

Microbiologia ambiental

DIVERSIDADE E INTERACÇÕES MICROBIANAS

Microbiologia ambiental

- Os microrganismos são diversos e ubíquos e contribuem para a circulação global de matéria
- As actividades humanas destroem a circulação causando poluição ambiental
- Para encontrar uma solução com base nas actividades dos microrganismos estuda-se a ecologia microbiana

Microbiologia ambiental

Microorganismo

- Substantivo
- Ser vivo microscópico; microbiano (adjectivo)
- Do grego *mikros* (pequeno) + *bios* (vida)

Ecologia

- Substantivo
- Ramo da biologia que estuda as relações entre organismos e entre estes e o seu meio ambiente
- Do grego *oikos* (casa) + *logos* (conhecimento/estudo)

Ecologia microbiana vs. Microbiologia ambiental

Ecologia microbiana

- estudo do comportamento e das actividades dos microrganismos nos seus ***ambientes naturais***, i.e., estuda as inter-relações dos microrganismos uns com os outros e com o seu meio ambiente abiótico

Microbiologia ambiental

- relaciona-se principalmente com os processos microbianos que ocorrem no ***solo, na água ou nos alimentos***; i.e., não se debruça sobre o ambiente no qual os microrganismos existem mas sim sobre os efeitos provocados por esses microrganismos no ***nosso*** meio ambiente

