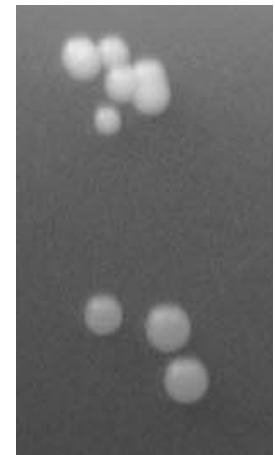


Morfologia e Taxonomia dos Fungos

Fungos: ~100.000 espécies descritas

Morfologia Macroscópica



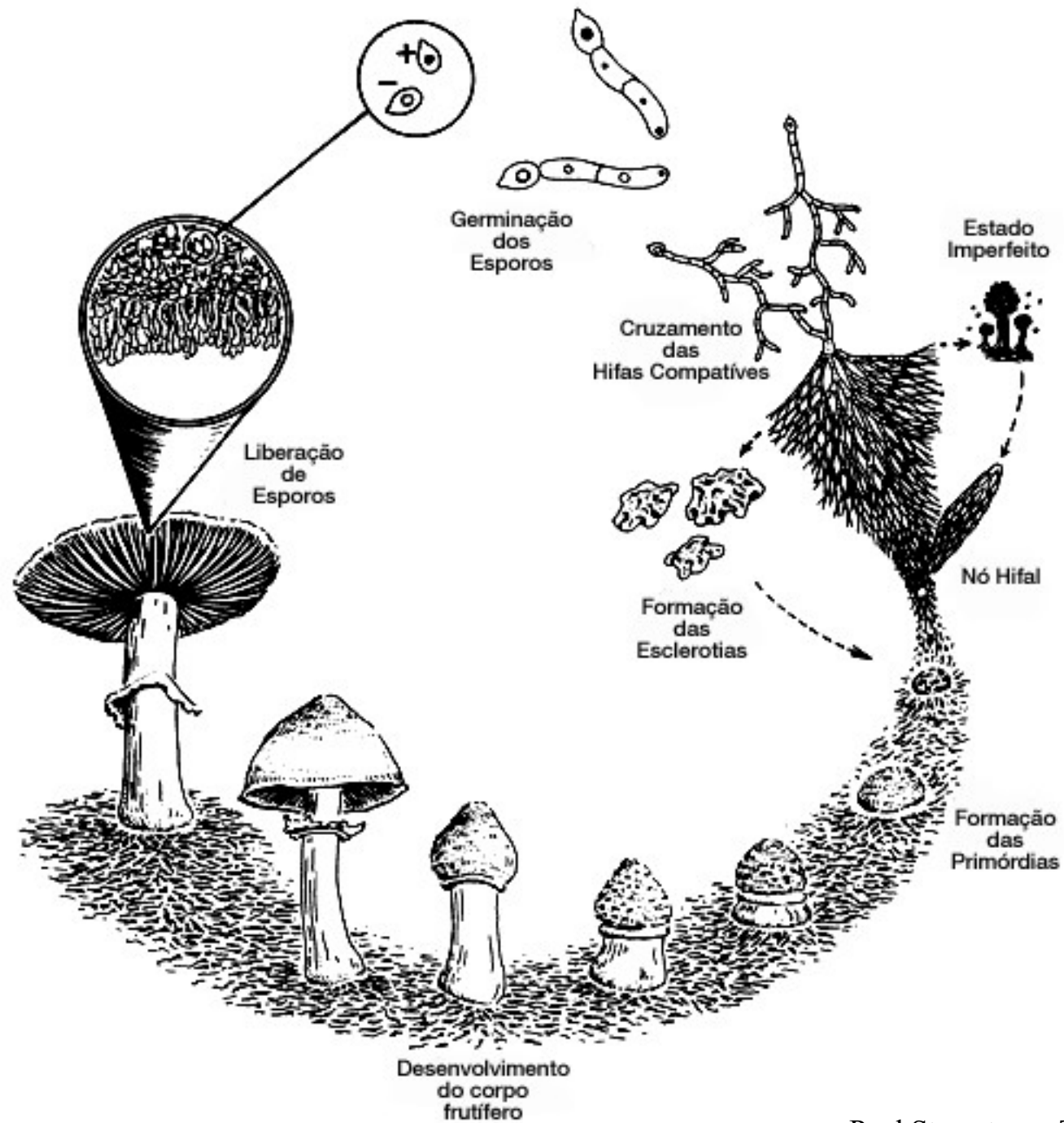
Segundo os Tipos Básicos:

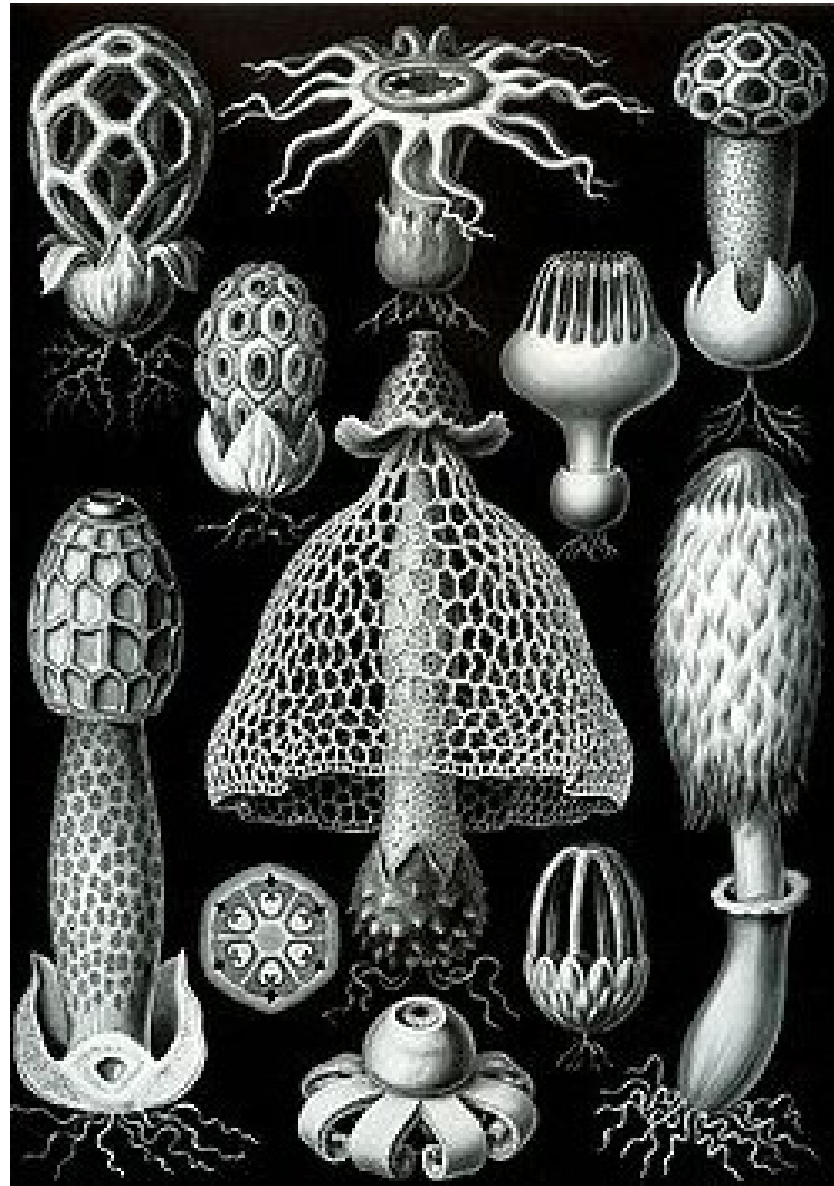
Macroscópicos → Cogumelos



Microscópios { **Bolores** – formam colônias filamentosas
Leveduras – colônias cremosas







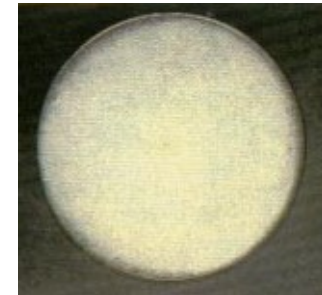
Basidiomicetes da obra *Kunstformen der Natur* de Ernst Haeckel, 1904

Morfologia Macroscópica de colônias cultivadas.

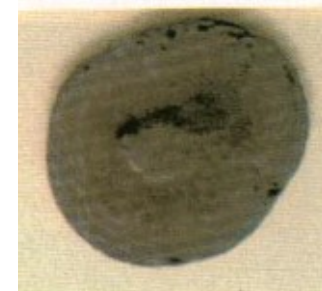
Textura

Altura das
hifas aéreas

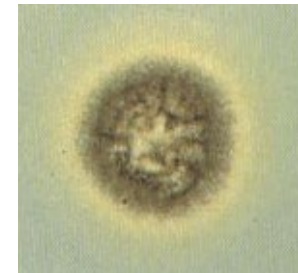
Algodonosa – micélio aéreo alto e denso



Aveludada – micélio aéreo baixo



Granular – planas e “esfarelentas”



Glabra – sem micélio aéreo – normalmente formado por leveduras



Topografia da colônia

Rugosa – sulcos profundos a partir do centro



Umbilicada – elevação central



Verrucosa – superfície franzida e retorcida



Cor – diferenciação de espécies do gênero
Candida

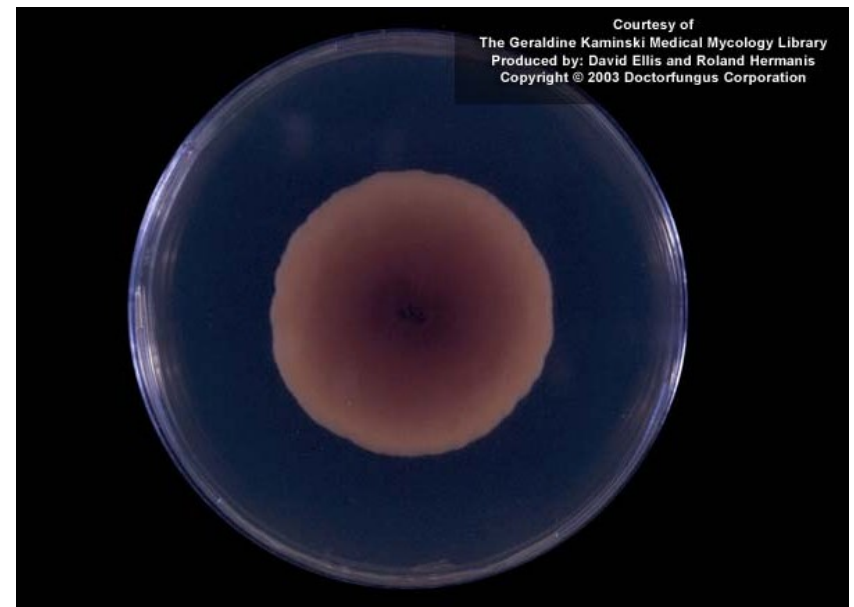
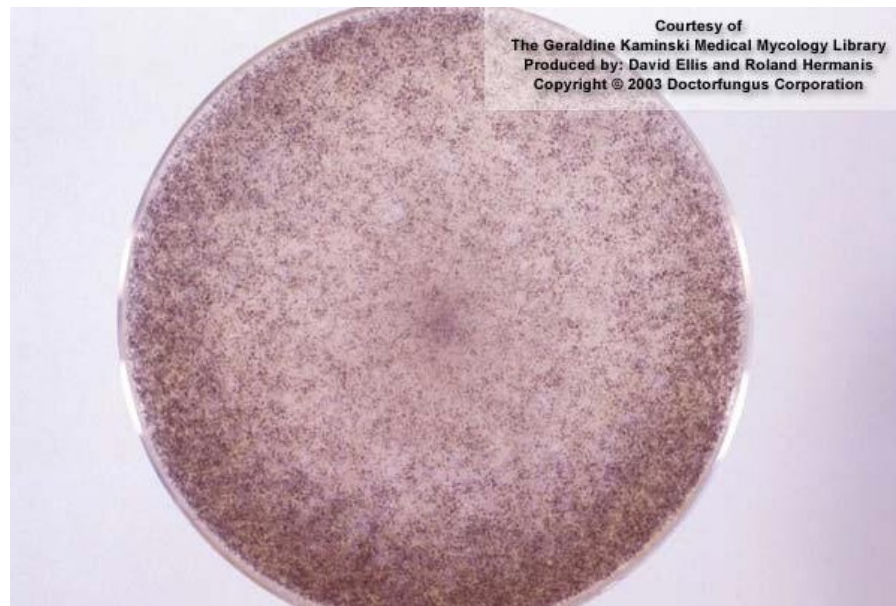


Caracterização da Morfologia quanto a Velocidade de crescimento:

Rápido

Moderado

Lento

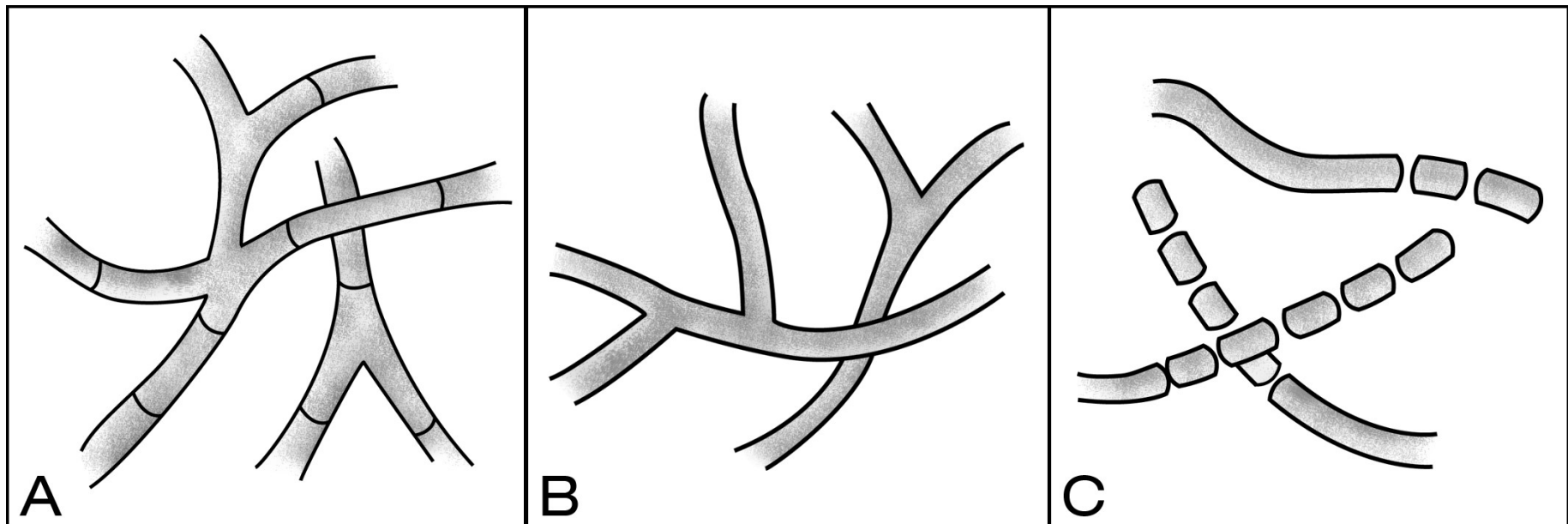


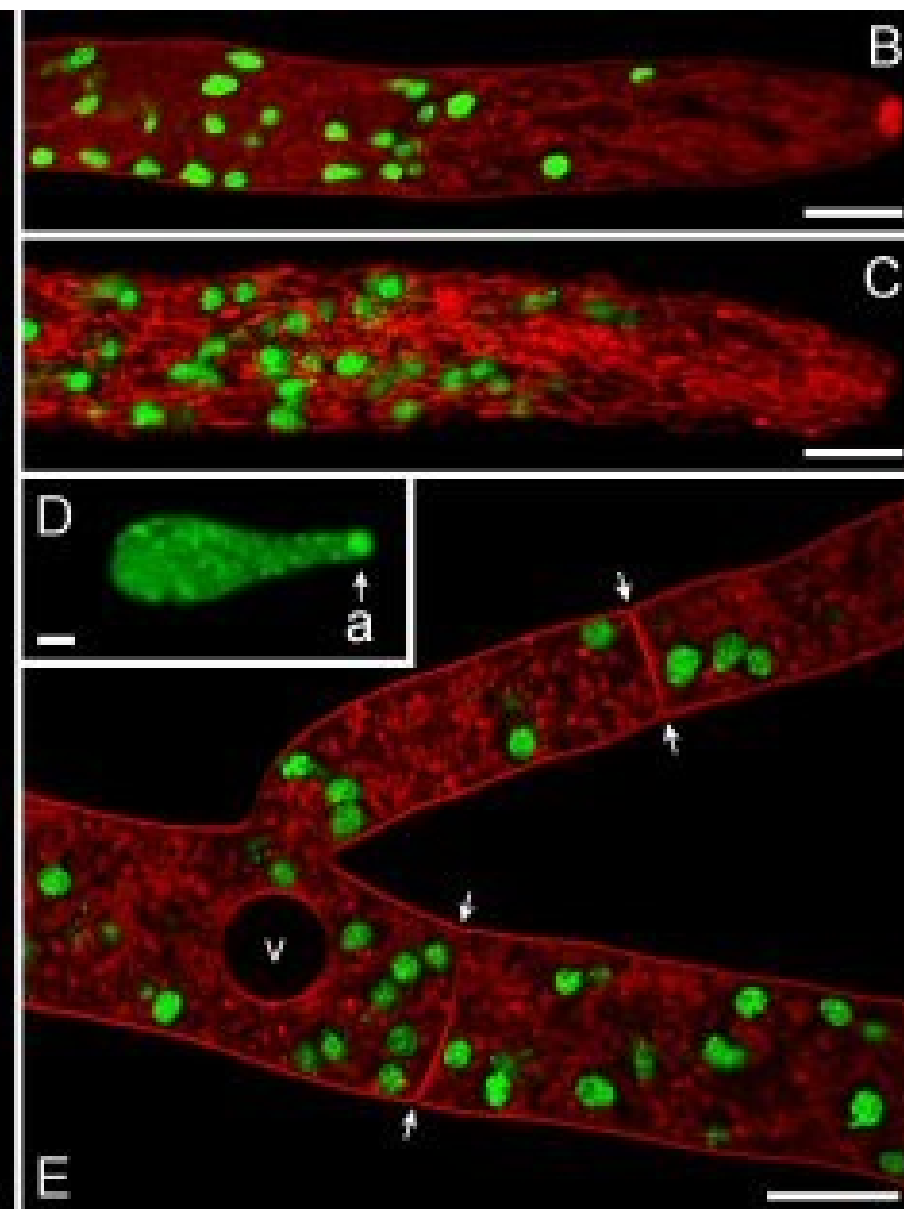
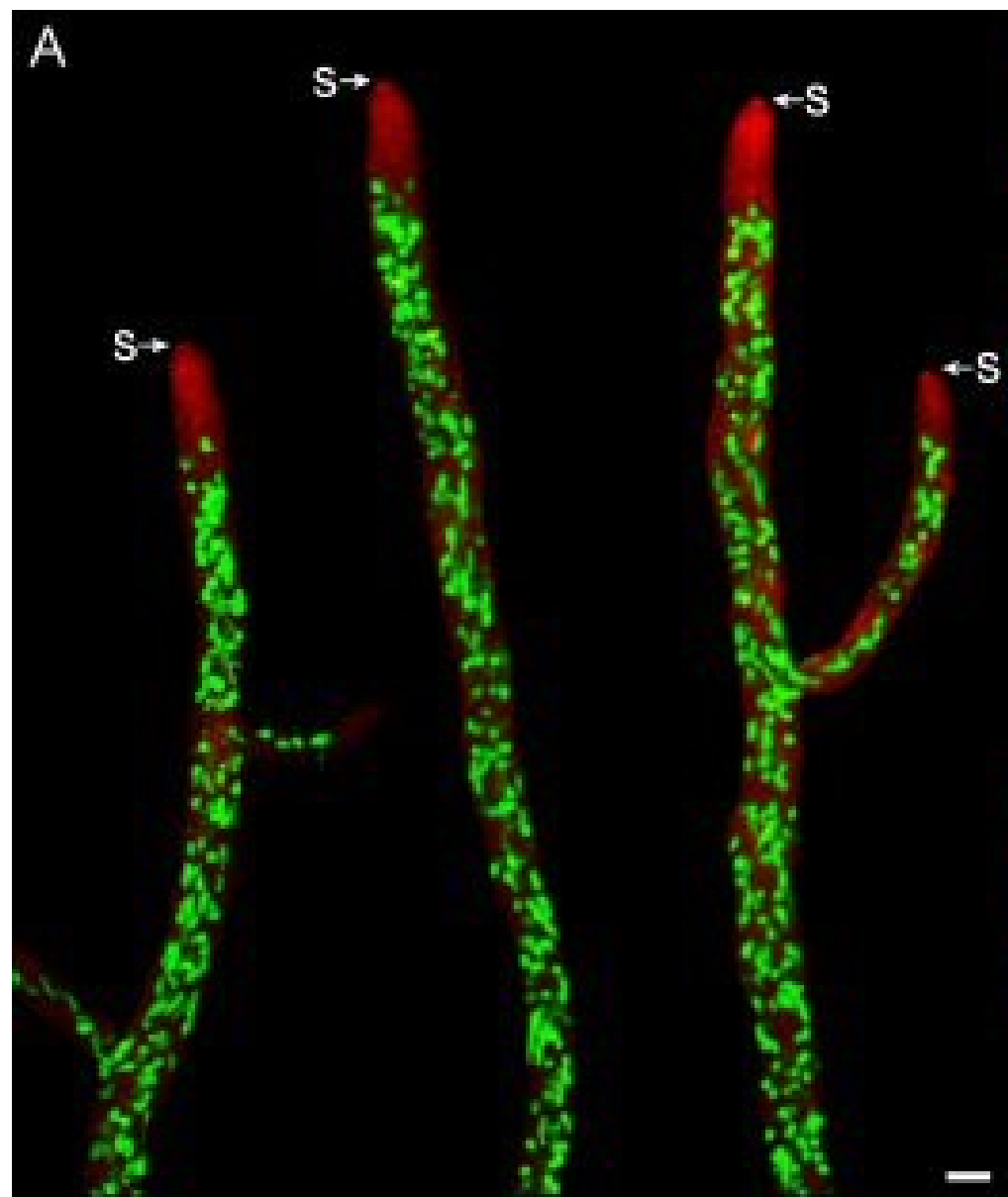
Rhizopus sp apresenta crescimento rápido, enquanto *Histoplasma capsulatum* é lento

Morfologia Microscópica

Os **Bolores** são formados por seu conjunto de **hifas**, também conhecido por **Micélio**.

