

12 Eucariotos: Fungos, Algas, Protozoários e Helmintos

Mais da metade da população mundial está infectada por patógenos eucariotos. A Organização Mundial de Saúde (OMS) classifica seis doenças parasitárias entre as 20 principais causas de morte de origem microbiana no mundo. A cada ano, há mais de cinco milhões de casos de malária, esquistossomose, amebíase, ancilostomose, tripanossomíase africana e parasitoses intestinais descritos nos países em desenvolvimento. Patógenos eucariotos surgidos recentemente em países desenvolvidos incluem *Pneumocystis*, a principal causa de morte em pacientes com Aids; o protozoário *Cryptosporidium*, que causou doença em 400 mil pessoas no estado norte-americano de Milwaukee em 1993; um novo protozoário parasita, *Cyclospora*, descoberto nos Estados Unidos em 1993; e novos casos ou aumento de envenenamento por algas. O aumento das doenças relacionadas com fungos levou a um debate sobre a aprovação de leis considerando os níveis seguros de exposição a esses micro-organismos.

Neste capítulo, examinamos os micro-organismos eucarióticos que afetam humanos: os fungos, as algas, os protozoários, os helmintos parasitas e os artrópodos que transmitem doenças. (Para uma comparação de suas características, veja a Tabela 12.1.)



SOB O MICROSCÓPIO

Saprolegnia ferax. Uma alga, também chamada de fungo aquático, causa doenças em plantas e animais.

P&R

Durante a Grande Fome Irlandesa na metade do século XIX, mais de um milhão de pessoas morreram ou ficaram desabrigadas devido aos efeitos devastadores de *Phytophthora infestans*, uma alga que infecta culturas de batatas. Atualmente, quais outros danos esta alga vem causando em outras partes do mundo?

Procure pela resposta neste capítulo.

Tabela 12.1 Principais diferenças entre os micro-organismos eucariotos: fungos, algas, protozoários e helmintos

	Fungos	Algas	Protozoários	Helmintos
Reino	Fungi	"Protista"	"Protista"	Animalia
Tipo nutricional	Químio-heterotrófico	Fotoautotrófico	Químio-heterotrófico	Químio-heterotrófico
Multicelularidade	Todos, exceto leveduras	Alguns	Nenhum	Todos
Organização celular	Unicelular, filamentosa, carnuda (como cogumelos)	Unicelular, colonial, filamentosa; tecidos	Unicelular	Tecidos e órgãos
Método nutricional	Absorção	Difusão	Absorção; ingestão (citosoma)	Ingestão (boca); absorção
Características típicas	Esporos sexuais e assexuais	Pigmentos	Motilidade; alguns formam cistos	Muitos possuem ciclos de vida elaborados, incluindo ovos, larvas e adultos
Formação de embriões	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Todos

Fungos

OBJETIVOS DO APRENDIZADO

- 12-1** Listar as características que definem os fungos.
- 12-2** Diferenciar reprodução assexuada de sexuada, e descrever cada um desses processos nos fungos.
- 12-3** Listar as características que definem os três filos dos fungos descritos neste capítulo.
- 12-4** Identificar dois efeitos benéficos e dois prejudiciais dos fungos.

Ao longo dos últimos dez anos, a incidência de infecções importantes causadas por fungos tem aumentado. Elas estão ocorrendo como infecções hospitalares e em indivíduos com sistema imune comprometido. Além disso, milhares de doenças causadas por fungos afetam plantas economicamente importantes, custando mais de um bilhão de dólares ao ano.

Os fungos também são benéficos, sendo importantes na cadeia alimentar por decomporem matéria vegetal morta, reciclando elementos vitais. Pelo uso de enzimas extracelulares como as celulases, os fungos são os principais decompositores de partes duras das plantas, que não podem ser digeridas pelos animais. Quase todas as plantas dependem de simbioses com fungos, conhecidas como **mi-**

corrizas, que auxiliam as raízes das plantas a absorverem minerais e água do solo (veja o Capítulo 27). Os fungos também são valiosos para os animais. Algumas formigas cultivam fungos para quebrar a celulose e a lignina presentes nas plantas, provendo glicose, que as formigas podem então digerir. Os fungos são utilizados pelos homens como alimentos (cogumelos) e também para a produção de alimentos (pão e ácido cítrico) e drogas (álcool e penicilina). Das mais de 100 mil espécies conhecidas de fungos, apenas cerca de 200 são patogênicas aos humanos e aos animais.

O estudo dos fungos é chamado de **micologia**. Examinaremos, primeiramente, as estruturas que são a base da identificação dos fungos em laboratórios clínicos; em seguida, exploraremos seus ciclos de vida. Recordando o Capítulo 10, a identificação de um patógeno é necessária para o tratamento adequado da doença e para prevenir sua disseminação.

Também examinaremos suas necessidades nutricionais. Todos os fungos são químio-heterotróficos, necessitando de componentes orgânicos como fontes de energia e carbono. Os fungos são aeróbicos ou anaeróbicos facultativos; somente alguns fungos anaeróbicos são conhecidos.

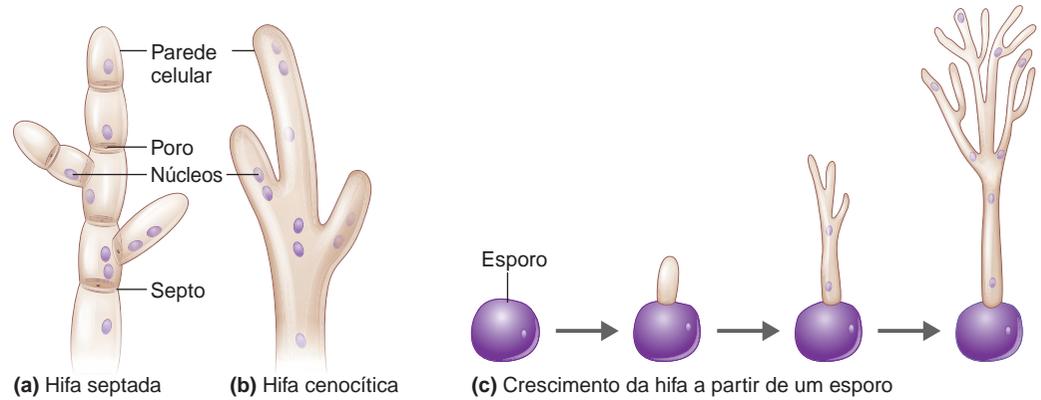
A **Tabela 12.2** lista as diferenças básicas entre fungos e bactérias.

Tabela 12.2 Comparação entre fungos e bactérias

	Fungos	Bactérias
Tipo de célula	Eucariótica	Procariótica
Membrana celular	Esteróis presentes	Esteróis ausentes, com exceção do <i>Mycoplasma</i>
Parede celular	Glicanas; mananas; quitina (sem peptidoglicana)	Peptidoglicana
Esporos	Esporos reprodutivos sexuais e assexuais	Endosporos (não para reprodução); alguns esporos assexuais reprodutivos
Metabolismo	Limitado a heterotrófico; aeróbico, anaeróbico facultativo	Heterotrófico, autotrófico, fotoautotrófico; aeróbico, anaeróbico facultativo, anaeróbico

Figura 12.1 Características das hifas dos fungos. (a) Hifa septada com parede cruzada, ou septos, dividindo as hifas em unidades tipo célula. (b) A hifa cenocítica não contém septos. (c) Crescimento das hifas por alongamento das extremidades.

P O que é uma hifa? E um micélio?



Características dos fungos

A identificação das leveduras, assim como a identificação das bactérias, envolve testes bioquímicos. Entretanto, fungos multicelulares são identificados considerando seu aspecto, incluindo características da colônia e dos esporos reprodutivos.

