

Universidade Federal de Minas Gerais  
Programa de Pós-Graduação em Microbiologia

Juliana Moreira Mendonça Gomes

# Biodeterioração em construções por fungos

Belo Horizonte

2006

Juliana Moreira Mendonça Gomes

# Biodeterioração em construções por fungos

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Microbiologia do Programa de Pós-graduação do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Microbiologia Ambiental e Industrial.

Orientadora: Dra. Patrícia Silva Cisalpino

Belo Horizonte

2006

## Resumo

Biodeterioração em materiais de construção é pobremente relatado no Brasil e constitui um assunto de máxima importância considerando os aspectos econômicos e sociais. A instalação de fungos em substratos pode ser influenciada pela umidade, temperatura, região geográfica e fonte de nutrientes, tal instalação tem sido associada a doenças incluindo aumento do risco de asma, alergias entre outros. O presente trabalho está dividido em duas partes. Na primeira parte relata-se os aspectos gerais do reino Fungi, abordando características nutricionais, fisiológicas, taxonômicas e reprodutivas. A segunda parte faz um levantamento baseado em diversos artigos publicados sobre biodeterioração em alguns materiais de construção, descrevendo metodologias e relatando resultados. Os achados incluem *Penicillium*, *Aspergillus*, *Stachybotrys* e *Trichoderma* como maiores colonizadores dentre outros, avaliando o impacto da umidade e da temperatura na sua existência, apontando algumas micotoxinas produzidas por alguns microrganismos fúngicos e antimicóticos mais eficientes até o momento.

Palavras-chave: Fungos, micotoxinas, biodeterioração, materiais de construção.

## Abstract

Biodeterioration in building materials have been poorly reported in Brazil and it is an important topic considering the economic and social aspects. The installation of fungi on substrates could be influenced by humidity, temperature, geographic region, and a source of nutrients, this installation has been associated with increased risk of diseases including asthma, allergies among others. This paper was divided into two parts. In the first, we report the general aspects of the Fungus kingdom, addressing nutritional, physiological, taxonomic and reproductive characteristics. The second part is a survey based on several published articles on biodeterioration in some building materials, describing methodologies and reporting results. The findings include *Penicillium*, *Aspergillus*, *Stachybotrys* and *Trichoderma* as major colonizers among others, assessing the impact of humidity and temperature in its existence, pointing out some mycotoxins produced by some microorganisms antifungal and antimycotic most efficient at the moment.

Keywords: Fungi, mycotoxins, biodeterioration, building materials.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Classificação dos principais grupos de organismos celulares.....	7
Figura 2 – Chytridiomycota: zoósporos lançados de esporângios.....	14
Figura 3 – Zygomycota: esporângios de <i>Benjaminiella poitrasi</i> ; esporângios de <i>Gilbertella persicaria</i> lançados de esporangiósporos.....	16
Figura 4 – Ascomycota: ascos de hifas Ascomycetes.....	18
Figura 5 – Basidiomycota: basídia e basidiósporos.....	20

## Sumário

I – Introdução.....	6
I. 1 - Fungos e micologia: aspectos gerais.....	6
Reprodução e esporos.....	10
Taxonomia.....	12
Filo Chytridiomycota.....	13
Filo Zygomycota.....	15
Filo Ascomycota.....	17
Filo Basidiomycota.....	19
I. 2 - Importância Ecológica e Econômica dos fungos.....	21
Importância como decompositores e outros aspectos ambientais.....	21
Importância como Patógenos de Animais e Humanos.....	23
Importância na Indústria Alimentícia, Farmacêutica, e de Compostos orgânicos.....	24
Importância como Biodeterioradores.....	26
II – A Biodeterioração de Construções por fungos.....	26
Biodeterioração em argamassa.....	27
Biodeterioração em materiais de alvenaria.....	28
Massa microbiana colonizando superfícies de edifício.....	29
Biodeterioração em peridotito.....	30
Biodeterioração em cobertura de sapé.....	30
Deterioração em concretos de esgoto.....	31
Biodeterioração de antigos vidros.....	32
Influência da umidade e da temperatura na Biodeterioração.....	33
Biodeterioração em paredes pintadas em associação com a fauna.....	35
Biodeterioração em paredes pintadas e efeitos de biocidas.....	36
Produção de micotoxinas por espécies colonizando materiais de edifício.....	39
Agentes antimicóticos contra o crescimento fúngico.....	40
III – Conclusão.....	42
IV - Referências Bibliográficas.....	43

## **I - Introdução**

### I. 1 - Fungos e micologia: aspectos gerais

A micologia surgiu como um ramo da botânica. Em função disso, os fungos, por certo tempo, foram considerados como membros do reino vegetal. Mas, atualmente, diante de suas características morfológicas e fisiológicas, tais como: ausência de caule e raízes, sistema vascular complexo, ciclos de vida e formas de dispersão diferenciadas (esporos e conídios originados de processos sexuais e assexuais), por serem desprovidos de clorofila, portanto, não utilizam a fotossíntese como meio de obtenção de energia, por realizarem nutrição por absorção e, ainda, por apresentarem o glicogênio como substância de reserva, os fungos são classificados em um reino a parte, o reino Fungi.

Os fungos crescem onde exista matéria orgânica disponível, viva ou morta, geralmente apreciando calor e umidade. Água, solo, troncos, folhas, frutos, sementes, excrementos, insetos, alimentos frescos e processados, têxteis e inúmeros outros produtos fabricados pelo homem constituem substratos para o desenvolvimento de fungos (CARLILE e WATKINSON, 1994).

Tradicionalmente, os fungos têm sido definidos como eucarióticos, unicelulares ou pluricelulares, aclorofilados, heterotróficos. Nutrem-se basicamente por absorção, produzindo esporos que podem originar-se de reprodução sexual ou assexual; apresentam um corpo ou talo usualmente formado por filamentos conhecidos como hifas, que em conjunto recebem o nome de micélio. Mas nem todo fungo é pluricelular, muitas formas comumente conhecidas como leveduras existem como células individuais capazes de cumprir todas as funções fundamentais e de reproduzir-se. Existem, ainda, algumas espécies de fungos que podem exibir alternativamente hifas ou células individuais, na dependência de variações nas condições nutricionais ou físico-químicas do ambiente, sendo conhecidas como dimórficas.

Hifas normalmente são transparentes (hialinas), tubulares (cilíndricas), ramificadas, septadas ou asseptadas, rodeadas por parede celular definida. Um pequeno fragmento da hifa é capaz de produzir um novo indivíduo. As hifas de fungos quase invariavelmente contêm numerosos núcleos.

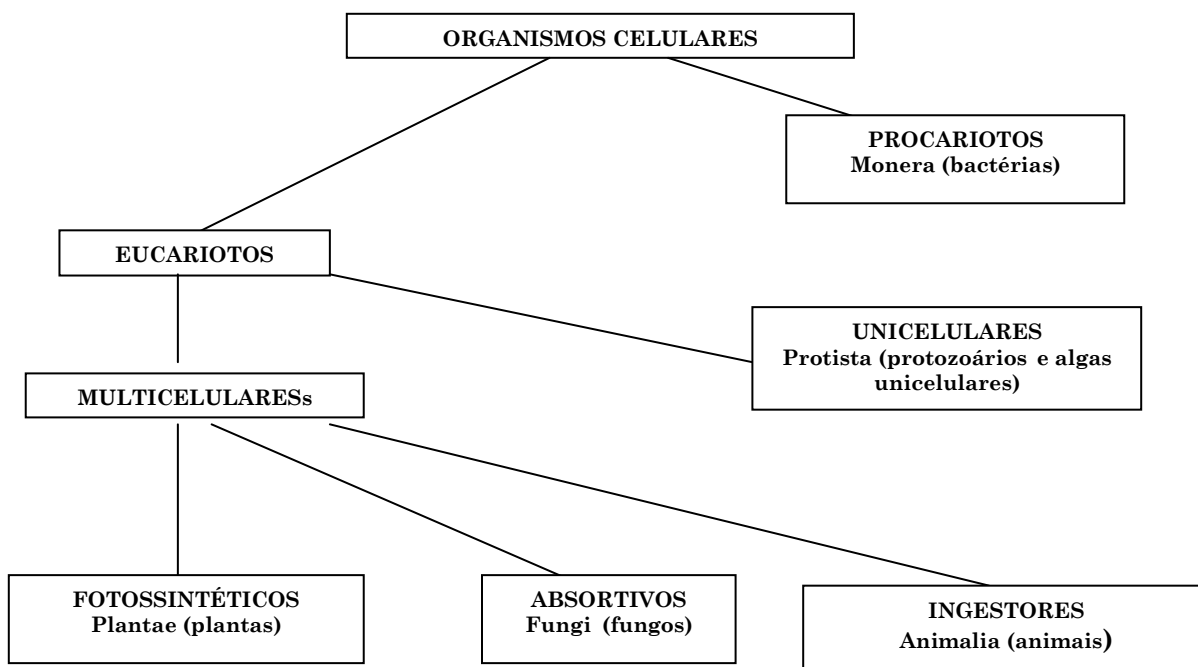


Figura 1 – Representação dos principais grupos de organismos celulares. Representam-se os grupos de organismos celulares destacando-se alguns de seus aspectos fundamentais e os reinos que constituem, segundo proposição e designação de Whittaker (1969) (Reproduzido de Cisalpino, 2000).



Em formas asseptadas, os núcleos geralmente aparecem distribuídos num só citoplasma (estrutura cenocítica) e em formas septadas, os compartimentos individuais podem, dependendo da espécie, conter um ou mais núcleos. Os núcleos são pequenos e geralmente esféricos. Em hifas septadas pode-se observar, à microscopia eletrônica, a existência de poros septais que permitem a passagem de organelas, incluindo o núcleo. A microscopia eletrônica de transmissão tem contribuído grandemente para o conhecimento do núcleo, elucidando detalhes precisos da divisão mitótica e meiótica em vários grupos de fungos.

Além do núcleo, outras organelas são evidentes, como as mitocôndrias, que são comuns e numerosas em hifas de fungos, retículo endoplasmático e complexo de Golgi, e outros componentes citoplasmáticos como ribossomos, vacúolos, lipídios, reservatórios de glicogênio, microtúbulos e microfilamentos, que compõe o citoesqueleto do fungo (ALEXOPOULOS et al., 1996).

Sendo microrganismos coloniais, os fungos são usualmente detectados visualmente, com ou sem o auxílio de instrumentos. Tais organismos podem ser estudados em detalhes por métodos microbiológicos usando culturas puras, sem a interferência do crescimento de outros microrganismos contaminantes. Muitas espécies de fungos podem crescer facilmente em culturas apropriadas e, se necessário, podem ser produzidos em larga escala. Estas características têm feito deles atrativos materiais para os cientistas interessados em processos biológicos, tais como geração de energia, controle de metabolismo e os mecanismos de herança (CARLILE e WATKINSON, 1994).

Os fungos exibem uma notável habilidade em utilizar carbono como alimento. Diferentes espécies têm diferentes necessidades nutricionais. Em geral, a utilização de substrato específico como alimento, por cada espécie, é dirigida pelas enzimas hidrolíticas por eles secretadas, capazes de serem produzidas e liberadas no ambiente (ALEXOPOULOS et al., 1996).