O micélio cumpre tanto papel vegetativo (a e b) como reprodutivo (c)





Morfologia Microscópica

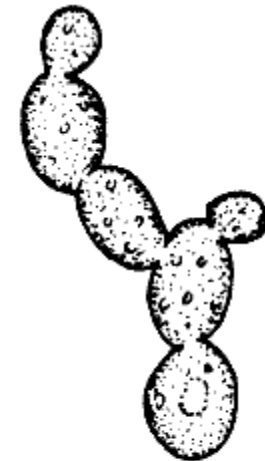
Bolores – micélio pluricelular



Leveduras – unicelulares

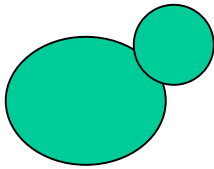
Pseudofilamentoso

broto

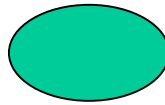


Pseudo-hifa

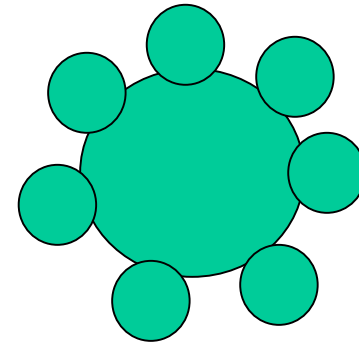
Morfologia microscópica de algumas leveduras:



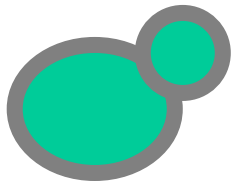
Brotamento
simples: *Candida*,
Saccharomyces



Ovóide:
Sporothrix
schenkii



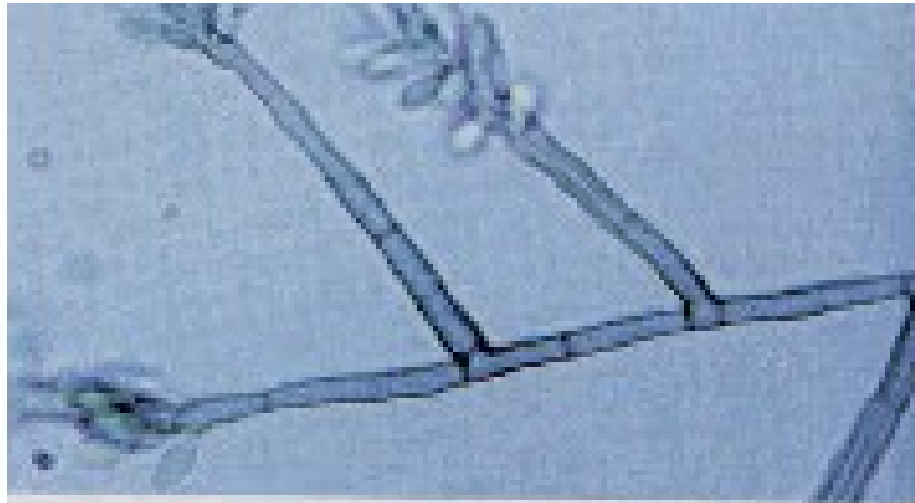
Multibrotamento:
Paracoccidioides brasiliensis



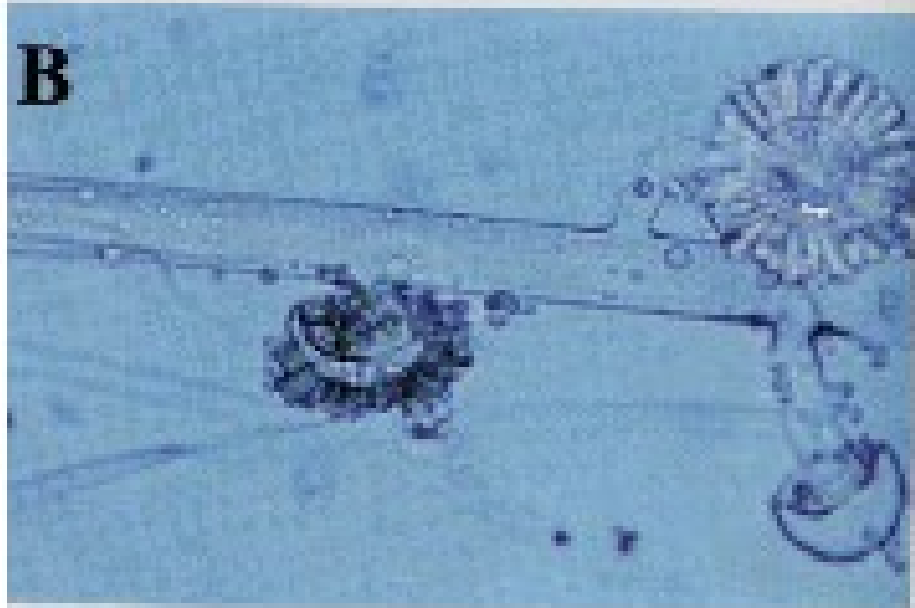
Encapsulada:
Cryptococcus spp

As Hifas apresentam, ou não, septos:

Hifas Septadas



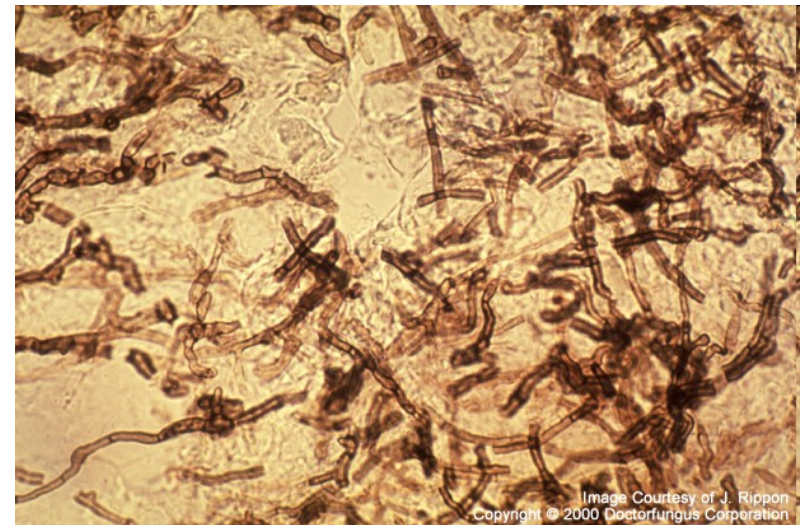
Hifas Asseptadas



Quanto ao aspecto de cor as hifas podem apresentar-se:
Claras ou hialinas
Escuras ou demácias (acúmulo de melanina)



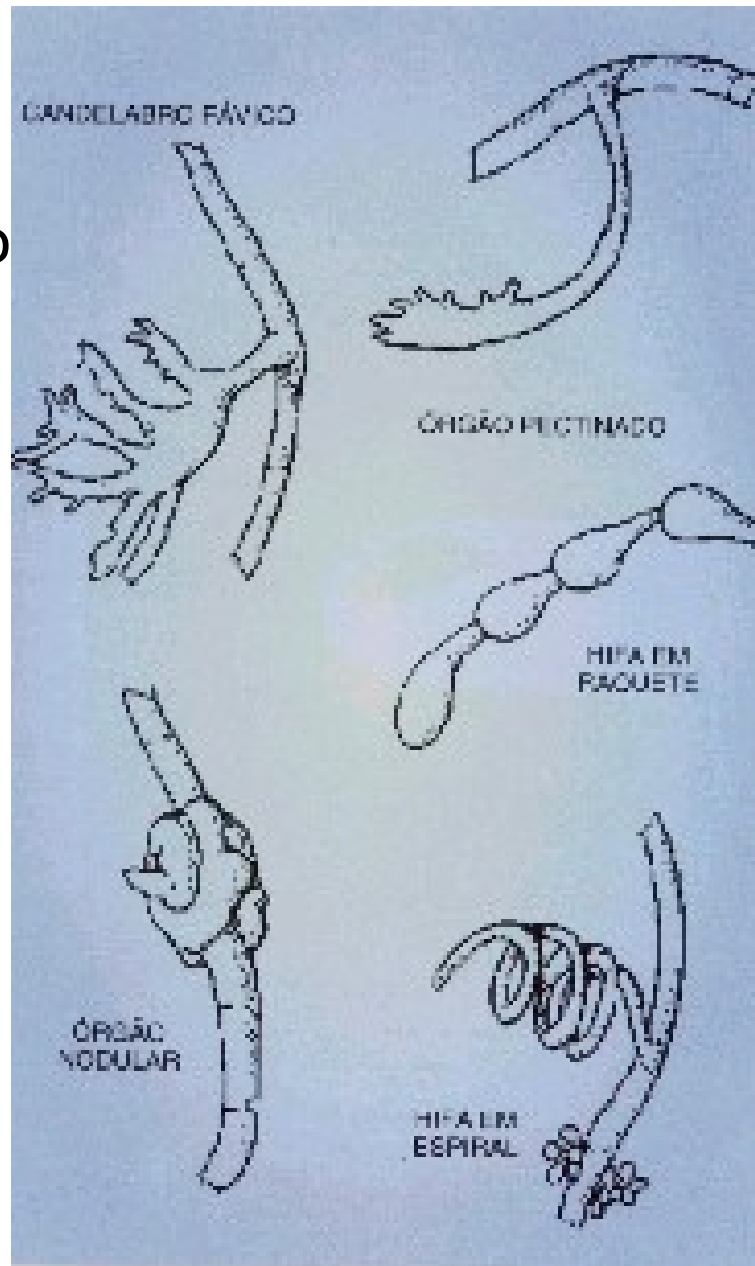
Aspergillus nidulans



Scytalidium dimidiatum

Algumas Hifas apresentam especializações morfológicas distintas

Candelabro Favoso



Orgão Pectinado

Em Raquete

Orgão Nodular

Hifa em Espiral

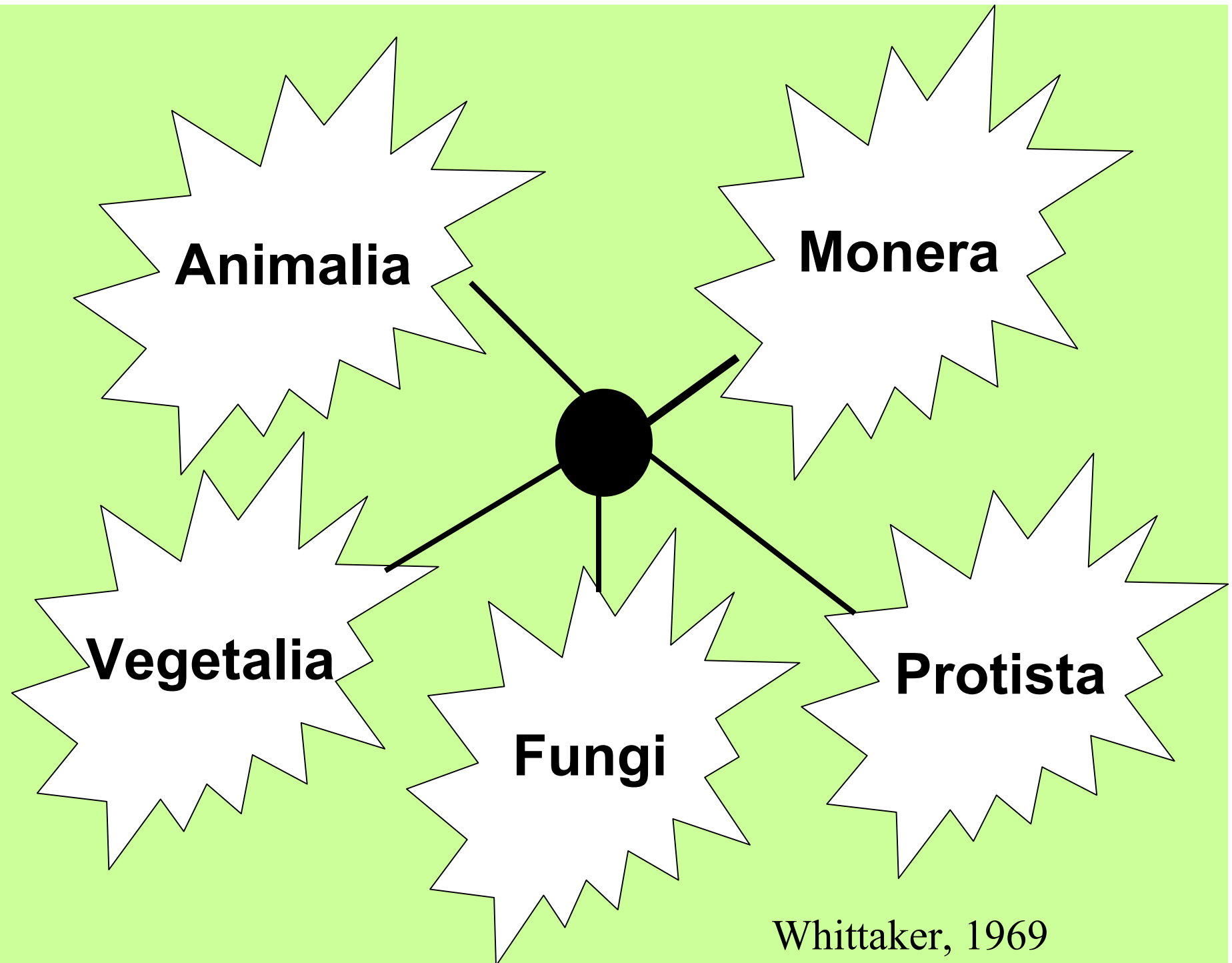
Taxonomia



Reino Fungi – Monofilético

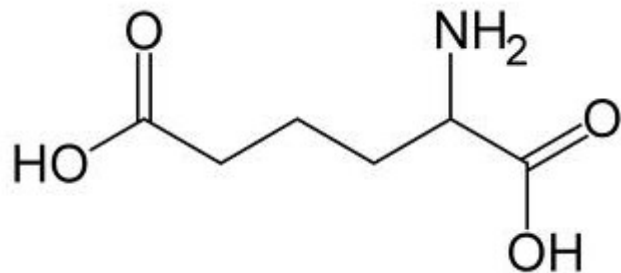
Eumicetos – Fungos verdadeiros

O termo “fungo” se refere historicamente a muitos organismos com características semelhante aos fungos verdadeiros (ex. Crescimento filamentoso), como bactérias (actinomicetos) , Oomicetos, protistas, algas ...

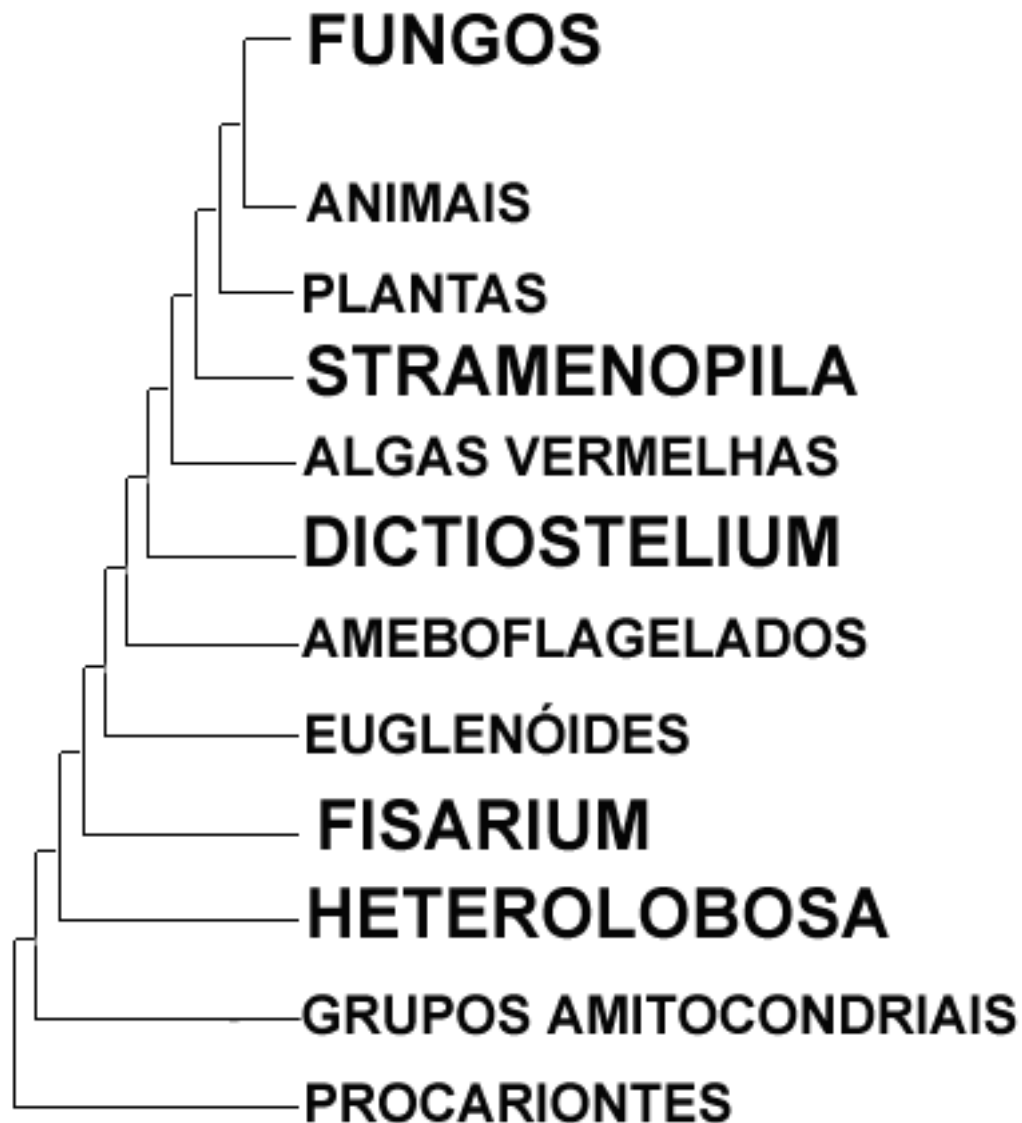


Whittaker, 1969

A via biossintética de aminoácidos a partir do ácido aminoadípico e presença de parede celular com quitina e β -glucanos definem monofileticamente os eumicetos.