Estruturas vegetativas

As colônias dos fungos são descritas como estruturas **vegetativas** porque são compostas de células envolvidas no catabolismo e no crescimento.

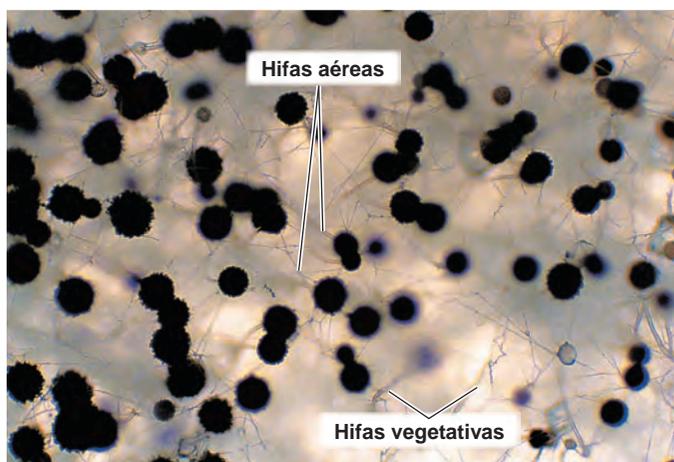
Fungos filamentosos e fungos carnosos. O **talo** (corpo) de um fungo filamentoso ou de um fungo carnosos consiste em filamentos longos de células conectadas; esses filamentos são denominados **hifas**, que podem crescer até imensas proporções. As hifas de um único fungo em Oregon, nos Estados Unidos, se estendem por 5,6 quilômetros.

Na maioria dos fungos filamentosos, as hifas contêm paredes cruzadas denominadas **septos**, que dividem as hifas em distintas

unidades celulares uninucleadas (um único núcleo). Essas hifas são chamadas de **hifas septadas** (Figura 12.1a). Em algumas poucas classes de fungos, as hifas não contêm septos e se apresentam como células longas e contínuas com muitos núcleos. Elas são chamadas de **hifas cenocíticas** (Figura 12.1b). Mesmo nos fungos com hifas septadas, geralmente há aberturas nos septos que fazem com que o citoplasma de “células” adjacentes seja contíguo; esses fungos também são, na verdade, organismos cenocíticos.

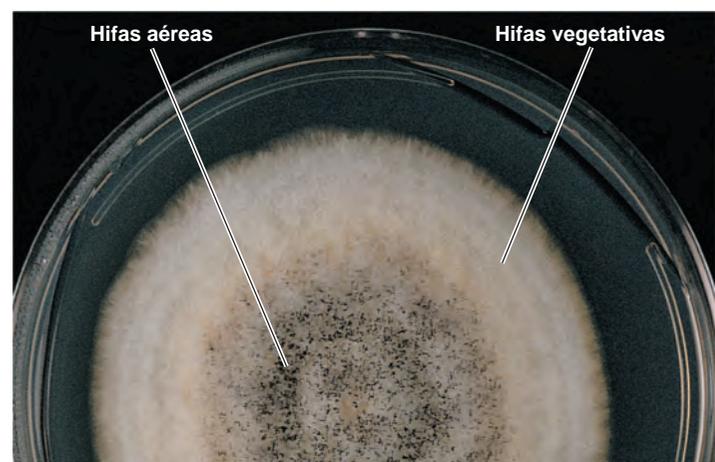
As hifas crescem por alongamento das extremidades (Figura 12.1c). Cada parte de uma hifa é capaz de crescer, e quando um fragmento é quebrado, ele pode se alongar para formar uma nova hifa. Em laboratório, os fungos geralmente crescem a partir de fragmentos obtidos de um talo do fungo.

A porção de uma hifa que obtém nutriente é chamada de *hifa vegetativa*; a porção envolvida com a reprodução é a *hifa reprodutiva* ou *aérea*, assim chamada porque se projeta acima da superfície sobre a qual o fungo está crescendo. As hifas aéreas frequentemente sustentam os esporos reprodutivos (Figura 12.2a), discutidos adiante. Quando as condições ambientais são favoráveis, as hifas crescem



(a) *Aspergillus niger*

MO 20 μm



(b) *A. niger* em ágar

Figura 12.2 Hifas aéreas e vegetativas. (a) Uma fotomicrografia de hifas aéreas, mostrando os esporos reprodutivos. (b) Uma colônia de *Aspergillus niger* crescendo em uma placa de ágar glicose, mostrando as hifas vegetativas e aéreas.

P De que maneira as colônias de fungos diferem das colônias de bactérias?

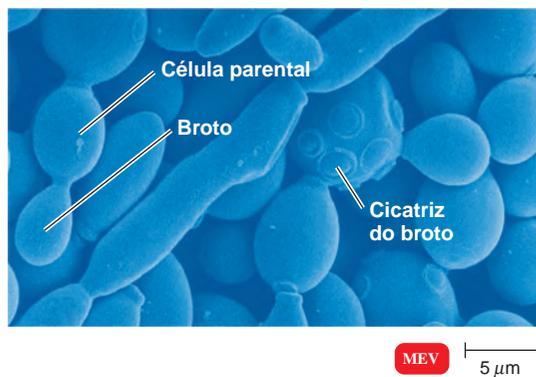


Figura 12.3 Levedura de brotamento. Micrografia de *Saccharomyces cerevisiae* em diversos estágios do brotamento.

P Qual a diferença entre um broto e um esporo?

formando uma massa filamentososa chamada de **micélio**, que é visível a olho nu (Figura 12.2b).

Leveduras. As leveduras são fungos unicelulares, não filamentosos, tipicamente esféricos ou ovais. Da mesma forma que os fungos filamentosos, as leveduras são amplamente distribuídas na natureza: com frequência são encontradas como um pó branco cobrindo frutas e folhas. As **leveduras de brotamento**, como as *Saccharomyces*, dividem-se formando células desiguais.

No brotamento (Figura 12.3), a célula parental forma uma protuberância (broto) na sua superfície externa. À medida que o broto se alonga, o núcleo da célula parental se divide, e um dos núcleos migra para o broto. O material da parede celular é então sintetizado entre o broto e a célula parental, e o broto acaba se separando.

Uma célula de levedura pode produzir mais de 24 células-filhas por brotamento. Algumas leveduras produzem brotos que não se separam uns dos outros; esses brotos formam uma pequena cadeia de células denominada **pseudo-hifa**. *Candida albicans* se fixa a células epiteliais humanas na forma de levedura, mas normalmente necessita estar na forma de pseudo-hifas para invadir os tecidos mais profundos (veja a Figura 21.17a, página 601).

As **leveduras de fissão**, como *Schizosaccharomyces*, dividem-se produzindo duas novas células iguais. Durante a fissão binária, as células parentais se alongam, seus núcleos se dividem, e duas células-filhas são produzidas. O aumento do número de células de leveduras em meio sólido produz uma colônia similar às colônias de bactérias.

As leveduras são capazes de crescimento anaeróbico facultativo, podendo utilizar oxigênio ou um composto orgânico como aceptor final de elétrons; esse é um atributo valioso porque permite que esses fungos sobrevivam em vários ambientes. Se houver acesso ao oxigênio, as leveduras respiram aerobicamente para metabolizar hidratos de carbono formando dióxido de carbono e água; na ausência de oxigênio, elas fermentam os hidratos de carbono e produzem etanol e dióxido de carbono. Essa fermentação é usada na fabricação de cerveja e vinho e nos processos de panificação. Espécies de *Saccharomyces* produzem etanol nas bebidas fermentadas e dióxido de carbono para fermentar a massa do pão.