Existem em todos os três domínios: *Archaea*, *Bacteria* e *Eucarya*

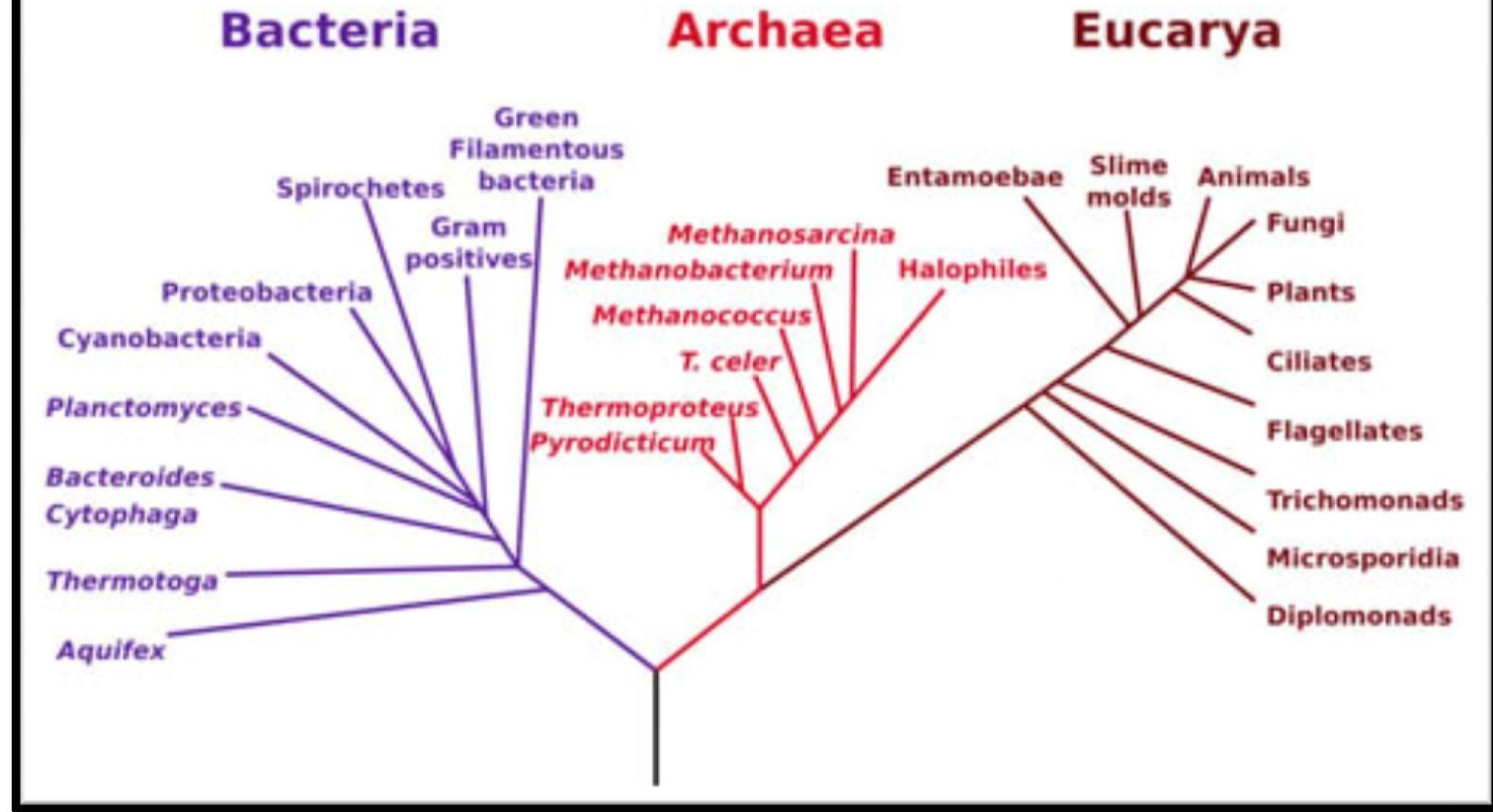
Incluem seres procariotas e eucariotas

DIVERSIDADE TAXONÓMICA DOS MICRORGANISMOS

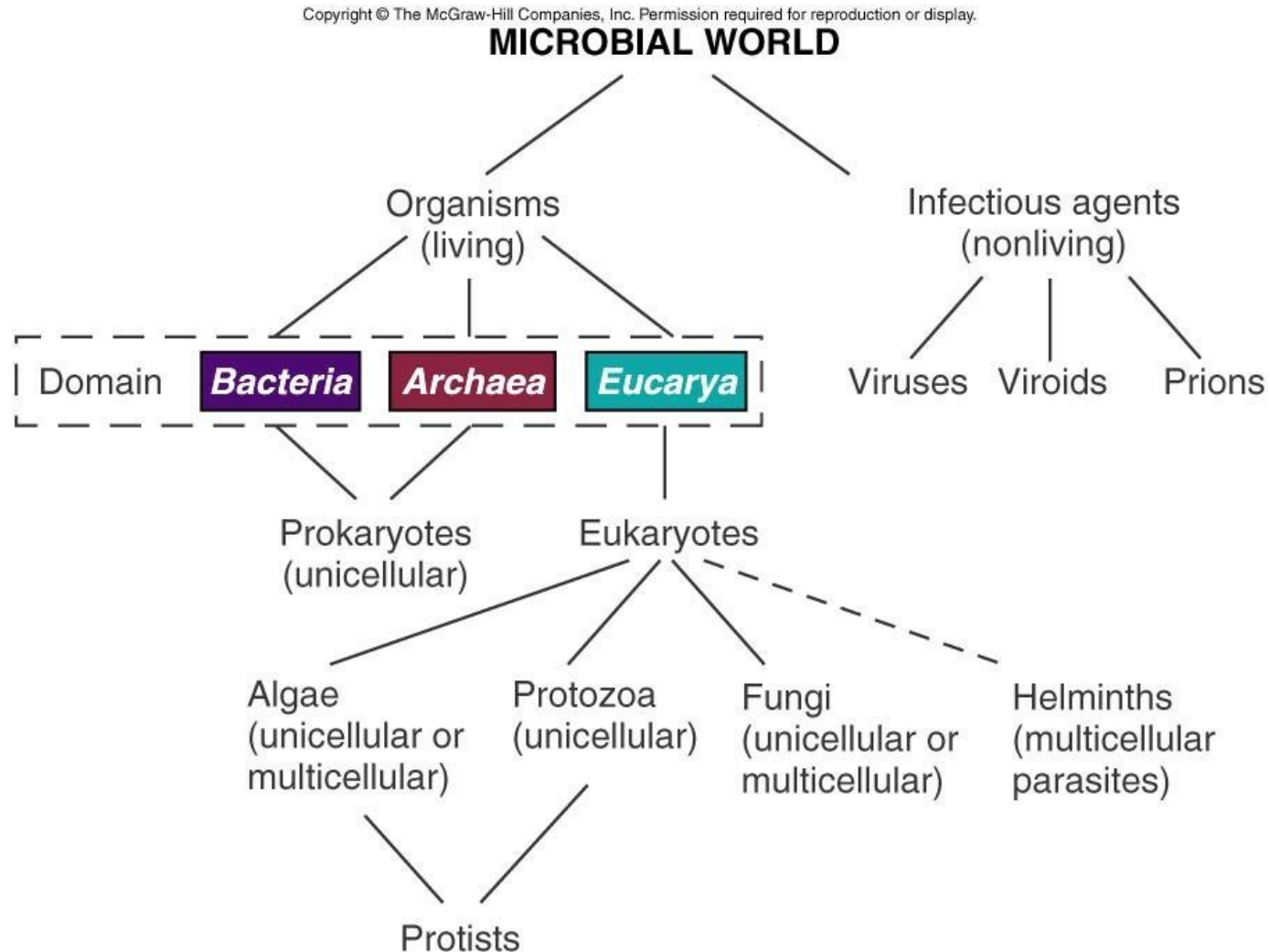
A árvore filogenética da vida

Carl Woese, 1977

Phylogenetic Tree of Life

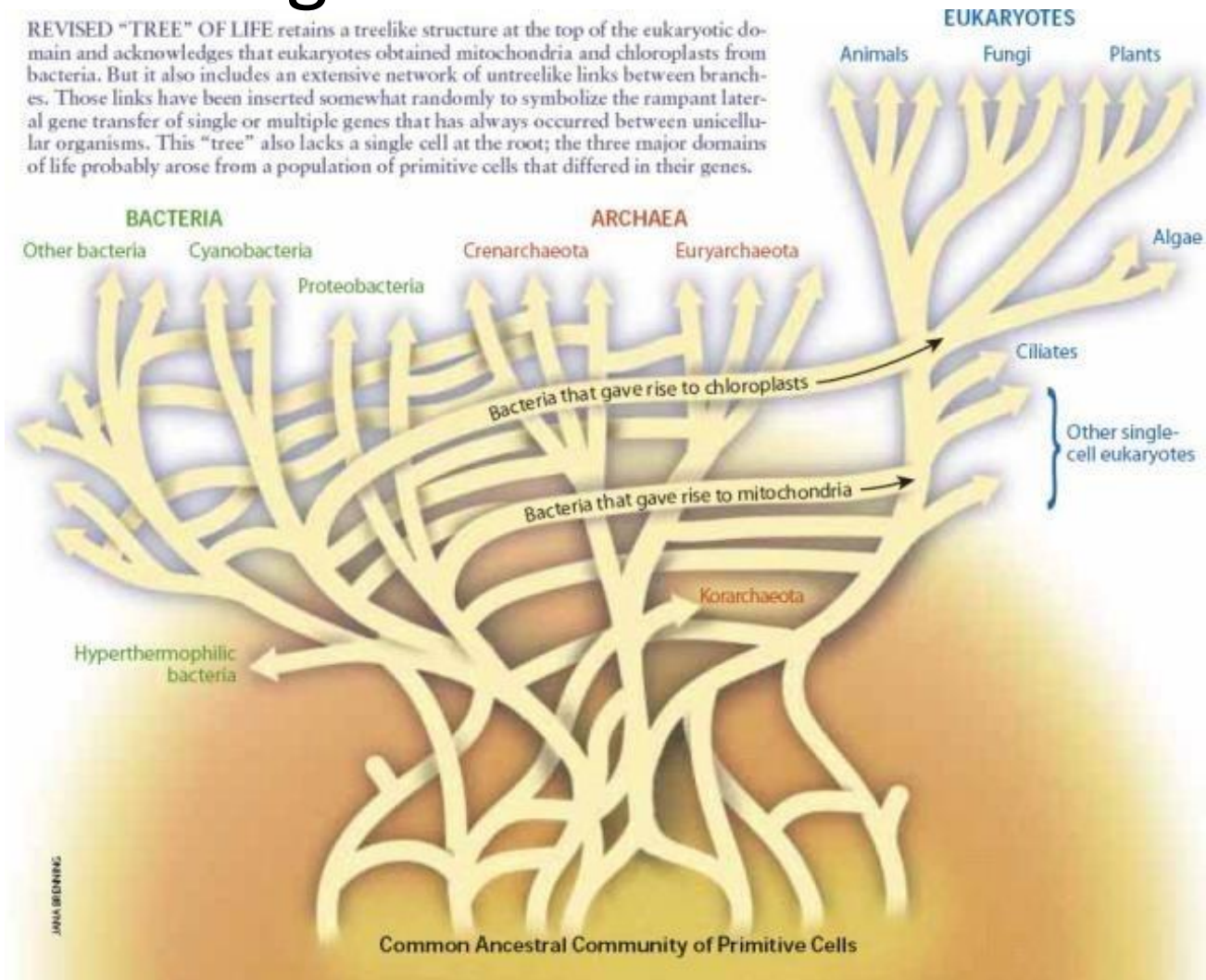


A árvore filogenética do mundo microbiano



A árvore filogenética do mundo microbiano

REVISED "TREE" OF LIFE retains a treelike structure at the top of the eukaryotic domain and acknowledges that eukaryotes obtained mitochondria and chloroplasts from bacteria. But it also includes an extensive network of untreetlike links between branches. Those links have been inserted somewhat randomly to symbolize the rampant lateral gene transfer of single or multiple genes that has always occurred between unicellular organisms. This "tree" also lacks a single cell at the root; the three major domains of life probably arose from a population of primitive cells that differed in their genes.



Archaea

Microrganismos
procariotas

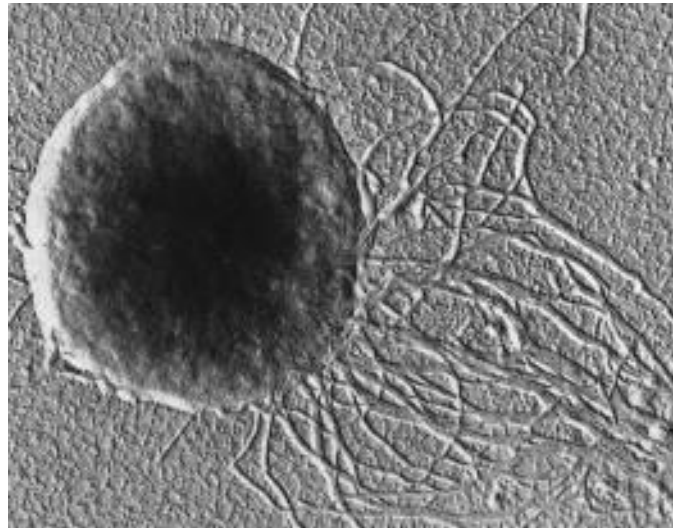
- Parede celular não tem peptidoglicano
- Membrana celular não tem bicamada fosfolipídica
- Não têm membrana externa na parede celular
- Ribossomas e RNA ribossômico diferentes dos das *Bacteria*
- Habitam ambientes extremos
- Três tipos principais
 - Metanogénicas
 - Halófilas extremas
 - Termófilas extremas