ácido aminoadípico



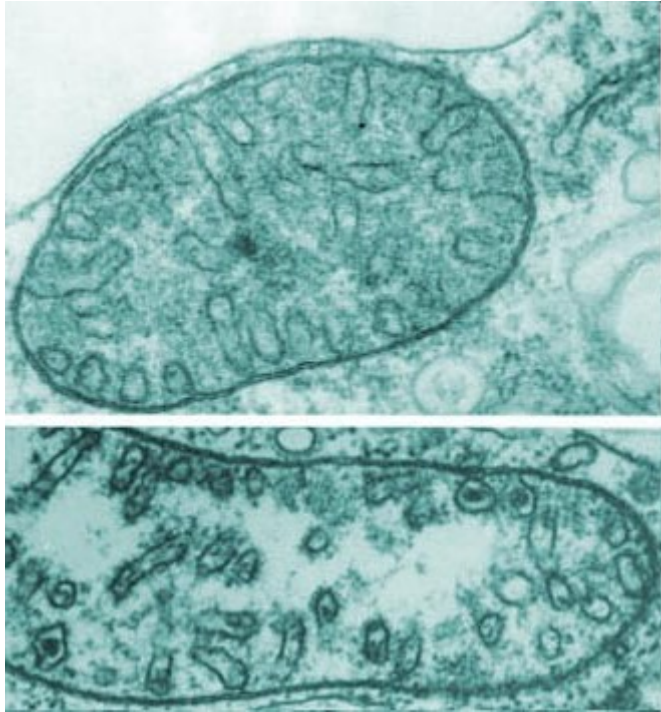
Árvore filogenética baseada sequência rDNA – Alexopoulos et al.1996 –
Introductory Mycology

Filogenias baseadas em:

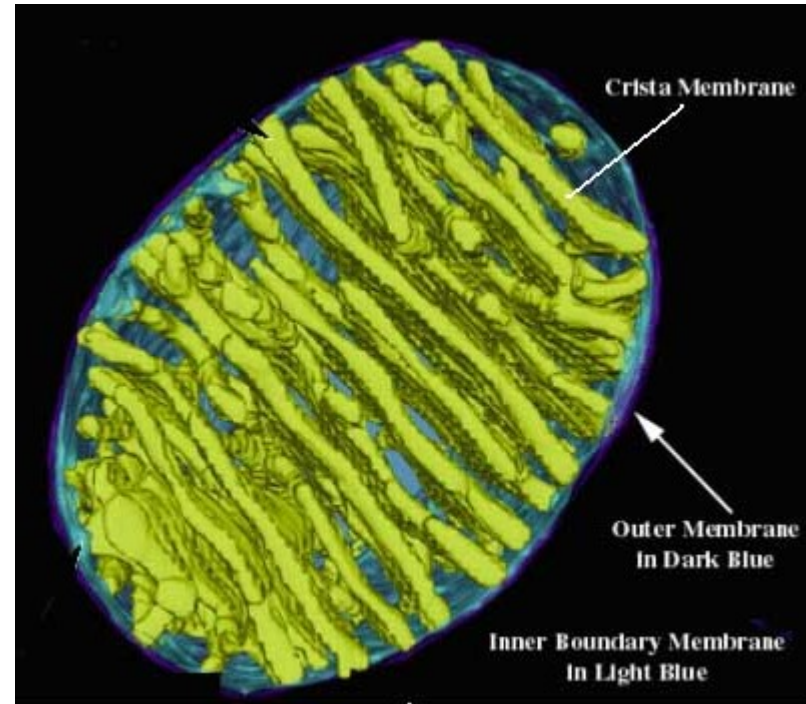
Estruturas celulares: morfologia cristas mitocondriais, parede com quitina, presença e forma de flagelos, presença de centríolos, formação microtúbulos, septação.

Bioquímica e vias metabólicas: armazenamento de glicogênio, síntese de lisina via ácido aminoadiapico (AAA), código genético mitocondrial.

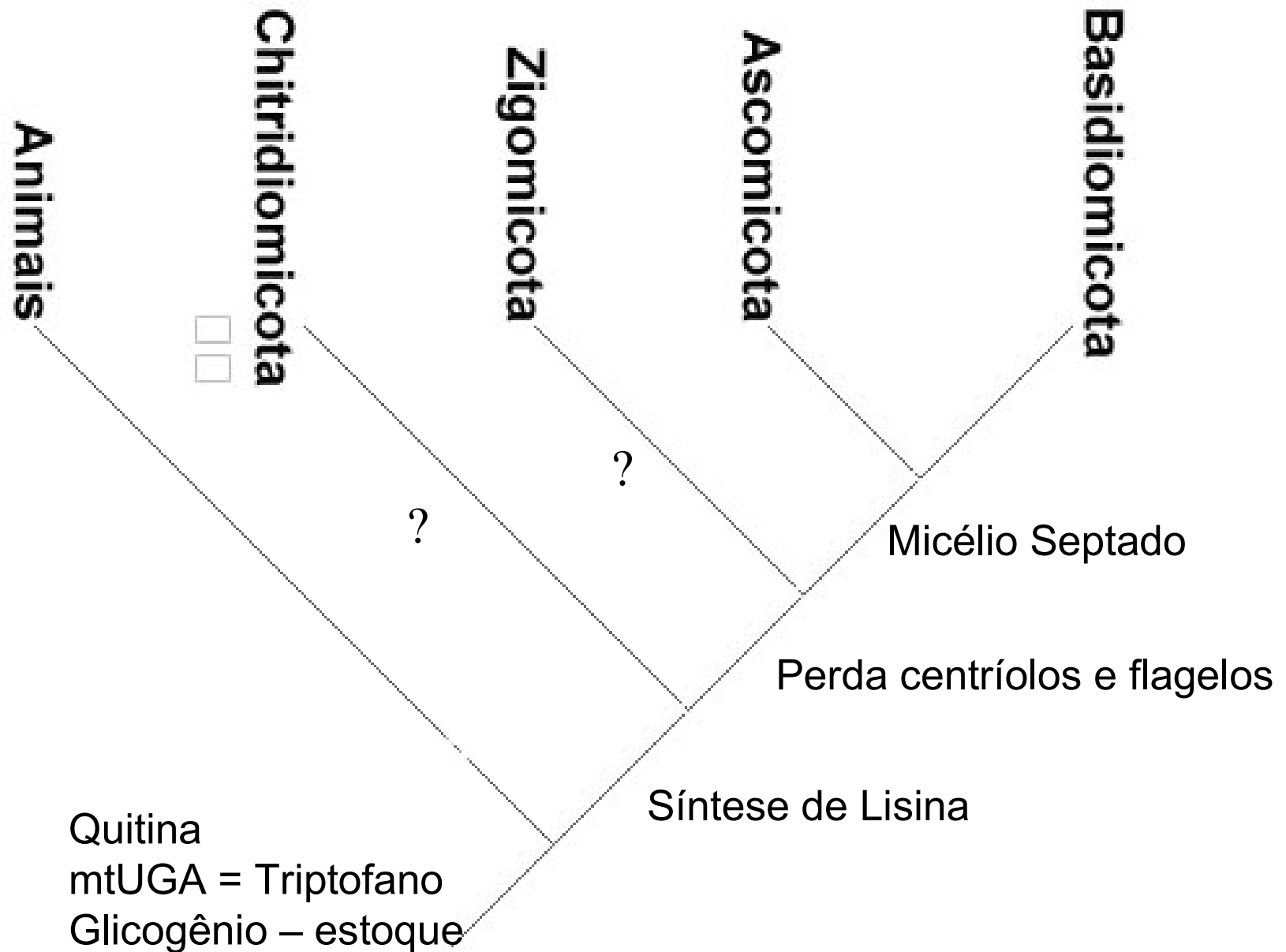
Sequência de DNA: Sequenciamento de genes marcadores apropriados: altamente conservados rDNA (verificação de filos)



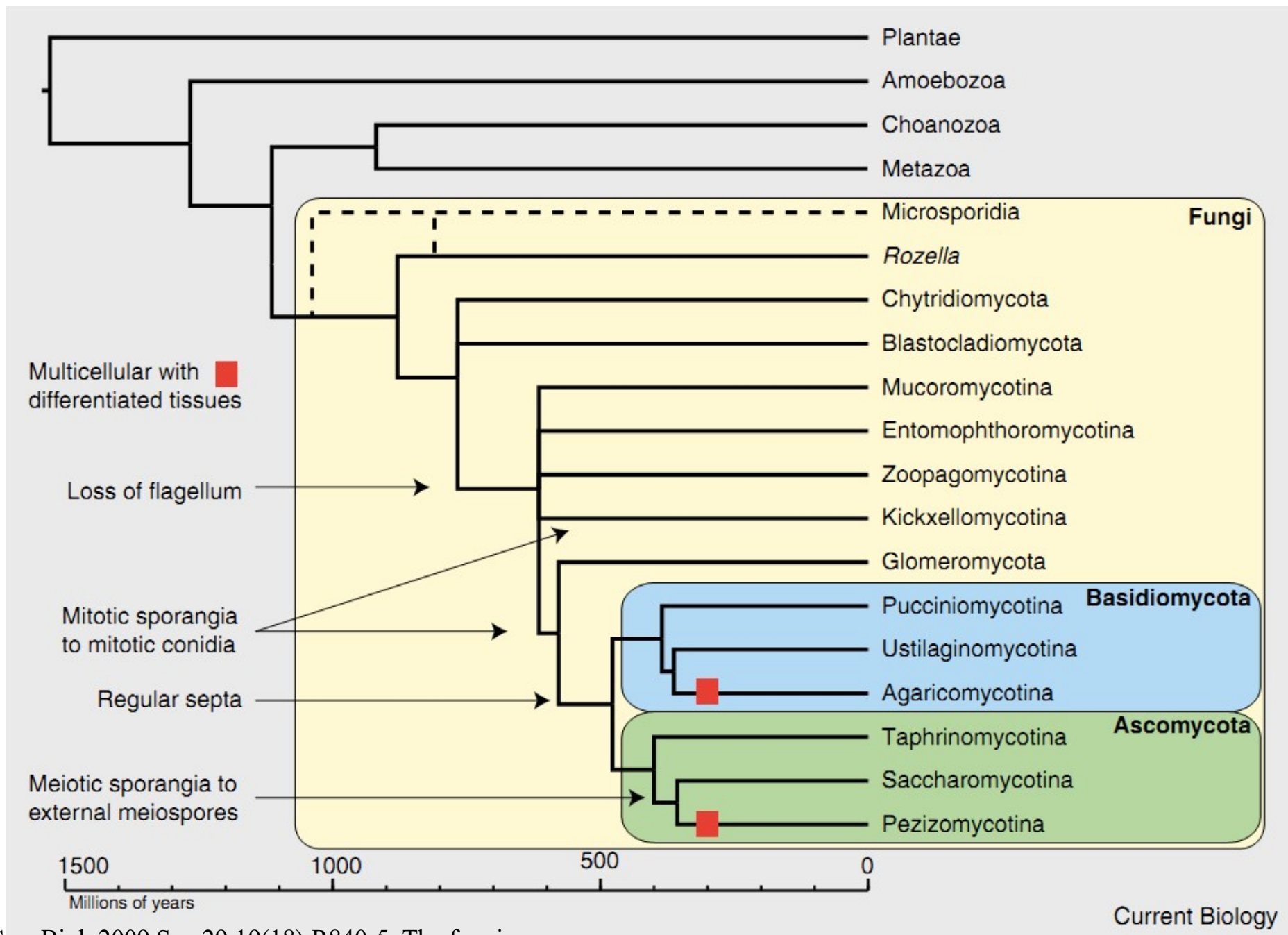
Stramenopila
Cristas tubulares



Fungos
Cristas achatadas e paralelas



Árvore filogenética baseada nas características morfológicas, bioquímicas apontadas acima – Alexopoulos et al.1996 – Introductory Mycology



Curr Biol. 2009 Sep 29;19(18):R840-5. The fungi.

Stajich JE, Berbee ML, Blackwell M, Hibbett DS, James TY, Spatafora JW, Taylor JW.

Resumo sobre Classificação Fungos

Reino Fungi:

Microsporidia e Rozella, fungos ou divisão irmã?

Filo Chitridiomicota – contestado
como único → parafilético

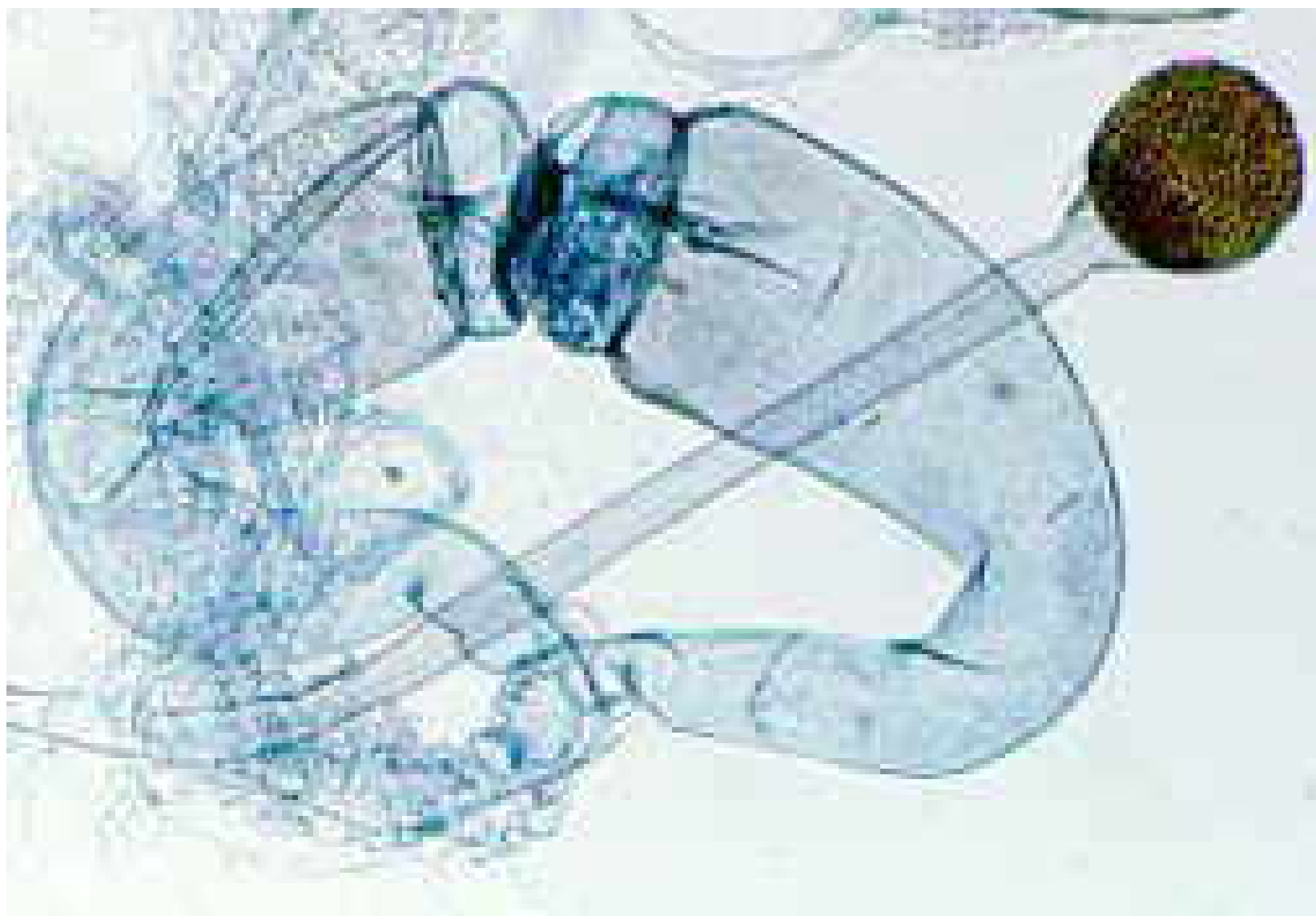
Filo Zigomicota – também
contestado – 4 a 5 filos → parafilético

Filo Ascomicota - monofilético

Filo Basidiomicota - monofilético

Deuteromicota – ARTIFICIAL

Reprodução Fungos



Tipos de Reprodução

Os fungos são capazes de se propagar de diversas maneiras, através de núcleos haplóides, diplóides, poliplóides, aneuplóides, dicarions

- **VEGETATIVA - ASSEXUADA :**
não ocorre fusão de núcleos

- **SEXUAL:**
união núcleos – seguido de divisão meiótica

- **PARASEXUAL:**
ocorre união núcleos – divisão mitótica – haploidização por aneuploidia

Características da Reprodução Sexuada

Dois núcleos são juntos numa mesma célula pelos seguintes vias:

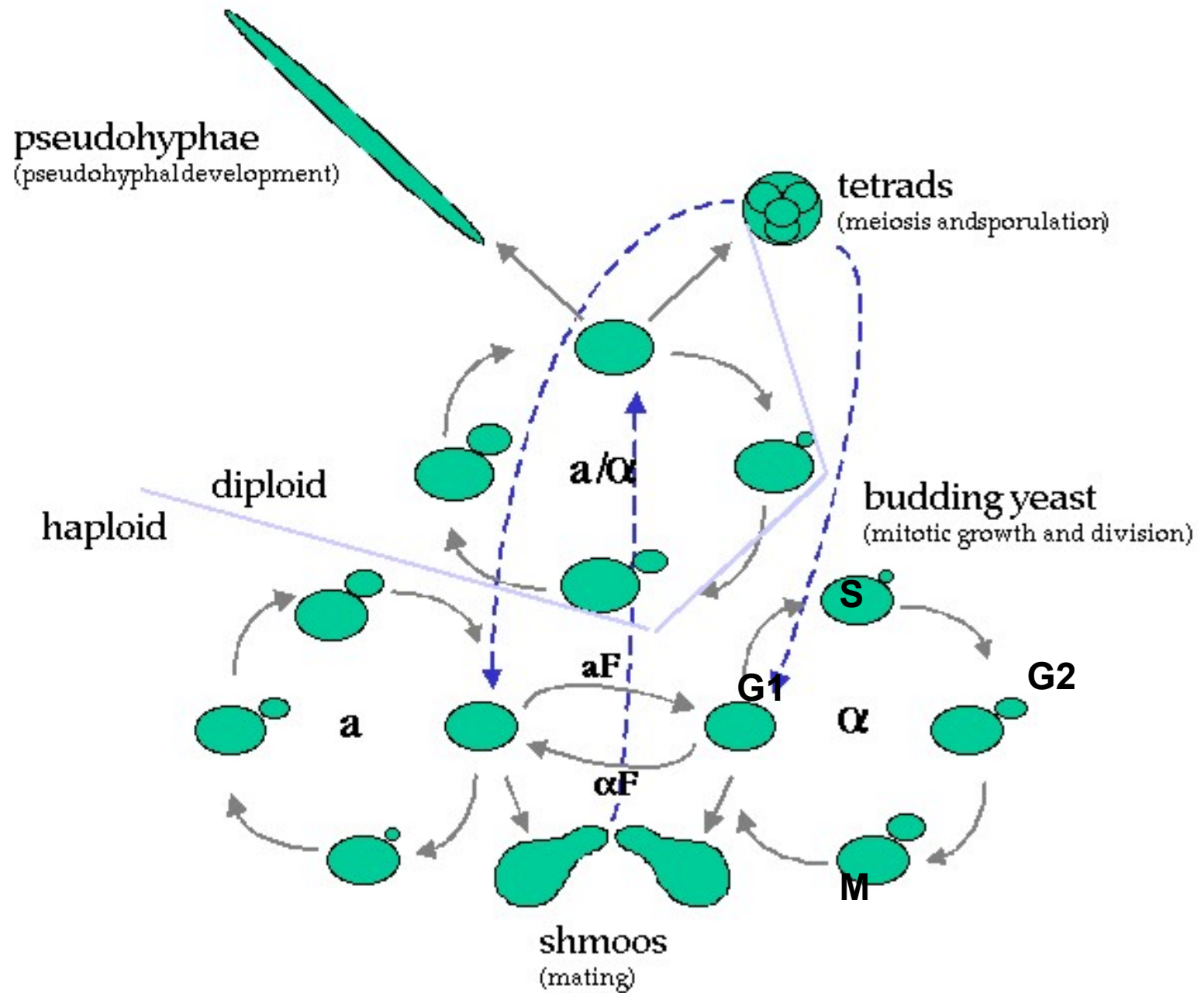
1- Duas células morfológicamente idênticas mas de tipo sexual opostos se unem (ex. *Saccharomyces cerevisiae*)

