de frutificação, os ascocarpos.

Três tipos de ascocarpos são bem conhecidos: cleistotécio, peritécio e apotécio. O cleistotécio é uma estrutura globosa, fechada, de parede formada por hifas muito unidas, com um número indeterminado de ascos,

contendo cada um oito ascósporos. O peritécio é uma estrutura geralmente piriforme, dentro da qual os ascos nascem de uma camada hemenical e se dispõem em paliçada, exemplo, *Leptosphaeria senegalensis*, *Neotestudina rosatii*. O apotécio é um ascocarpo aberto, em forma de cálice onde se localizam os ascos.



Os fungos que se reproduzem por ascósporos ou basidiósporos são fungos perfeitos. As formas sexuadas são esporádicas e contribuem, através da recombinação genética, para o aperfeiçoamento da espécie. Em geral, estes fungos produzem também estruturas assexuadas, os conídios que asseguram sua disseminação. Muitos fungos, nos quais não foi até agora reconhecida a forma sexuada de reprodução, são incluídos entre os fungos imperfeitos. Quando é descrita a forma perfeita de um fungo, essa recebe outra denominação. Por exemplo, o fungo leveduriforme, *Cryptococcus neoformans*, em sua fase perfeita é denominado *Filobasidiella neoformans*.

A fase sexuada dos fungos é denominada de teleomórfica e a fase assexuada de anamórfica.

A maior parte das leveduras se reproduz assexuadamente por brotamento ou gemulação e por fissão binária. No processo de brotamento, a célula-mãe origina um broto, o blastoconídio que cresce, recebe um núcleo após a divisão do núcleo da célula-mãe. Na fissão binária, a célula-mãe se divide em duas células de tamanhos iguais, de forma semelhante a que ocorre com as bactérias. No seu ciclo evolutivo, algumas leveduras, como *Saccharomyces cerevisiae*, podem originar esporos sexuados, ascósporos, depois que duas células experimentam fusão celular e nuclear, seguida de meiose.

O fenômeno de parassexualidade foi demonstrado em *Aspergillus*. Consiste na fusão de hifas e formação de um heterocarion que contém núcleos haplóides. Às vezes, estes núcleos se fundem e originam núcleos diplóides, heterozigóticos, cujos cromossomas homólogos sofrem recombinação durante a mitose. Apesar de estes recombinantes serem raros, o ciclo parassexual é importante na evolução de alguns fungos.

METABOLISMO

Os fungos são microrganismos heterotróficos e, em sua maioria, aeróbios obrigatórios. No entanto, certas leveduras fermentadoras, aeróbias facultativas, se desenvolvem em ambientes com pouco oxigênio ou mesmo na ausência deste elemento.

Os fungos podem germinar, ainda que lentamente, em atmosfera de reduzida quantidade de oxigênio. O crescimento vegetativo e a reprodução assexuada ocorrem nessas condições, enquanto a reprodução sexuada se efetua apenas em atmosfera rica em oxigênio.

Em condições aeróbicas, a via da hexose monofosfato é a responsável por 30% da glicólise. Sob condições anaeróbicas, a via clássica, usada pela maioria das leveduras, é a de Embden-Meyerhof, que resulta na formação de piruvato.

Algumas leveduras, como o *Saccharomyces cerevisiae* fazem o processo de fermentação alcoólica de grande importância industrial, na fabricação de bebidas e na panificação.

Os fungos produzem enzimas como lipases, invertases, lactases, proteínases, amilases etc., que hidrolisam o substrato tornando-o assimilável através de mecanismos de transporte ativo e passivo. Alguns substratos podem induzir a formação de enzimas degradativas; há fungos que hidrolisam substâncias orgânicas, como quitina, osso, couro, inclusive materiais plásticos.

Muitas espécies fúngicas podem se desenvolver em meios mínimos, contendo amônia ou nitritos, como fontes de nitrogênio. As substâncias orgânicas, de preferência, são carboidratos simples como D-glicose e sais minerais como sulfatos e fosfatos.

Oligoelementos como ferro, zinco, manganês, cobre, molibdênio e cálcio são exigidos em pequenas quantidades. No entanto, alguns fungos requerem fatores de crescimento, que não conseguem sintetizar, em especial, vitaminas, como tiamina, biotina, riboflavina, ácido pantotênico etc.

Os fungos, como todos os seres vivos, necessitam de água para o seu desenvolvimento. Alguns são halofílicos, crescendo em ambiente com elevada concentração de sal. A temperatura de crescimento abrange uma larga faixa, havendo espécies psicrófilas, mesófilas e termófilas. Os fungos de importância médica, em geral, são mesófilos, apresentando temperatura ótima, entre 20° e 30°C.