Archaea **metanogénicas**

Originalmente isolada de uma fumarola subaquática localizada a 2600 m de profundidade no Oceano Pacífico

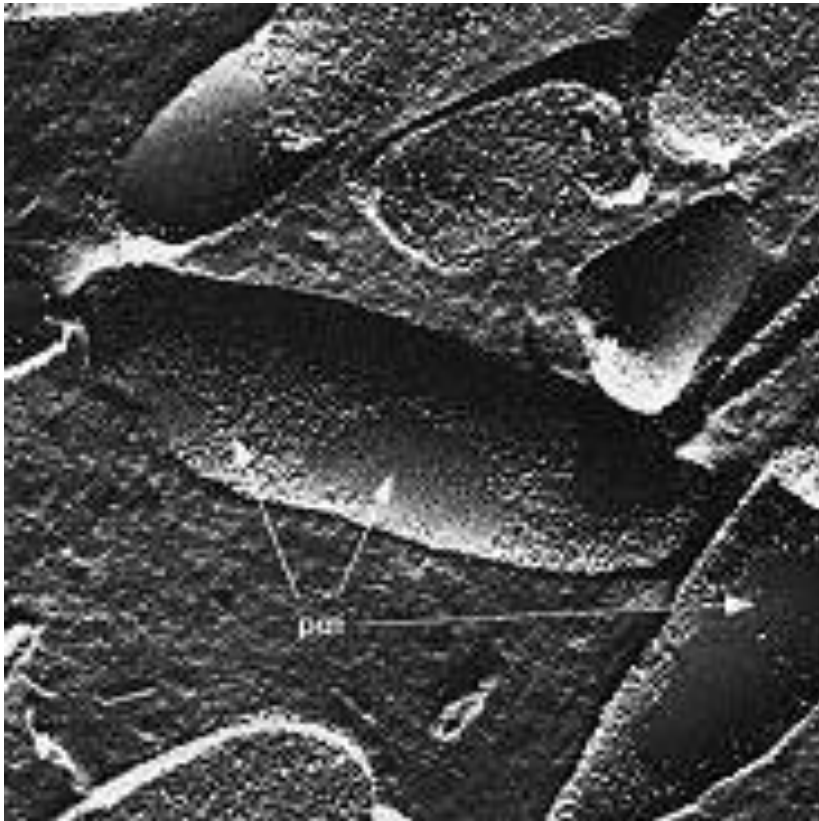
Pode crescer num meio mineral contendo apenas H_2 e CO_2 como fontes de energia e carbono, a temperaturas de 50-86°C

As células são cocos irregulares móveis por dois conjuntos de flagelos inseridos próximo de um dos pólos



Methanococcus jannischii





Halobacterium salinarium

***Archaea* halófilas extremas**

Espécie halófila extrema,
cresce em ambientes com 4
- 5 M de NaCl e não cresce
com menos de 3 M de NaCl

***Archaea* termófilas extremas**

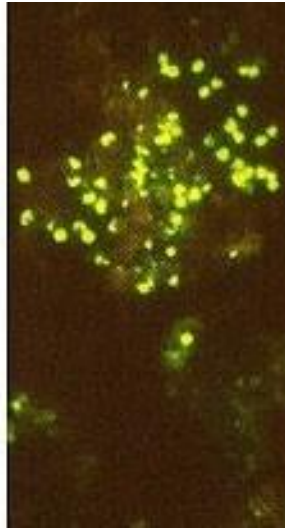
Espécie termófila extrema, encontrada em nascentes termais (energia geotérmica) ácidas com temperaturas de 60 a 95°C e pH 1 a 5

Esquerda: fotografia de microscópio electrónico (×85,000): as células têm o aspecto de esferas irregulares e lobadas

Direita: fotomicrografia das células mostrando cristais de enxofre



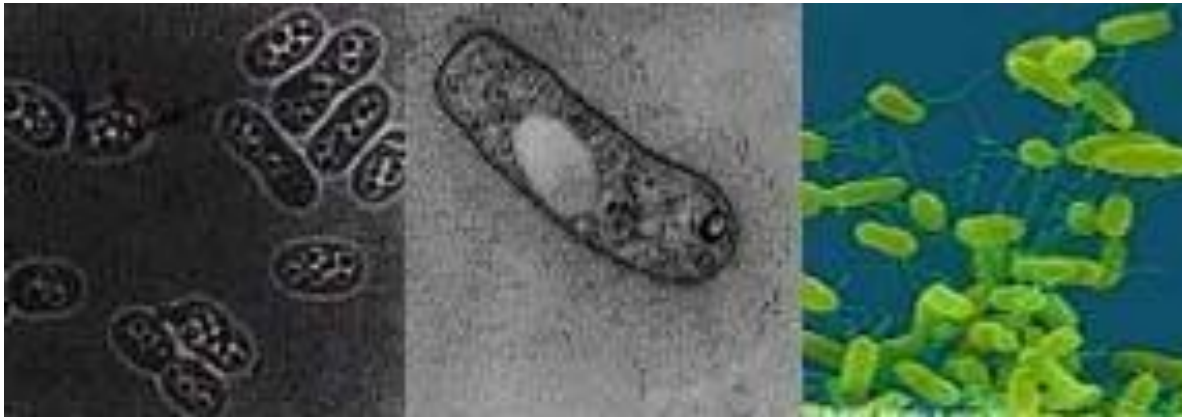
Sulfolobus acidocaldarius



Bacteria

Microorganismos
procariotas

- Bactérias Gram-negativas
 - Bactérias verdes sulfurosas e bactérias púrpuras sulfurosas
 - Bactérias não sulfurosas (uma grande variedade de formas fotossintéticas de ambientes anóxicos)
- Bactérias Gram-positivas
 - Bactérias esporuladas, actinomicetes,...
- Cianobactérias
 - Importantes produtores primários; têm fotossíntese aeróbia e muitas fixam azoto atmosférico
 - Podem formar “blooms” e produzir toxinas que causam graves problemas ambientais
 - Podem ocorrer em simbioses; e.g. *Nostoc* spp. com *Azola filiculoides*; líquenes,...



Bacteria

Proteobacteria

Da esquerda para a direita:

- *Chromatium* (bactérias púrpuras)
- *Rhizobium* (Proteobacteria quimioautotróficas)
- *Salmonella* (Proteobacteria quimioheterotróficas)

Bacteria

Espiroquetas

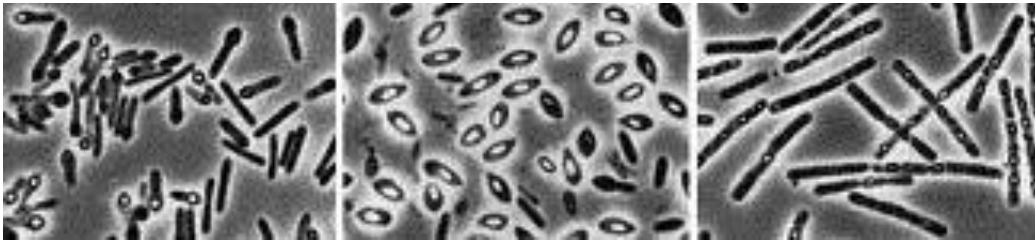
Da esquerda para a direita:

- Corte transversal mostrando a localização dos endoflagelos

- *Borrelia burgdorferi*, agente da doença de Lyme (agente intermediário é uma carraça da espécie *Ixodes scapularis*)