2- Fusão de células morfológicamente distintas como anterídios e ascogonios (com hifa tricógina, ex. *Laboulbenia formicarum*)

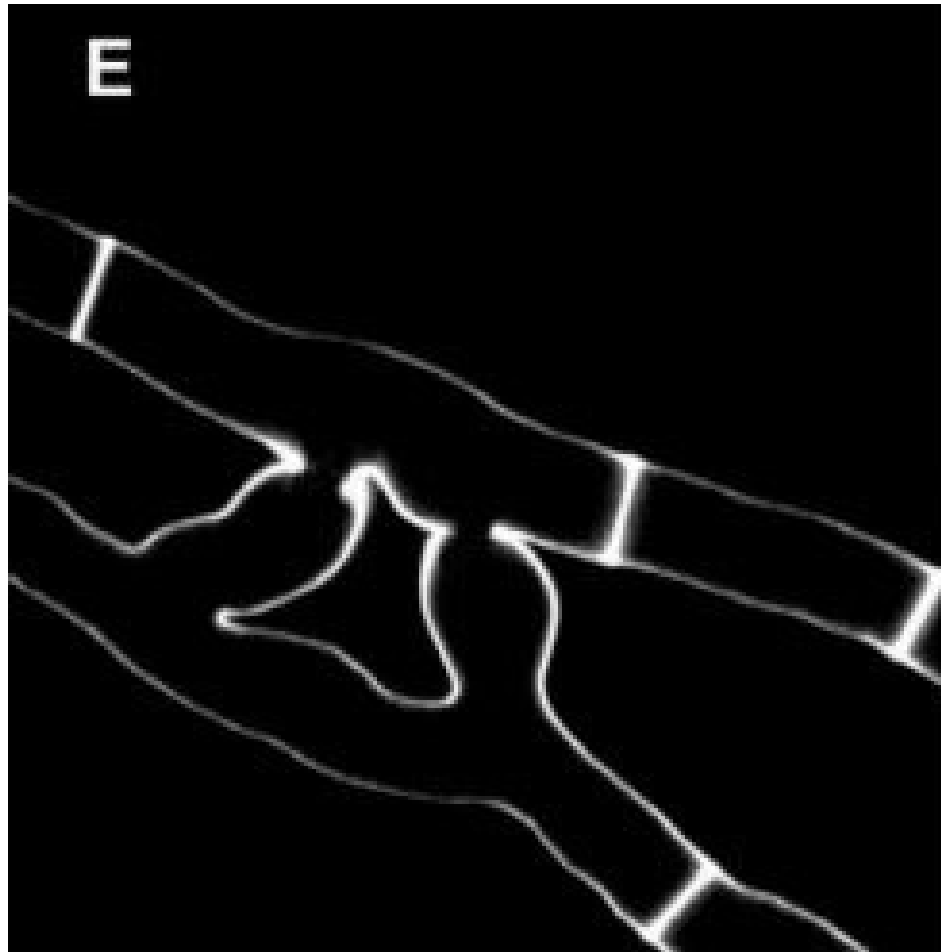
3- Por espermatização: transferência somente do núcleo do gameta masculino e recepção pela célula feminina. (ex. *Cronartium quercuum*)

4- Somatogamia: fusão de hifas somáticas indiferenciadas (ex. *Chytrium hyalinus*)

Saccharomyces cerevisiae

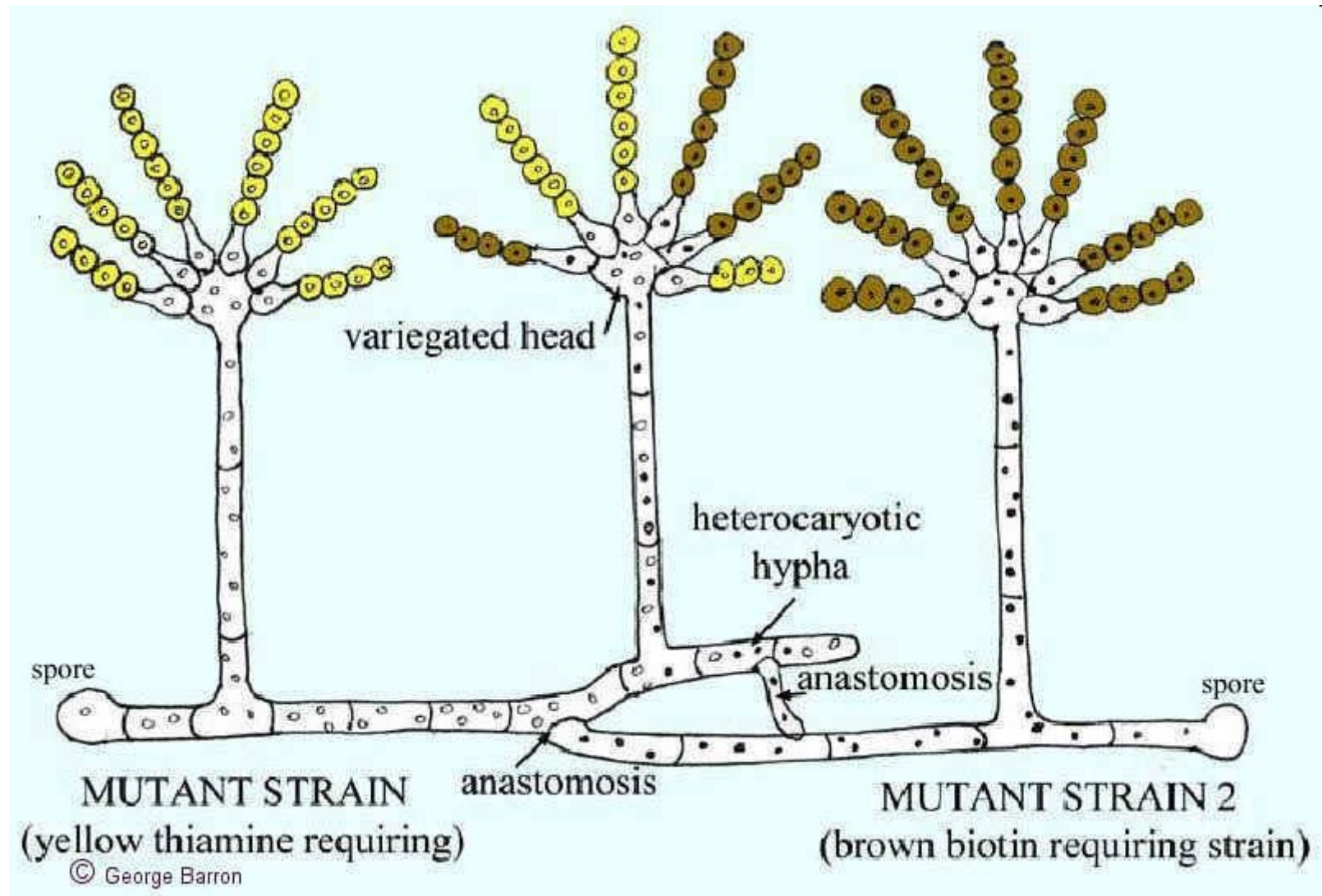


Ciclo parassexual:
Presença de dois tipos de núcleos
Crossing-over mitótico
Haploidização por aneuploidia



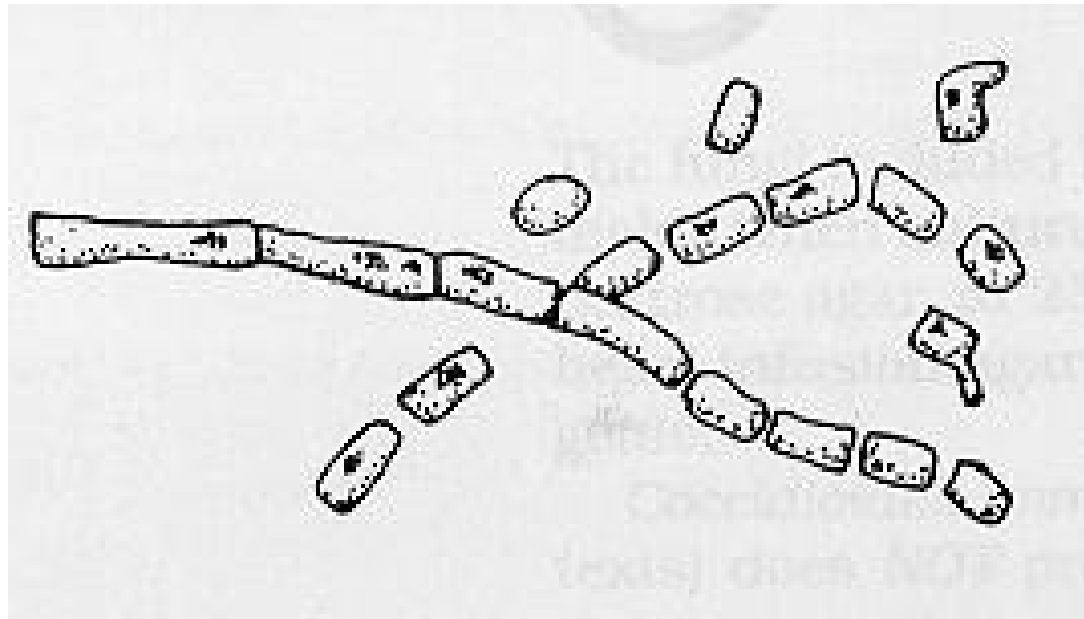
FEMS Microbiology Letters **249**: 191-198.

Ciclo parassexual em *Aspergillus*



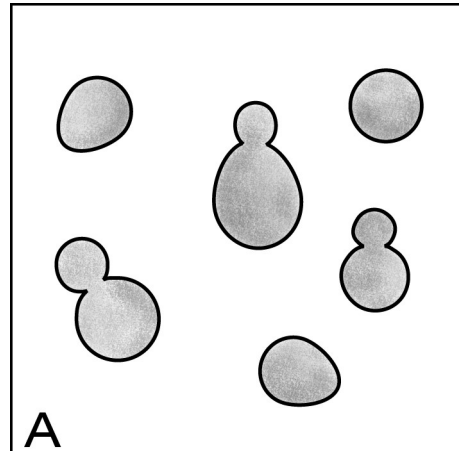
ASSEXUADA:

sem diferenciação celular, normalmente por fragmentação.

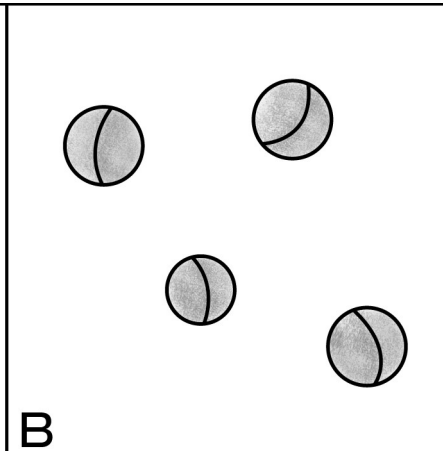


Reprodução Assexuada em Leveduras

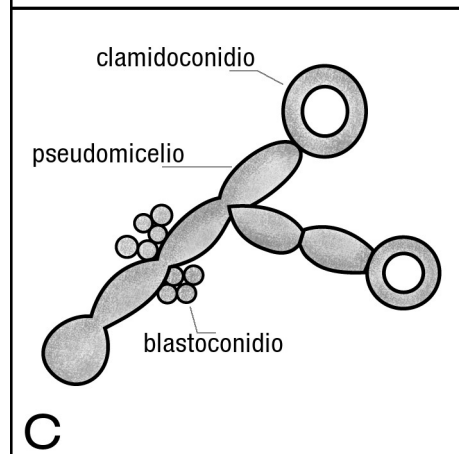
Brotamento



Cissiparidade

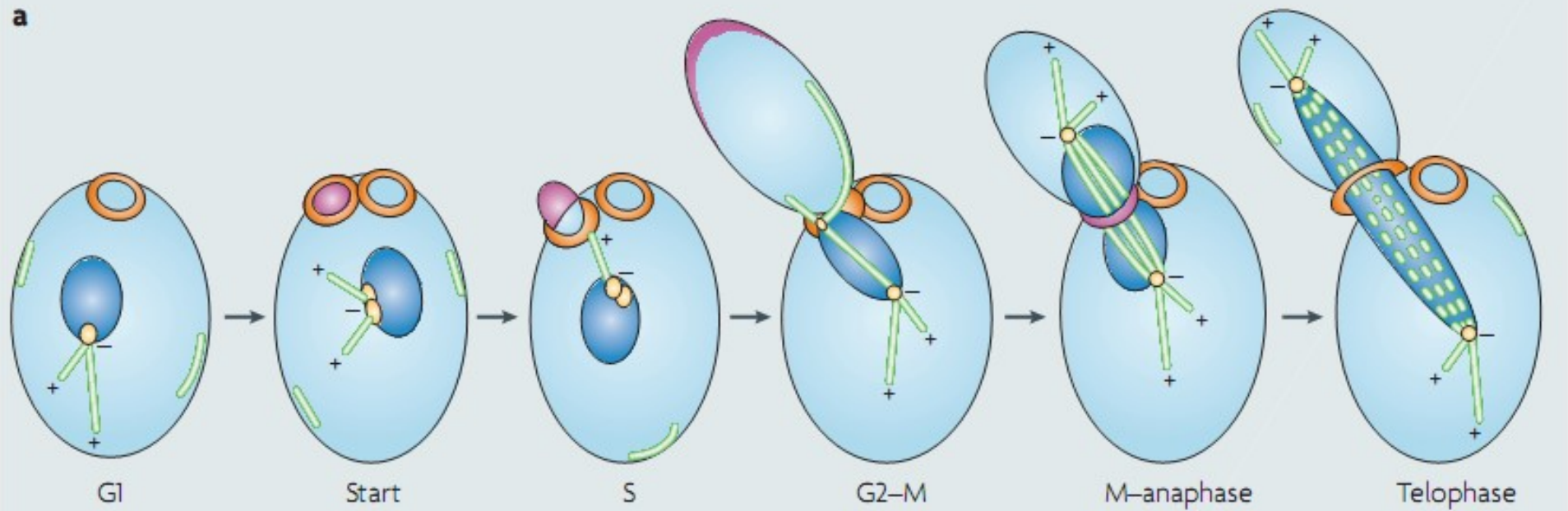


Pseudohifas



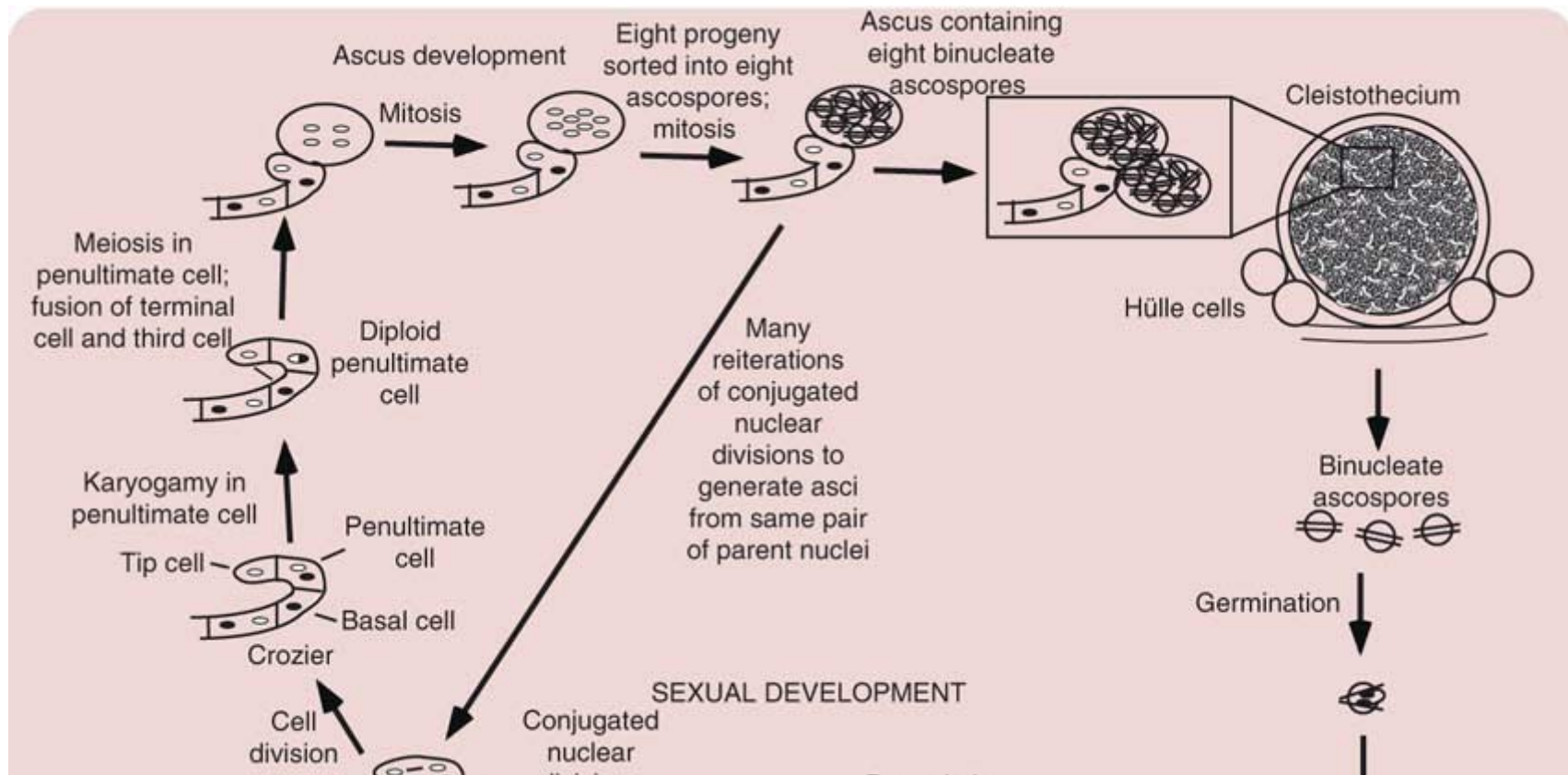
Box 1 | Mitotic cell cycle progression in budding yeast