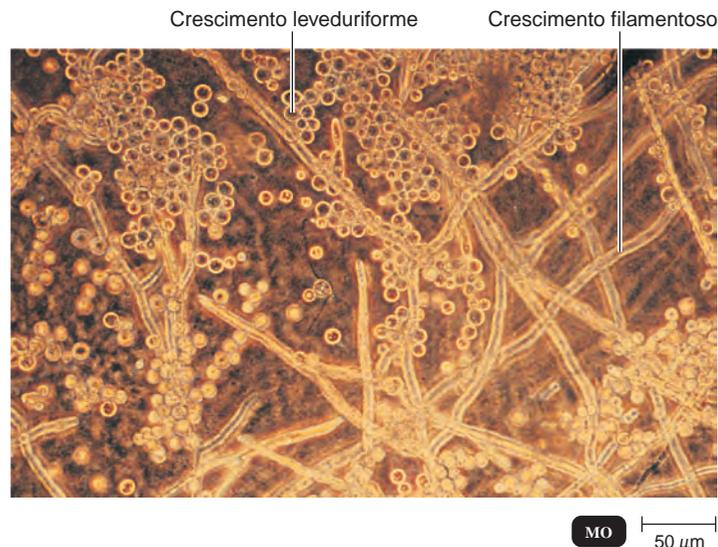


Figura 12.4 Dimorfismo em fungos. O dimorfismo no fungo *Mucor indicus* depende da concentração de CO_2 . Na superfície do ágar, *Mucor* apresenta um crescimento leveduriforme, porém no interior do meio o crescimento é filamentososo.

P O que é dimorfismo nos fungos?

Fungos Dimórficos. Alguns fungos, mais notadamente as espécies patogênicas, exibem **dimorfismo** – duas formas de crescimento. Tais fungos podem crescer tanto na forma de fungos filamentosos quanto na forma de levedura. A forma de fungo filamentosos produz hifas aéreas e vegetativas; a forma de levedura se reproduz por brotamento. O dimorfismo nos fungos patogênicos é dependente de temperatura: a 37°C , o fungo apresenta forma de levedura; a 25°C , de fungo filamentosos (veja a Figura 24.16, página 695). Contudo, o aparecimento de dimorfismo no fungo mostrado na Figura 12.4 (nesse exemplo, não patogênico) muda com a concentração de CO_2 .

Ciclo de vida

Fungos filamentosos podem reproduzir-se assexuadamente pela fragmentação de suas hifas. Além disso, tanto a reprodução sexuada quanto a assexuada em fungos ocorrem pela formação de **esporos**. Na realidade, os fungos normalmente são identificados pelo tipo de esporo.

Os esporos de fungos, entretanto, são completamente diferentes dos endosporos de bactérias. Os endosporos bacterianos permitem que as células sobrevivam a condições ambientais adversas (veja o Capítulo 4). Uma única célula bacteriana vegetativa forma um endosporo, que eventualmente germina para produzir uma única célula bacteriana. Esse processo não é reprodução, uma vez que o número total de células não aumenta. Entretanto, após um fungo filamentosos formar um esporo, o mesmo se separa da célula parental e germina, originando um novo fungo filamentosos (veja a Figura 12.1c). Ao contrário dos endosporos de bactérias, esse processo é uma verdadeira reprodução por meio de esporos, pois um segundo organismo cresce a partir do esporo. Embora os esporos de fungos possam sobreviver por períodos extensos em ambientes

secos ou quentes, a maioria não exibe a mesma tolerância extrema e longevidade apresentadas pelos endosporos bacterianos.

Os esporos são formados a partir das hifas aéreas de diferentes maneiras, dependendo da espécie. Os esporos de fungos podem ser assexuais ou sexuais. Os **esporos assexuais** são formados pelas hifas de um organismo. Quando esses esporos germinam, tornam-se organismos geneticamente idênticos ao parental. Os **esporos sexuais** resultam da fusão de núcleos de duas linhagens opostas de cruzamento de uma mesma espécie do fungo. Os fungos produzem esporos sexuais com menos frequência que os esporos assexuais. Os organismos que crescem a partir de esporos sexuais apresentarão características de ambas as linhagens parentais. Como os esporos são de considerável importância na identificação dos fungos, examinaremos a seguir alguns dos vários tipos de esporos assexuais e sexuais.

Esporos assexuais. Os esporos assexuais são produzidos pelos fungos por mitose e subsequente divisão celular; não há fusão de núcleos de células. Dois tipos de esporos assexuais são produzidos pelos fungos. Um deles é o **conidiósporo** ou **conídio**, um esporo unicelular ou multicelular que não é armazenado em uma bolsa (Figura 12.5a). Os conídios são produzidos em cadeias na extremidade do **conidióforo**. Tais esporos são produzidos por *Aspergillus*. Os conídios formados pela fragmentação de uma hifa septada em células únicas, levemente espessas, são denominados **artroconídios** (Figura 12.5b). Uma espécie que produz esses esporos é o *Coccidioides immitis* (veja a Figura 24.18, página 696). Outro tipo de conídio, o **blastoconídio**, consiste em um broto originado de uma célula parental (Figura 12.5c). Esses esporos são encontrados em algumas leveduras, como *Candida albicans* e *Cryptococcus*. Um **clamidoconídio** é um esporo com paredes espessas, formado pelo arredondamento e alargamento no interior de um segmento de hifa (Figura 12.5d). Um fungo que produz clamidoconídios é a levedura *C. albicans*.

Outro tipo de esporo assexual é o **esporangiósporo**, formado no interior de um **esporângio**, ou bolsa, na extremidade de uma hifa aérea denominada **esporangióforo**. O esporângio pode conter centenas de esporangiósporos (Figura 12.5e). Esses esporos são produzidos por *Rhizopus*.

Esporos sexuais. Um esporo sexual fúngico resulta da reprodução sexuada, consistindo de três etapas:

1. **Plasmogamia.** Um núcleo haploide de uma célula doadora (+) penetra no citoplasma da célula receptora (-).
2. **Cariogamia.** Os núcleos (+) e (-) se fundem para formar um núcleo zigoto diploide.
3. **Meiose.** O núcleo diploide origina um núcleo haploide, esporos sexuais, dos quais alguns podem ser recombinantes genéticos.

Os esporos sexuais produzidos pelos fungos caracterizam os filamentos. Em laboratório, a maioria dos fungos apresenta apenas esporos assexuais. Conseqüentemente, a identificação clínica é baseada no exame microscópico dos esporos assexuais.

Adaptações nutricionais

Os fungos geralmente são adaptados a ambientes que poderiam ser hostis a bactérias. Os fungos são quimio-heterotróficos e, assim

como as bactérias, absorvem nutrientes em vez de ingeri-los, como fazem os animais. Todavia, os fungos diferem das bactérias em determinadas necessidades ambientais e nas características nutricionais apresentadas a seguir:

- Os fungos normalmente crescem melhor em ambientes em que o pH é próximo a 5, que é muito ácido para o crescimento da maioria das bactérias comuns.
- Quase todos os fungos são aeróbicos. A maioria das leveduras é anaeróbica facultativa.
- A maioria dos fungos é mais resistente à pressão osmótica que as bactérias; muitos, conseqüentemente, podem crescer em concentrações relativamente altas de açúcar ou sal.
- Os fungos podem crescer em substâncias com baixo grau de umidade, em geral tão baixo que impede o crescimento de bactérias.
- Os fungos necessitam de menos nitrogênio para um crescimento equivalente ao das bactérias.
- Os fungos com frequência são capazes de metabolizar carboidratos complexos, como a lignina (um dos componentes da madeira), que a maioria das bactérias não pode utilizar como nutriente.