- *Treponema pallidum*, agente da sífilis





Bacteria Gram-positivas

Bacilos formadores de endosporos

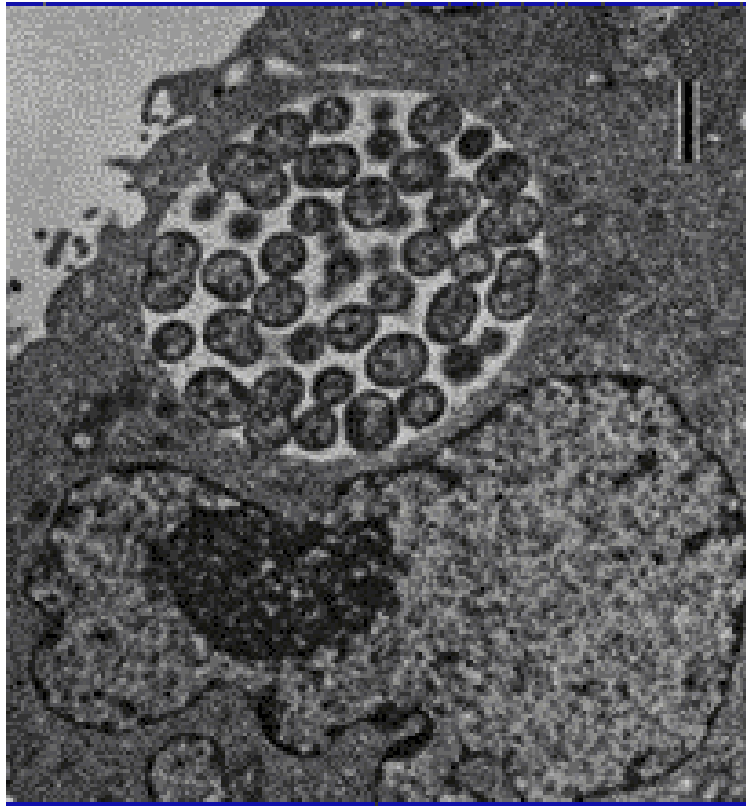
Endosporos: células desidratadas, refractárias, aparecem como pontos brilhantes ao MO

As bactérias formadoras de endosporos são geralmente bacilos Gram-positivos, embora existam exceções

Gêneros mais importantes

-*Bacillus*: género de bactérias aeróbias formadoras de esporos que vivem no solo

-*Clostridium*: género de bactérias anaeróbias formadoras de esporos que vivem em solos, sedimentos e tubo intestinal de animais



Bacteria

Chlamydia

Chlamydia trachomatis foi a primeira clamídia a ser descoberta

Causa tracoma, doenças sexualmente transmissíveis, algumas formas de artrite, conjuntivite, pneumonia, ...

Bacteria

Cianobacteria

Fotoautotróficas



- *Oscillatoria*, uma espécie filamentosa comum na água doce e nas nascentes termais
- *Nostoc*, uma espécie colonial
- *Anabaena*, uma espécie fixadora de azoto. A célula opaca (3ª a contar da direita) é um **heterocisto**, a célula especializada na qual ocorre fixação de azoto. A célula grande é um tipo de esporo chamado acineto
- *Synechococcus*, espécie unicelular de habitats marinhos e nascentes termais. Uma das bactérias fotossintéticas mais importantes dos oceanos, estima-se que contribui com 25% de toda a produtividade primária marinha

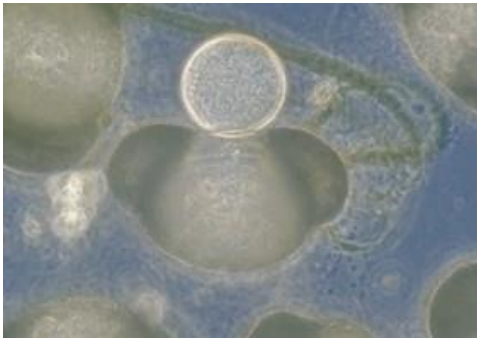
Fungos

Grupo polifilético de
microrganismos eucariotas
Domínio *Eucarya*

- Formas celulares
 - Fungos filamentosos: hifas
 - Fungos unicelulares: leveduras
- Alguns fungos apenas formam hifas, outros apenas leveduras, outros podem alternar entre as duas formas dependendo das condições ambientais
- Parede celular rígida (quitina)
- Saprófitas de compostos orgânicos ou parasitas de organismos vivos

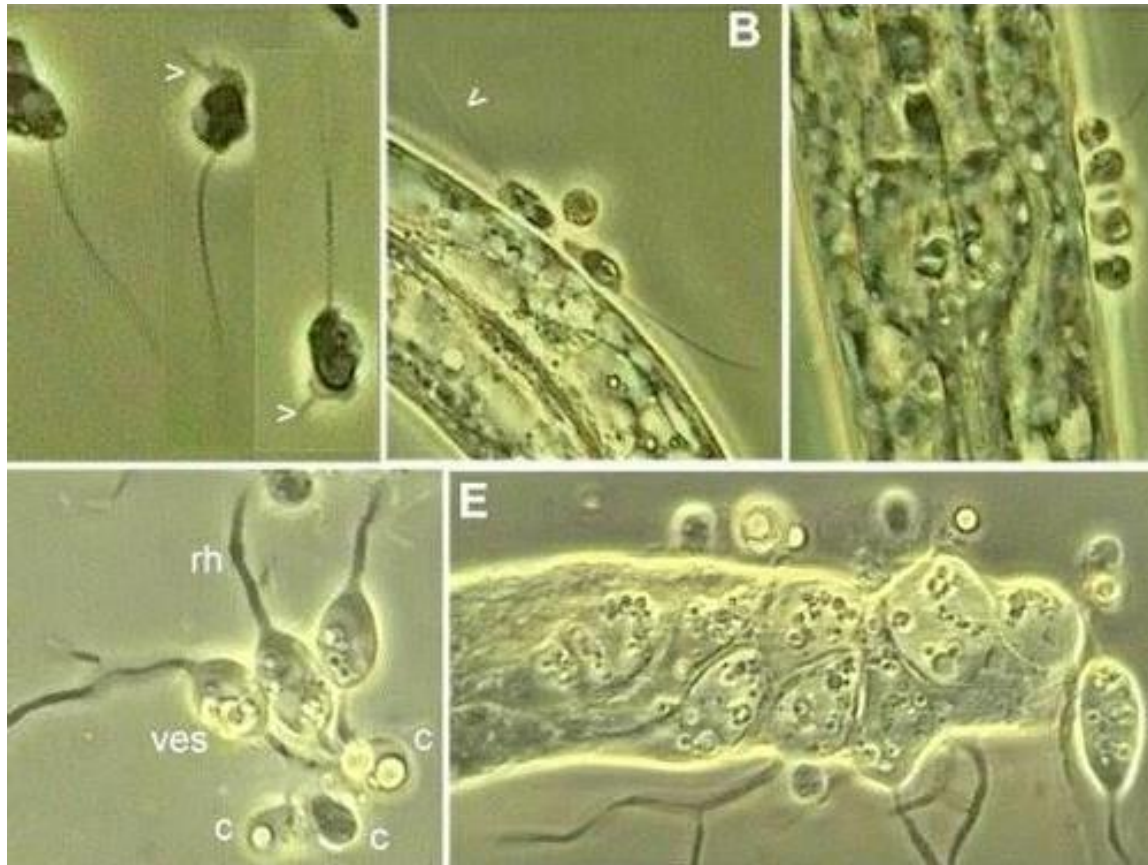
Classificação dos fungos

Filo Chytridiomycota



Hifas cenocíticas: tubos contínuos sem divisões transversais, preenchidos por uma massa citoplasmática com centenas de núcleos