Os elementos carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre, fósforo, magnésio e potássio são requeridos por todos os organismos. Para os fungos, os três primeiros (C, H, O) são supridos na forma de compostos orgânicos como dióxido de carbono, oxigênio e água. Outros, como S, P, Mg e K podem ser supridos como sais: sulfato de magnésio e fosfato de potássio, por exemplo. Muitos fungos utilizam a glicose para seu metabolismo, bem como outros glicídios, incluindo os polissacarídeos, que também podem servir como fonte de carbono. Alguns fungos produzem extracelularmente amilases e lipases permitindo a degradação do amido e lipídios, para

que sejam assimilados. A habilidade de degradar celulose é também muito difundida entre os fungos, mas a celulose normalmente se apresenta impregnada com lignina, e para que esta celulose seja utilizada, primeiramente a lignina precisa ser degradada (CARLILE e WATKINSON, 1994).

Além dos fatores nutricionais, os fatores físico-químicos que influenciam no crescimento dos fungos são umidade, temperatura, pH e oxigênio. Em função da grande variedade de espécies fungicas e da série de ambientes em que eles vivem a generalização sobre a importância relativa de cada fator é dificultada. Hifas que compõe o micélio de muitas espécies são susceptíveis à dessecação e necessitam adquirir, continuamente, água para seu crescimento. Alguns fungos podem crescer em água salgada, o que corresponde a um sério problema para os estoques de alimentos que, por ventura, venham a receber sal para melhor conservação. Alguns fungos possuem formas osmofílicas e produzem manitol para regulação osmótica.

A temperatura ótima para crescimento de muitas espécies está entre 25 e 30° C, existindo espécies tolerantes a 10° e 40° C. Algumas espécies são termófilas, crescendo em temperaturas de até 50°C, e outras psicrófilas, capazes de crescer a baixíssimas temperaturas.

O pH ótimo para favorecer o crescimento de vários tipos de fungos geralmente corresponde a níveis entre 4 – 7. A digestão e o consumo de materiais realizados durante o seu crescimento e a conseqüente liberação de produtos metabólicos no ambiente, algumas vezes alteram significativamente os níveis de pH dos microambientes ao seu redor.

A maioria dos fungos filamentosos são aeróbicos. Em contrapartida, certos tipos de leveduras são capazes de sobreviver em ambiente com ou sem oxigênio, são os anaeróbicos facultativos. Outros, como espécies de Chytridiomycota, são obrigatoriamente fermentativos. Nos fungos, um produto final da fermentação pode ser o álcool etílico ou ácido láctico sendo que algumas espécies produzem uma mistura com esses dois componentes.

Muitos fungos são sapróbios e obtém seu alimento atacando matéria orgânica morta. Outros são considerados como espécies parasitas de plantas, animais ou de outros fungos. Existem, ainda, fungos com capacidade de viver parasitariamente ou saprofiticamente, sendo referidos como parasitas facultativos ou sapróbios facultativos. Existe, ainda, uma variedade de formas mutualísticas, como relações simbióticas com outros animais ou plantas, dentre os quais pode-se citar os líquens, envolvendo fungos e algas, as micorrizas, que envolve fungos e raízes de

plantas, e os fungos endofíticos, presentes no interior de caules e nervuras de folhas (ALEXOPOULOS et al., 1996).

### Reprodução e esporos

A reprodução se caracteriza pela formação de novos indivíduos com todas as características da espécie. Em geral dois tipos de reprodução são conhecidos: sexual e assexual. A reprodução sexual é bastante significativa em função de envolver alta recombinação e formação de novos genótipos.

Tipicamente, a reprodução assexuada é mais importante para a colonização de espécies porque resulta na formação de um grande número de indivíduos. Alguns fungos, particularmente, têm ciclo de vida assexual ocorrendo várias vezes durante uma estação, enquanto que estágios sexuais de muitos fungos ocorrem somente uma vez ao ano.

Hennebert e Weresub (1977) propuseram os termos teleomórfico, que é usado para espécies que se reproduzem sexuadamente, e anamórfico, que se refere a fungos que só apresentam estágio assexuado conhecido. Mais recentemente, o termo mitospórico foi proposto para referir os fungos anamórficos.

Sumariamente, os métodos de reprodução assexuada encontrados nos fungos são: (1) fragmentação – cada fragmento dando origem a um novo indivíduo; (2) fissão de células somáticas em células filhas; (3) brotamento de células somáticas ou esporos, dando origem a novos indivíduos; (4) produção de esporos mitóticos.

Alguns fungos empregam a fragmentação de hifas como meio de propagação. A fragmentação deve ocorrer acidentalmente, por desprendimento de partes do micélio e, sob condições favoráveis, tais fragmentos de micélio originarão novos indivíduos. Hifas de algumas espécies podem rotineiramente dividir seus componentes celulares e originar esporos. Estes esporos são chamados de artrósporos, ou talo conídias. Caso a célula se torne envolvida por parede espessa antes da separação, em geral células esféricas ou ovóides, terminais ou intercalares, eles frequentemente são conhecidos como clamidósporos.

A fissão se apresenta como uma simples divisão de uma célula em duas células filhas, por constrição e formação de parede celular. É característico, em algumas formas, incluindo algumas leveduras.

O brotamento ou gemulação envolve a produção de pequenos brotos surgidos a partir da célula mãe. Com a formação do broto, o núcleo da célula mãe se divide mitoticamente e um deles, já formado, migra para o broto, bem como suas organelas. Este broto pode eventualmente se quebrar, separando-se da célula mãe, e formar um novo indivíduo. Algumas vezes pode produzir-se um pseudomicélio que se caracteriza por uma “corrente de brotos”. O brotamento ocorre na maioria das leveduras, bem como na fase leveduriforme dos fungos dimórficos.

A reprodução sexuada em fungos como em outros organismos, em geral, envolve a união de dois compartimentos nucleares. O processo da reprodução sexual compreende as distintas fases: a primeira delas conhecida como plasmogamia que consiste na união de dois protoplasmas com seus respectivos núcleos dentro da mesma célula. A fusão destes dois núcleos é conhecida como cariogamia e constitui a segunda fase. A plasmogamia seguida da cariogamia acontece quase que imediatamente em algumas espécies enquanto que em outras, estes dois eventos são separados com plasmogamia resultando em células binucleadas ou dicarióticas. A fusão nuclear que ocorre na reprodução sexuada é seguida por meiose que constitui a terceira fase do processo de reprodução sexuada.

Os esporos fúngicos produzidos assexuadamente são originados em esporângios e conhecidos como esporangiosporos, esporos endógenos, ou são produzidos a partir da hifa e são chamados de conídias, esporos exógenos. Na forma sexuada, ocorre em muitos fungos a formação de esporos especializados como oósporos, zigósporos, ascósporos e basidiósporos.

Para muitos fungos, a sobrevivência em condições de dormência e a dispersão são realizadas através do processo de esporulação. Os esporos variam grandemente em morfologia e podem se apresentar finos ou espessos, variar em cores como hialinos ou transparentes, verde, amarelo, laranja, vermelho, preto, marrom; além de apresentarem formas diferenciadas como oval, retangular, helicoidal, e outras (ALEXOPOULOS et al.,1996).

Os fungos exploram a presença de nutrientes abundantes no ambiente para um vigoroso crescimento vegetativo. O fim do crescimento vegetativo, como uma consequência de esgotamento nutricional, leva à produção de esporos, estratégia desenvolvida para sua sobrevivência, dispersão ou dormência. A esporulação, no entanto, é sensível a fatores ambientais como temperatura, iluminação ou umidade. Entretanto, muitos fungos produzem dois ou mais tipos de esporos com diferentes funções e as condições ambientais podem determinar que tipo de

esporo será produzido, há esporos que são eficientemente dispersantes e outros que tem uma alta capacidade para sobrevivência em condições de dormência.

A liberação dos esporos ocorre por lise das hifas ou por desprendimento a partir dos corpos de frutificação. A dispersão é frequentemente realizada por correntes de ar, por água, como os zoósporos que são produzidos por muitos fungos aquáticos e por animais como insetos e herbívoros que capturam os esporos em alguma superfície e os deixam em outra possibilitando a germinação a uma considerável distância de sua produção.

A germinação de esporos em fungos é iniciada por sinais que são usualmente indicativos de condições favoráveis para o crescimento vegetativo das espécies. Uma resposta observada em muitas espécies consiste na recaída no estado de dormência, ou uma conseqüência a estímulos específicos, físicos ou químicos, resultando na quebra da dormência. Fatores como a escassez de nutrientes, superlotação ou altas temperaturas podem levar, por microciclo de esporulação, à produção de esporos (CARLILE e WATKINSON, 1994).

### Taxonomia

Em 1983, em torno de 64.000 espécies eram conhecidas e, desde então, cerca de 1500 espécies vem sendo descritas e nomeadas como novas descobertas, a cada ano. No entanto, 60% destas descobertas correspondem a espécies já descritas com nomes distintos. Portanto, o número de fungos conhecidos é provavelmente aumentado em cerca de 600 espécies a cada ano, o que nos levaria hoje a algo em torno de 78000 espécies de fungos já descritas (CARLILE e WATKINSON, 1994). De fato, cerca de 70.000 espécies de fungos foram descritas, entretanto, alguns autores estimam que o número total de espécie possa chegar a 1,5 milhões de espécies distribuídas mundialmente (HAWKSWORTH, 1991; HAWKSWORTH et al., 1995).

Micologistas usam vários tipos de caracteres para contribuir para a classificação das espécies tais como morfologia, anatomia, características ultraestruturais, bioquímicas, inclusive atividades metabólicas sobre substratos diversos, análises moleculares e outros atributos (ALEXOPOULOS et al., 1996).

Baseado nisso, o reino Fungi consiste de duas divisões, a Eumicota (fungos verdadeiros) e Mixomicota (fungos limosos ou gelatinosos). Os fungos verdadeiros ou Eumicota se organizam em 4 subdivisões: Chytridiomycota, Zygomycota, Ascomycota e Basidiomycota. A divisão

Mixomicota compreende os fungos cenocíticos, sem hifas, desprovidos de parede celular e que na reprodução sexuada formam esporângios onde ocorre à meiose.

Existem classes de fungos verdadeiros em que muitas espécies possuem células móveis, que se formam a partir de projeção de feixes surgidos de modificações em centríolos presentes no citoplasma da célula, conhecidas como zoósporos. Estes são os Chytridiomicetos que algumas vezes são agrupados em subdivisões de Mastigomicotina.

O processo sexual leva a produção de esporos característicos, em diferentes grupos. Os fungos que formam zigósporos são classificados como Zigomicetos, aqueles que formam ascósporos como Ascomicetos e aqueles que formam basidiósporos como Basidiomicetos. Existem também muitas espécies reconhecidas de fungos que produzem esporos assexuados, e lhes falta a fase sexual ou ela é ainda desconhecida. Estes são conhecidos como Deuteromicetos, uma divisão artificial que caiu em desuso, e detalhes de sua organização estrutural, como o tipo de poro septal, de esporulação assexual e, principalmente, o sequenciamento de genes ribossomais e comparação de suas seqüências em bancos de dados, são usados para reclassificá-los em *Ascomicetos* ou em *Basidiomicetos*, designando nova nomenclatura binomial (CARLILE e WATKINSON, 1994).

#### Filo Chytridiomycota

O filo Chytridiomycota contém uma única classe *Chytridiomycetes*. A principal característica observada em *Chytridiomycetes*, ausente em outros fungos, é a ocorrência de células móveis possuindo um único flagelo posterior, conhecidas como zoósporo. Esta pode ser uma característica primitiva dos fungos, perdida pelos grupos que acabaram evolutivamente por adotar um estilo de vida diferente deste (CARLILE e WATKINSON, 1994).