Essas características permitem que os fungos se desenvolvam em substratos diversos como paredes de banheiro, couro de sapatos e jornais velhos.

TESTE SEU CONHECIMENTO

- ✓ Considere que você isolou um organismo unicelular que possui parede celular. Como você verificaria que se trata de um fungo e não de uma bactéria? **12-1**
- ✓ Compare o mecanismo de formação de um conidiósporo e de um ascósporo. **12-2**

Filos de fungos de importância médica

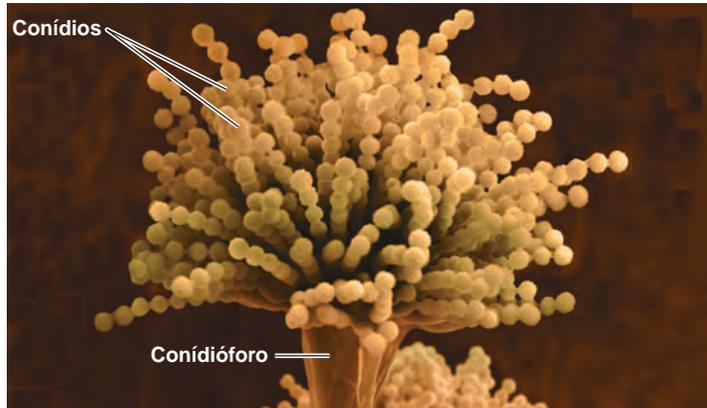
Esta seção apresenta uma revisão dos filamentos dos fungos de importância médica. As doenças que eles causam serão estudadas nos Capítulos 21 a 26. Observe que nem todos os fungos são causadores de doenças.

Os gêneros listados nos filamentos a seguir incluem muitos que são encontrados como contaminantes de alimentos e de culturas bacterianas em laboratórios. Embora estes gêneros não representem todos os principais fungos de importância médica, eles são exemplos característicos de seus respectivos grupos.

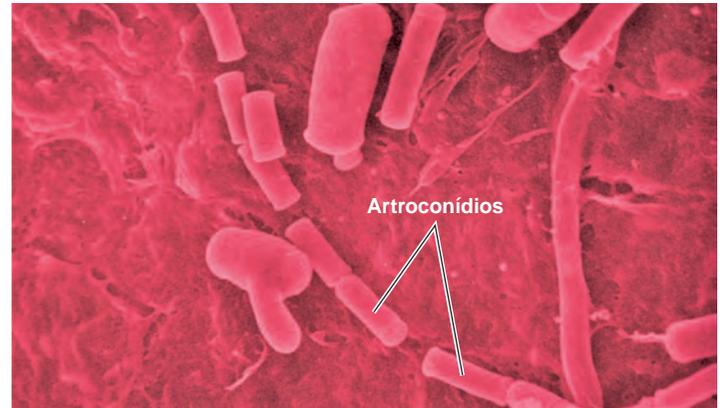
Zigomiceto

Os zigomicetos, ou fungos de conjugação, são fungos filamentosos saprofíticos que apresentam hifas cenocíticas. Um exemplo é o *Rhizopus stolonifer*, o conhecido mofo preto do pão. Os esporos assexuais do *Rhizopus* são esporangiósporos (Figura 12.6, parte inferior, à direita). Os esporangiósporos pretos dentro do esporângio conferem ao *Rhizopus* seu nome comum. Quando o esporângio se abre, os esporangiósporos se dispersam. Se eles caírem em um meio adequado, irão germinar, originando um novo talo de fungo.

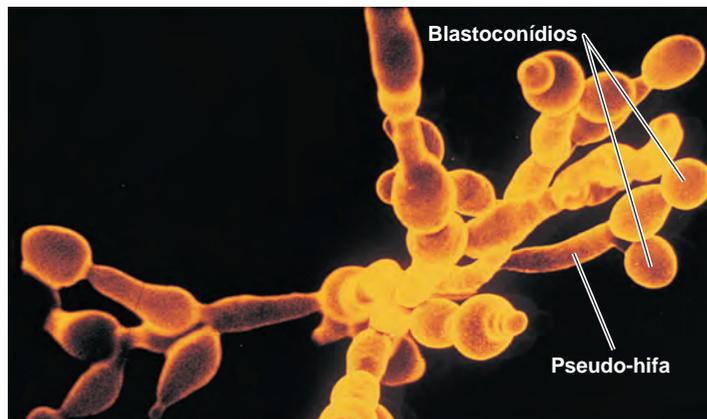
Os esporos sexuais são zigósporos. Um **zigósporo** é um esporo grande no interior de uma parede espessa (Figura 12.6, parte infe-



(a) Conídios estão organizados em cadeias na extremidade de um conidióforo em *Aspergillus flavus*. MEV 5 μm



(b) A fragmentação da hifa resulta na formação de arthroconídios em *Coccidioides immitis*. MEV 5 μm



(c) Os blastoconídios são formados a partir de brotos de uma célula parental de *Candida albicans*. MEV 10 μm



(d) Os clamidoconídios são células com paredes espessas no interior das hifas de *C. albicans*. MEV 10 μm



(e) Os esporangiósporos são formados dentro do esporângio (bolsa de esporos) em *Rhizopus*. MEV 10 μm

Figura 12.5 Esporos assexuais característicos.

P O que são as estruturas representadas por um pó verde sobre um alimento mofado?

rior, à esquerda). Esse tipo de esporo resulta da fusão de núcleos de duas células que são morfologicamente similares.

Ascomiceto

Os ascomicetos, ou “fungos de saco”, incluem fungos com hifas septadas e algumas leveduras. Seus esporos assexuais normalmente são

conídios produzidos em longas cadeias a partir do conidióforo. O termo *conídio* significa pó, e esses esporos são facilmente liberados da cadeia formada no conidióforo ao menor contato e flutuam no ar como poeira.

Um **ascósporo** se origina da fusão do núcleo de duas células que podem ser morfologicamente similares ou diferentes. Esses es-