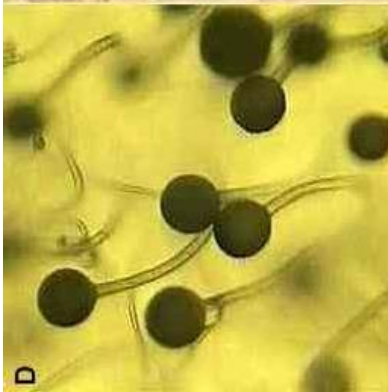
- Fungos maioritariamente aquáticos, com flagelos em algum estágio do ciclo de vida
- Tipicamente unicelulares ou com cadeias de células ligadas ao alimento por rizóides; hifas cenocíticas
- Reprodução sexuada por fusão de gametas **móveis**
- Reprodução assexuada pela formação de esporângios com produção de zoósporos **móveis** por um flagelo
- Muitas espécies saprófitas



Zooósporos de
Catenaria anguillulae

Classificação dos fungos

Filo Zygomycota



D: Esporângios com esporos

E: Zigósporo

- Hifas cenocíticas
- Reprodução sexuada por fusão de órgãos sexuais (gametângios) com formação de esporos (zigósporos)
- Reprodução assexuada pela produção de esporos imóveis em esporângios formados na ponta de hifas aéreas chamadas esporangiósforos
- Saprófitas ;colonizam rapidamente habitats ricos em hidratos de carbono ou amido
- Algumas espécies são parasitas de outros fungos, de animais ou de plantas



Zygomycota: principalmente terrestres, ajudam as plantas a absorver nutrientes do solo

Classificação dos fungos

Filo Ascomycota



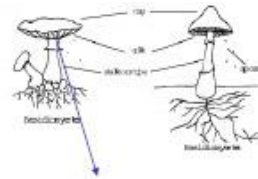
- Hifas septadas
- Parasitas e saprófitas: muitos causam o apodrecimento de produtos armazenados
- Hemi-ascomicetes (ascósporos formam-se num asco nu e não num corpo frutífero) incluem a levedura *Saccharomyces cerevisiae*



Ascocarpo de Ascomycota

Classificação dos fungos

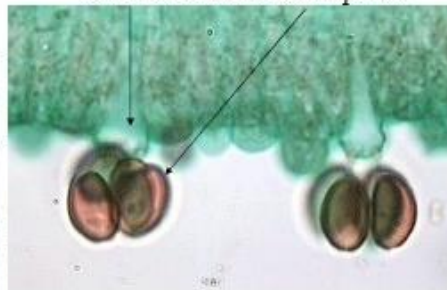
Filo Basidiomycota



Basídio com basidiosporos



<http://www.apsnet.org>



<http://www.lima.ohio-state.edu/academics/biology/images/corpinus.jpg>

- Cogumelos são os corpos frutíferos efêmeros e produzem grandes quantidades de basidiósporos a partir de um conjunto de hifas que pode ser muito grande e muito velho (tão velho como a árvore, no caso dos fungos micorrízicos)
- Importantes decompositores da madeira



Basidiomycota: decompõem madeira e folhas

Classificação dos fungos

Filo Deuteromycota



- Fungos imperfeitos, i.e., aqueles aos quais não se conhece uma fase sexuada
- Semelhantes aos ascomicetes, com hifas septadas e esporos assexuados semelhantes

Protistas

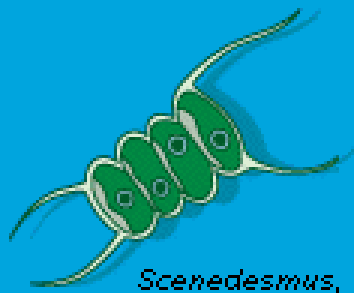
Microrganismos

eucariotas

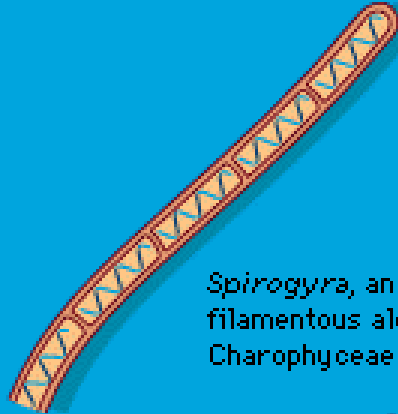
Domínio *Eucarya*

- **Micro-algas:** têm parede celular; fotoautotróficos; produtores primários importantes da água doce e salgada, também existem no solo e na matéria orgânica húmida
- **Protozoários:** não têm parede celular; fotoautotróficos ou heterotróficos; vários tipos de vacúolos (digestivos, contrácteis,...), uni ou polinucleados, apresentam formas de vida variadas; alguns são predadores de bactérias, fungos, algas, ou outros protozoários; alguns vivem em simbiose com algas; amebas, paramécias, *Vorticella* (importante no tratamento de esgotos)

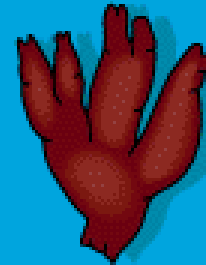
Classificação das algas



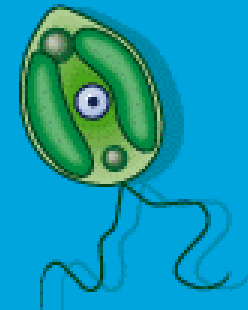
Scenedesmus, a coccoid alga.
Chlorophyceae



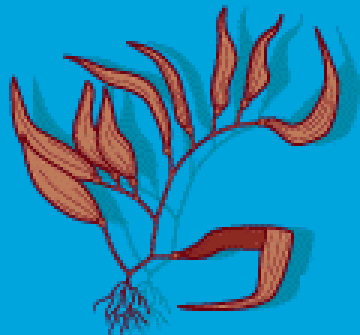
Spirogyra, an unbranched filamentous alga.
Charophyceae



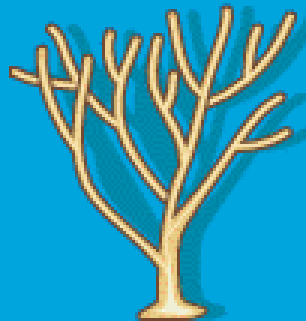
Palmaria, a complex filamentous alga.
Rhodophyceae



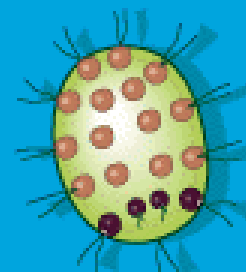
Ochromonas, a single-celled flagellate.
Chrysophyceae



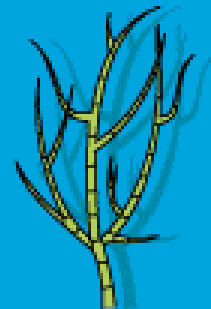
Macrocystis, a parenchymatous alga.
Phaeophyceae



Codium, (or dead man's fingers), a large branching alga that is not subdivided by cell walls.
Ulvophyceae