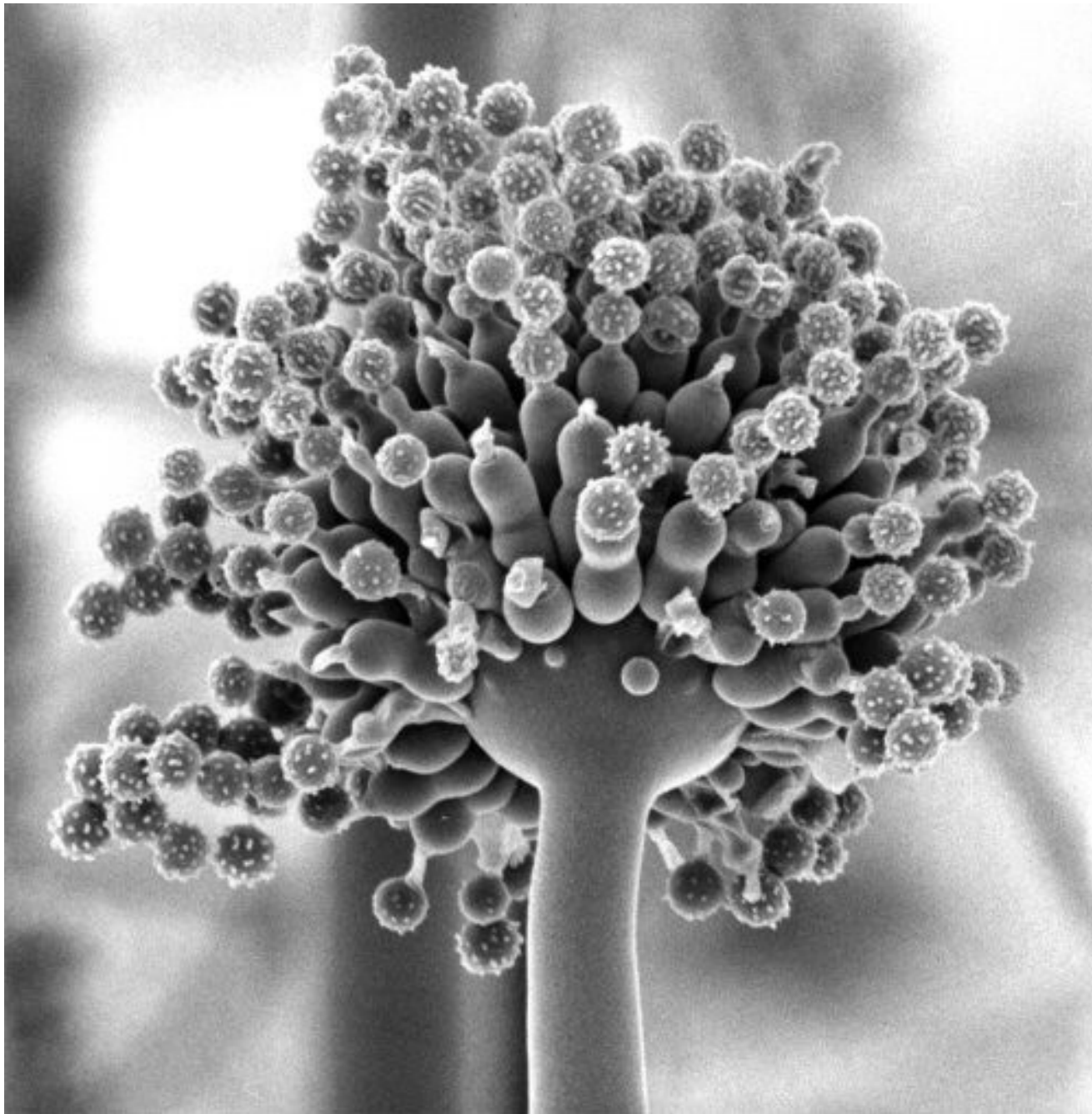
a



ASSEXUADA:

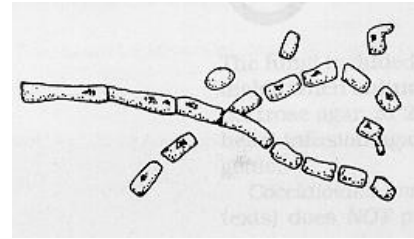
com diferenciação celular e produção de esporos (conídios)





Esporos de reprodução assexuada:

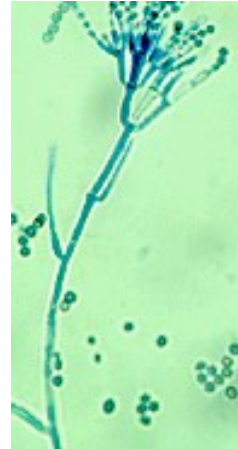
Artroconídios – resultantes da fragmentação de hifas.



Blastoconídios – brotamento de leveduras

broto

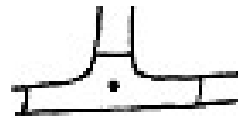
Conídios – ectósporos produzidos a partir de hifas especializadas, conidióforos.



Esporangiósporos – endósporos produzidos no interior de um esporângio



Oidia – típico de basidiomicetos -> esporos de parede fina protegidos por vesícula mucóide, em algumas espécies também atua como espermatia para reprodução sexuada.



Septation
of oidia and
further
budding



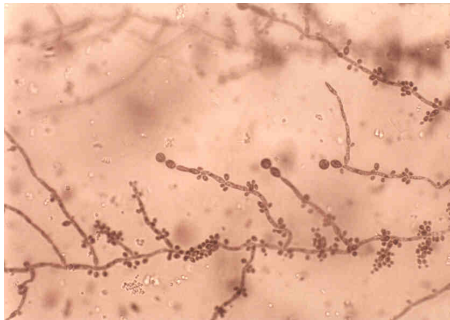
Separation
of oidia by
schizolysis



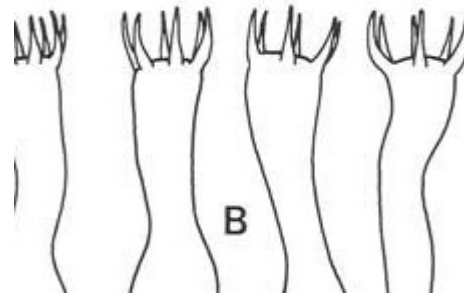
Successive
assembly
of oidia in a
liquid droplet

Outros tipos de esporos (propágulos) de perfil mais resistente também podem servir para dispersão assexuada:

Clamidoconídios



Bulbo



Adensamento hificos

Esclerotio

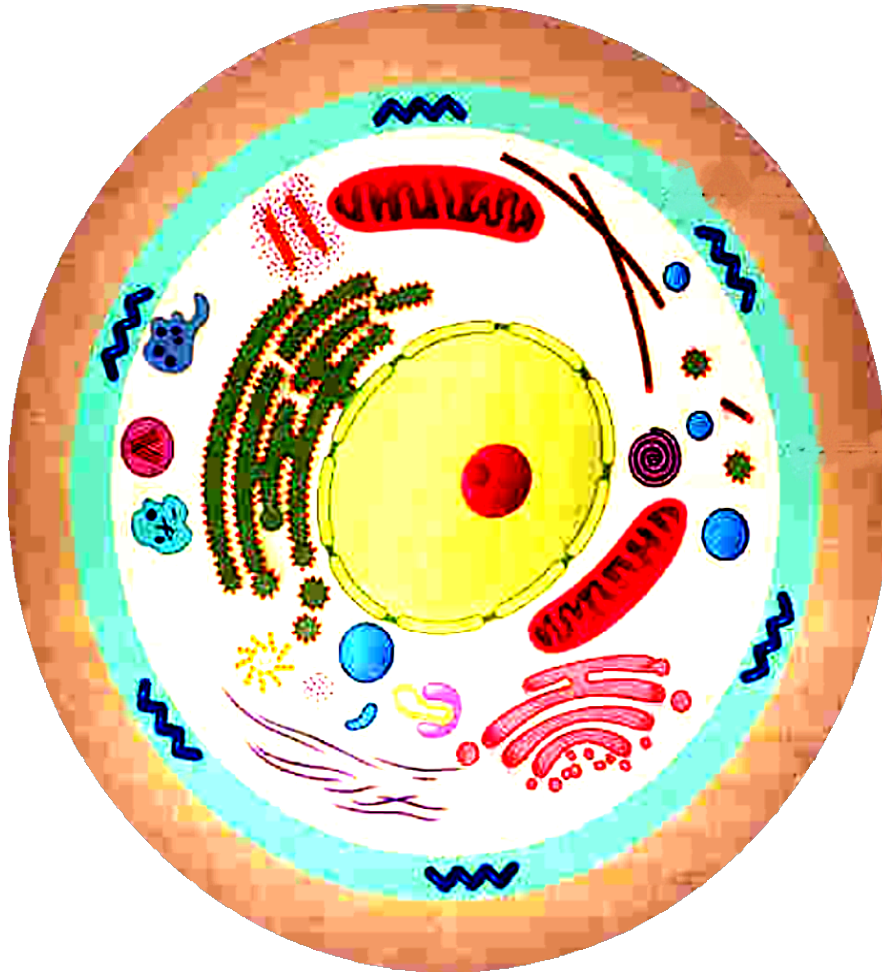


<-regular irregular -
>

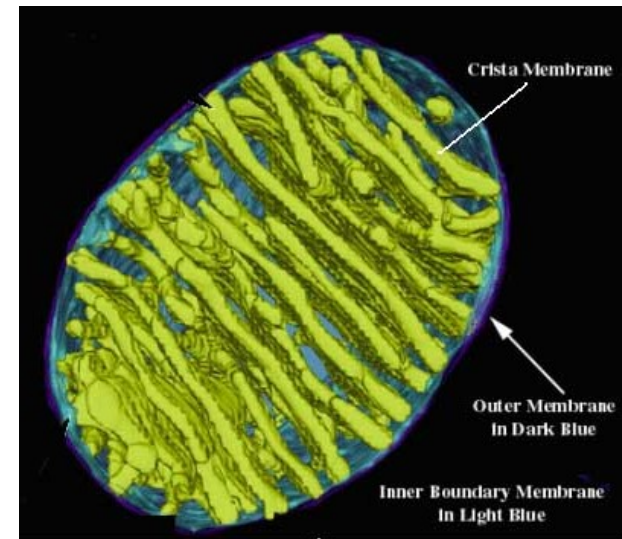
Estromata

Fisiologia

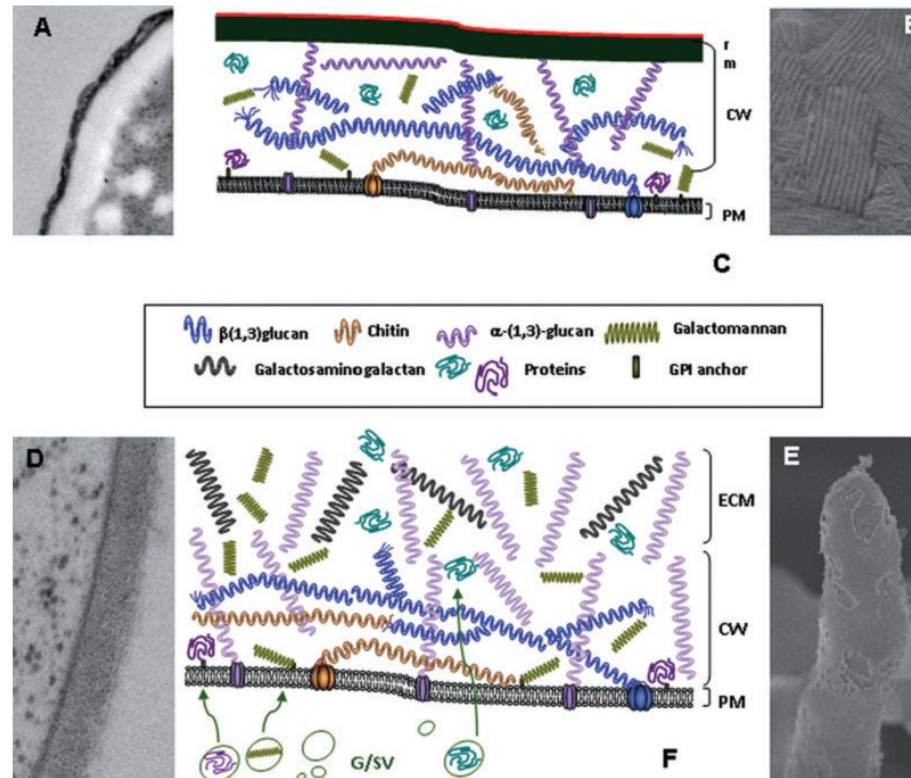
Em sua estrutura celular, os fungos são muito semelhantes às células dos animais



São eucariotos, apresentam diversas organelas intracelulares, não possuem cloroplastos, suas mitocôndrias possuem cristas achatadas e paralelas



Estrutura da parede celular



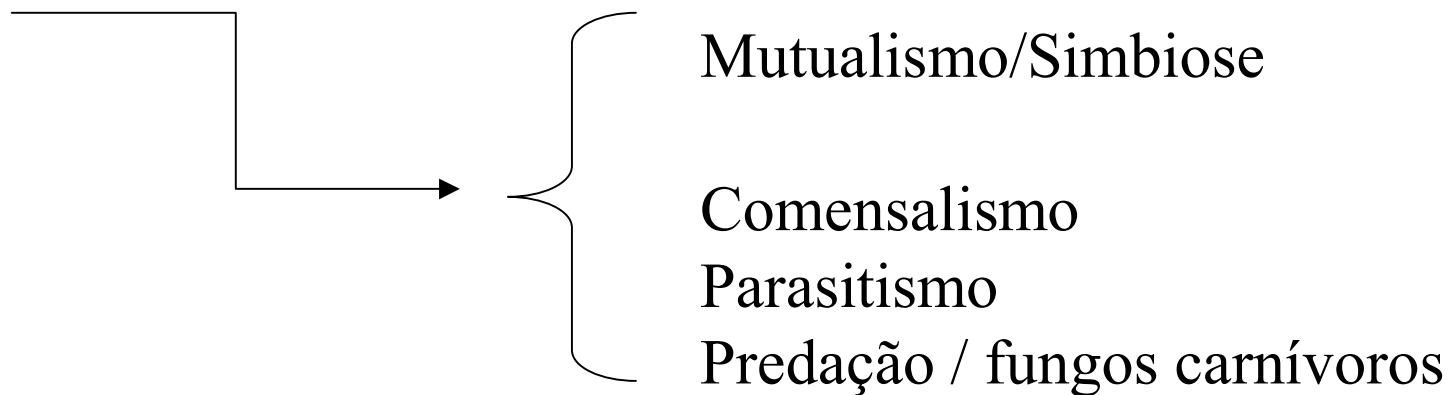
Conidio
dormiente

Hifa

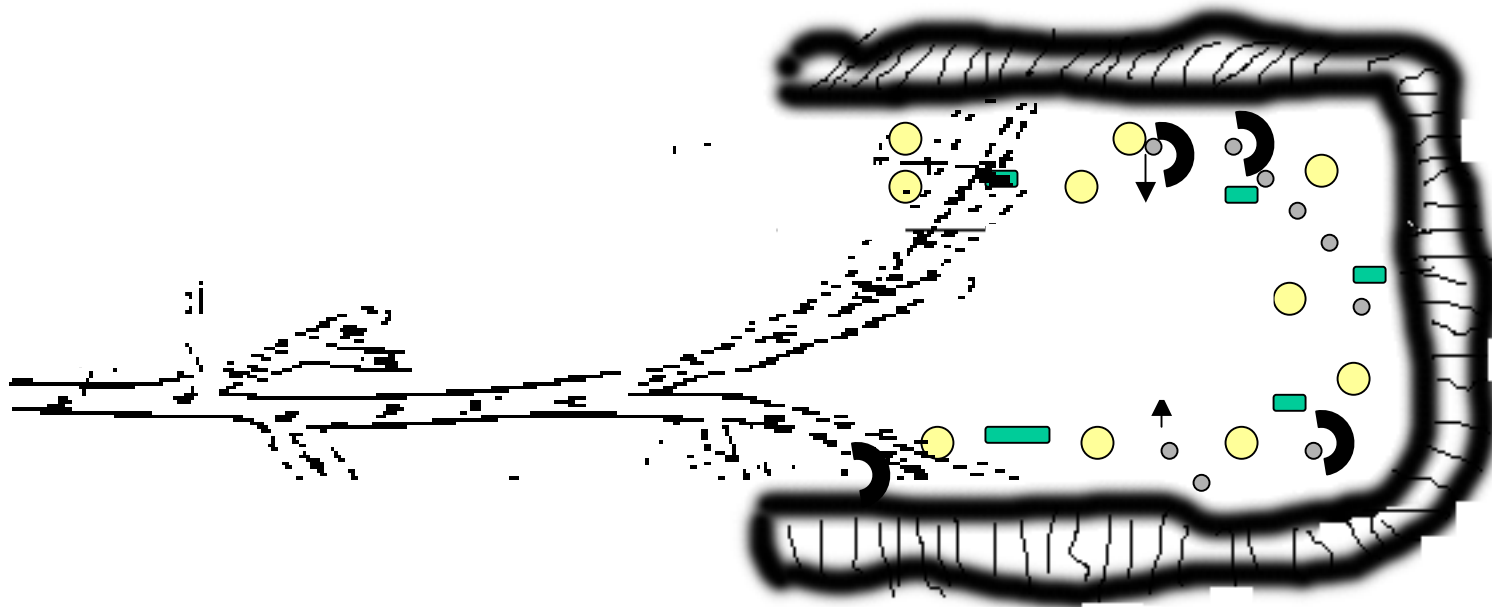
Características gerais de sua nutrição:

Organismos heterotróficos, absorção dos nutrientes do meio:

- Saprotismo → matéria orgânica morta
- Interações com outros organismos → matéria orgânica viva

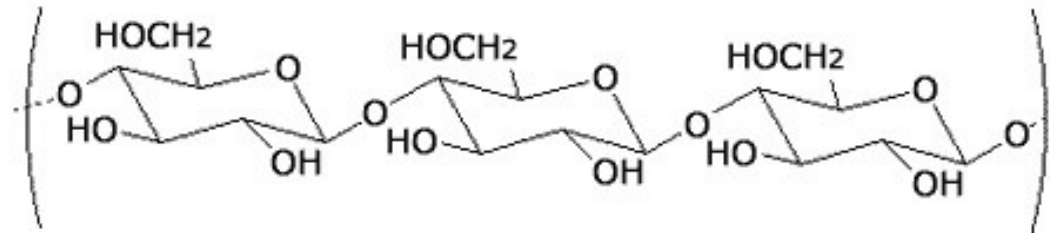


Os Fungos saprófitas obtém seus nutrientes através da secreção de várias enzimas ao ambiente externo, digerindo o substrato tornando-o solúvel e passível de passar pela parede celular fúngica.

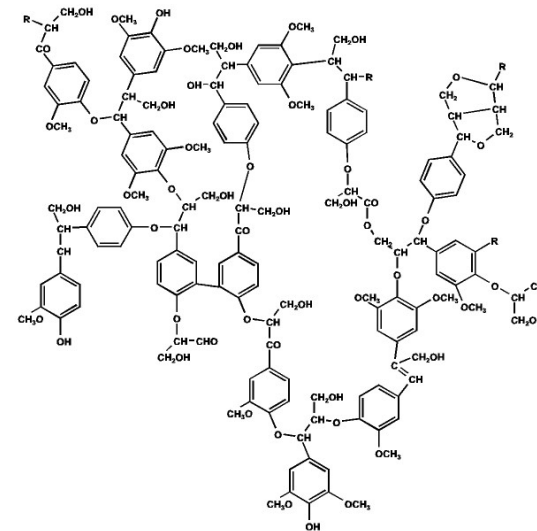


Em última análise o que determina em que substratos um fungo saprófita é capaz de crescer, depende do tipo de enzimas digestivas que ele é capaz de liberar.