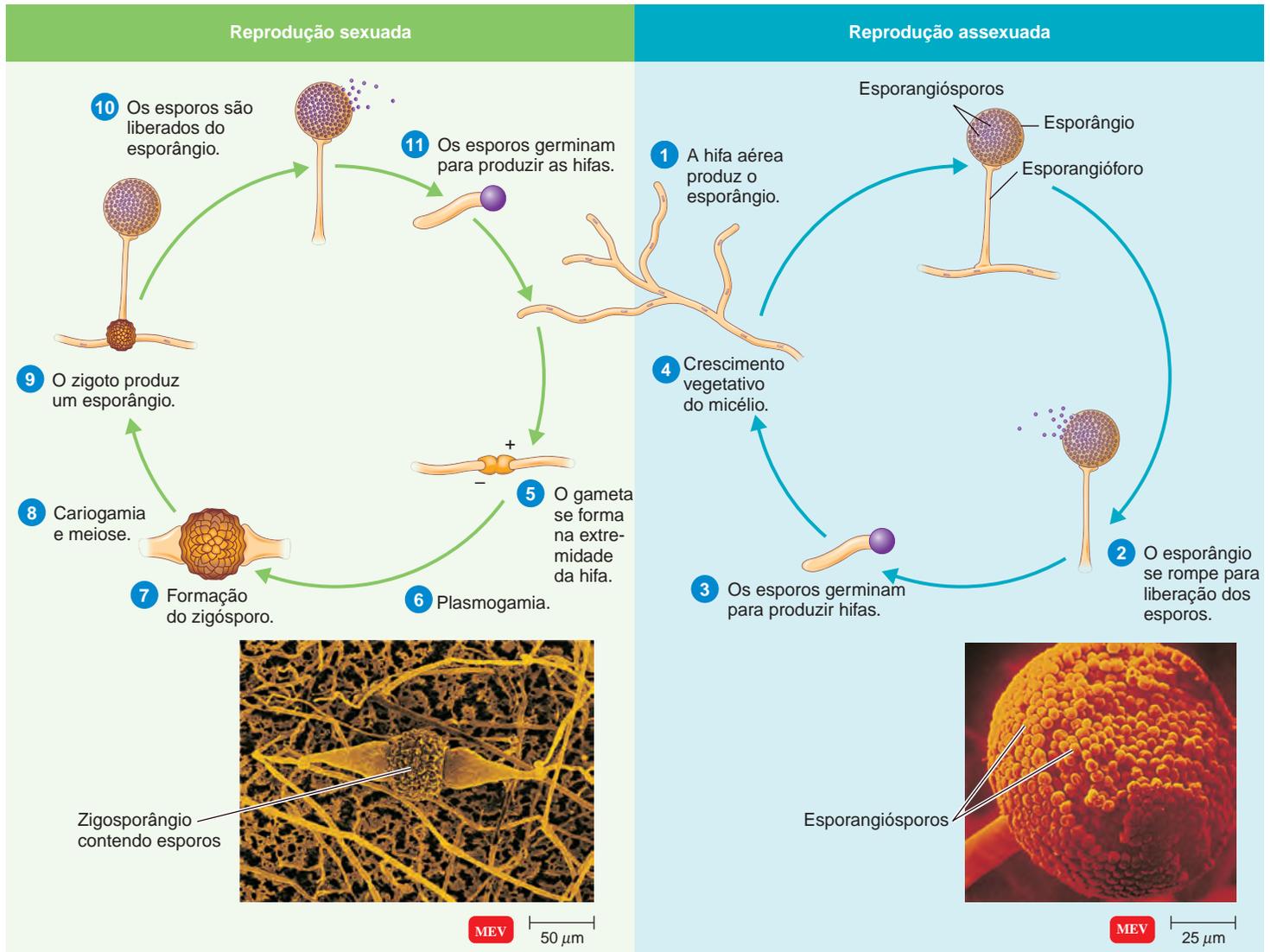


Figura 12.6 Ciclo de vida de *Rhizopus*, um zigomiceto. Este fungo, na maioria das vezes, reproduz-se assexuadamente. Duas linhagens opostas de cruzamento (designadas + e -) são necessárias para a reprodução sexuada.

P O que é uma micose oportunista?

poros são produzidos em uma estrutura em forma de saco conhecida como **asco** (Figura 12.7, parte superior, à esquerda). Os membros deste filo são chamados de “fungos de saco” por causa dos ascos.

Basidiomiceto

Os basidiomicetos também possuem hifas septadas. Esse filo inclui fungos que produzem cogumelos. Os **basidiósporos** são formados externamente em um pedestal conhecido como **basídio** (Figura 12.8). (O nome comum do fungo é derivado da forma de clava do basídio.) Existem normalmente quatro basidiósporos por basídio. Alguns dos basidiomicetos produzem conidiósporos assexuais.

Os fungos que apresentamos até agora são **teleomorfos**, isto é, eles produzem esporos sexuais e assexuais. Alguns ascomicetos perderam a capacidade de se reproduzir sexuadamente. Esses

fungos assexuais são chamados de **anamorfos**. *Penicillium* é um exemplo de um anamorfo que surgiu da mutação em um teleomorfo. Historicamente, os fungos cujo ciclo sexual ainda não havia sido observado eram colocados em uma “categoria de espera” denominada *Deuteromiceto*. Atualmente, os micologistas estão usando o sequenciamento de rRNA para classificar esses organismos. Muitos dos que foram previamente classificados como deuteromicetos são fases anamórficas dos ascomicetos, e alguns são basidiomicetos.

A Tabela 12.3 na página 338 lista alguns fungos que causam doenças em humanos. Dois nomes genéricos são dados para alguns fungos, porque fungos de importância médica que são conhecidos por seu estágio anamórfico ou assexuado frequentemente são citados por esse nome.

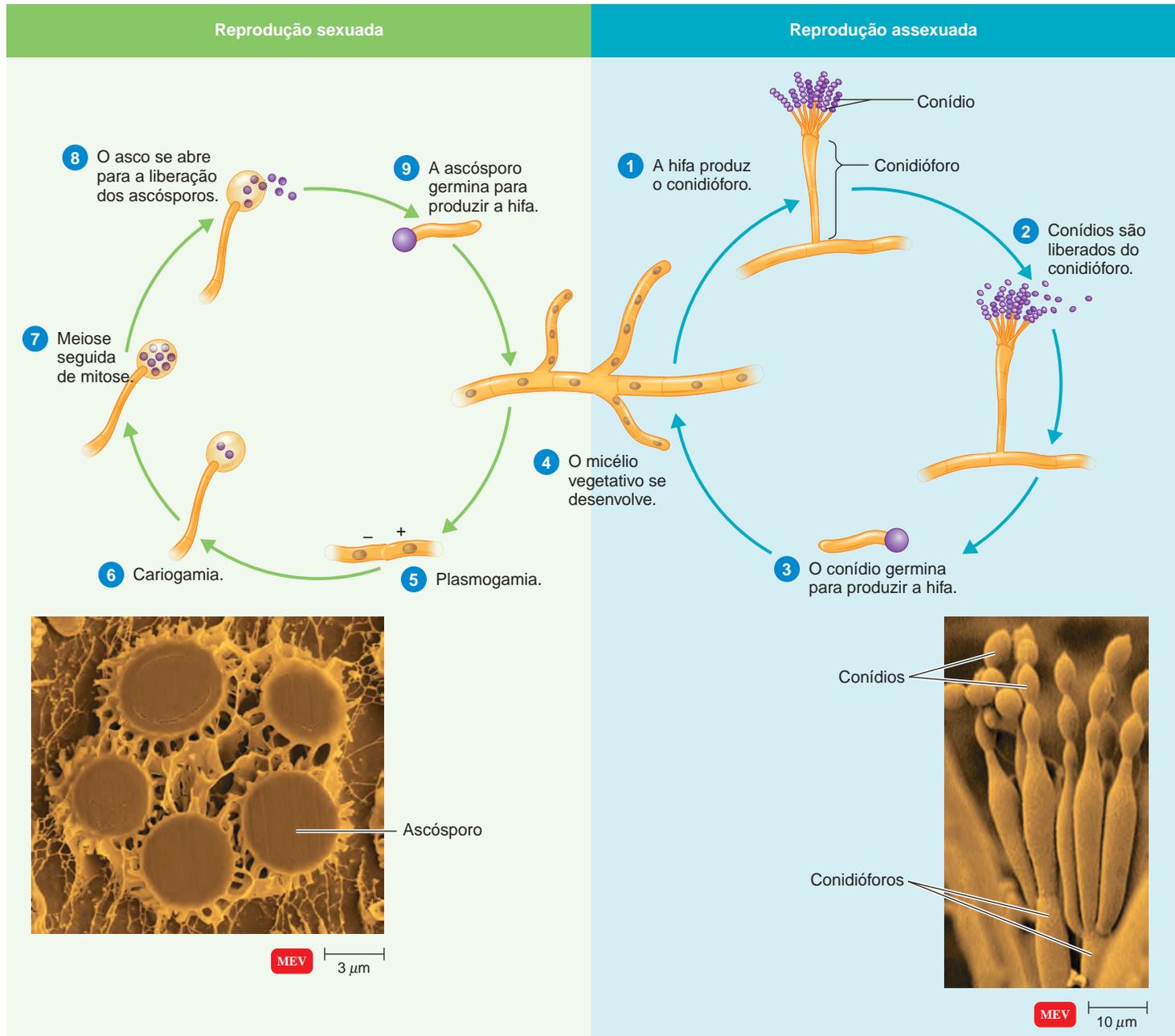


Figura 12.7 Ciclo de vida do *Talaromyces*, um ascomiceto. Ocasionalmente, quando duas células de cruzamento opostas de duas linhagens diferentes (+ e -) fundem-se, a reprodução sexual ocorre.