Pleodorina, a colonial flagellate.
Chlorophyceae



Stigeoclonium, a branched filamentous alga.
Chlorophyceae

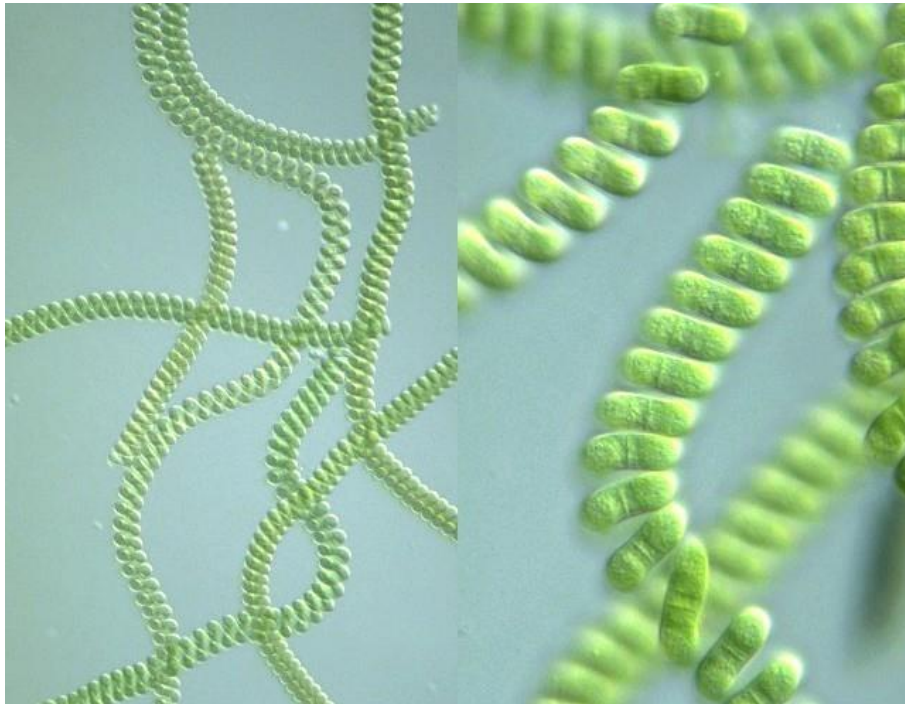
Algas verdes



Unicelulares,
unicelulares
coloniais ou
pluricelulares

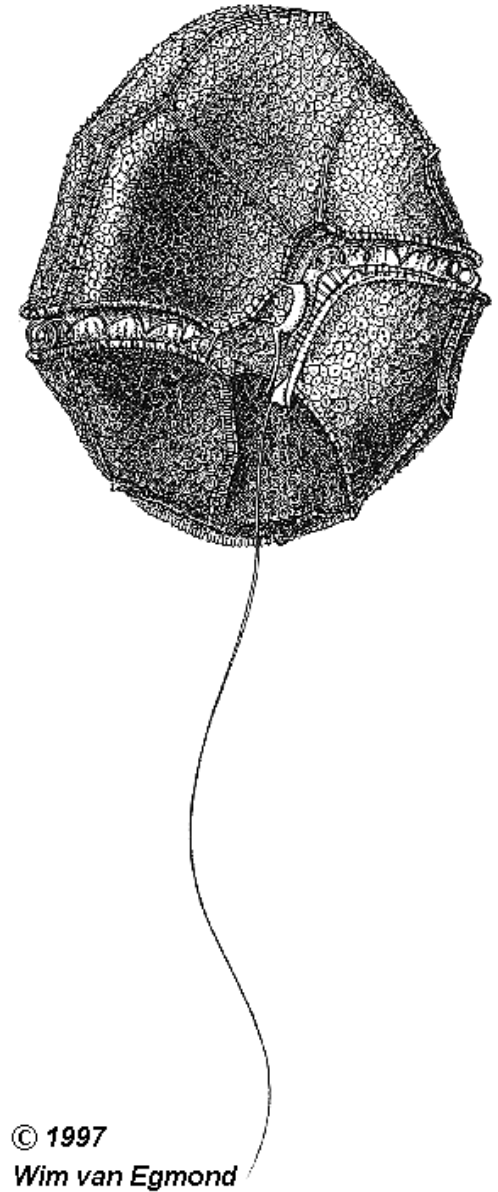
Móveis ou
imóveis

Vivem na água
doce, na água
salgada ou em
terra



Dinoflagelados (*Dinophyta*)

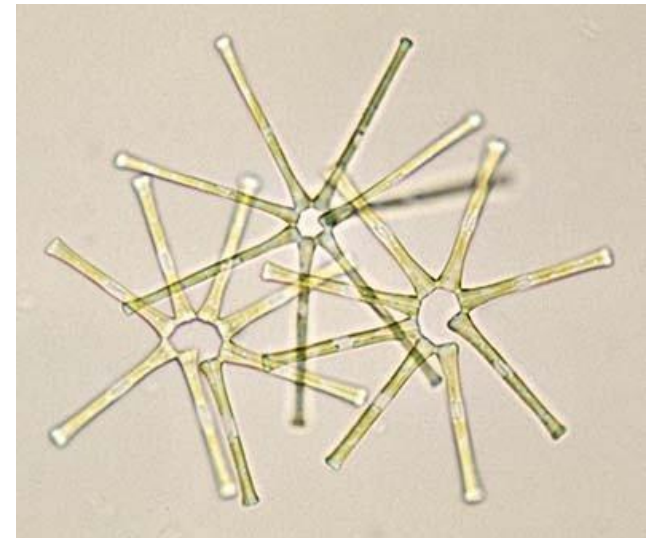
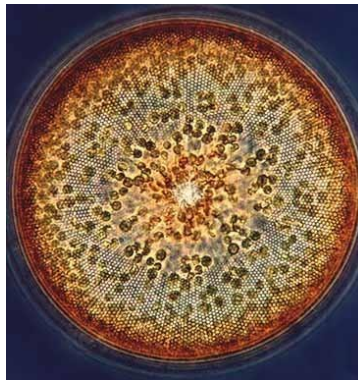
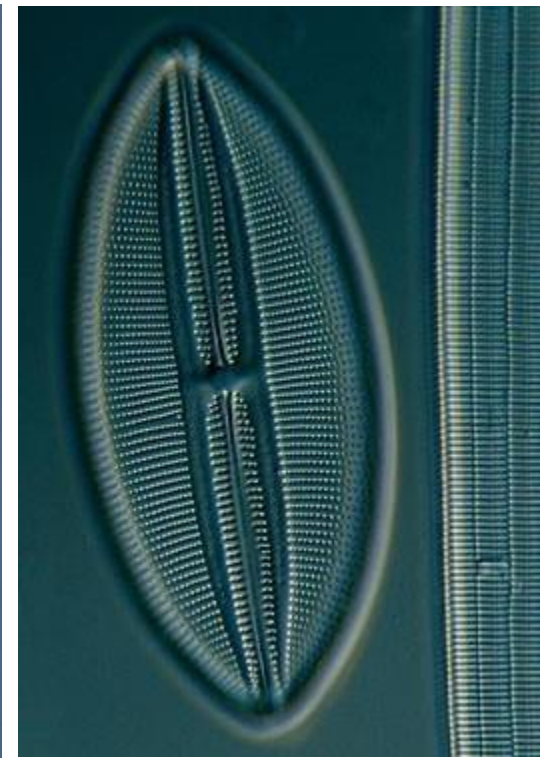
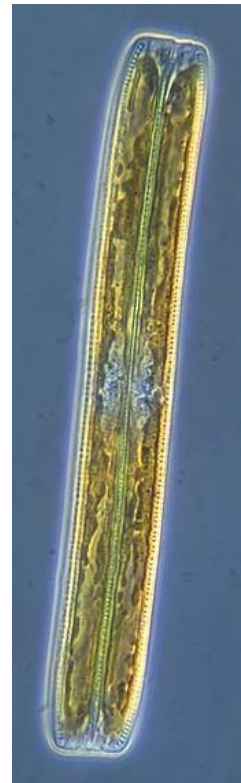
Castanhas, carapaça
ornamentada de celulose,
dois flagelos,
<0.4 mm