Os fungos podem ter morfologia diferente, segundo as condições nutricionais e a temperatura de seu desenvolvimento. O fenômeno de variação morfológica mais importante em micologia médica é o dimorfismo, que se expressa por um crescimento micelial entre 22° e 28°C e leveduriforme entre 35°C e 37°C. Em geral, essas formas são reversíveis. A fase micelial (M) ou saprofítica é a forma infectante e está presente no solo, nas plantas

etc. A fase leveduriforme (L ou Y) ou parasitaria é encontrada nos tecidos. Este fenômeno é conhecido como dimorfismo fúngico e se observa entre fungos de importância médica, como *Histoplasma capsulatum*, *Blastomyces dermatitidis*, *Paracoccidioides brasiliensis*, *Sporothrix schenckii*. Em *Candida albicans*, a forma saprofitica infectante é a leveduriforme e a forma parasitaria, isolada dos tecidos, é a micelial. Em laboratório, é possível reproduzir o dimorfismo mediante variações de temperatura de incubação, de tensão de O₂ e de meios de cultura específicos. Desta forma foi possível classificar como dimórficos, fungos nos quais era conhecida apenas uma das formas, por exemplo, os agentes de cromoblastomicose.

O pleomorfismo nos dermatófitos se expressa através da perda das estruturas de reprodução ou conídios, com variações morfológicas da colônia. Essas estruturas podem ser recuperadas nos retro cultivos, após a inoculação em animais de laboratório ou em meios enriquecidos com terra.

Ainda que o pH mais favorável ao desenvolvimento dos fungos esteja entre 5, 6 e 7, a maioria dos fungos tolera amplas variações de pH. Os fungos filamentosos podem crescer na faixa entre 1,5 e 11, mas as leveduras não toleram pH alcalino. Muitas vezes, a pigmentação dos fungos está relacionada com o pH do substrato. Os meios com pH entre 5 e 6, com elevadas concentrações de açúcar, alta pressão osmótica, tais como geléias, favorecem o desenvolvimento dos fungos nas porções em contato com o ar.

O crescimento dos fungos é mais lento que o das bactérias e suas culturas precisam, em média, de 7 a 15 dias, ou mais de incubação. Com a finalidade de evitar o desenvolvimento bacteriano, que pode inibir ou se sobrepor ao do fungo, é necessário incorporar aos meios de cultura, antibacterianos de largo espectro, como o cloranfenicol. Também pode-se acrescentar ciclohexamida para diminuir o crescimento de fungos saprófitas contaminantes, de cultivos de fungos patogênicos. Muitas espécies fúngicas exigem luz para seu desenvolvimento; outras são por ela inibidos e outras ainda mostram-se indiferentes a este agente. Em geral, a luz solar direta, devido à radiação ultravioleta, é elemento fungicida.

Por diferentes processos, os fungos podem elaborar vários metabólitos, como antibióticos, dos quais a penicilina é o mais conhecido e micotoxinas, como aflatoxinas, que lhes conferem vantagens seletivas.

CLASSIFICAÇÃO DOS FUNGOS

O Reino Fungi é dividido em seis filos ou divisões dos quais quatro são de importância médica: Zygomycota, Ascomycota, Basidiomycota e Deuteromycota.

DIVISÃO ZYGOMYCOTA

Inclui fungos de micélio cenocítico, ainda que septos possam separar estruturas como os esporângios. A reprodução pode ser sexuada, pela formação de zigósporos e assexuada com a produção de esporos, os esporangiósporos, no interior dos esporângios. Os fungos de interesse médico se encontram nas ordens Mucorales e Entomophthorales.

DIVISÃO ASCOMYCOTA

Agrupa fungos de hifas septadas, sendo o septo incompleto, com os típicos corpos de Woronin. A sua principal característica é o asco, estrutura em forma de saco ou bolsa, no interior do qual são produzidos os ascósporos, esporos sexuados, com forma, número e cor variáveis para cada espécie. Algumas espécies produzem ascocarpos e ascostromas no interior dos quais se formam os ascos. Conídios, propágulos assexuados são também encontrados. As espécies patogênicas para o homem se classificam em três classes: Hemiascomycetes, Loculoascomycetes e Plectomycetes.

DIVISÃO BASIDIOMYCOTA

Compreendem fungos de hifas septadas, que se caracterizam pela produção de esporos sexuados, os basidiósporos, típicos de cada espécie. Conídios ou propágulos assexuados podem ser encontrados. A espécie patogênica mais importante se enquadra na classe Teliomycetes.

DIVISÃO DEUTEROMYCOTA

Engloba fungos de hifas septadas que se multiplicam apenas por conídios e por isso são conhecidos como Fungos Imperfeitos. Os conídios podem ser exógenos ou estar contidos em estruturas como os picnídios. Entre os Deuteromycota se encontra a maior parte dos fungos de importância médica.

IMPORTÂNCIA DOS FUNGOS

Nos ecossistemas, os fungos são importantes decompositores. Nas ciências da saúde, são importantes como parasitas facultativos. Alguns produzem antibióticos que inibem o crescimento das bactérias ou as matam.