P Dê o nome de um ascomiceto que pode infectar o homem.

Doenças causadas por fungos

Qualquer infecção de origem fúngica é chamada de **micose**. As micoses geralmente são infecções crônicas (de longa duração) porque os fungos crescem lentamente. As micoses são classificadas em cinco grupos de acordo com o grau de envolvimento no tecido e o modo de entrada no hospedeiro: sistêmica, subcutânea, cutânea, superficial ou oportunista. No Capítulo 10, observamos que os fungos estão relacionados aos animais. Consequentemente, as drogas que

afetam as células fúngicas também podem afetar as células animais. Esse fato torna difícil o tratamento das infecções fúngicas em humanos e em outros animais.

Micoses sistêmicas são infecções fúngicas profundas no interior do corpo. Não são restritas a nenhuma região particular, mas podem afetar vários tecidos e órgãos. As micoses sistêmicas normalmente são causadas por fungos que vivem no solo. A inalação dos esporos é a rota da transmissão; essas infecções em geral se ini-

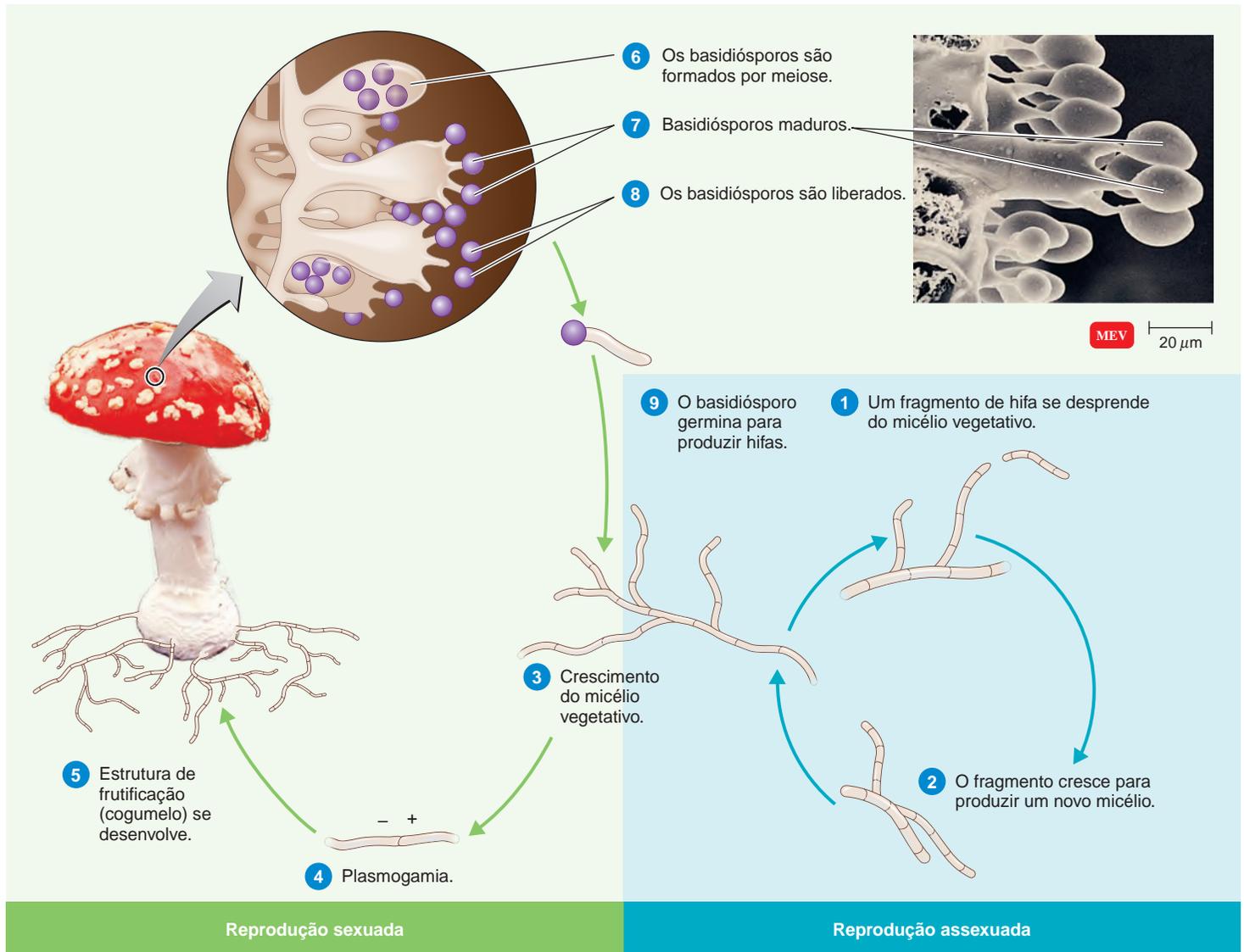


Figura 12.8 Ciclo de vida genérico de um basidiomiceto. Os cogumelos surgem após fusão de células originadas de duas linhagens de cruzamento opostas (+ e -).

P Qual a base da classificação dos fungos em filos?

ciam nos pulmões e se difundem para outros tecidos do corpo. Elas não são contagiosas entre animais e humanos ou entre indivíduos. Duas micoses sistêmicas, histoplasmoze e coccidioidomicose, serão discutidas no Capítulo 24.

Micoses subcutâneas são infecções fúngicas localizadas abaixo da pele causadas por fungos saprofíticos que vivem no solo e na vegetação. A esporotricose é uma infecção subcutânea adquirida por jardineiros e fazendeiros (Capítulo 21, página 601). A infecção ocorre por implantação direta dos esporos ou de fragmentos de micélio em uma perfuração na pele.

Os fungos que infectam apenas a epiderme, o cabelo e as unhas são chamados de **dermatófitos**, e suas infecções são chamadas de **dermatomicoses** ou **micoses cutâneas** (veja a Figura 21.16, página 600). Os dermatófitos secretam queratinase, uma enzima que degrada a **queratina**, uma proteína encontrada no cabelo, na pele e

nas unhas. A infecção é transmitida entre humanos ou entre animal e humanos por contato direto ou contato com fios e células epidérmicas infectadas (como tesoura de cabeleireiro ou pisos de banheiros).

Os fungos que causam as **micoses superficiais** estão localizados ao longo dos fios de cabelos e em células epidérmicas superficiais. Essas infecções são prevalentes em climas tropicais.

Um **patógeno oportunista** geralmente é inofensivo em seu habitat normal, mas pode se tornar patogênico em um hospedeiro que se encontra debilitado ou traumatizado; indivíduos sob tratamento com antibióticos de amplo espectro; indivíduos cujo sistema imune esteja suprimido por drogas ou por distúrbios, ou aqueles que tenham alguma doença pulmonar.