© 1997
Wim van Egmond

Diatomáceas

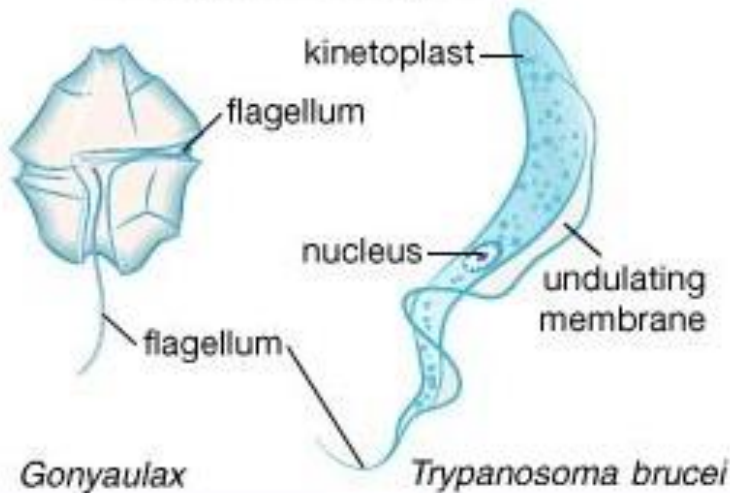
Amareladas, carapaça ornamentada de sílica com duas valvas reveste a parede celular, solitárias ou coloniais, alguns deslizam, <0.5 mm



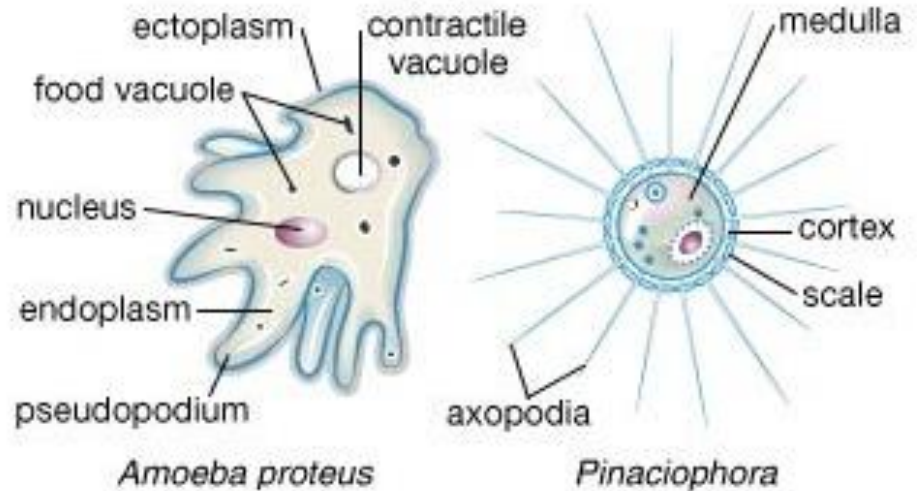
Classificação dos protozoários

phylum Sarcomastigophora

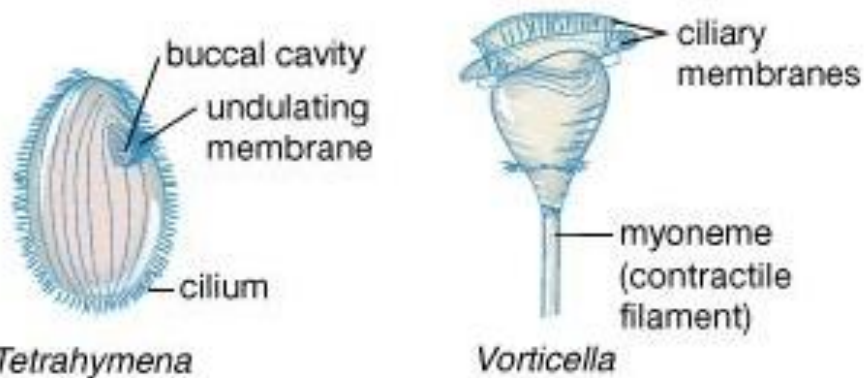
subphylum Mastigophora



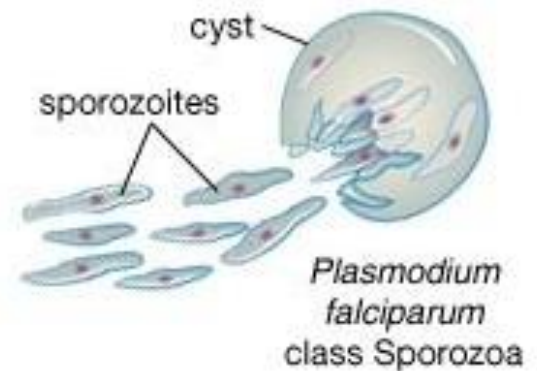
subphylum Sarcodina



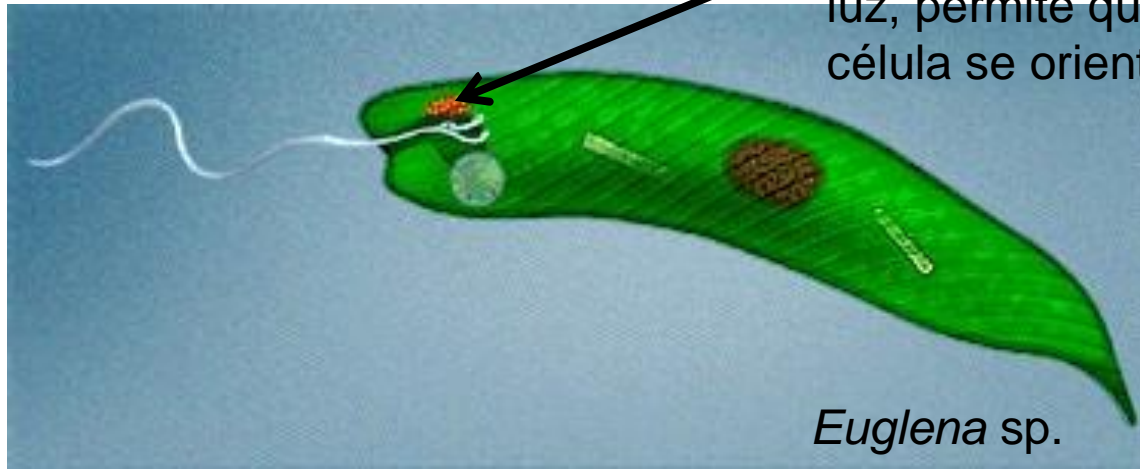
phylum Ciliophora



phylum Apicomplexa



Órgão sensível à luz, permite que a célula se oriente





Amebas

Filo Rhizopoda

Móveis por
pseudópodes
(movimento
citoplasmático, que se
move e altera o seu
estado de fluido para
sólido), 0.02-5mm

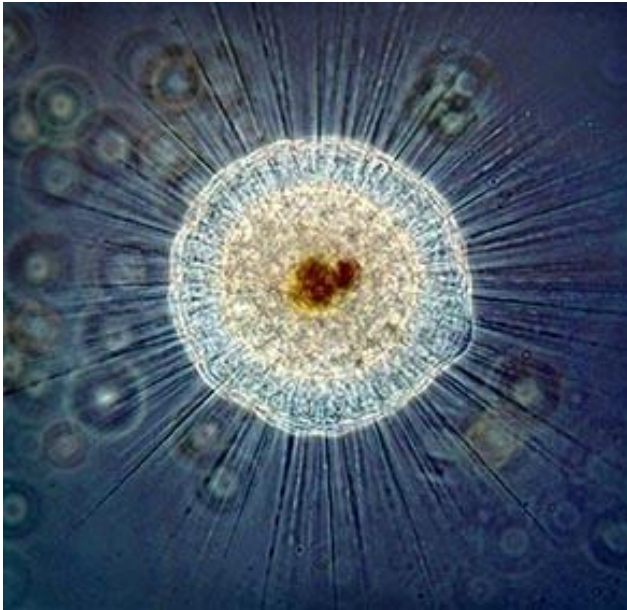
Pseudópodes também
servem para capturar
alimento