Os fungos são essenciais na decomposição de ligninas e de outros compostos derivados da madeira. Alguns secretam resíduos do seu metabolismo que são tóxicos para outros organismos, especialmente microorganismos do solo.

Na biotecnologia, os fungos são utilizados há muitos anos. *Aspergillus niger*, por exemplo, tem sido usado para produzir ácido cítrico para alimentos e bebidas desde 1914. A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é utilizada para fazer pão e vinagre.

Esses organismos são utilizados ainda como controle biológico de pragas. Em 1990, o fungo *Entomophaga* se proliferou de maneira inesperada e eliminou as mariposas que estavam destruindo árvores no leste dos Estados Unidos.

Em contraste a esses efeitos benéficos, os fungos podem causar efeitos indesejáveis para a indústria e para a agricultura devido às suas adaptações nutricionais. Como observado pela maioria de nós, os fungos que estragam frutas, sementes e vegetais são relativamente comuns, mas estragos causados nesses alimentos por bactérias não são.



ATIVIDADES

1. Defina os seguintes termos: hifa, micélio, esporângio, basídio, haustório, rizóide.
2. Quais as semelhanças e as diferenças entre os fungos e as bactérias.
3. Qual a importância dos esporos produzidos no processo sexuado?
4. Como é a classificação dos fungos e em que se baseia essa classificação?
5. O que são fungos imperfeitos?
6. Cite vantagens dos fungos ao ser humano.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

1. Os fungos são organismos eucarióticos e possuem estruturas bastante diferentes das bactérias. Cada uma dessas estruturas é fundamental para a sobrevivência do fungo em ambientes adversos.
2. Ao compararmos fungos (eucarióticos) e bactérias (procarióticos) vemos que há diferenças claras quanto ao tipo de célula, membrana celular, parede celular, esporos, metabolismo e sensibilidade a antibióticos.
3. Os esporos sexuais e as estruturas que os contêm são usualmente distinguíveis, sob o ponto de vista morfológico, dos esporos assexuais, os quais são formados por simples diferenciação do talo em desenvolvimento.
4. Existindo muitos milhares de espécies fúngicas sobre a Terra, torna-se indispensável classificá-las, visando facilitar as referências feitas. Todos os fungos são, inicialmente, agrupados na divisão ou filo Mycota.

5. A classificação dos fungos baseia-se, primariamente, nas características dos esporos sexuados e dos corpos de frutificação presentes nas etapas sexuadas de seus ciclos vitais. No entanto, muitas espécies somente produzem esporos sexuados e corpos de frutificação em condições ambientais apropriadas.

6. Os fungos devem ser fundamentalmente analisados como entidades biológicas em si, transformando-se em instrumentos para o fisiologista, o biofísico, o geneticista e o bioquímico, que os utilizam como temas adequados ao conhecimento de certos processos biológicos.

CONCLUSÃO

Apesar de todos os benefícios já citados dos fungos, alguns causam doenças ao ser humano, as chamadas micoses, além de destruírem plantações e assim afetarem o ser humano economicamente. Não podemos, no entanto, tentar excluí-los. Os fungos constituem um grupo de microrganismos que têm grande interesse prático e científico para os microbiologistas.

A importância econômica dos fungos está diretamente ligada ao interesse comercial, benefício ou prejuízo (patógeno) que podem aumentar ou diminuir a sua renda econômica, bem como na área de biotecnologia. Muitos fungos que produzem toxina estão sendo muito utilizados para o uso próprio do ser humano, ou por meio delas transformar em outros produtos de interesse econômico mais rentável

RESUMO

Os fungos são seres: eucarióticos; uni ou pluricelulares (sendo a maioria pluricelular); heterotróficos; possuem parede celular, que na maioria dos casos é de quitina; podem ser decompositores de matéria orgânica, além de poderem ser parasitas (micoses – doenças causadas por fungos).

São classificados a depender de sua reprodução sexuada em: ascomiceto (maioria dos mofos, como os *Candida albicans* e *Penicillium*); basídiomiceto (cogumelos e orelhas de pau); zigomiceto e deuteromiceto (fungos imperfeitos).

Os fungos são importantes decompositores do ecossistema, além de auxiliarem no controle biológico, na biotecnologia (produção de pão e vinagre) e na produção de antibacterianos (penicilina). Em contraste com esses efeitos benéficos são responsáveis pelo apodrecimento de alimentos, intoxicações e de patologias humanas, as micoses.



REFERÊNCIAS

- BLACK, J. G. Microbiologia: fundamentos e perspectivas. 4a Ed., Guanabara Koogan, 2002.
- MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; PARKER, J. Microbiologia de Brock. 10a Ed. São Paulo: Prentice Hall do Brasil, 2004.
- MURRAY, P.R.; ROSENTHAL, K.S.; KOBAYASHI, G.S.; PFALLER, M.A. Microbiologia Médica. 4A Ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2004.