*Chytridiomycetes* estão presentes em ambientes aquáticos e terrestres. Muitas formas são encontradas em água doce, fresca, embora algumas espécies sejam observadas em águas marinhas. Existem umas poucas espécies anaeróbicas, algumas existindo em intestinos de herbívoros pertencentes a uma variedade de espécies de mamíferos. A real importância desta classe parece estar ligada à decomposição de matérias orgânicas, destacando-se queratina, celulose e hemicelulose.

Com base nas características morfológicas e estruturais reprodutivas, os *Chytridiomycetes* são agrupados nas ordens: Chytridiales, Spizellomycetales, Blastocladales, Monoblepharidales e Neocalllemasticales (ALEXOPOULOS et al.,1996).



Figura 2 - Chytridiomycota - Crescimento individual em um grão de pólen de pinheiro.

[http://www.umich.edu/~mycology/chytridiomycetes\\_files/page10-1001-full.html](http://www.umich.edu/~mycology/chytridiomycetes_files/page10-1001-full.html)

### Filo Zygomycota

O filo Zycomycota consiste em duas classes, *Zygomycetes* e *Trichomycetes*. Dentro destas duas classes o processo sexual consiste da fusão de dois gametângios para dar origem a um esporo, o zigósporo.

*Trichomycetes*, com 150 espécies, são obrigatoriamente parasitas que vivem em intestinos de insetos e artrópodes. Em muitos instantes os hospedeiros são aquáticos e se alimentam de detritos e algas. Existem evidências sugerindo que os *Trichomycetes* devem se instalar no intestino do hospedeiro sob condições de estresse nutricional (CARLILE e WATKINSON, 1994).

Tradicionalmente, muitos autores dividem a classe *Zygomycetes* nas ordens Mucorales, Entomophthorales, Zoopagales e Endogonales. Existem em torno de 700 espécies de *Zygomycetes* e a principal característica para distingui-los é a produção de zigósporos, além de uma variedade de características como reprodução assexual usualmente por esporangiósporos e ausência de flagelo, que auxilia na definição desta classe. Algumas espécies podem apresentar crescimento dimórfico.

Espécies de *Zygomycetes* podem ser isoladas de uma variedade de substratos incluindo terra, esterco, frutas e flores, estoques de grãos e plantas, invertebrados e vertebrados, incluindo humanos. Nutricionalmente, podem se apresentar saprobios facultativos, parasitas de plantas e especialmente parasitas e predadores de animais. Algumas espécies se apresentam simbioticamente formando micorrizas em plantas (ALEXOPOULOS et al., 1996).



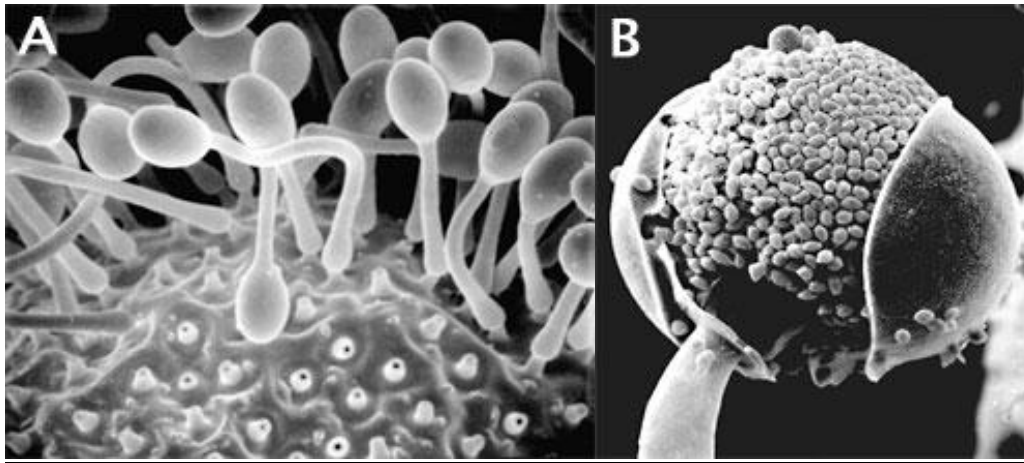


Figura 3 – Estruturas reprodutivas de *Zygomycetes*. A – Zygomycota: esporângios de *Benjamiella poitrasii*; B – Zygomycota: esporângios de *Gilbertella persicaria* abrindo espontaneamente para o lançamento de esporangiósporos (De O'Donnell, 1979).

<http://tolweb.org/tree?group=Zygomycota&contgroup=fungi>

### Filo Ascomycota

São fungos unicelulares ou filamentosos, com hifas septadas que apresentam septação parcial, ou seja, há presença de um poro septal, e seu processo de reprodução sexual envolve a produção de ascósporos haplóides através da meiose reducional de um núcleo (zigoto) diplóide. Os ascósporos estão contidos em ascos (ou ascas) produzidos em complexos corpos de frutificação denominados ascocarpos. Alguns *Ascomycetes* também podem produzir-se pela esporulação assexual, através de conídias ou conidiósporos, com morfologia e arranjos extremamente variáveis. O primeiro caráter morfológico que distingue membros de Ascomycota de outros fungos é a presença de asco cujo qual comporta os ascósporos encontrados em número de oito, variado a cada espécie (ALEXOPOULOS et al., 1996; CARLILE e WATKINSON, 1994).

Algumas espécies de *Ascomycetes* são parasitas, outros saprobios. Vivem em substratos como esterco, madeira e, adicionalmente, podem viver em associações mutualísticas com microrganismos fototróficos tais como algas verdes ou cianobactérias, constituindo os líquens. *Ascomycetes* também podem formar associações simbióticas com animais e uma variedade de plantas tanto em água quanto em ambientes secos como as micorrizas e endofíticos (CARLILE e WATKINSON, 1994).

Os ascomicetos constituem um grupo monofilético que abrange cerca de 70 % de todos os fungos já descritos. A habilidade fermentativa de certas leveduras ascomicéticas é a base de algumas indústrias que produzem alimentos ou bebidas destiladas, tendo beneficiado a humanidade com uma série de processos e produtos metabólicos secundários como os antibióticos. De fato, entre os ascomicetos estão alguns dos fungos mais famosos, tanto por benéficos quanto por patógenos ou toxigênicos, como *Saccharomyces cerevisiae*, *Penicillium chrysogenum* (produtor da penicilina), *Neurospora crassa*, *Aspergillus flavus* (produtor de aflatoxina) e *Candida albicans*, talvez o principal patógeno fúngico humano (ALEXOPOULOS et al., 1996).

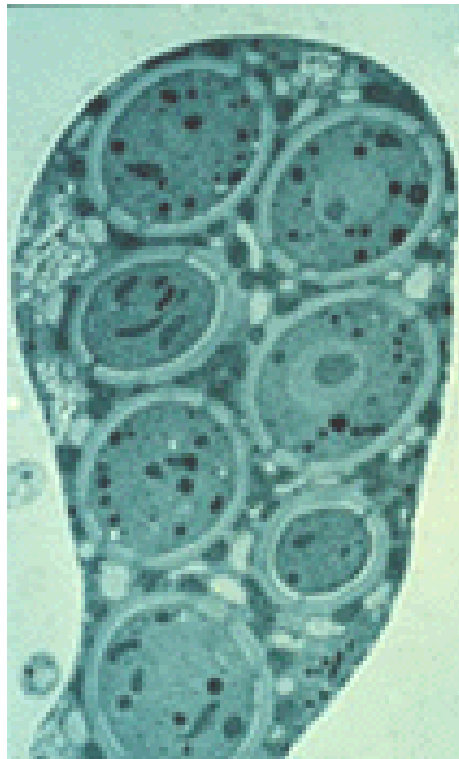


Figura 4 – Asco e ascósporos, visualizados por microscopia eletrônica de transmissão. *Ascomycetes (Euascomycetes)*. © R. (De Vilgalys, 1996).

<http://tolweb.org/tree?group=Ascomycota&contgroup=fungi>

## Filo Basidiomycota

O Filo Basidiomycota compreende todos os fungos que produzem basidiósporos, que corresponde a um meioésporo produzido em uma célula altamente especializada - o basídio.

Tal filo é constituído por leveduras ou fungos filamentosos, com hifas septadas cujos poros septais foram ocluídos por estruturas especializadas (septo doliporo), determinando uma verdadeira compartimentalização. Apresentam reprodução sexuada por basidiósporos contidos em corpos de frutificação (basidiocarpos). A reprodução assexuada por multiplicação consiste na divisão celular ou brotamento no caso dos unicelulares, ou fragmentação nos miceliais. A reprodução assexuada esporíca envolve a produção de mitósporos imóveis em conidióforos. Os fungos compreendidos neste filo comumente são conhecidos como Basidiomycetes.

A sistemática do grupo é baseada na morfologia das estruturas reprodutivas e sofre constantes mudanças. O grupo pode ser dividido em três classes: *Urediniomycetes*, *Ustilaginomycetes* e *Hymenomycetes*. Nesta última encontram-se os mais comuns basidiomicetos - cogumelos e orelhas de pau.

Os componentes deste filo vivem predominantemente em ambiente terrestre, podendo ocorrer em ambiente aquático (tanto águas continentais como marinhas). São predominantemente sapróbios, mas muitos são parasitas de animais, algas, vegetais e de outros fungos. Os mutualistas formam ectomicorrizas e podem ocorrer como endófitos. Observam-se algumas espécies em associações simbióticas com algas ou cianobactérias, formando os líquens. Existem ainda muitos basidiomicetos causando biodeterioração em diversos produtos de comercialização, principalmente madeira e têxteis. Por outro lado, algumas espécies de basidiomicetos apresentam potencial de utilização em controle biológico na agricultura. Entretanto, é no setor alimentício que os basidiomicetos alcançam grande importância econômica, especialmente devido aos basidiomicetos comestíveis (“champignon”, *Pleurotus*, etc.) (CARLILE e WATKINSON, 1994).

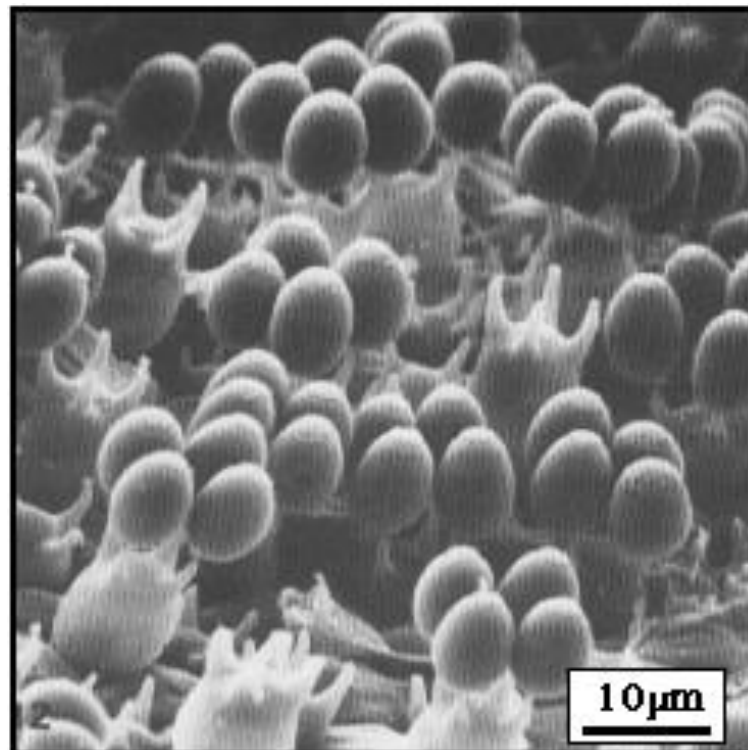


Figura 5 - Superfície de uma lâmina de cogumelo *Coprinus cinereus* (Hymenomycetes) mostrando vários basídios, alguns com quatro basidiósporos, em observação por microscopia eletrônica de varredura.