Celulose - celulase



Lignina - ligninase





Hypocrea(H)/Trichoderma(T) tem sido largamente utilizados pela indústria como fonte de celulases e hemicelulases .

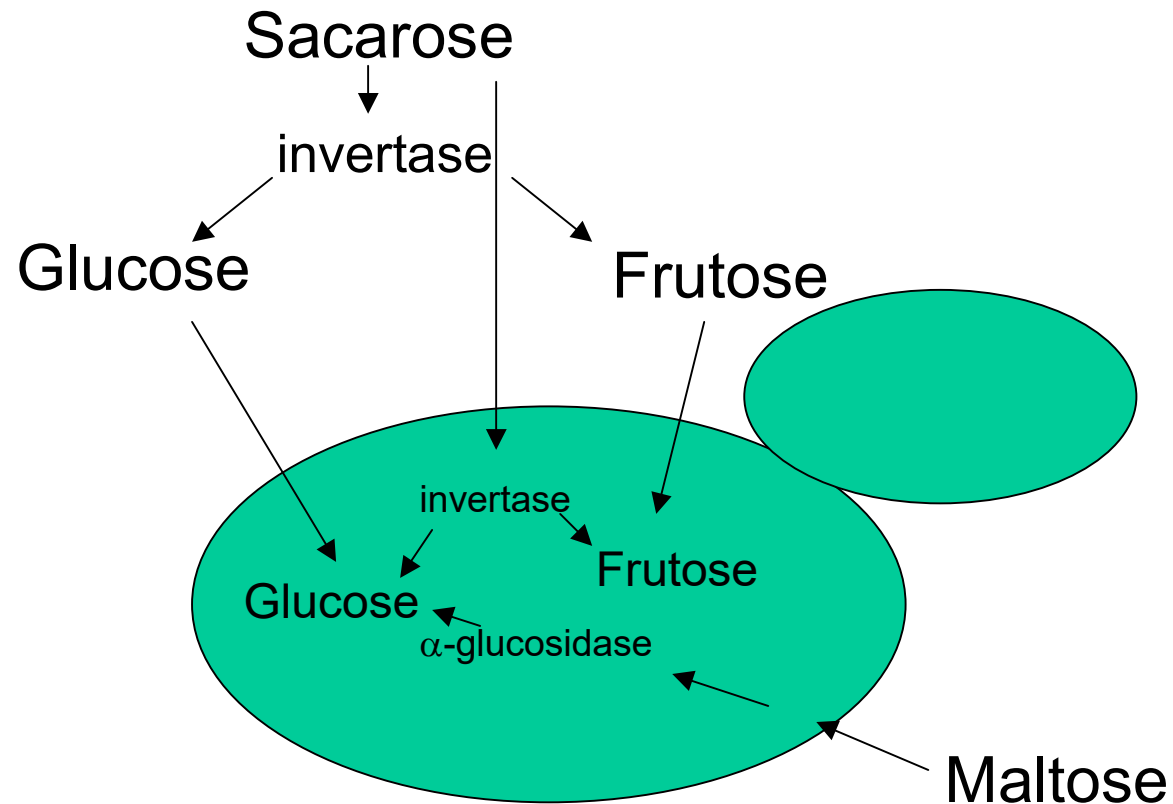
- O substrato digerido deve ser protegido da ação de organismos oportunistas
- Ativação metabolismo secundário e secreção de antibióticos e micotoxinas

Alguns antibióticos secretados pelos fungos:

<i>Penicillium sp</i>	Penicilina
<i>Cephalosporium</i>	Cefalosporina
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Dictopiprazinas
<i>Penicillium griseofulvum</i>	Griseofulvina
<i>Aspergillus nidulans</i>	Anidulafungina

A partir da digestão do substrato o fungo deve obter:

➡ Fonte de carbono – açúcares: monossacarídeos por difusão facilitada, dissacarídeos e trissacarídeos por transporte acoplado a H^+



➡ Fonte de nitrogênio – uréia, sais de amônio, nitritos, nitratos, aminoácidos.

➡ -Vitaminas – biotina, tiamina, riboflavina ...
-Micronutrientes – fosfato, magnésio, ferro, cobre ...

→ Água

Faz parte da consciência popular a correlação entre ambientes úmidos e o surgimento do mofo



A disponibilidade de H_2O_2 pode ser medida por atividade de água (Aa)

(Aa) – Água disponível para pronto uso em substratos

Aa	Exemplos
1,0	Água pura
0,99	Meios micrológicos e clássicos
0,98	Água do mar
0,95	Pães
0,90	Presunto
0,75	Solução saturada cloreto de sódio
0,65	Glicerol 22M
0,55	Solução de Glicose saturada
0,48	Vales áridos da Antártica

(Aa) Mínima para o Crescimento de Alguns Fungos

0,97	<i>Penicillium viridicatum</i> e a maioria dos fungos da madeira
0,95	Basidiomicetos
0,92	<i>Rhizopus</i>
0,90	<i>Neurospora crassa</i> , <i>Trichotecium roseum</i>
0,87	<i>Fusarium verticillioides</i>
0,80	<i>Penicillium citrinum</i>
0,78	<i>Aspergillus flavus</i> e <i>Aspergillus parasiticus</i>
0,77	<i>Aspergillus ochraceus</i>
0,75	<i>Aspergillus candidus</i>
0,60	<i>Monascus</i>
0,58	Esporos <i>Eurotium</i> , <i>Aspergillus</i> e <i>Penicillium</i> .

- ➡ **Oxigênio** – A maioria dos fungos é aeróbica, entretanto algumas leveduras são aeróbicas facultativas podendo sobreviver somente a partir do metabolismo fermentativo

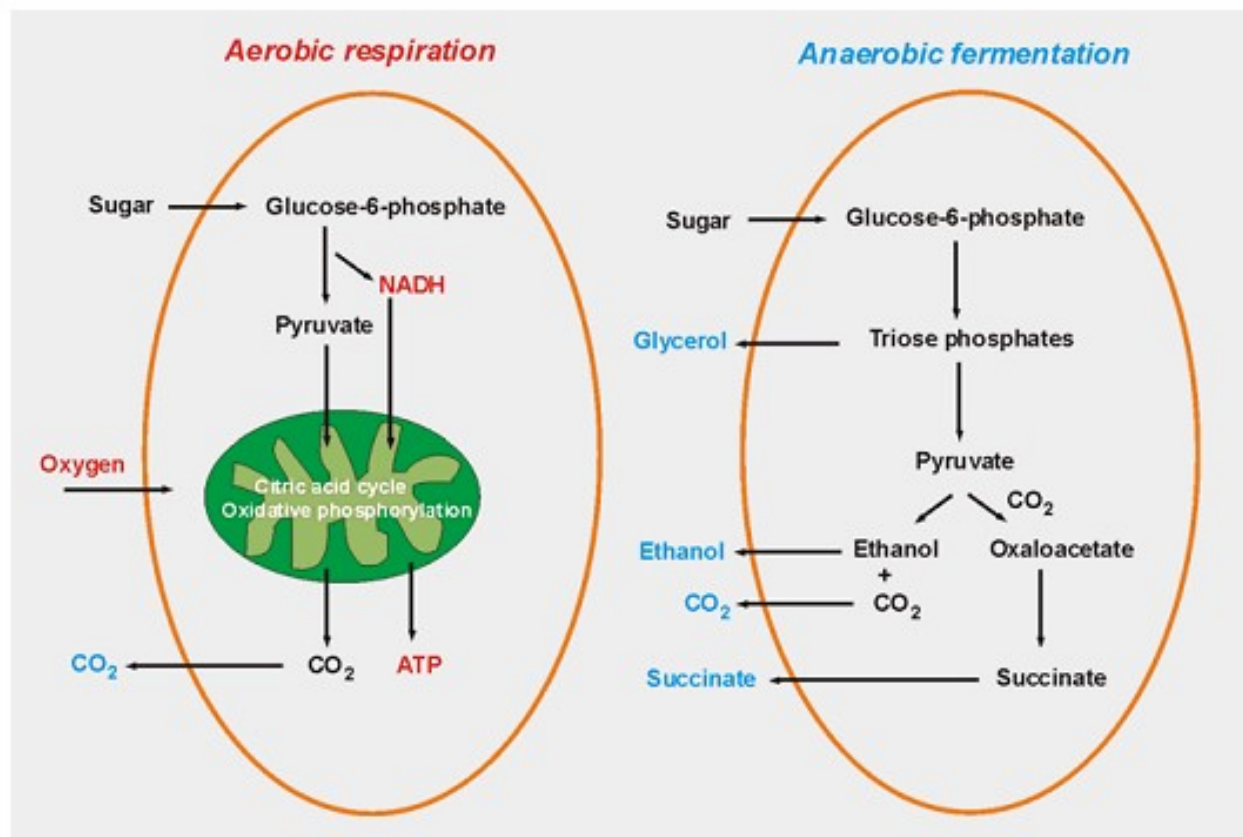


Figure 3-1: Metabolism in yeast under aerobic and anaerobic conditions.

Fatores Físicos do meio que afetam crescimento fúngico:

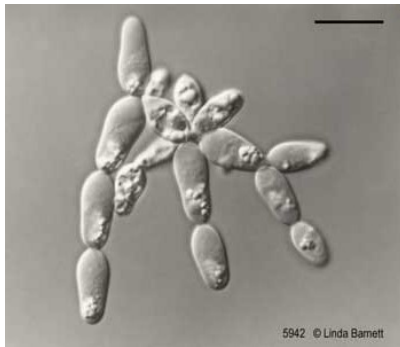
➔ Temperatura

Necessário a definição de parâmetros como: peso seco, crescimento linear, germinação, turbidez no meio

Psicrófilos -> não crescem acima de 20°C

Mesófilos -> com temp. ótima entre 15 e 40°C

Termófilos -> não crescem abaixo de 20°C



Leucosporidium antarcticum 5-20°C



Aspergillus flavus 10-43°C



Humicola laluginosus 30-55°C

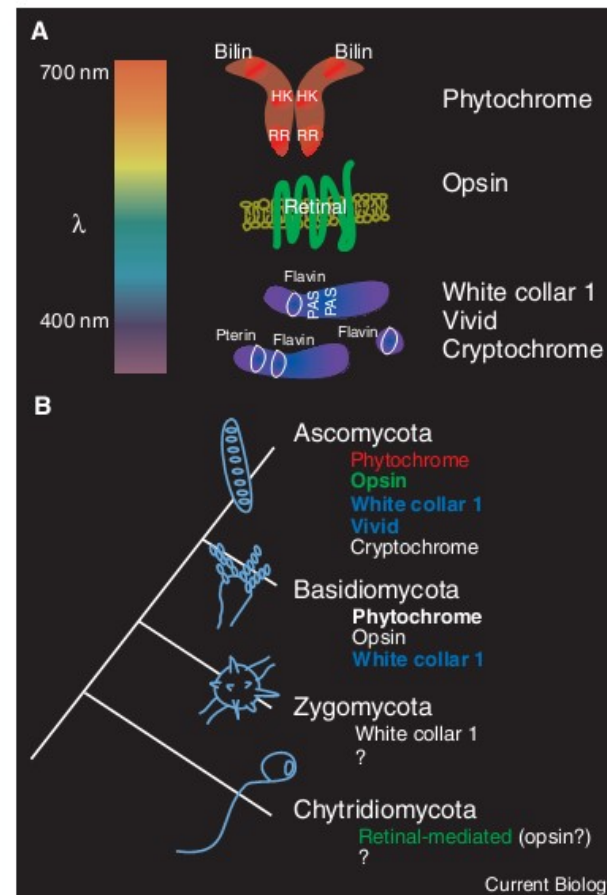
Ninhos de passáros, solo constantemente aquecido pelo sol.

➔ Luminosidade

Exposição a luz têm maior importância no desenvolvimento do micélio reprodutivo dos fungos, afetando também a morfogênese, esporulação

...

Os fotons são sentidos dentro do reino dos fungos por proteínas presentes em outros seres vivos



Agaricus subrufescens

Cogumelo do sol

➡Gravidade Resposta ubíqua entre os fungos

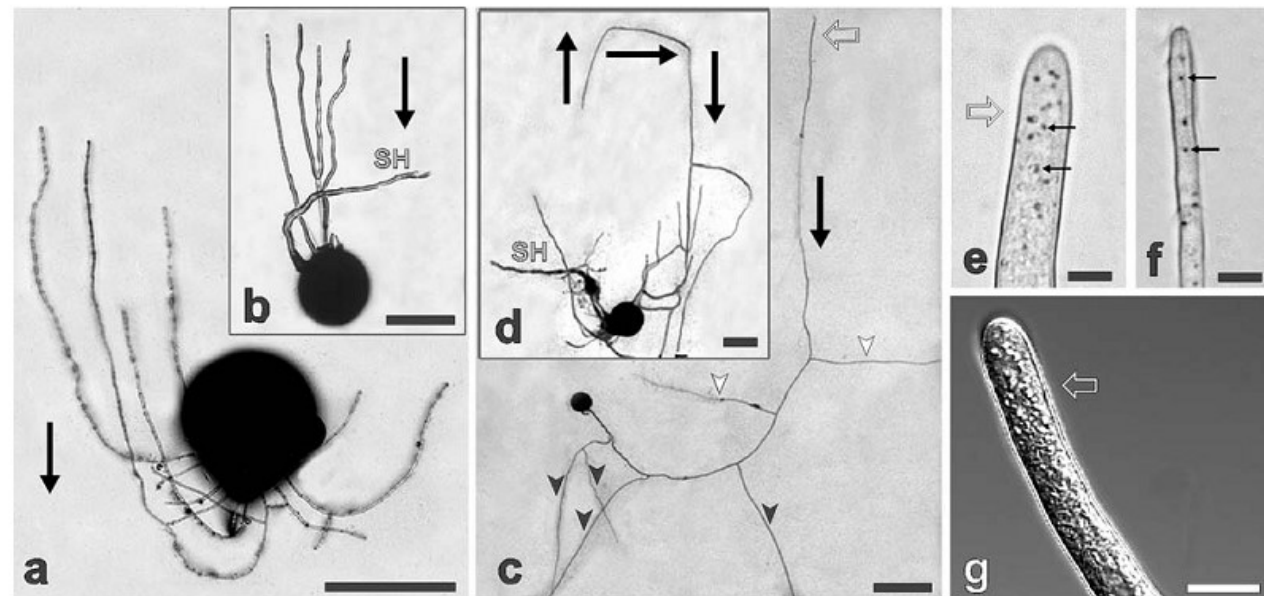
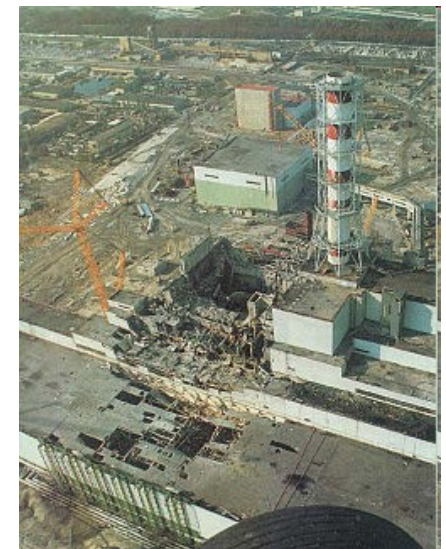


Fig. 2a-g. *Gigaspora margarita*. Patterns of hyphal growth as related to gravity (direction of gravity vector indicated by black arrow) and to abundance of lipid globules in the hyphal apex. **a** Primary hyphae emerging from the large spore at the (bottom) germination shield, a predefined site of hyphal outgrowth. The hyphae curve up to grow in opposite direction of the gravity vector. **b** Spore with germination shield on top. The subtending hypha (SH) previously connected the spore to the mycelium. **c** Orientation of the primary hypha (open arrow) with respect to gravity (negative gravitropism) in contrast to the plagiotropically (open arrowhead) or positive gravitropically (solid arrowhead) growing secondary hyphae. **d** Repeated re-orientation of the mycelium leads to concomitant change in growth direction of the primary hypha. Petri dishes with 2-day-old hyphae grown on 1.5% (w/v) water agar were reoriented from a horizontal to a vertical position and were kept for another day in this position. The experiment was done in darkness at 30 °C. **e** and **f** Accumulation of 10–20 large lipid globules (small arrows) in the apex of the primary hypha (**e**) as compared to a reduced number of lipid globules in the apex of the thinner secondary hypha (**f**). The number of large lipid globules seems to correlate with the apical volume of the tip-growing cell. **g** The apex of the primary hypha with highly refractile lipid globules (open arrow) as seen by differential interference contrast. Bars: a, b, and d, 500 μ m; c, 1 mm; e–g, 10 μ m

➔ **Radiação** Pode ter efeito mutagênico, bem como atrasar a germinação de esporos e o crescimento vegetativo

O acidente em Chernobyl demonstrou a capacidade de alguns Ascomicetos em tolerar as altas doses de C^{137} , representando a maior fonte de contaminação de Herbívoros. O crescimento de fungos na parede do reator que sofreu a explosão também chama a atenção pela sua capacidade adaptativa.

Fungos da região contaminada agora apresentam a germinação de esporos estimulada por radiação γ , enquanto fungos de outras áreas têm o crescimento totalmente inibido.



→ Osmoralidade

- Tolerância ao ambiente marinho em algumas espécies

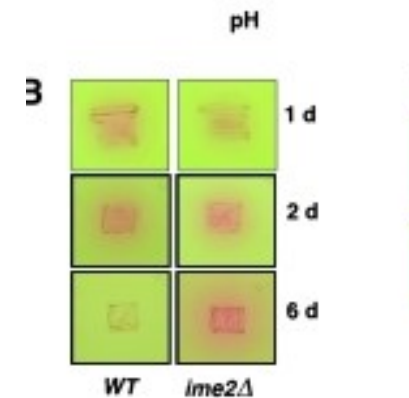
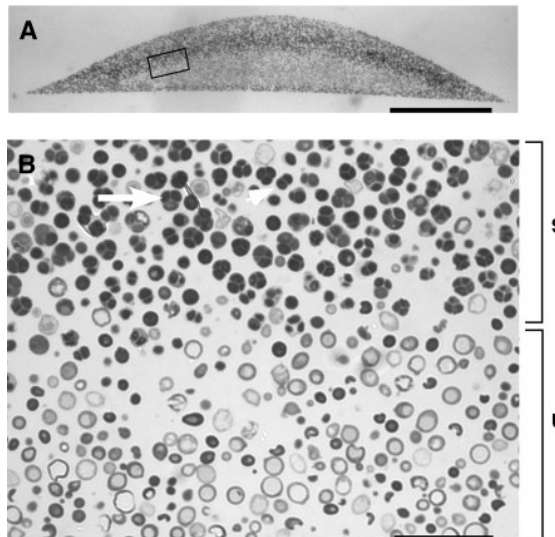
- Leveduras osmofílicas vivem em altas concentrações de açúcar através da produção interna de manitol.