Pneumocystis é um patógeno oportunista encontrado em indivíduos com o sistema imune comprometido e é a infecção

Tabela 12.3 Características de alguns fungos patogênicos							
Filo	Características de crescimento	Tipos de esporos assexuais	Patógenos humanos	Habitat	Tipo de micose	Observações clínicas	Referência da página
Zigomiceto	Hifa não septada	Esporangiósporos	<i>Rhizopus</i>	Ubíquo	Sistêmica	Patógeno oportunista	697
			<i>Mucor</i>	Ubíquo	Sistêmica	Patógeno oportunista	698
Ascomiceto	Dimórfico	Conídios	<i>Aspergillus</i>	Ubíquo	Sistêmica	Patógeno oportunista	697
			<i>Blastomyces* dermatitidis</i> (<i>Ajellomyces</i> [†])	Desconhecido	Sistêmica	Inalação	697
			<i>Histoplasma* capsulatum</i> (<i>Ajellomyces</i> [†])	Solo	Sistêmica	Inalação	695
	Hifa septada, grande afinidade por queratina	Conídios	<i>Microsporum</i>	Solo, animais	Cutânea	<i>Tinea capitis</i> (tinha de cabeça)	600
Artroconídios			<i>Trichophyton*</i> (<i>Arthroderma</i> [†])	Solo, animais	Cutânea	<i>Tinea pedis</i> (pé-de-atleta)	600
Anamórficos	Hifa septada	Conídios	<i>Epidermophyton</i>	Solo, animais	Cutânea	<i>Tinea cruris</i> (tinha crural) <i>Tinea unguium</i> (tinha de unhas)	600
			<i>Sporothrix schenckii</i> , <i>Stachybotrys</i>	Solo	Subcutânea	Ferimento por perfuração	601
	Dimórfico	Artroconídios	<i>Coccidioides immitis</i>	Solo	Sistêmica	Inalação	696
		Clamidoconídios	<i>Candida albicans</i>	Microbiota normal humana	Cutânea, sistêmica, mucocutânea	Patógeno oportunista	601
		Nenhum	<i>Pneumocystis</i>	Ubíquo	Sistêmica	Patógeno oportunista	697
Basidiomiceto	Hifa septada; inclui as ferrugens e os patógenos de plantas; células leveduriformes encapsuladas	Conídios	<i>Cryptococcus neoformans*</i> (<i>Filobasidiella</i> [†])	Solo, fezes de aves	Sistêmica	Inalação	626
			<i>Malassezia</i>	Pele humana	Cutânea	Caspa, dermatite	586

* Nome do anamorfo.

† Nome do teleomorfo.

mais frequente em pacientes com Aids, podendo ser fatal (veja a Figura 24.20, página 698). Foi primeiramente classificado como protozoário, mas estudos recentes de seu RNA indicaram que se trata de um fungo unicelular anamorfo. Outro exemplo de patógeno oportunista é o fungo *Stachybotrys*, que normalmente cresce na celulose encontrada em plantas mortas, mas que recentemente foi encontrado nas paredes de casas prejudicadas pela umidade.

A mucormicose é uma micose oportunista causada por *Rhizopus* e *Mucor*; a infecção ocorre principalmente em pacien-

tes com diabetes melito, leucemia, ou sob tratamento com drogas imunossupressoras. A aspergilose também é uma micose oportunista causada por *Aspergillus* (veja a Figura 12.2). Essa doença ocorre em indivíduos que estão debilitados devido a doenças nos pulmões ou ao câncer e que tenham inalado esporos de *Aspergillus*.

Infecções oportunistas causadas por *Cryptococcus* e *Penicillium* podem ser fatais para pacientes com Aids. Esses fungos oportunistas podem ser transmitidos de um indivíduo para outro que não esteja infectado, mas geralmente não infectam indivíduos imuno-

competentes. As **infecções por leveduras**, ou candidíases, frequentemente são causadas por *Candida albicans* e podem ocorrer como candidíase vulvovaginal ou como “sapinho”, uma candidíase mucocutânea. A candidíase com frequência ocorre em recém-nascidos, pacientes com Aids e indivíduos em tratamento com antibióticos de amplo espectro (veja a Figura 21.17, página 601).

Alguns fungos podem causar doenças por meio da produção de toxinas. Essas toxinas serão discutidas no Capítulo 15.

Efeitos econômicos dos fungos

Os fungos têm sido utilizados na biotecnologia 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 na produção de pão e vinho. Ela também é geneticamente modificada para produzir várias proteínas, incluindo a vacina para a hepatite B. *Trichoderma* é utilizado comercialmente para a produção da enzima celulase, que é aplicada na remoção da parede celular de plantas para a produção de sucos de frutas melhores. Quando a droga antitumoral taxol, que é produzida por teixos, foi descoberta, houve a preocupação de que as florestas da costa nordeste dos Estados Unidos pudessem ser dizimadas para obtenção da droga. Entretanto, o fungo *Taxomyces* também produz taxol.

Os fungos são utilizados para o controle biológico de pragas. Em 1990, o fungo *Entomophaga* se proliferou de maneira inesperada e eliminou as mariposas que estavam destruindo árvores no nordeste dos Estados Unidos. Os cientistas estão investigando o uso de vários fungos para o controle de pragas:

- *Metarrhizium* cresce em raízes de plantas, e gorgulhos morrem após se alimentarem das raízes.
- Um fungo que foi primeiramente encontrado associado a insetos que se alimentavam de beringelas no Texas, Estados Unidos, pode se tornar um novo agente de controle biológico para a praga conhecida como “moscas brancas”, que ocasiona grandes prejuízos para a agricultura. O fungo *Coniothyrium minutans* se alimenta de fungos que destroem culturas de soja e de feijão.
- Uma espuma com *Paecilomyces fumosoroseus* tem sido usada como alternativa biológica a produtos químicos para matar cupins que permanecem escondidos no interior de troncos de árvores e em outros locais difíceis de serem alcançados.

Em contraste a esses efeitos benéficos, os fungos podem ter efeitos indesejáveis para a agricultura devido às suas adaptações nutricionais. Como observado pela maioria de nós, os fungos que estragam frutas, grãos e vegetais são relativamente comuns, mas estragos causados por bactérias em tais alimentos não são. Existe pouca umidade nas superfícies intactas desses alimentos, e o interior das frutas é muito ácido para a maioria das bactérias se desenvolver. As geleias também tendem a ser ácidas e possuem alta pressão osmótica devido ao açúcar que contêm. Todos esses fatores desfavorecem o crescimento bacteriano, mas permitem o crescimento de fungos. Uma camada de parafina no topo do frasco de uma geleia caseira ajuda a impedir o crescimento de fungos, pois eles são em sua maioria aeróbicos, e a camada de parafina evita a entrada de oxigênio. Todavia, carne fresca e determinados alimentos são excelentes substratos para o crescimento de bactérias; elas

crescem de uma maneira tal que impedem que os fungos se desenvolvam.

A castanheira, sobre a qual Longfellow escreveu, já não mais se propaga pelos Estados Unidos, com exceção de algumas pequenas localidades isoladas; uma ferrugem causada por um fungo matou todas as árvores. Essa ferrugem foi causada pelo ascomiceto *Cryphonectria parasitica*, trazido da China por volta de 1904. O fungo permite o desenvolvimento das raízes e o surgimento regular dos brotos, no entanto os mata com a mesma frequência. Castanheiras resistentes ao *Cryphonectria* estão sendo desenvolvidas. Outro fungo introduzido que causa doenças em plantas é o da doença do olmo holandês, causada por *Ceratocystis ulmi*. Carregado de árvore em árvore por um besouro que vive nas cascas das árvores, o fungo bloqueia a circulação de seiva. Essa doença tem devastado a população de olmos dos Estados Unidos.