<http://tolweb.org/tree?group=Basidiomycota &contgroup=fungi>

## I. 2 - Importância Ecológica e Econômica dos fungos

### Importância como decompositores e outros aspectos ambientais

Os microrganismos decompositores têm um papel importante na natureza, pois são eles os responsáveis pela transformação da matéria orgânica em substâncias que serão reutilizadas por outros organismos. Os decompositores sempre ocupam o último nível trófico das cadeias alimentares.

Os fungos decompositores se nutrem da matéria orgânica do corpo de organismos mortos (ou de partes que podem se destacar de um organismo, como pele, folhas e frutas que caem no solo), e devolvem para o ambiente substâncias úteis para as plantas como água, gás carbônico e composto nitrogenados. Os compostos nitrogenados presentes no solo são assimiláveis pelas raízes dos vegetais que aí se encontram. A produção das proteínas dos vegetais depende da presença dos compostos nitrogenados do solo. Portanto, tem grande importância ecológica e agrícola: são eles que mantêm o equilíbrio, decompondo restos vegetais, degradando substâncias tóxicas, auxiliando as plantas a crescerem e se protegerem contra inimigos, como de outros microrganismos patogênicos, insetos-praga da agricultura ou herbívoros. Enfim, os fungos constituem um reino que, se extinto, provocaria um desequilíbrio ecológico, ocasionando talvez o desaparecimento da maioria das espécies atualmente existentes, inclusive a humana, uma vez que sem os fungos os ciclos biológicos não seriam completados.

Nos ecossistemas de florestas, os fungos são os principais agentes de decomposição da celulose e da lignina, os principais componentes da madeira. Na realidade, a produção de biomassa neste ecossistema é controlada por apodrecimento de madeira realizada por organismos que determinam a proporção dos nutrientes que são liberados para o ecossistema. A atividade de decomposição ou de degradação realizada por muitos fungos, utilizando diferentes substratos como alimento, também está relacionada diretamente com a sua ação sobre uma ampla variedade de materiais utilizados pelo homem incluindo componentes de estradas de ferro, postes telefônicos, couros, derivados do petróleo e quase todos os gêneros alimentícios.

Muitas espécies de plantas, como uvas, batatas, milho, arroz, centeio, estão sujeitas ao ataque de diferentes tipos de patógenos fungicos. As conseqüências para tais infecções são

variadas e podem se difundir matando indivíduos. Na tentativa de controle, tem sido produzido programas empregando princípios de engenharia genética para seleção e produção de plantas resistentes a certos fungos patogênicos ou a prevenção com o uso de agentes químicos fungistáticos ou com propriedades fungicidas. Há, ainda, uma preocupação ambiental com o drástico declínio do número de produtos químicos aprovados para uso e os malefícios que estes produtos podem trazer para os solos e para as pessoas que os manipulam (ALEXOPOULOS et al.,1996).

Mas nem todo fungo associado a plantas traz prejuízo. As hifas de alguns fungos interagem com as raízes de plantas e recebem o nome de micorrizas, estas estruturas são significativamente benéficas para ambos. As micorrizas ramificadas aumentam a área de absorção de nutrientes do solo (CARLILE e WATKINSON, 1994). Existem alguns fungos, ainda, instalados no interior das plantas, que são conhecidos como fungos endofíticos. Em determinadas circunstâncias estes fungos podem começar a atacar as plantas. Estas circunstâncias envolvem mudanças fisiológicas do hospedeiro, declínio de luz, água, nutrientes, alteração de vias metabólicas do hospedeiro e aumento da herbivoria. As associações de fungos com vegetais, em circunstâncias normais podem trazer benefícios para as plantas como resistência, crescimento, reprodução e para os fungos na dispersão, proteção e trocas de nutrientes.

Fungos também formam associações simbióticas com cianobactérias e algas verdes. Destas relações simbióticas, que envolvem espécies de *Ascomycetes* e algumas espécies de *Basidiomycetes*, formam-se os líquens. Os líquens são exemplos de fungos que estabelecem relações com seres autotróficos, tornando-os mais eficientes na colonização de habitats pouco hospitaleiros. Neste caso, as células autotróficas (de clorófitas ou de cianobactérias) ficam protegidas por uma camada de hifas, que forma quase uma epiderme. Dado que a alga não pode se deslocar, o fungo fornece-lhe os nutrientes minerais de que necessita para a fotossíntese e protege-a das alterações ambientais, recebendo em troca compostos orgânicos. Esta parceria invulgar permite aos líquens sobreviver em locais inóspitos, constituindo a primeira comunidade a aí se fixar, abrindo caminho para seres mais exigentes. Líquens, juntamente com cianobactérias, teriam sido os primeiros organismos multicelulares a colonizar o meio terrestre, incluindo no solo compostos azotados (CARLILE e WATKINSON, 1994).

Os fungos podem convenientemente ser usados no controle de insetos-praga de plantas cultivadas ou mesmo de insetos vetores de doenças. As dificuldades são visíveis na utilização do

controle químico de insetos, que se torna até inviável e antieconômico em certas condições, além de causar desequilíbrios biológicos e problemas de intoxicação. A solução seria o uso e aplicação de técnicas na produção de "inseticidas microbianos" que possam, se não substituir, pelo menos diminuir o uso de agroquímicos com vantagens econômicas e de preservação do ambiente. As pesquisas com a utilização em larga escala de fungos entomopatogênicos, isto é, os que atacam insetos, têm tido maior sucesso. Melhoramento genético clássico, desenvolvimento de marcadores moleculares, clonagem de genes e outros estudos têm sido realizados a fim de viabilizar métodos de produção de inseticidas microbianos (CARLILE e WATKINSON, 1994).

#### Importância como Patógenos de Animais e Humanos

Uma variedade de diferentes fungos bem como vários membros de *Oomycetos* são capazes de causar doenças em animais e humanos. Felizmente um pequeno número de fungos é considerado patógenos agressivos. Infecções por fungos ou micoses podem ser superficiais (dermatofitoses) ou sistêmicas (micoses profundas), podem ser graves resultando em morte e contrariando toda a viabilidade de tratamento. Além da possibilidade de realizarem ataques diretos a animais ou ao homem, comportando-se como patógenos primários, para alguns fungos, ditos oportunistas, indivíduos com sistema imune comprometido sofrem maior risco, como pacientes com síndrome da imunodeficiência adquirida, por exemplo, que são comumente atacados por fungos, bem como pacientes com câncer e outras doenças de base como diabetes, e os pacientes transplantados que tem seu sistema imune suprimido por drogas.

Além de serem agentes de micoses, deve-se notar que esporos de muitos diferentes tipos fungos saprobios ou patógenos de plantas causam alergias quando inalados. Estes esporos podem ser um sério problema em certos prédios, especialmente aqueles dotados de sistemas de condicionamento de ar, e algumas espécies têm sido implicadas em casos de síndrome de prédios doentes, cujos habitantes ou freqüentadores são atingidos por síndromes respiratórias graves.

Certas espécies, ainda, produzem substancias tóxicas – micotoxinas – que se instalam em produtos que na maioria das vezes são utilizadas para o nosso consumo alimentar ou para consumo de animais. Alguns exemplos de micotoxinas podem ser relatados como: ocratoxina implicada em um tipo de atrofia renal humana, sintetizada por *Aspergillus ochraceus* e *Penicillium viridicatum*; aflatoxina sintetizada por *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*,



pode ser classificada em B1, B2, G1, G2, M1, e tem sido associada a câncer em quase todas as espécies testadas; fumonisinas (*Fusarium moniliformes*) podem causar câncer esofageal em humano, doença fatal neurológica em cavalos e doença fatal respiratória em porcos; e outras como zearalenona, tricotecenas (vomitoxina, T-2, nivalenol, DON), citrinina, patulina. O impacto das micotoxinas sobre o sistema imunológico é importante por várias razões, pois elas podem produzir nos animais uma queda de defesas e aumentar a susceptibilidade a determinadas infecções, como a *Candida*, ela pode ainda aumentar a taxa de infecções nos animais que podem implicar na transmissão de patógenos ao homem.

Em adição às toxinas, *Claviceps purpurea* ataca vários substratos como gramíneas, centeio, produzindo pequenas estruturas escuras e resistentes chamadas esclerócios. Estas estruturas contendo vários tipos de toxinas alcalóides causam vasoconstrição e efeitos no sistema nervoso central, sendo venenosos tanto para herbívoros domésticos quanto para humanos. Foi sugerido que a ergotina – toxina de *C. purpurea* – deve ter sido responsável pela baixa fertilidade e elevada taxa de mortalidade do século XIV ao XVIII na Europa. Quimicamente, os esclerócios dos fungos devem induzir aborto, e o interessante, por outro lado, é que alguns destes produtos são usados medicamente para a prevenção de hemorragias associadas ao parto e na diminuição da dor de enxaquecas. O patógeno pode ser cultivado intencionalmente em plantas de centeio com o propósito da larga produção comercial de esclerócios para extração da ergotina (ALEXOPOULOS et al., 1996).

#### Importância na Indústria Alimentícia, Farmacêutica, e de Compostos orgânicos

No curso da história, uma variedade de diferentes fungos tem sido usada pelo homem como alimento. O cultivo de cogumelos na Europa parece ter se iniciado na França, se expandido para outros países da Europa e posteriormente aos Estados Unidos. *Agaricus bunnescens* é uma das espécies mais cultivadas. No entanto, mais recentemente, uma variedade de espécies vem sendo cultivadas para fins comerciais e vários cogumelos são relatados como apresentando propriedade medicinal antitumoral.

Muitos outros fungos são usados para produzir diferentes tipos de alimentos. Espécies de *Penicillium*, por exemplo, são responsáveis pelo alcance de maiores preços pelos queijos tais como Danish blue, Roquefort, Camembert, Brie e Gorgonzola. Adicionalmente, *Rhizopus*, *Mucor*

e *Actinomucor* são relatadas como responsáveis pelo melhoramento na digestão de materiais vegetais tais como arroz, trigo e soja empregados na culinária japonesa, chinesa e norte americana.

As indústrias dependem também da habilidade de algumas leveduras, entre as quais se destaca *Saccharomyces cerevisiae*, a levedura envolvida no comércio e fundação das indústrias de panificação e de bebidas, para converter a glicose em álcool etílico e dióxido de carbono obtendo bebidas destiladas. Sem mencionar a sua importância como microrganismo modelo na biologia molecular e aplicações em novos processos biotecnológicos. A produção de vinhos é um exemplo, a partir de várias frutas, especialmente a uva.

Devemos atentar para um outro grupo de fungos bastante comum a algumas regiões dos Estados Unidos que são os *Tricholoma magnivelare* – cogumelos alucinógenos. Além de todas as espécies úteis para consumo humano existe um grupo com atividades venenosas. Infelizmente incidentes com cogumelos venenosos acontecem e os efeitos podem variar em função de diferentes fatores como a quantidade de cogumelos ingeridos, mas o mais importante é a espécie ingerida. Alguns dos mais venenosos estão reunidos no gênero *Amanita* e no ascomiceto *Helvella*.