→ pH

-> faixa pH cores: 2 a 11
leveduras: 2 a 8

-> pH ótimo: 6

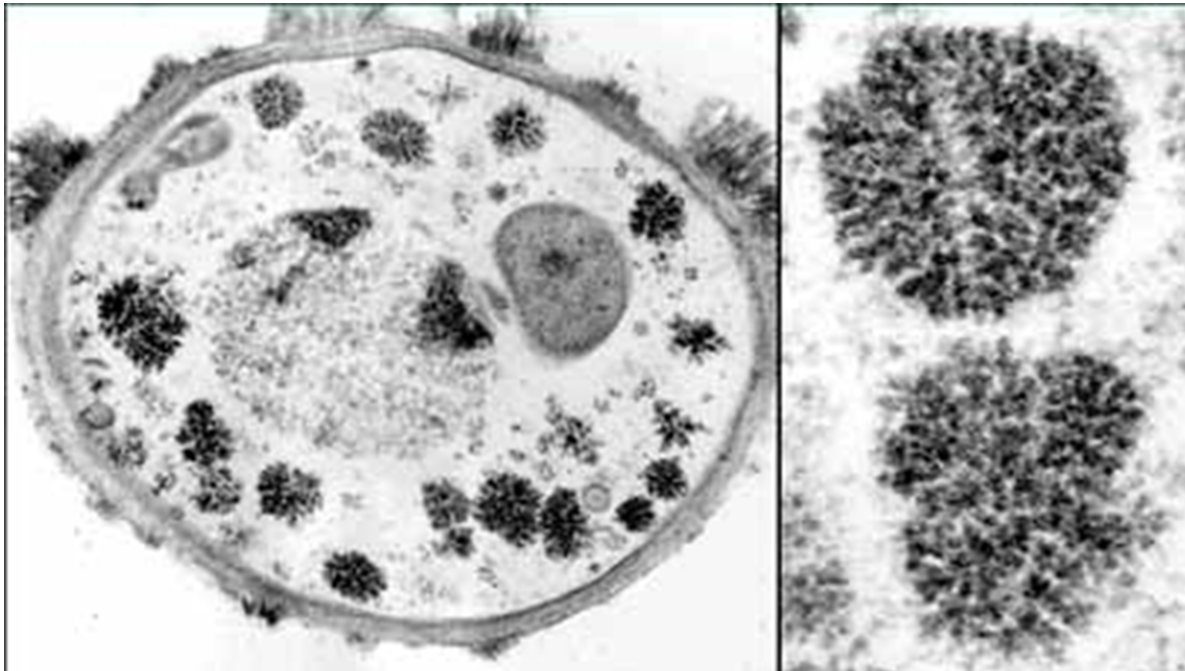
-> Em *S. cerevisiae* pH alcalino
induz meiose



Produtos do metabolismo Fúngico:

Reservas de açúcar

- > Glicogênio (polissacarídeo) – reserva energética
- > Trealose (dissacarídeo) – reserva em estresses



Produtos do metabolismo Fúngico:

Metabolismo respiratório -. CO_2

Metabolismo fermentativo -> CO_2 , Etanol, Glicerol, Succinato

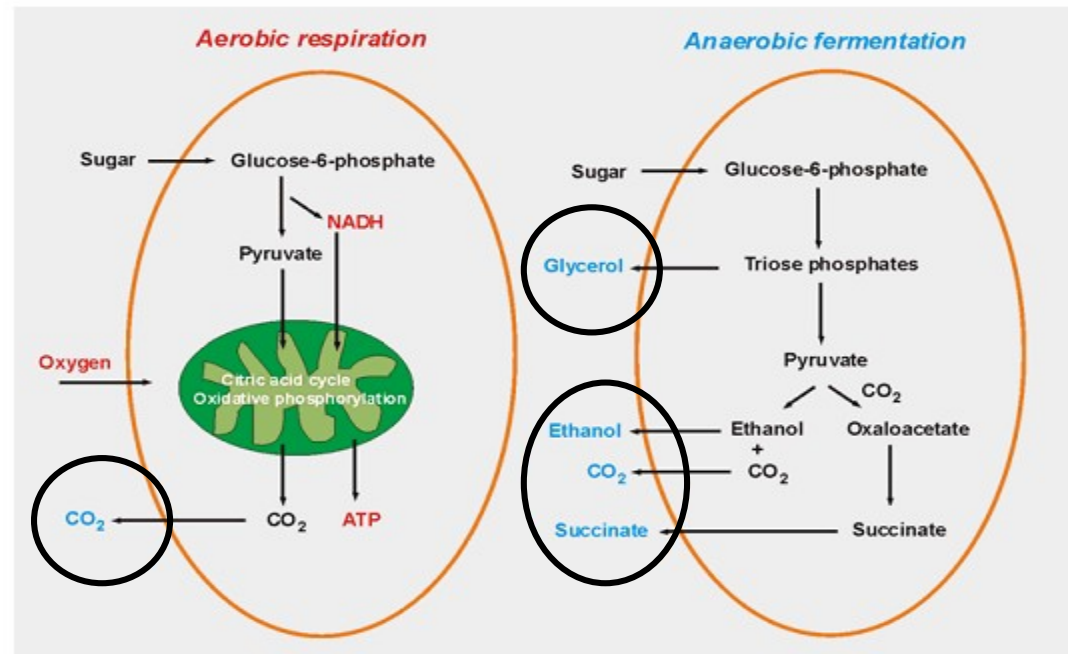


Figure 3-1: Metabolism in yeast under aerobic and anaerobic conditions.

CO_2 -> aproveitado na panificação



Etanol -> produção bebidas



→
Cozimento
filtração



→
Fermentação
maturação



Produtos do metabolismo Fúngico:

Lipídios -> Em *Yarrowia lipolytica* o conteúdo de lípidos chega a representar 50% do seu peso seco

-> Proteínas ~ 10% peso líquido ou 40% do peso seco da célula equivale a proteínas.

-> comparativamente enquanto um mamífero com 500kg produz 500g de proteína por dia, 500Kg de leveduras produzem 50.000 Kg.

Produtos do metabolismo Fúngico:

Outros metabólitos de interesse biotecnológico:

Enzimas -> Celulases, hemicelulases, amilases, invertases

Vitaminas-> provitamina A (zigomicetos), vitamina B12 (*Eremotecium*)
vitamina D2 (*Penicillium*), biotina (*Phycomyces*)

Ácidos -> Ácido cítrico, fumárico, succínico, láctico

Hormônios -> Giberilina (plantas), cortisona, hidroxiprogesterona.

Pigmentos -> Carotenóides, crisogenina, pteridina.

Ácido cítrico -> obtido da fermentação de caldo de cana e concomitante uso de *Aspergillus niger* e *Y. lipolytica*

-> necessário na indústria de alimento e bebidas (refrigerantes), detergentes e produtos de limpeza.

Metabolismo secundários de fungos.

O metabolismo primário é aquele essencial para o crescimento e sobrevivência, incluindo todos os processos anabólicos e catabólicos.

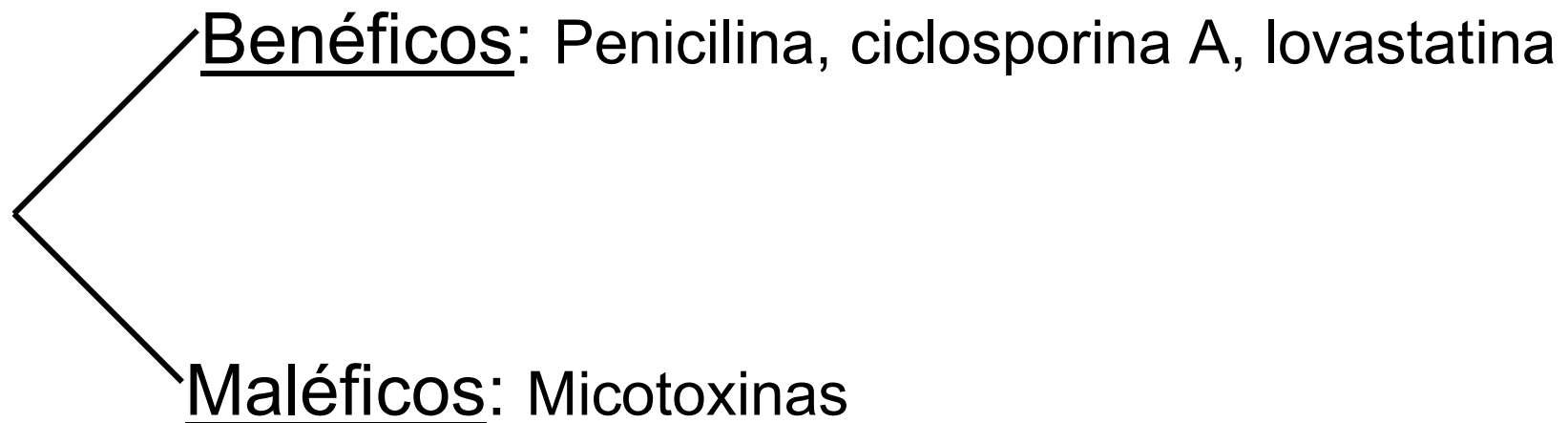
Já os produtos do metabolismo secundário não são considerados essenciais para a sobrevivência da espécie

Geralmente os metabólitos **primários** são produzidos em associação com o **crescimento** do fungo, e os **secundários** quando o crescimento ativo está **interrompido**

Metabólitos secundários são derivados de alguns poucos compostos do metabolismo primário, são eles: Intermediários do ciclo do ácido cítrico, aminoácidos, terpenos, ácidos graxos, pirimidinas.

Os produtos do metabolismo secundário são utilizados pelos fungos principalmente no antagonismo a microorganismos competidores

Para o homem podem ter efeitos:



Ecologia

Decompositores

Fungos são essenciais no processo de decomposição da matéria orgânica morta em qualquer ecossistema.



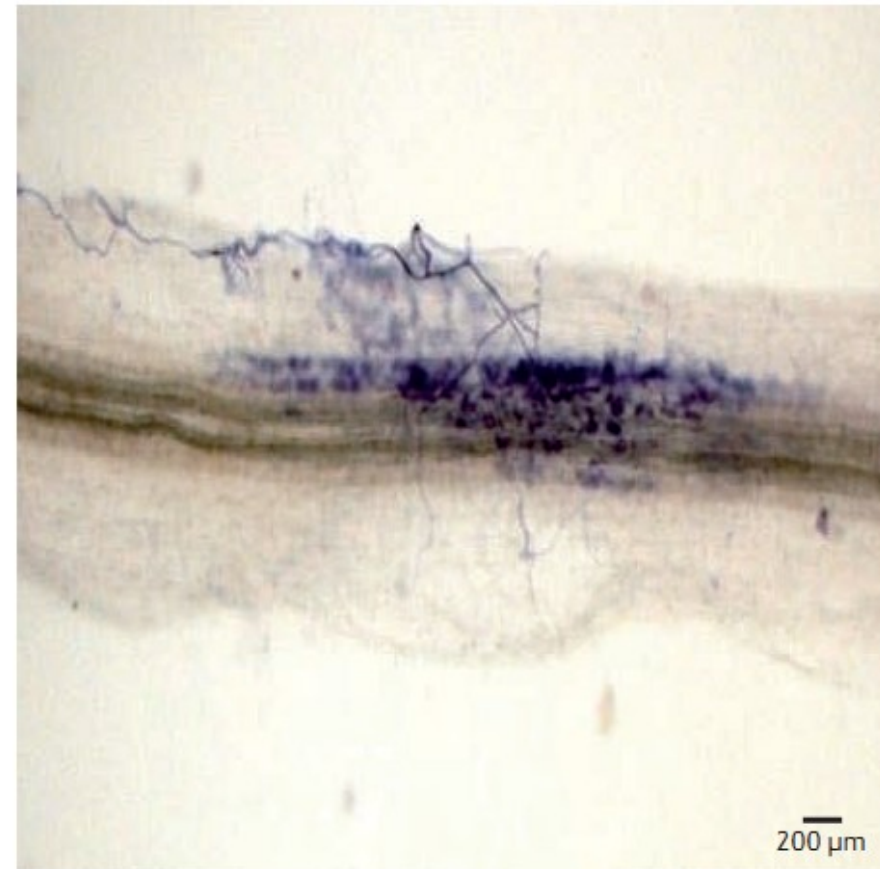
Saprófitas: organismos que absorvem matéria orgânica em decomposição



Ciclagem Elementos: Carbono, Nitrogênio, Enxofre...

Os Fungos estão presentes em todos habitats terrestres – nas regiões polares, desertos, a ambientes anaeróbicos.

Além dos habitats naturais, muitos fungos vivem associados a outros seres vivos constituindo suas “microbiotas”, por exemplo, 90% das plantas vasculares apresentam fungos associados a suas raízes -



Nature Reviews Microbiol , 9 (2011)

An arbuscular mycorrhiza between the glomeromycete fungus *Glomus intraradices* (stained blue) and the legume *Medicago truncatula*. Image is reproduced, with permission, from Maillet, F. et al. © (2011) Macmillan Publishers Ltd. All rights reserved.

Considerando a maior oferta de matéria orgânica, o solo é o habitat com maior frequência e diversidade de espécies de fungos



<http://ppbio.inpa.gov.br/Port/noticias/fungosducke>

Fungos no Ar

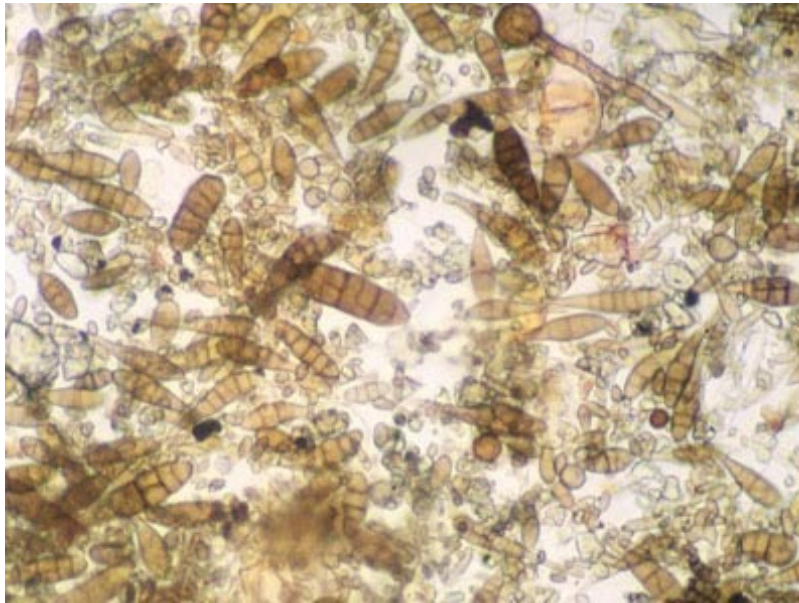
O Ar que respiramos é rico em esporos de fungos que se dispersam continuamente pela ação dos ventos.

Os esporos aéreos possuem uma grossa parede celular revestida por cadeias carbônicas **hidrofóbicas**, cera e melanina (prot. UV).



Permitem controle de perda de água, mas devem permitir também entrada de água que desencadeie o processo de germinação do esporo. No interior da célula glicerol é a principal fonte carbônica

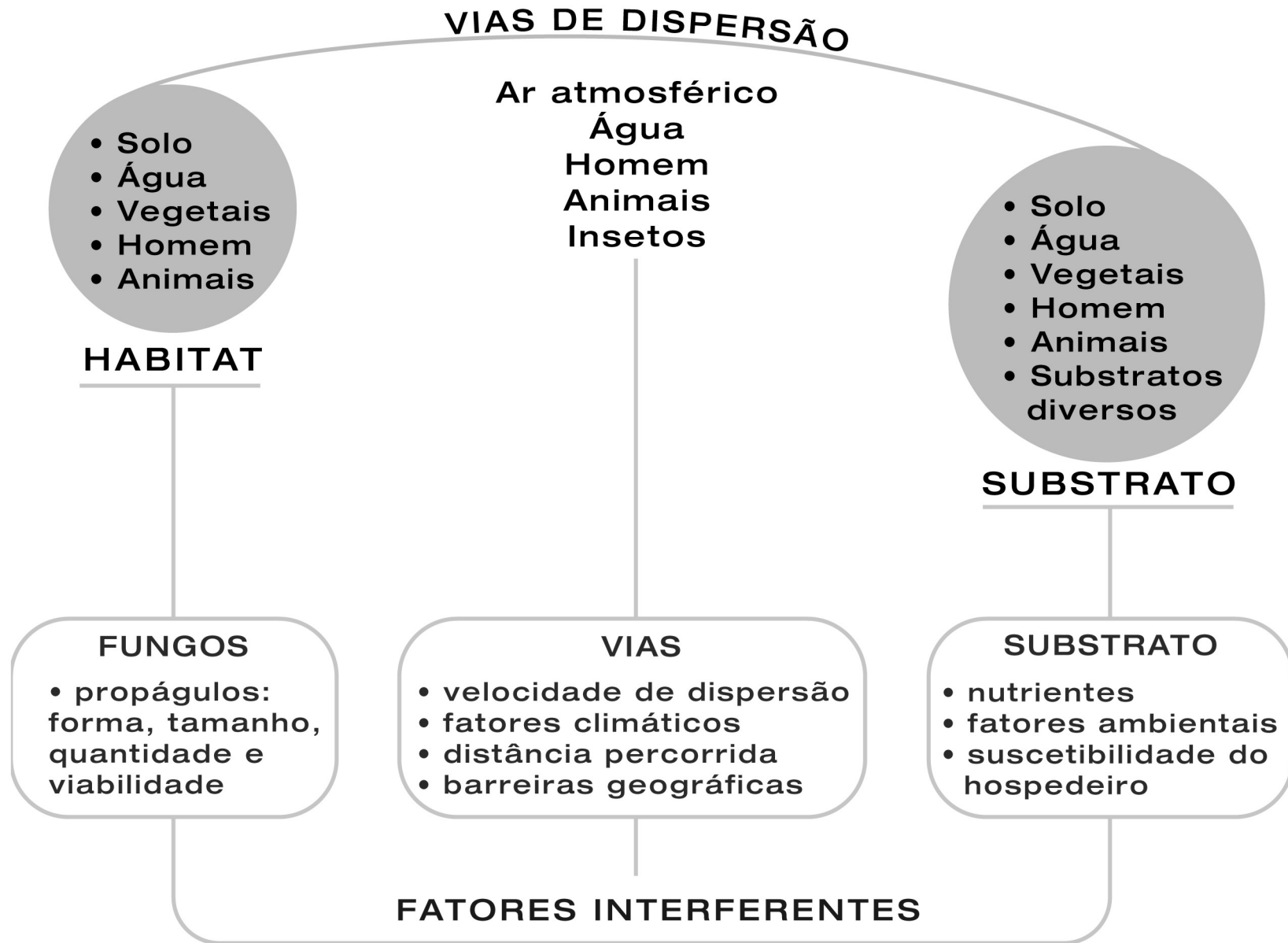
Fita adesiva de coleta de esporos aéreos, nota-se além dos esporos, fragmentos de hifas.