TESTE SEU CONHECIMENTO

- ✓ Liste os esporos assexuais e sexuais produzidos pelos Zigomicetos, Ascomicetos e Basidiomicetos. **12-3**
- ✓ As leveduras são benéficas ou prejudiciais? **12-4**

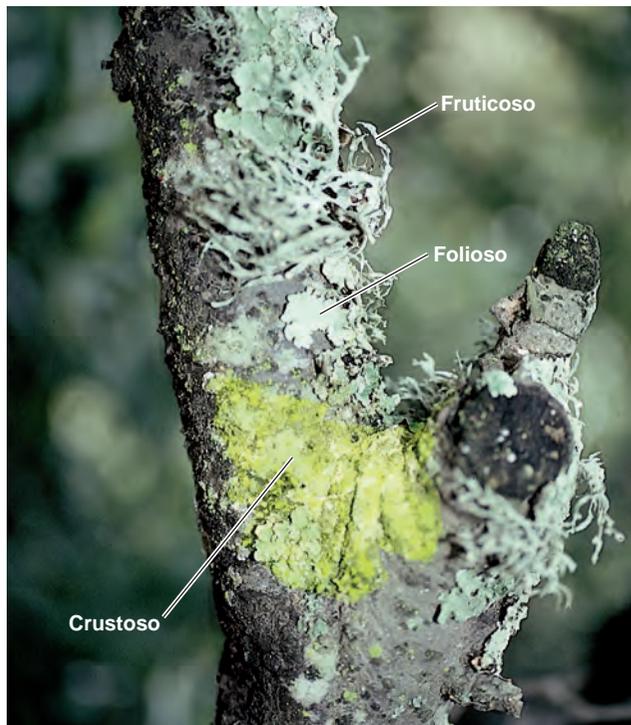
Líquens

OBJETIVOS DO APRENDIZADO

- 12-5** Listar as características que definem os líquens e descrever suas necessidades nutricionais.
- 12-6** Descrever o papel dos fungos e das algas em um líquen.

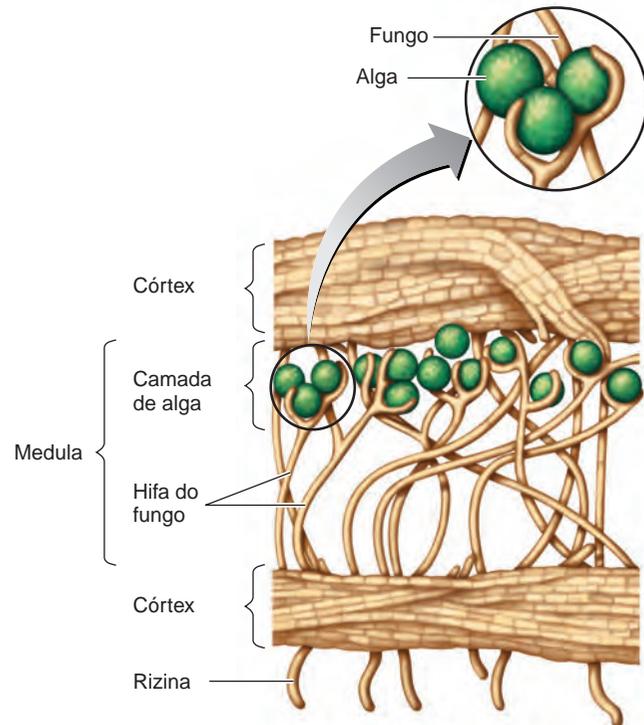
Um **líquen** é uma combinação de uma alga verde (ou cianobactéria) com um fungo. Os líquens fazem parte do Reino *Fungi* e são classificados de acordo com seu parceiro fungo, a maioria das vezes um ascomiceto. Esses dois organismos convivem em uma relação *mutualística*, em que ambos se beneficiam. Os líquens são muito diferentes tanto das algas quanto dos fungos quando ambos crescem separadamente, e se as partes são separadas, o líquen deixa de existir. Cerca de 13.500 espécies de líquens ocupam habitats bastante diversos. Por poderem habitar áreas onde nem os fungos nem as algas poderiam sobreviver sozinhos, os líquens são, frequentemente, a primeira forma de vida a colonizar solos ou pedras recentemente expostos. Os líquens secretam ácidos orgânicos que quimicamente desgastam as rochas, e eles acumulam nutrientes necessários para o crescimento das plantas. Também encontrados em árvores, estruturas de concreto e telhados, os líquens são organismos que crescem de forma extremamente lenta.

Os líquens podem ser agrupados em três categorias morfológicas (**Figura 12.9a**). Os *líquens crustosos* crescem encrustados no substrato, os *líquens foliosos* são mais parecidos com folhas, e os *líquens fruticosos* possuem projeções semelhantes a dedos. O talo de um líquen, ou corpo, se forma quando a hifa do fungo cresce ao redor das células da alga para se tornar a **medula** (**Figura 12.9b**). A hifa do fungo projeta-se abaixo do corpo do líquen para formar **rizinas**, ou estruturas de fixação. A hifa do fungo também forma o **córtex**, ou capa protetora, em cima da camada de algas e às vezes abaixo dela. Após a incorporação como um talo de líquen, a alga continua seu crescimento, e a hifa em crescimento pode incorporar novas células de algas.



(a) Os três tipos de líquens

2 cm



(b) Talo do líquen

Figura 12.9 **Líquens.** A medula do líquen é composta por hifas do fungo rodeando a camada de alga. O córtex protetor é uma camada de hifas do fungo que cobre a superfície e, algumas vezes, a base do líquen.

P Em quais circunstâncias os líquens são únicos?

Quando a alga é cultivada separadamente *in vitro*, cerca de 1% dos carboidratos produzidos durante a fotossíntese é liberado no meio de cultura; entretanto, quando a alga está associada ao fungo, a membrana plasmática da alga é mais permeável, e mais de 60% dos produtos da fotossíntese são liberados para o fungo ou são encontrados como produtos finais do metabolismo dos fungos. Os fungos claramente se beneficiam dessa associação. A alga, enquanto fornece valiosos nutrientes, é recompensada; recebe do fungo tanto proteção contra dessecação (córTEX) quanto facilidade para fixação (rizinas).

Os líquens possuíam considerável importância econômica na Grécia antiga e em outras partes da Europa como corantes de roupas. O ácido úsnico da *Usnea* é utilizado como um agente antimicrobiano na China. Eritrolitmina, um corante utilizado em papéis indicadores de mudanças no pH, é extraído de diversos líquens. Alguns líquens ou seus ácidos podem causar dermatite de contato alérgica em humanos.

Populações de líquens prontamente incorporam cátions (íons com carga positiva) em seus talos. Desta forma, a concentração e os tipos de cátions presentes na atmosfera podem ser determinados por análise química do talo dos líquens. Além disso, a presença ou ausência de espécies que são sensíveis a poluentes pode ser utilizada para verificar a qualidade do ar. Em 1985, um estudo no vale Cuyahoga, em Ohio, nos Estados Unidos, mostrou que 81% das

172 espécies de líquens que existiam em 1917 haviam desaparecido. Como essa área estava severamente afetada pela poluição do ar, foi inferido que os poluentes do ar, principalmente o dióxido de enxofre (o maior contribuinte para a chuva ácida), causaram a morte das espécies sensíveis.

Os líquens são o principal alimento para os herbívoros das tundras, como o caribu e as renas. Após o desastre nuclear de 1986 em Chernobyl, 70 mil renas em Lapland que haviam sido criadas para alimentação tiveram que ser sacrificadas devido aos altos níveis de radiação. Os líquens dos quais as renas se alimentaram haviam absorvido céσιο-137 radiativo, espalhado pelo ar.

TESTE SEU CONHECIMENTO

- ✓ Qual é o papel dos líquens na natureza? **12-5**
- ✓ Qual é o papel dos fungos em um líquen? **12-6**

Algas

OBJETIVOS DO APRENDIZADO

- 12-7** Listar as características que definem as algas.
- 12-8** Listar as características marcantes dos cinco filos de algas discutidos neste capítulo.
- 12-9** Identificar dois efeitos benéficos e dois prejudiciais das algas.