Os fungos têm provado ser um grupo extremamente importante no que diz respeito a componentes medicamentosos. O mais famoso desses grupos de componentes talvez seja o grupo dos agentes antibacterianos, conhecido como penicilinas. A descoberta do antibactericida penicilina é um exemplo típico de descoberta ao acaso referida a Alexander Fleming, bacteriologista que por mero acaso esqueceu algumas culturas de estafilococos sobre a mesa e, ao retornar, encontrou algumas placas contaminadas com mofo. E acabou por notar um halo transparente ao redor das colônias, dando a entender que este mofo produzia uma substância bactericida. Outro importante grupo relatado foi o das cefalosporinas (*Cephalosporium acremonium*). Ambos matam bactérias inibindo enzimas envolvidas especificamente na biossíntese da parede celular bacteriana, e por isso são dotados de grande toxicidade seletiva, ou seja, eliminam os microrganismos invasores sem atingir o hospedeiro, já que inibem uma via biosintética inexistentes nesse hospedeiro.

Também foi descoberto há alguns anos, mais especificamente em 1970, o grupo das ciclosporinas, compostos extremamente eficientes como agentes imunossupressores, descoberto em *Cylindrocarpon lucidum* e *Tolyposcladium inflatum* isolados de amostras de terra. Sua

aplicação no campo da engenharia genética e biotecnologia são de suma importância (ALEXOPOULOS et al., 1996).

Fungos também têm sido usados na produção de uma variedade de compostos químicos incluindo ergosterol, cortisona; várias enzimas tais como amilase, renina, celulase, catalase, lactase e lipase; ácidos tais como fumárico, láctico, cítrico, succínico e oxálico; vitaminas também podem ser obtidas de leveduras incluindo as fermentadoras (CARLILE e WATKINSON, 1994).

### Importância como Biodeterioradores

A biodeterioração, ou seja, a destruição de materiais ou artefatos por organismos vivos pode ser conseguida por fungos. Os atributos que possibilitam tal processo são penetração de hifas e liberação de poderosas enzimas hidrolíticas no meio ambiente externo possibilitando o ataque a estruturas como estoques de alimentos, madeira, algodão, papel, e mesmo a construções e edificações, inclusive o concreto, desde que providos nutrientes suficientes e ar que permitam o crescimento do fungo, principalmente em ambientes úmidos.

A biodeterioração por fungos pode ser impedida por condições desfavoráveis ao seu crescimento, controlando-se a água e o oxigênio do ambiente ou usando fungicidas como preservativos (CARLILE e WATKINSON, 1994).

O tema biodeterioração, no aspecto associado especificamente a biodeterioração de construções por fungos, será objeto, na segunda etapa deste trabalho, de uma revisão mais detalhada baseada em publicações pertinentes, atuais.

## II – Biodeterioração em Construções por fungos

O fator primário na deterioração em edifícios é a umidade, embora a resistência do material à deterioração também influencie na suscetibilidade ao ataque microbiano. A água possui uma série de funções no processo de deterioração, como reagente ou como meio de difusão das várias enzimas deteriorantes. A umidade que danifica edifícios pode originar-se de insuficiência de ventilação ou de vazamentos de telhados com subsequente crescimento

microbiano. O melhor caminho para evitar a infestação por fungos é prevenindo o desenvolvimento de altas concentrações de umidade no ar, nas paredes e nos materiais de construção. Outro caminho para minimizar o crescimento fúngico seria encontrar materiais de construção que fossem pouco susceptíveis ao crescimento do fungo (Andersen et al., 2000).

De acordo com Morrell (2002), a madeira é o principal material biológico degradado por vários organismos. Em edifícios, os agentes deteriorantes são, primariamente, fungos e insetos, um processo que é facilitado pela presença de umidade, que poderá levar ao início da deterioração. Várias tentativas têm sido feitas para diminuir os efeitos da deterioração em madeiras, incluindo construir casas sobre rochas para evitar o contato com o solo, e adoção de tratamentos tecnológicos como o uso de preservativos baseados em água e óleo. No entanto, para a remediação deste fenômeno, não basta desenvolverem-se métodos, precisa-se conhecer os microrganismos responsáveis por deteriorar tais substrato, para que se possa privá-los de suas necessidades nutricionais e fisiológicas.

As investigações globais sobre biodeterioração por fungos em materiais de construção têm aumentado consideravelmente nos últimos anos. No entanto, pouco conhecimento se tem deste fenômeno no Brasil onde relatos a respeito deste assunto são raros. Vários trabalhos têm sido publicados empregando métodos distintos, em geral, avaliando a resistência dos fungos biodeterioradores aos biocidas, a produção de micotoxinas, determinando atividade de água, faixa de pH e temperatura nos locais degradados. Alguns substratos, entre os quais cimento, cal, areia, tijolo, pedra, gesso, madeira, papel, água e outros, são analisados por alguns autores a fim de avaliar os efeitos da biodeterioração sobre eles.

#### Biodeterioração em argamassa

A argamassa também é um substrato bastante colonizado por microrganismos e é largamente usada no Brasil. Observa-se que em regiões com umidade elevada e altos índices de precipitação o crescimento dos fungos é facilitado em superfícies de argamassa. Tal infestação pode acarretar diversos danos como alergias nas pessoas residentes, além da proliferação de mofo causando efeitos indesejáveis na performance do reboco.

Shirakawa et al. (2003) propuseram isolar e identificar o crescimento de fungos filamentosos em argamassa interna de edifícios na região de São Paulo, Brasil, e desenvolveram

um método para avaliar a bioreceptividade do reboco de argamassa ao crescimento de fungos. Bioreceptividade é compreendida como a totalidade das condições materiais que contribuem para o estabelecimento, ancoragem e desenvolvimento de uma população microbiana. Amostras da argamassa, cimento, cal e areia foram tomadas da superfície de 41 edifícios na cidade de São Paulo e em São Bernardo. Os fungos foram isolados em meios de cultura convencionais. *Cladosporium* foi encontrado em todas as amostras, seguido de *Penicillium* e *Aspergillus*. A espécie *Cladosporium sphaerospermum* foi escolhida para avaliar a bioreceptividade da argamassa. A susceptibilidade à colonização por *C. sphaerospermum* foi testada em quatro tipos diferentes de argamassa, duas preparações pré-fabricadas, prontas para uso, disponíveis no comércio local, e duas elaboradas em condições de laboratório, que variavam apenas quanto à granulometria da areia (2,4 mm a 0,3 mm). O microrganismo foi crescido por 30 dias a 25°C, a cultura foi removida e filtrada assepticamente, preparando-se os inóculos. Cada amostra de argamassa testada foi inoculada com suspensões de  $10^5$  esporos/cm<sup>-3</sup> e foram expostas à carbonatação (5% CO<sub>2</sub>) e 80% de umidade relativa (UR) por diferentes períodos de tempo. Por não conter nenhum nutriente orgânico as argamassas foram inundadas com caldo Sabouraud dextrose e em seguida autoclavadas. O grau de umidade e o pH atingido pela argamassa após períodos variáveis de carbonatação provaram ser fatores chave influenciando a bioreceptividade: quando o pH caía de 12 para 8,3 na presença de alta umidade criavam-se as condições para colonização. A espessura da argamassa e o grau de carbonatação influenciam o pH dos espécimes levando à diferente colonização fungica.

#### Biodeterioração em materiais de alvenaria

O fungo *Serpula lacrymans* é um microrganismo capaz de degradar pedras, tijolo, cimento ou gesso, excretando ácido oxálico que pode liberar íons metálicos de materiais rochosos de edifícios, devido à quelação do cálcio e de outros cátions. Essa capacidade, por sua vez, aumenta a deterioração da madeira. Low et al. (2000) investigaram a degradação de pedras por *S. lacrymans*, um fungo envolvido na decomposição da madeira. Os autores coletaram materiais de edifícios escoceses, cortando-os em pedaços menores, que foram em seguida mergulhados em água e secos ao final de duas horas. Uma cultura de *S. lacrymans* foi inserida nas amostras as quais foram colocadas em caixas de plástico correspondendo a uma câmara de umidade e

examinados no decorrer do tempo. Os elementos seqüestrados, na forma de oxalato de cálcio, foram localizados nas hifas, por difração de raios X. Os autores concluíram que *S. lacrymans* remove cálcio, silicone e ferro dos grés, um tipo de rocha formado por camadas de areia, e também remove cálcio, enxofre e ferro do gesso. *S. lacrymans* transporta seletivamente o ferro dos materiais de edifício através do sistema de micélios. Um suplemento de ferro é importante para o crescimento e muitas atividades como transferência de elétrons na respiração e deterioração da madeira. Estes achados confirmam a teoria de que a deterioração de madeira em edifícios por esses fungos teria uma especial dependência relativamente à alvenaria.

#### Massa microbiana colonizando superfícies de edifícios

Fungos e algas são particularmente adaptados à sobrevivência sob condições de exposição à radiação UV e a repetidos eventos de secagem e reidratação, como aqueles que frequentemente acontecem em fachadas e áreas externas de edificações. Alguns edifícios na Europa e na América Latina foram alvo de intensas investigações a respeito de massas microbianas colonizando as superfícies de suas fachadas. Em um estudo conduzido por Gaylard e Gaylard (2005) relata-se que biofilmes de microrganismos em superfícies incluem algas, bactérias e fungos, causando descoloração e degradação. Esse estudo envolveu 1500 amostras de edifícios na Europa e na América latina usando o método da fita adesiva, que retém boas características ópticas por pelo menos cinco meses de incubação em ágar. As amostras coletadas são plaqueadas em lâminas esterilizadas, e se necessário, incubadas em meio rico em nutrientes. As microcolônias podem ser observadas sob a fita, mas a esporulação necessária para identificação ocorre usualmente além da periferia ou depois da remoção da fita seguida de uma semana previa de incubação. Os substratos amostrados foram cimento, argamassa, concreto, tijolos, pedra e superfícies pintadas onde os fungos foram os maiores colonizadores. As amostras foram tomadas de diferentes regiões, um a dois metros acima do solo. A fita adesiva foi plaqueada em um meio pobre em nutrientes, incubando-se, e examinando-se microscopicamente. Observou-se que os maiores grupos de microrganismos neste biofilme são cianobactérias, algas e fungos juntamente com bactérias, protozoários e pequenos animais. Cianobactérias foram os organismos mais frequentemente encontrados na América Latina, seguindo-se os fungos. Na Europa, algas foram mais comuns seguindo-se cianobactérias. No entanto, se suficientes fontes de carbono orgânico forem

inseridas, os fungos crescem mais rapidamente que os autótrofos. Observou-se que os fungos são encontrados como maior biomassa em pedras e ocorrem mais frequentemente em pinturas, especialmente os gêneros *Aureobasidium* e *Cladosporium*, o que tem importantes implicações para a indústria, sugerindo que os fungicidas devem ser importantes componentes das formulações de tintas. O problema é que a duração da atividade fungicida é menor que o tempo de vida do filme. A sugestão é o desenvolvimento de tintas com fungicidas que tenha boa estabilidade junto à rápida degradação.

### Biodeterioração em peridotito

Herrera et al. (2004) avaliaram a deterioração por fungos em material de construção da igreja de Vera Cruz na Colômbia, um edifício típico da cidade de Medellín. A fachada da igreja foi construída com peridotito, um mineral negro geralmente de olivina e piroxênio (silicatos contendo ferro e magnésio, rochas ígneas, metamórficas). Este mineral pode ser transformado em serpentina, um derivado da olivina, mineral instável em condições atmosféricas.

As amostras foram tomadas assepticamente de diferentes alturas da fachada da igreja e colocados em meio de cultura próprio, como no caso de leveduras cultivadas em ágar extrato glicose com clorafenicol (YGC). Hifomicetos e leveduras foram detectados nas seis amostras analisadas. Alguns dos isolados foram *Penicillium sp.* e *Curvularia sp.* Outros organismos como bactérias, cianobactérias, líquens e musgos também foram isolados. Os autores discutem o fato de o metabolismo ácido ser um dos mecanismos biogeoquímicos destrutivos das superfícies rochosas. Os efeitos da biodeterioração de contaminantes microbianos isolados da fachada da igreja poderiam ser acentuados por fatores ambientais, como condições atmosféricas associadas a poluição, pois o peridotito é termodinamicamente instável em condições ambientais indesejadas.