Ambiente externo

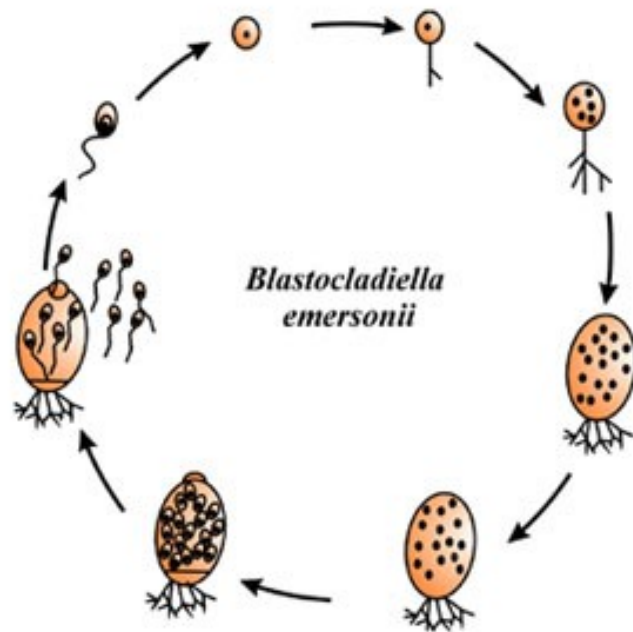


Ambiente interno

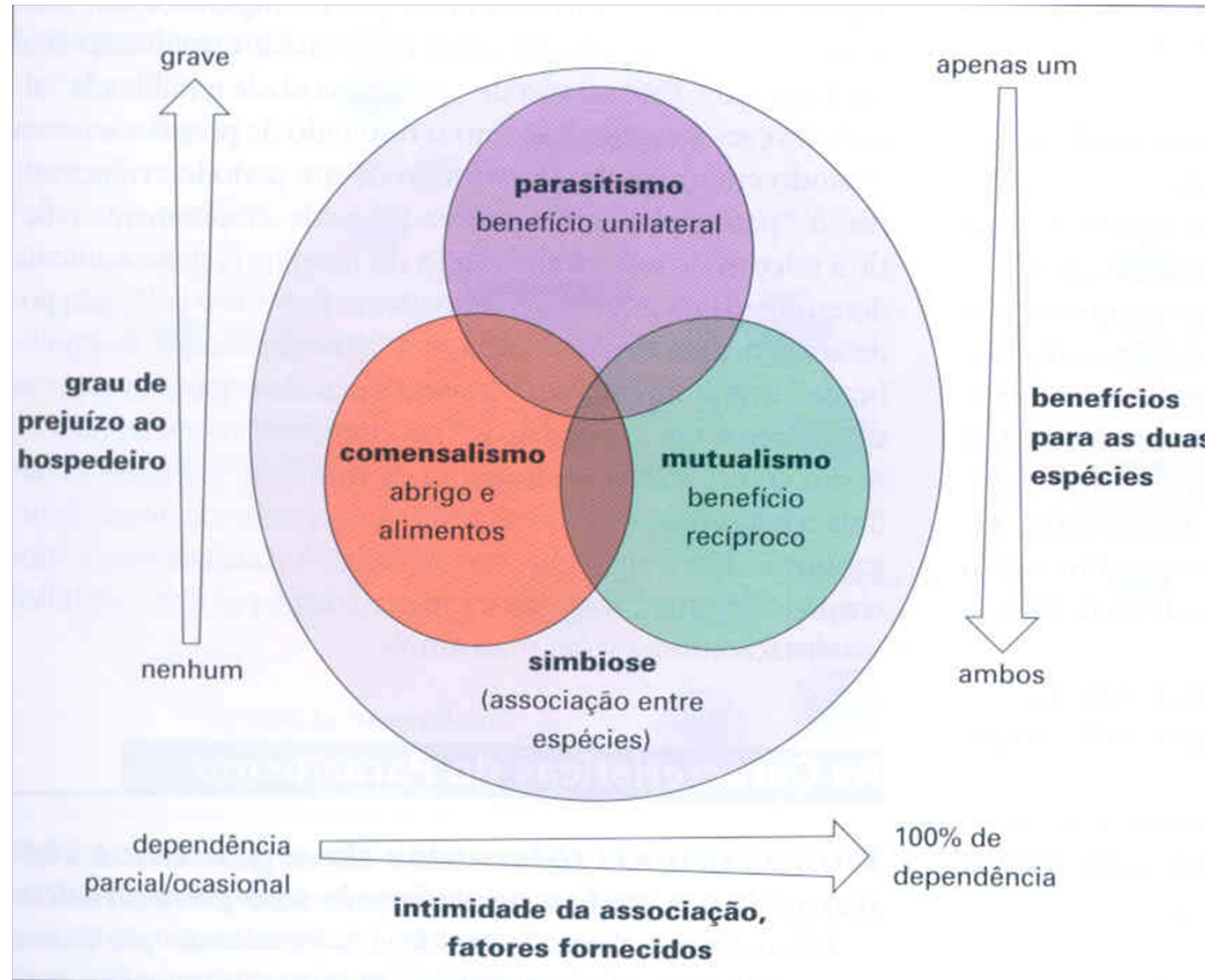


Fungos Aquáticos

A água é utilizada como via de dispersão por muitos espécimes. Mas, ela é também habitat dos fungos pertencentes ao filo Chitridiomicota, que apresentam esporangiósporos flagelados, e ascomicetos marinhos.



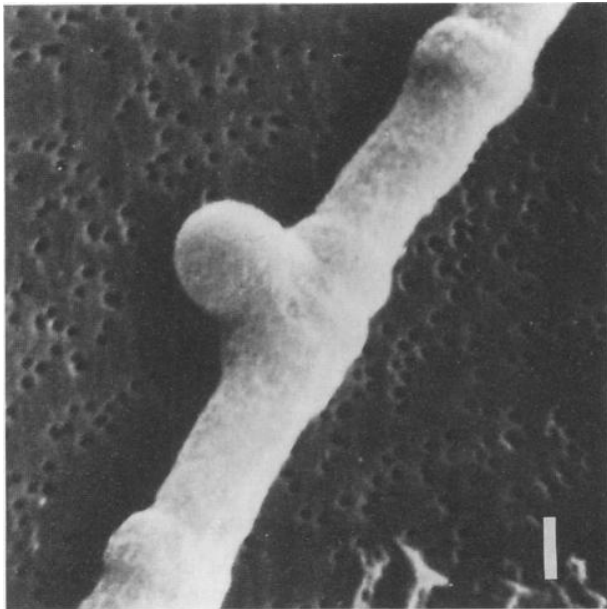
Relações Ecológicas



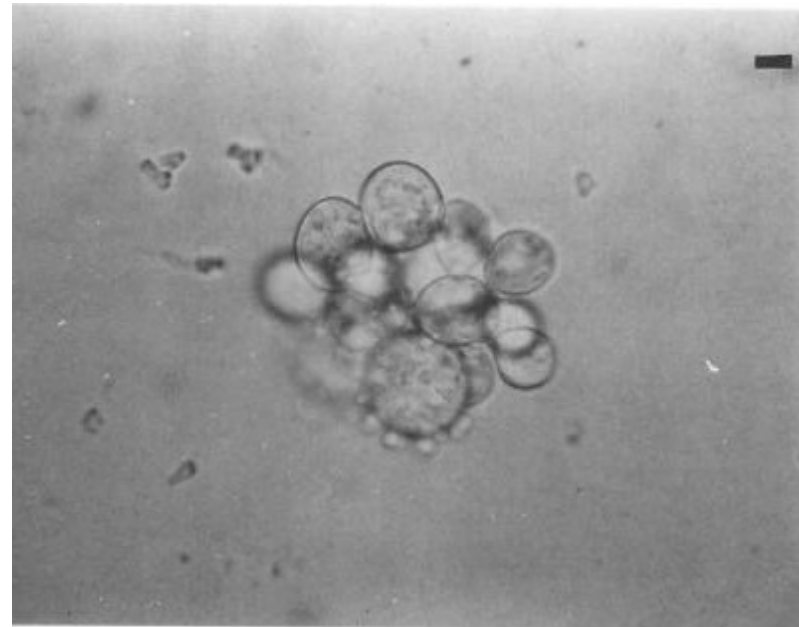
Relações Ecológicas

Parasitismo: Fatores de virulência levam microrganismos saprofíticos para vida parasitária (ação imunossupressiva, capacidade de aderência, formação de cápsulas, dimorfismo, etc...) Ex. dimorfismo em *Paracoccidioides*

25°C

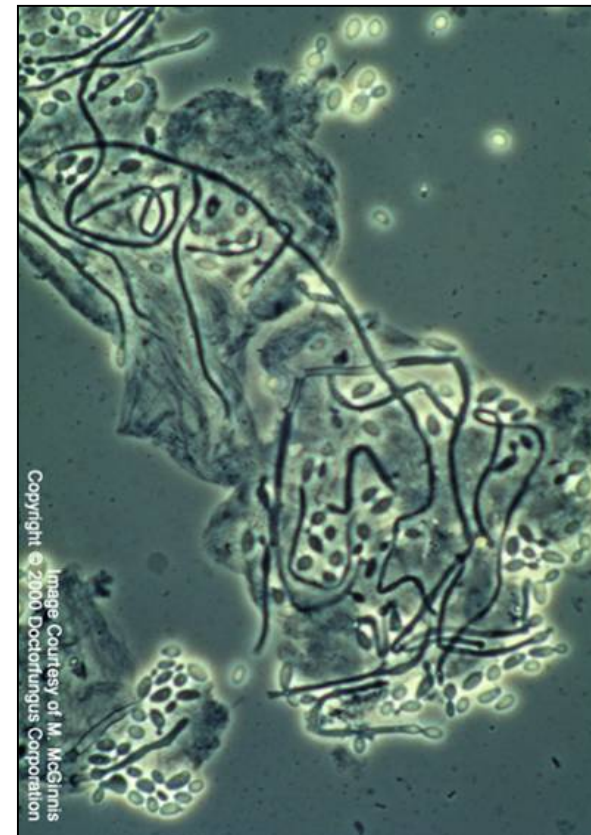
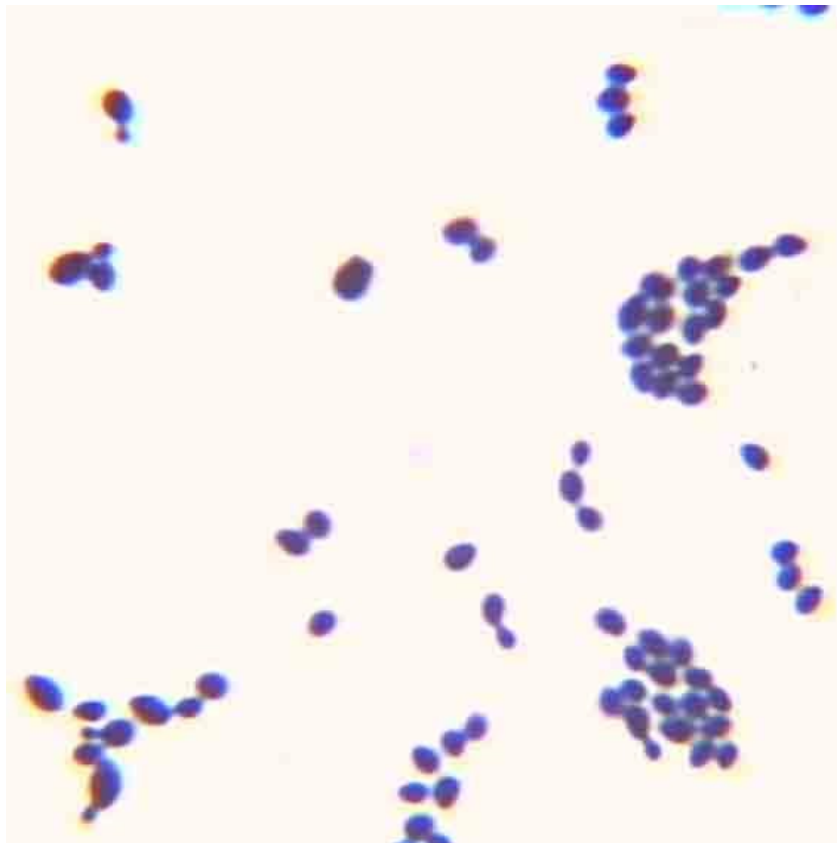


37°C



Comensalismo: Relação com efeito benéfico para um dos participantes e neutro para o outro.

Candida albicans: comensais do trato gastro-intestinal humano, mas se tornam parasitas dependendo do estado fisiológico do hospedeiro.

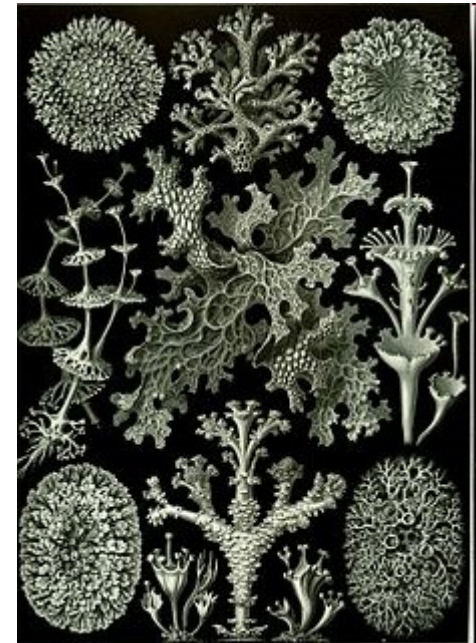


Mutualismo/Simbiose: Relação de benefício mútuo – é específica e dependente de co-evolução por longo período.

-Micorrizas

-Saúva – Fungos Basidiomicetos

- Líquens – associação entre algas, ou cianobactérias com ascomicetos (98% casos) ou basidiomicetos (2%)



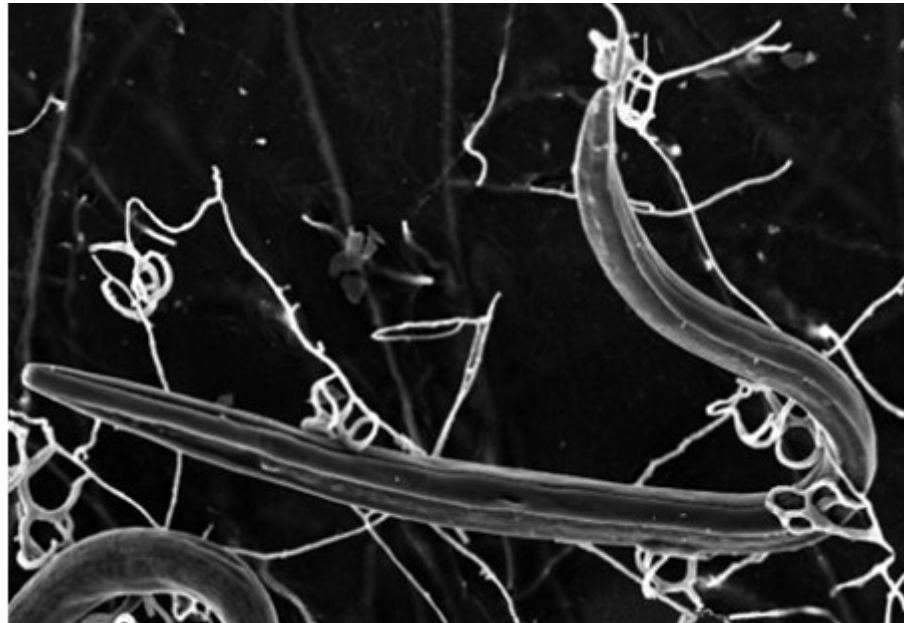
Lichenes" de Ernst Haeckel: *Artforms of Nature*, 1904

Predação

Fungos considerados carnívoros que através de entrelaçamento hifal mata sua presa. Essa estratégia está presente nos Zigomicetos, Ascomicetos e Basidiomicetos.



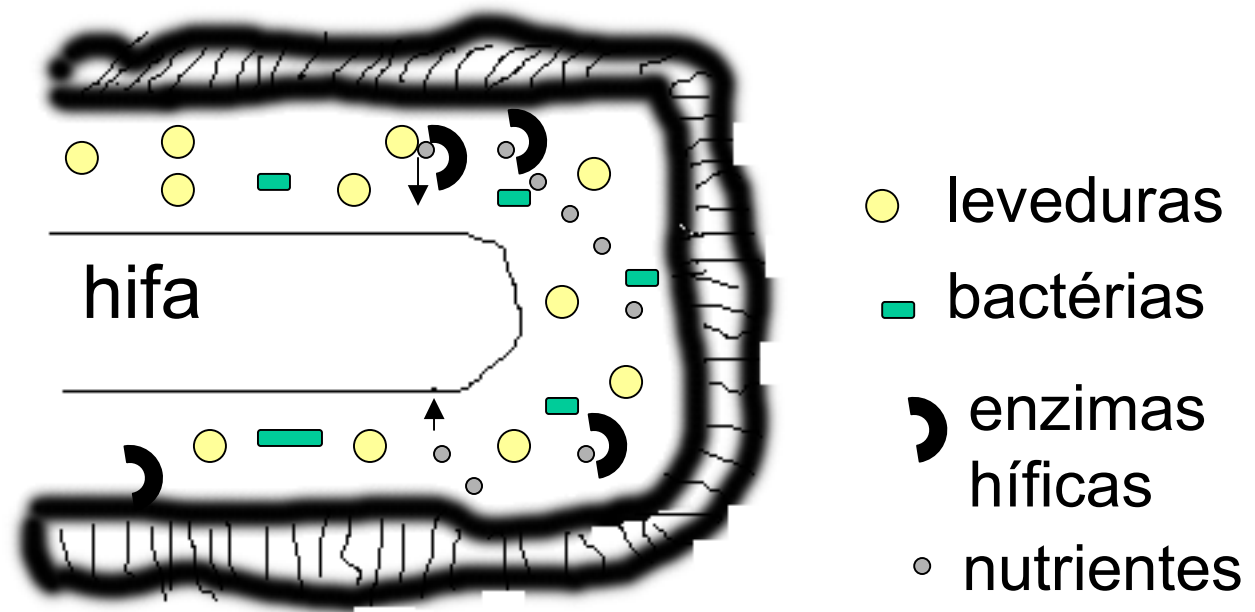
Hungry fungus eats nematode



Arthrobotrys oligospora in the process of capturing a nematode worm. Image is reproduced from Yang, J. et al.

Competição:

Embora haja diferenças nos tipos de substratos que os microrganismos são capazes de explorar em determinadas situações há disputa pelo mesmo substrato.



INTERAÇÕES POR COMPETIÇÃO

ANTAGONISMO ATIVO

**INIBIÇÃO POR CONTATO: PLASMÓLISE DO
MICRORGANISMO ANTAGONIZADO ; PRODUÇÃO DE
ANTIBIÓTICOS, ÁCIDOS, etc**

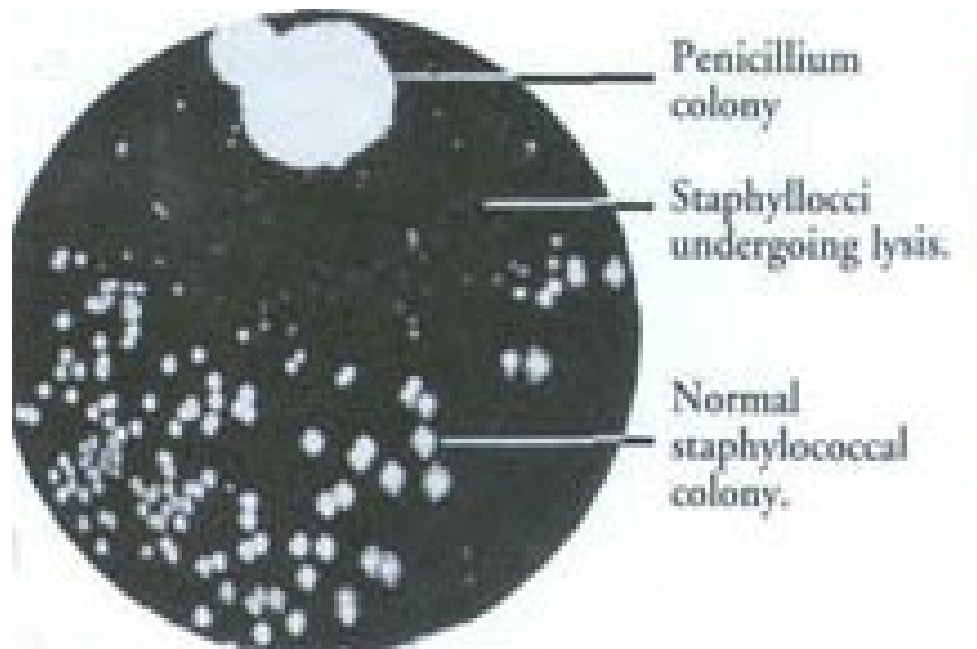
Reprinted from
The British Journal of Experimental Pathology,
1929, Vol. X, p. 226.

**ON THE ANTIBACTERIAL ACTION OF CULTURES OF A
PENICILLIUM, WITH SPECIAL REFERENCE TO THEIR
USE IN THE ISOLATION OF *B. INFLUENZAE*.**

ALEXANDER FLEMING, F.R.C.S.

***From the Laboratories of the Inoculation Department, St. Mary's Hospital,
London.***

Received for publication May 10, 1929.



Escapando da Competição

Antagonismo ativo: A *Oudemansiella mucida* (toxina: mucidin) defende seu substrato



ANTAGONISMO PASSIVO:

**COMPETIÇÃO POR ESPAÇO OU NUTRIENTES
ESPECIAIS : VANTAGEM PARA O FUNGO QUE
ESTIVER EM MAIOR NÚMERO E COM MAIOR TAXA
DE CRESCIMENTO**