### Biodeterioração em cobertura de sapé

Os mecanismos de deterioração em telhados ou coberturas de palha, como as de palha de sapé no nosso meio, ainda são pobremente entendidos. Este tipo de cobertura uma vez colocada permanece por muitos anos. Kirby e Rayner (2001) tentaram entender alguns aspectos envolvidos no processo de deterioração dessas coberturas de palha para aperfeiçoar sua durabilidade. Clima,

geografia, arquitetura e habilidade da cobertura são todos aspectos importantes na deterioração. Os materiais mais comuns de cobertura de palha na Alemanha são pentes de palha e junco de trigo. Dezesesseis pentes de trigo foram examinados em Devon, Somerset e Wiltshire. Uma amostra representativa de palha foi coletada em cada área examinada. As palhas amostradas foram secas durante a noite, pesadas, e sub-amostradas para subseqüentes observações ao microscópico. Observou-se que a deterioração ocorre em três zonas: externa, média e interna. Na externa a palha é exposta à atmosfera e a cobertura pode ser perdida por fragmentação da palha devido à temperatura. Na zona média, onde se acumula material levados pelo vento e excrementos de insetos, pequenos micélios fúngicos também são usualmente observados. Na zona interna existem poucos sinais de invertebrados e o aparecimento de micélio também é notado. Estas três zonas representam três estágios de deterioração, que de perto se parece com processos de decomposição de reservas de lignocelulose em outros habitats. Os fungos aparecem em função da decomposição e como recurso alimentício na teia trófica. Dos basidiomicetos, o mais comum encontrado foi *Athelia* relatado em todos os telhados. *Resupinatus applicatus*, *Pluteus cervinus*, *Tubária furfuracea* e *Mycena sp* também foram observados, porém em menor freqüência. Dos Ascomicetos foram encontrados *Dasyscyphus sp*, *Sclerotinia sp*, e dos demais filios *Haplographium* e *Alysidium*.

#### Deterioração em concreto de tubulações de esgotos

O trabalho de Nica et al. (2000) objetivou isolar e caracterizar microrganismos envolvidos na deterioração de concretos em esgoto. A deterioração de concreto em tubulações de esgoto é um fenômeno dirigido por diferentes microrganismos através de diversos mecanismos. Bactérias saprófitas presentes na lâmina de lama no fundo dos canos convertem o sulfato e enxofre orgânico em sulfito que é predominantemente presente como o H<sub>2</sub>S gasoso, pobremente solúvel. A superfície dos canos é coberta por um produto de condensação que junto com suplemento de dióxido de carbono, oxigênio e sulfito de hidrogênio permitem a existência de diversas populações de microrganismos que induzem a corrosão do concreto. Para estudar esse processo, Nica et al. (2000) amostraram esse material e amostras do concreto e cultivaram-nos em meios sólidos, obtendo o crescimento de vários tipos de microrganismos. De algumas culturas foram analisados por sequenciamento os produtos de amplificação do gene 16S rDNA. Duas das



amostras de bactérias autotróficas foram identificadas como *Thiobacillus thiooxidans*. Além das bactérias autotróficas, bactérias heterotróficas e dois tipos de colônias fungicas foram observados. As colônias fungicas ocorreram em cerca de 60 % dos sítios coletados, sendo que ambos os tipos foram capazes de crescer em faixa ampla de pH, de 4,5 a 13; cresceram bem também em meio seletivo com tiosulfato e em culturas líquidas com tiosulfato, ou em ambientes tendo o enxofre como fonte de energia. Os fungos e as bactérias heterotróficas, no entanto, não foram identificados.

#### Biodeterioração de vidros antigos: caracterização da microbiota por métodos dependente e independente de cultivo

A biocorrosão de vidros antigos e ópticos é bem conhecida. Presume-se que a biodeterioração possa ser o resultado de atividades metabólicas de comunidades microbianas complexas, compostas por líquens, fungos e bactérias. Materiais orgânicos estão sempre presentes em vidros históricos, tais como depósitos de pó, fezes de animais, e materiais oriundos de bactérias e fungos. A excreção de metabólitos agressivos tais como ácidos orgânicos e inorgânicos levariam a mudanças no pH, a oxidação, redução e quelação do vidro em consequência do crescimento microbiano. Schabereiter-Gurtner et al. (2001) investigaram a diversidade fungica na superfície de duas janelas de vidro empregando a técnica de análise por eletroforese em gel de gradiente desnaturante (DGGE) para a resolução dos produtos obtidos pela amplificação de genes codificadores da unidade 18S do rDNA. Amostras das superfícies foram extraídas das janelas de vidro de uma igreja do século dezanove, localizada em Stockkampen, Alemanha. O material foi tomado por raspagem da bicamada do vidro sólido com a ajuda de um bisturi. O DNA foi extraído, e os produtos de 566-pb amplificados por PCR, correspondentes a fragmentos dos genes 18S rDNA foram resolvidos em DGGE. Os insertos correspondentes foram também seqüenciados, seguindo-se análise filogenética por alinhamento dos nucleotídeos com seqüências de bancos de dados. Os fragmentos 18S rDNA amplificados do vidro da capela de Stockkampen estavam mais relacionados a *Aureobasidium pullulans*, *Engyodontium album*, *Geomyces asperulatus*, *Kirschsteiniotelia elaterascus*, *Leptosphaeria maculans*, *Stanjemonium ochroroseum*, *Ustilago spp* e *Verticillium spp*. Os gêneros identificados são facilmente isolados de ambientes de rochas, monumentos e paredes pintadas, e são conhecidos como importantes

biodeterioradores. Eles crescem muito lentamente em meio de cultura convencional e são altamente resistentes à dessecação e radiação UV. A comunidade observada por método independente de cultivo e as análises baseadas em perfis-assinatura de DNA, seqüências de genes ribossômicos e DGGE revelaram que vidros históricos são um habitat em que fungos e bactérias formam uma biomassa microbiana complexa de alta densidade.

### Influência da umidade e da temperatura na biodeterioração

Problemas de umidade em edifícios têm sido relacionados a doenças respiratórias, asma e alergia. Reconhece-se que o crescimento de mofo no interior de edifícios é inaceitável e que o dimensionamento de um eventual crescimento é importante na determinação dos processos a serem utilizados na sua remediação. Em alguns prédios danificados o crescimento de mofos fica escondido em materiais de construção, dentro de cavidades das paredes e, assim, não é prontamente evidente durante um processo de inspeção.

Andersen e Nissen (2000) avaliam duas importantes espécies, *Stachybotrys chartarum* e *Chaetomium globosum*, colonizando materiais contendo celulose, em prédios molhados. Ambas as espécies produzem metabólitos tóxicos em culturas puras e sua detecção é importante. Entre as micotoxinas relacionadas a estas espécies, citam-se esterigmatocistina, tricotecenos, atranonas cetoglobosinas e cetominas. Estas micotoxinas podem provocar irritação no corpo, efeitos imunossupressores e até pneumo-micotoxicoses.

Poucas espécies de *Stachybotrys* e *Chaetomium* juntamente com um limitado número de *Aspergillus*, *Penicillium* e *Trichoderma* colonizam este tipo de ambiente. *Stachybotrys*, *Chaetomium* e *Trichoderma* requerem para seu crescimento uma atividade de água mais alta que 0,9. Tal atividade só é conseguida se ocorrer um vazamento em algum cano, defeito no telhado ou parede. Materiais de edifícios contendo celulose (gesso natural, composto de sulfato de cálcio hidratado, papel de parede e palha) são susceptíveis a colonização em função da forte atividade celulósica encontrada nestes dois gêneros.

A detecção dessas espécies é muito difícil principalmente porque nenhum dos meios de cultura recomendados é seletivo, além da dificuldade de seus esporos em serem lançados no ar sendo que 90% deles não é viável. Isolados dessas duas espécies foram coletados de água de um edifício dinamarquês danificado. Os isolados foram inoculados em 22 meios de cultura

diferentes. Dos meios testados, os mais adequados para detecção foram o ágar fubá (Cornmeal ágar), ágar Aveia (Oat meal ágar) e ágar Arroz (Rice meal ágar), no entanto estes três meios proporcionam baixa densidade. Os resultados mostram que nenhum dos meios foi ótimo para detecção destas duas espécies.

Existem relatos afirmando que estes mesmos microrganismos não são capazes de crescer a uma baixa ERH (umidade relativa da atmosfera em equilíbrio com as propriedades de umidades dos materiais), ou seja, abaixo de 65%. No entanto, sujeira, pó, terra acumulados nos materiais de edifícios servem como nutrientes e esses microrganismos acabam por desenvolver-se mesmo em níveis baixos de ERH. Pasanen et al. (2000) objetivando estudar o desenvolvimento promoveu o crescimento desses microrganismos em gesso natural e materiais de madeira sob condições de flutuação de umidade e temperatura. Quarenta pedaços foram preparados de cada material. A incubação foi feita em câmara climática estabelecendo a umidade e a temperatura e seguindo alguns estágios que envolveram absorção de água, ajustamento de temperatura e umidade relativa (UR). Os seguintes fungos foram estudados *Monilia* e *Penicillium*, *Aureobasidium*, *Paecilomyces*, *Fusarium* e *Trichoderma*. Durante o experimento observou-se à prevalência de *Penicillium* e, ao final, outras espécies foram observadas. Os autores concluíram que a absorção capilar de água nos materiais de edifícios resulta numa rápida contaminação de fungos enquanto que o crescimento é relativamente baixo devido a condensação de água sob condições de flutuação de umidade e temperatura, condições que afetam a viabilidade dos esporos fúngicos adaptados à alta umidade. No entanto, algumas formas como *Penicillium* são tolerantes ao estresse ambiental.

Klamer et al. (2004) também avaliaram o crescimento fúngico em diferentes materiais expondo-os a diferentes regimes de umidade. Papel, vidro, rocha e fibra de linho foram amostrados com alguns antimicóticos e nenhum crescimento foi observado. E para avaliar o potencial de crescimento fúngico, os materiais foram molhados em três níveis: umidade ambiente, chuva simulada e WHC obtido por submersão do material em água por 48 horas. O material foi inoculado por “spray” de suspensão de esporos incubados por quatro semanas a 26°C. A suspensão continha esporos de *Alternaria alternata*, *Aspergillus versicolor*, *Cladosporium sphaerospermum*, *Penicillium chrysogenum* e *Trichoderma viride*.

Foi observada a ocorrência de *Alternaria alternata* nos materiais de vidro e rocha, enquanto que nas fibras de linho e no papel foi observado somente em nível de umidade

ambiental, encontrando *A. alternata*, *Penicillium sp.* e *Chaetomium sp.*, este último observado em substrato rico em celulose. No papel, a espécie mais comum detectada foi *A. alternata* e *Penicillium* e pode ser explicado em função desses microrganismos serem originados do inóculo usado no experimento. O interessante é que *Penicillium chrysogenum* e *Aspergillus versicolor* estavam presentes no inóculo e não estabilizaram crescimento, eles podem ter sido inibidos pela presença de *A. alternata*.

Morey et al. (2003) estudaram um edifício com 300 dormitórios, localizado no sul da Califórnia, com o objetivo de verificar se haveria predisposição para o aumento da frequência na ocorrência dos fungos indicadores *Penicillium* e *Stachybotrys*, em função de vazamentos de água provocados em alguns cômodos em decorrência do aumento do índice pluviométrico, decorrente da ação de El Niño, em 1997-1998, naquela região. No período do El Niño, o índice de precipitação ali dobrou, totalizando 38,4 cm. Os materiais de construção do prédio, tanto do lado de dentro quanto do lado de fora foram danificados. Amostras de ar interno e externo foram coletadas, em quartos que sofreram ou não vazamentos. Foram coletadas também amostras da superfície de materiais como gesso natural, papel e artefatos de madeira usando uma fita de celofane colante, examinando-se diretamente ao microscópico. Nos quartos com vazamentos foi observado crescimento visível de mofo. Aberturas foram feitas nas paredes para avaliar a extensão da deterioração dos materiais. No ar interno foram encontrados *P. chrysogenum*, *P. crustosum*, *P. commune*, *P. spinulosum* e *P. aurantiogriseum*. *Penicillium chrysogenum* foi a espécie predominante no ar interno. *Stachybotrys chartarum* foi detectado pelo método da fita na parede e em artefatos de madeira da construção. *Cladosporium cladosporioides* foi o fungo dominante encontrado nas amostras de ar externo. O estudo mostrou que esporos resultantes do crescimento de mofo no exterior das paredes podem entrar no ar interno em quantidades suficientes para degradar a qualidade do ar.

#### Biodeterioração em paredes pintadas em associação com a fauna

Uma combinação de estudos micológicos e entomológicos de paredes pintadas demonstra uma importante correlação ecológica entre fungos e artrópodes.

O trabalho de Gorbushina e Petersen (2000) avalia a distribuição de microrganismos em paredes antigas, pintadas, fazendo uma correlação com os elementos da fauna. Foram extraídas

amostras de paredes pintadas, datadas do século dezoito, na Alemanha, para serem examinadas ao microscópico eletrônico de varredura. Para isolar os microfungos heterotróficos foram feitas diluições seriadas das amostras e em seguida plaqueadas em onze diferentes meios para isolamento específico. Os isolados foram identificados por métodos morfológicos. Os artrópodes foram coletados usando pipetas de sucção e fita adesiva.

Uma larga diversidade de fungos foi obtida, sendo encontrados os gêneros *Acremonium*, *Aureobasidium*, *Beauveria*, *Chrysosporium*, *Engyodontium*, *Mycelia*, *Scopylariopsis*, *Verticillium* e *Cladosporium*. Vários artrópodes também foram encontrados como dípteros, aranhas e ácaros. Os restos destes artrópodes (fezes, ovos, seda) foram frequentemente encontrados em todas as investigações, e sua presença foi conectada ao crescimento de fungos, indicando que estes restos predispõem à adaptação de microrganismos a estes ambientes. A camada pintada também garante o crescimento de microrganismos em um nível mínimo de umidade retida por longos períodos.

Analisando a origem da matéria orgânica e a interação de diferentes organismos, a presença de aranhas e insetos mortos favorece um amplo espectro de matéria orgânica a ser usado para uma primeira colonização pelos fungos. A relação simbiótica entre artrópodes e fungos envolve a utilização da atividade enzimática dos fungos para propósitos digestivos e os artrópodes se alimentam dos fungos e excretam componentes orgânicos nas paredes.

#### Biodeterioração em paredes pintadas e efeitos de biocidas

A superfície de paredes pintadas suporta uma grande diversidade microbiana: bactérias, algas, animais e fungos. A literatura sugere que microrganismos fototróficos são os primeiros colonizadores e os fungos, entretanto, são considerados os maiores deterioradores de paredes pintadas. O estudo de Shirakawa et al. (2002a) aponta o estabelecimento da seqüência da colonização natural de fototróficos e fungos em paredes pintadas recentemente, analisando-as antes e após a aplicação de biocida de amplo-espectro.

Neste estudo, dois edifícios no campus da Universidade de São Paulo foram usados. Edifício (1) havia sido pintado há muitos anos e se encontrava cercado por árvores. Observava-se, ainda, na sua fachada, descoloração negra. Edifício (2) havia sido pintado recentemente, apresentava pequenos biofilmes e havia poucas árvores ao seu redor.

Os respectivos edifícios foram tratados com hipoclorito e em seguida lavados. Amostras foram colhidas antes e depois da lavagem. As paredes foram pintadas com tinta acrílica branca, acrescida ou não de um biocida de formulação experimental contendo carbamato (carbendazina), N-octil-2H-isotiazolina-3 e N-(3,4-diclorofenil) N, N-dimetiluréia. Para amostragem das paredes empregou-se o método da fita adesiva e a técnica de tapete para fungos, cultivando-se em Agar Sabouraud dextrosado. Algumas amostras foram, ainda, incubadas em meio sólido de Knop modificado, contendo 5%, 7%, 10% ou 20% de cloreto de sódio, para avaliar a tolerância ao sal.

Antes da limpeza, *Cladosporium* foi o gênero com a maior biomassa em ambos os edifícios, seguindo-se *Aureobasidium*. Após a limpeza, quase nenhum microrganismo foi observado. No entanto, uma semana após a pintura, leveduras e *Cladosporium* foram os principais isolados. Após três semanas, o número de leveduras caiu e não foram mais detectadas entre a terceira e a trigésima primeira semana. É interessante observar que vários estudos apontam que a colonização inicial de paredes por leveduras possa ser resultado da sua presença em latas de tinta, pois é comum contaminarem tintas líquidas. Após 42 semanas os principais fungos encontrados foram *Alternaria*, *Curvularia*, *Epicocum*, *Helminthosporium*, *Monascus*, *Nigrospora*, *Phoma*, *Tripaspermum*, *Aureobasidium* e *Cladosporium*, este último o mais frequentemente isolado.

A população de fungos nas superfícies tratadas com tintas contendo o biocida foi sempre menor após 13 semanas, permanecendo menor até 42 semanas após a pintura. Portanto, o tratamento com biocida foi eficaz durante todo o tempo que durou o estudo. Análises estatísticas indicaram que o número de fungos aumentou com o tempo e muitos fungos são afetados por biocida. A adição de NaCl mostrou que muitos dos componentes do biofilme em tintas são osmotolerantes.

Shirakawa et al. (2002b) avaliaram a suscetibilidade do gesso natural e do fosfogesso ao crescimento de fungos, e o efeito de alguns biocidas. O fosfogesso é um resíduo de apatita, rico em ácido fosfórico, o qual é produzido em milhares de toneladas a cada ano, o que pode trazer problemas ambientais. Um bom uso para este resíduo seria a sua incorporação a materiais de construção e a formulação de um cimento que permitisse a substituição total do cimento comum, tipo Portland, por fosfogesso. Para isso o material produzido deve ser rigorosamente testado para resistir ao crescimento microbiano. Para o primeiro teste como preconizado pelo padrão internacional (teste ASTM D 3273-86), foi utilizada uma suspensão contendo esporos de três

fungos, *Aureobasidium pullulans*, *Aspergillus niger* e *Penicillium sp*, acrescentando-se *Cladosporium sp* como quarto componente, pelo fato de ter sido isolado, no Brasil, do reboco de um teto de gesso. A suspensão de esporos resultante foi borrifada em espécimes de gesso natural (sulfato de cálcio hidratado) e fosfogesso, com e sem poliacrilamida, incubando-se por quatro semanas. Num segundo teste, fosfogesso em pó, esterilizado (150°C) foi misturado com água estéril e transferido para placas de Petri, e seco por quatro horas. Em seguida este material foi inoculado com uma coleção de isolados fúngicos ambientais, contendo inclusive três isolados (*Aspergillus*, *Helmintosporium sp*, *Trichoderma sp.*) obtidos por cultivo a partir do pó de fosfogesso das fábricas, representando um total de 16 gêneros. As placas foram inoculadas pipetando-se 200 µL de cada suspensão de esporos fúngicos e incubando-se por quatorze dias. Testou-se, ainda, do mesmo modo, o fosfogesso previamente tratado a 600°C, por uma hora, o que resulta na destruição de material orgânico. A susceptibilidade do fosfogesso a fungos foi testada, ainda, após a incorporação de seis biocidas de diferentes formulações e concentrações.

O fosfogesso foi mais susceptível ao crescimento de fungos do que o gesso natural. Os fungos isolados do fosfogesso durante vários estágios da experimentação foram membros do gênero *Trichoderma*, encontrado também em fosfogesso não esterilizado. Espécies de *Trichoderma* estão aptas a contribuir para o desenvolvimento da síndrome do edifício doente, inclusive com a produção de micotoxinas (tricodermol e tricodermina). Depois de 28 dias, pouco crescimento dos microrganismos padrão *Aureobasidium pullulans*, *Aspergillus niger*, e *Penicillium sp.* foi observado em espécimes de fosfogesso testadas. Em contrapartida, *Cladosporium sp* apresentou um crescimento negro abundante. No teste das placas de Petri todos os 16 gêneros de fungos testados, isolados de fosfogesso, de gesso natural e do ar externo da cidade de São Paulo, mostraram evidente crescimento em fosfogesso. No teste onde a matéria orgânica do fosfogesso foi removida por exposição a altas temperaturas não foi observado crescimento em espécimes inoculados com *Aspergillus niger*, *Cladosporium sp.* e *Trichoderma sp.* Isto mostra que a susceptibilidade de fosfogesso é devida a algum componente orgânico deste material. No entanto, remover o material orgânico é economicamente inviável, assim uma solução alternativa seria a incorporação de um biocida. Dos seis biocidas testados apenas o 2-*N*-octyl-4-isotiazolidona-3-1 foi eficiente no teste, prevenindo crescimento dos fungos que poderiam causar doenças no edifício. Entretanto, este biocida não foi eficiente para

*Helminthosporium sp.*, um dos gêneros que havia sido obtido por cultivo a partir do pó de fosfogesso nas fábricas, e que foi o fungo mais eficiente e de mais difícil controle, ao final.

#### Produção de micotoxinas por espécies fungicas colonizando materiais de edifícios

*Stachybotrys chartarum*, *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus versicolor*, *Trichoderma spp* e *Chaetomium spp*. são alguns dos maiores contaminantes em materiais de edifícios danificados por água, na Dinamarca. *S. chartarum* é conhecido por produzir dez substâncias tóxicas e é capaz de crescer em elevada atividade de água (0,9 – 0,95). Satratoxina H e satratoxina G são micotoxinas, tricotecenos, os mais frequentemente produzidos por *S. chartarum*. *Trichoderma* também é capaz de desenvolver-se em elevada atividade de água e de produzir tricotecenos. Estas micotoxinas são capazes de retardar a produção das proteínas e ácidos nucléicos no corpo. A esterigmatocistina, uma micotoxina produzida por *A. versicolor*, um fungo encontrado com frequência em materiais de edifícios, por sua vez, além de uma série de reações alérgicas, pode ser carcinogênica.

Nielsen et al. (1998a) propuseram avaliar a produção de micotoxinas por inoculação artificial em materiais de edifícios. Gesso natural (sulfato de cálcio hidratado), velho e novo, pedaços de madeira, e outros materiais contendo fibras de madeira, placas de gesso com papel de parede e telhas acústicas foram usados para a pesquisa. Os materiais foram cortados em discos de até 120 mm de diâmetro e em seguida depositados em placas de Petri, previamente esterilizadas. Em seguida foram inoculados com suspensão de esporos de *S. chartarum*, *Trichoderma* e *A. versicolor*. A placa de gesso natural foi coberta por uma fina camada de papel de parede e 0,5 ml da suspensão de esporos foi adicionado. A placa de Petri foi colocada em cômodo ventilado, a 25°C, por período de até quatro semanas. A extração das toxinas foi executada e analisada.

*Trichoderma* pode ser detectado em 3 – 4 dias, e foi capaz de crescer em todos os materiais, exceto nas novas placas de gesso natural. Neste material, depois de cinco dias foi detectado o crescimento de *S. chartarum*. Este fungo, em outros substratos, não cresceu rapidamente, sendo notado depois de quatorze dias. *A. versicolor* foi capaz de crescer em todos os materiais em altos níveis, exceto em telhas acústicas. Observou-se alta produção de toxinas por microrganismos crescidos nos materiais de edifícios, inclusive a esterigmatocistina, que é carcinogênica.



Em outro estudo, executado por Nielsen et al. (1998b), observou-se a produção de micotoxinas, tricotecenos, em placas de gesso natural (sulfato de cálcio hidratado) danificadas pela água em edifícios dinamarqueses. Os edifícios pesquisados, uma escola e uma residência, apresentaram *S. chartarum*, *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus versicolor* e *Scopulariopsis sp.*

Os resultados confirmaram a presença de toxinas tricotecenos, provavelmente em formas macrocíclicas, produzidas por *S. chartarum*. Um ponto importante é a existência de várias toxinas distintas e apenas um pequeno número ser analisado pelos laboratórios. Sabe-se ainda que um mesmo fungo tem capacidade de produzir uma ampla gama de toxinas, que podem eventualmente não ser detectadas nas análises, mas causar sintomas claros de micotoxicoses.

#### Agentes antimicóticos contra o crescimento fúngico

Diante do número de micotoxinas produzidos por diversas espécies e seus efeitos na saúde humana e na economia, muitas vezes se faz necessário o uso de fungicidas aplicados ou incorporados a materiais, inclusive de construção, para impedir a colonização.

Os azólicos constituem a maior categoria de agentes antifúngicos usados na clínica, o mais recente é o voriconazol. Baseado nisso, Clausen e Yang (2005) objetivaram estabelecer concentrações antimicóticas que controlassem três espécies fúngicas comumente encontrados em materiais de edifícios, compostos a base de celulose, relacionados entre os mais colonizados. Os fungos testados foram *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum* e *Trichoderma viride*. Suspensão dos esporos foi produzida a partir de diluição em 100 ml de água esterilizada.

Triazol 3%, triazol sódio 3% e difluconazol 2%, voriconazol 10% foram preparados em água esterilizada, além de clotrimazol 1%, miconazol 2%, e Itraconazol 10%, e tiabendazol em etanol 70%.

Espécimes de madeira foram cortados e tratados com várias concentrações dos produtos químicos. Em seguida 1 ml da suspensão fúngica foi borrifado em cada espécime, incubando-se em placas de Petri a 27% e 70% de umidade relativa, por quatro semanas, observando-se os resultados.

Três dos oitos antifúngico testados foram eficientes contra *A. niger*, *P. chrysogenum* e *T. viride*: voriconazol, o mais eficiente, seguindo-se o Tiabendazol, e o Nitrato de miconazol que inibiu todos os tipos de fungos, mas a concentração mínima de fungicida excedeu a 2,0 enquanto

que os outros permaneceram entre 0,016 e 0,043% respectivamente. Outros antifúngicos precisam ser testados para outros materiais buscando a menor colonização e biodeterioração.

### III - Conclusão

Biodeterioração é um fenômeno conduzido por diferentes microrganismos, através de diversos mecanismos. Investigações sobre a biodeterioração em construções têm aumentado nos últimos anos, no entanto, têm sido raras no Brasil.

Vários microrganismos foram relacionados ao processo de biodeterioração em edifícios e materiais de construção, especialmente os fungos, citando-se entre os mais frequentes os gêneros *Penicillium*, *Aspergillus*, *Stachybotrys* e *Trichoderma*. Estes microrganismos são capazes de eliminar uma série de substâncias secundárias nos substratos em que estão inseridos. Estes substratos podem ser água, argamassa, tijolo, cimento, areia, gesso, rocha e materiais compostos por celulose, tais como madeira, papel de parede, papelão, nos quais observa-se ainda maior colonização.

Entre as substâncias secundárias podem ser encontradas micotoxinas, que são metabólitos produzidos normalmente pelos fungos e que são tóxicos para os animais e o homem. Algumas destas são carcinogênicas e podem indiretamente afetar o homem através de algum animal.

Os custos para reparar os danos dos materiais causados por deterioração de edifícios por fungos são elevadíssimos, além de causarem efeitos indesejáveis na performance do substrato, ressalta-se o fato de provocarem uma série de doenças respiratórias alérgicas e causadas por toxinas.

Dada a relevância dos aspectos econômicos e sociais envolvidos, se faz necessário o desenvolvimento de novos trabalhos, principalmente no Brasil, em função das condições ambientais, variáveis de região para região do país, caracterizando-se a microbiota de edifícios, construções e de materiais em deterioração, por métodos dependentes e/ou independentes de cultivo, avaliando-se também a produção de micotoxinas e o emprego potencial de substâncias antimicóticas.

#### IV - Referências Bibliográficas

ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W.; BLACKWELL, M. *Introductory mycology*. 4. ed. New York: John Wiley, 1996, 869 p.

ANDERSEN, B.; NISSEN, A. T. Evaluation of media for detection of *Stachybotrys* and *Chaetomium* species associated with water-damaged buildings. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 46, p. 111-116, 2000.

CARLILE, M. J. and WATKINSON, S. C. *The Fungi*. London: Academic Press, 1994. 482 p.

CISALPINO, P. S. Classificação de fungos: aspectos de interesse médico. In: TONELLI, E.; FREIRE, L. M. (Ed). *Doenças Infecciosas na Infância e Adolescência*. 2. ed. Rio de Janeiro: Medsi, 2000. v. 1, p. 169-173.

CLAUSEN, C. A.; YANG, V. W. Azole-based antimycotic agents inhibit mold on unseasoned pine. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 55, p. 99-102, 2005.

GAYLARDE, C. C.; GAYLARDE, P. M. A comparative study of the major microbial biomass of biofilms on exteriors of buildings in Europe and Latin America. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 55, p. 131-139, 2005.

GORBUSHINA, A. A.; PETERSEN, K. Distribution of microorganisms on ancient wall paintings as related to associated faunal elements. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 46, p. 277-284, 2000.

HAWKSWORTH, D. L. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research* 95: 641-655, 1991.

HAWKSWORTH, D. L., KIRK, P. M., SUTTON, B. C., PEGLER, D. M (1995). *Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi*. 8th edition. CAB International, Wallingford.

HENNEBERT, G.L. and WERESUB, L.K. Terms for states and forms of fungi, their names and types. *Mycotaxon* 6: 207-211, 1977.

HERRERA, L. K.; ARROYAVE, C.; GUIAMET, P.; SARAVIDA, S. G.; VIDELA, H. Biodeterioration of peridotite and other constructional materials in a building of the Colombian cultural heritage. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 54, p. 135-141, 2004.

KIRBY, J. J. H.; RAYNER, A. D. M. The deterioration of thatched roofs. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 48, p. 153-158, 2001.

KLAMER, M.; MORSING, E.; HUSEMOEN, T. Fungal growth on different insulation materials exposed to different moisture regimes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 54, p. 277-282, 2004.

LOW, G. A.; YOUNG, M. E.; MARTIN, P.; PALFREYMAN, J. W. Assessing the relationship between the dry rot fungus *Serpula lacrymans* and selected forms of masonry. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 46, p. 141-150, 2000.

McLAUGHLIN, D. M.; BECKETT, A.; YOON, K. S. *SEM of the surface of a mushroom gill (Coprinus cinereus: Hymenomycetes) showing several basidia, some with four basidiospores attached.* 1985. Figure 1.

Disponível em <<http://tolweb.org/tree?group=Basidiomycota&contgroup=fungi>>

MOREY, P. R.; HULL, M. C.; ANDREW, M. El Niño water leaks identify rooms with concealed mould growth and degraded indoor air quality. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 52, p. 197-202, 2003.

MORRELL, J. J. Wood-based building components: what have we learned? *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 49, p. 253-258, 2002.

NICA, D.; DAVIS, J. L.; KIRBY, L.; ZUO, G.; ROBERTS, D.J. Isolation and characterization of microorganisms involved in the biodeterioration of concrete in sewers. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 46, p. 61-68, 2000.

NIELSEN, K. F.; HANSEN, M. O.; LARSEN, T. O.; THRANE, U. Production of trichothecene mycotoxins on water damaged gypsum boards in Danish buildings. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 42, p. 1-7, 1998.

NIELSEN, K. F.; THRANE, U.; LARSEN, T. O.; NIELSEN, P. A.; GRAVESEN, S.; Production of mycotoxins on artificially inoculated building materials. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 42, p. 9-16, 1998.

O'DONNELL, K. *Asexual reproduction*; scanning electron micrograph of unispored sporangia of *Benjaminiella poitrasii*. 1979. Figure 3A.

Disponível em <<http://tolweb.org/tree?group=Zygomycota&contgroup=fungi>>

O'DONNELL, K. *Asexual reproduction*; dehisced multispored sporangium of *Gilbertella persicaria*. 1979. Figure 3B.

Disponível em <<http://tolweb.org/tree?group=Zygomycota&contgroup=fungi>>

PASANEN, A. L.; KASANEN, J. P.; RAUTIALA, S.; IKÄHEIMO, M.; RANTAMÄKI, J.; KÄÄRIÄINEN, H.; KALLIOKOSKI, P. Fungal growth and survival in building materials under fluctuating moisture and temperature conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 46, p. 117-127, 2000.

SCHABEREITER-GURTNER, C.; PINAR, G.; LUBITZ, W.; ROLLEKE, S. Analysis of fungal communities on historical church window glass by denaturing gradient gel electrophoresis and phylogenetic 18S rDNA sequence analysis. *Journal of Microbiological Methods*, v. 47, p. 345-354, 2001.

SHIRAKAWA, M. A.; BEECH, I. B.; TAPPER, R.; CINCOTTO, M. A.; GAMBALE, W. The development of a method to evaluate bioreceptivity of indoor mortar plastering to fungal growth. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 51, p. 83-92, 2003.

SHIRAKAWA, M. A.; GAYLARDE, C. C.; GAYLARDE, P. M.; JOHN, V.; GAMBALE, W. Fungal colonization and succession on newly painted buildings and the effect of biocide. *FEMS (Federation European Microbiological Societies) Microbiology Ecology*, v. 39, p. 165-173, 2002 (a).

SHIRAKAWA, M. A.; SELMO, S. M.; CINCOTTO, M. A.; GAYLARDE, C. C.; BRAZOLIN, S.; GAMBALE, W. Susceptibility of phosphogypsum to fungal growth and the effect of various biocides. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 49, p. 293-298, 2002 (b).

VILGALYS, R. *Ascus of a hyphal ascomycete (Euascomycetes) as viewed by the electron microscope*. 1996.

Disponível em <<http://tolweb.org/tree?group=Ascomycota&contgroup=fungi>>.

WHISLER, H.; FULLER, M. *Chytridium (Chytridiomycota)*. 1996. Disponível em <<http://tolweb.org/tree?group=fungi>>. Acesso em 3 mar. 2006.

### **Sites pesquisados**

<http://tolweb.org/tree?group=Ascomycota&contgroup=fungi>

<http://tolweb.org/tree?group=Zygomycota&contgroup=fungi>

<http://tolweb.org/tree?group=Basidiomycota&contgroup=fungi>

[http://www.umich.edu/~mycology/chytridiomycetes\\_files/page10-1001-full.html](http://www.umich.edu/~mycology/chytridiomycetes_files/page10-1001-full.html)