Amebas com carapaça

Móveis por pseudópodes,
0.1 - 0.4 mm, têm carapaça
de grãos de areia

Usam os pseudópodes
mais longos para capturar
as presas





Heliozoários

Filo Actinopoda

Imóveis, 0.01 - 1 mm,
com axópodes

(projeções rígidas do
citoplasma) que usam

para capturar alimento

Pequenos protistas ficam
presos nos axópodes

sendo depois cobertos

por um fluxo

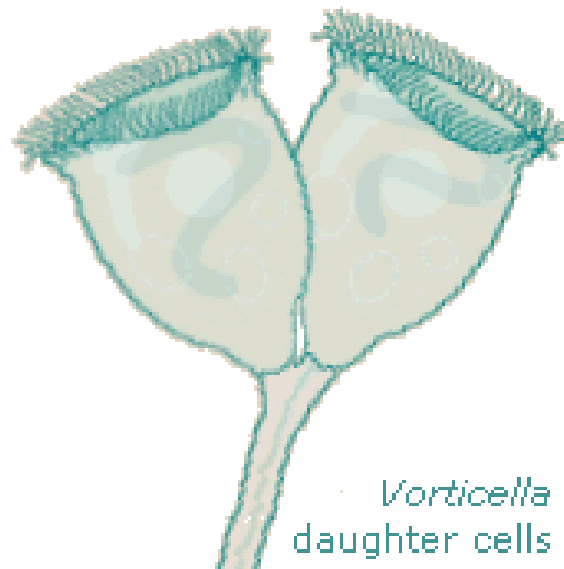
citoplasmático e

transportados para o

interior da célula

Ciliados imóveis

Células cilíndricas ou forma de sino, com cílios, alguns têm pedúnculos, geralmente coloniais, fixos a animais ou plantas, <0.25mm

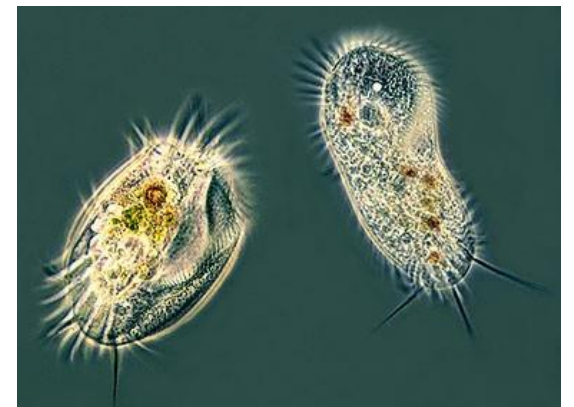
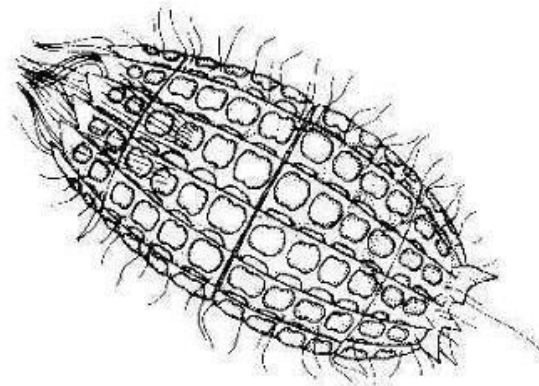
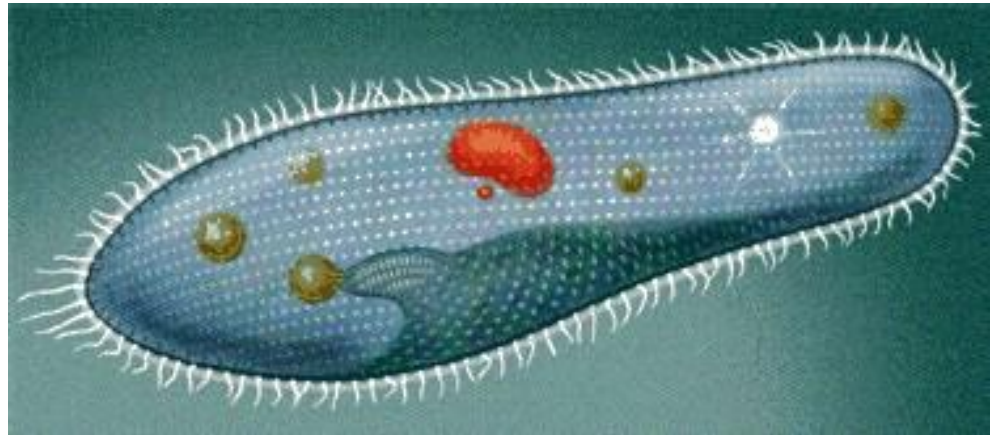


Ciliados móveis

Paramecium

Coleps

Formas variadas, livres, móveis por cílios, que também usam para se alimentar



Enquanto os organismos eucariotas são relativamente limitados nas suas fontes de carbono, energia e electrões, os procariotas apresentam uma enorme diversidade metabólica

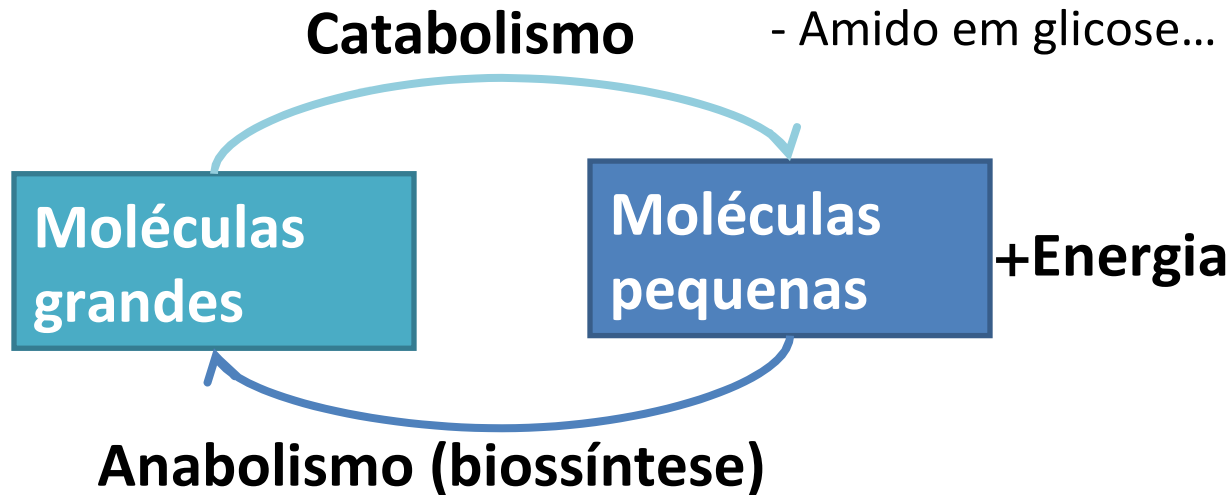
DIVERSIDADE METABÓLICA DOS MICRORGANISMOS

O que é o metabolismo?

Catabolismo + Anabolismo

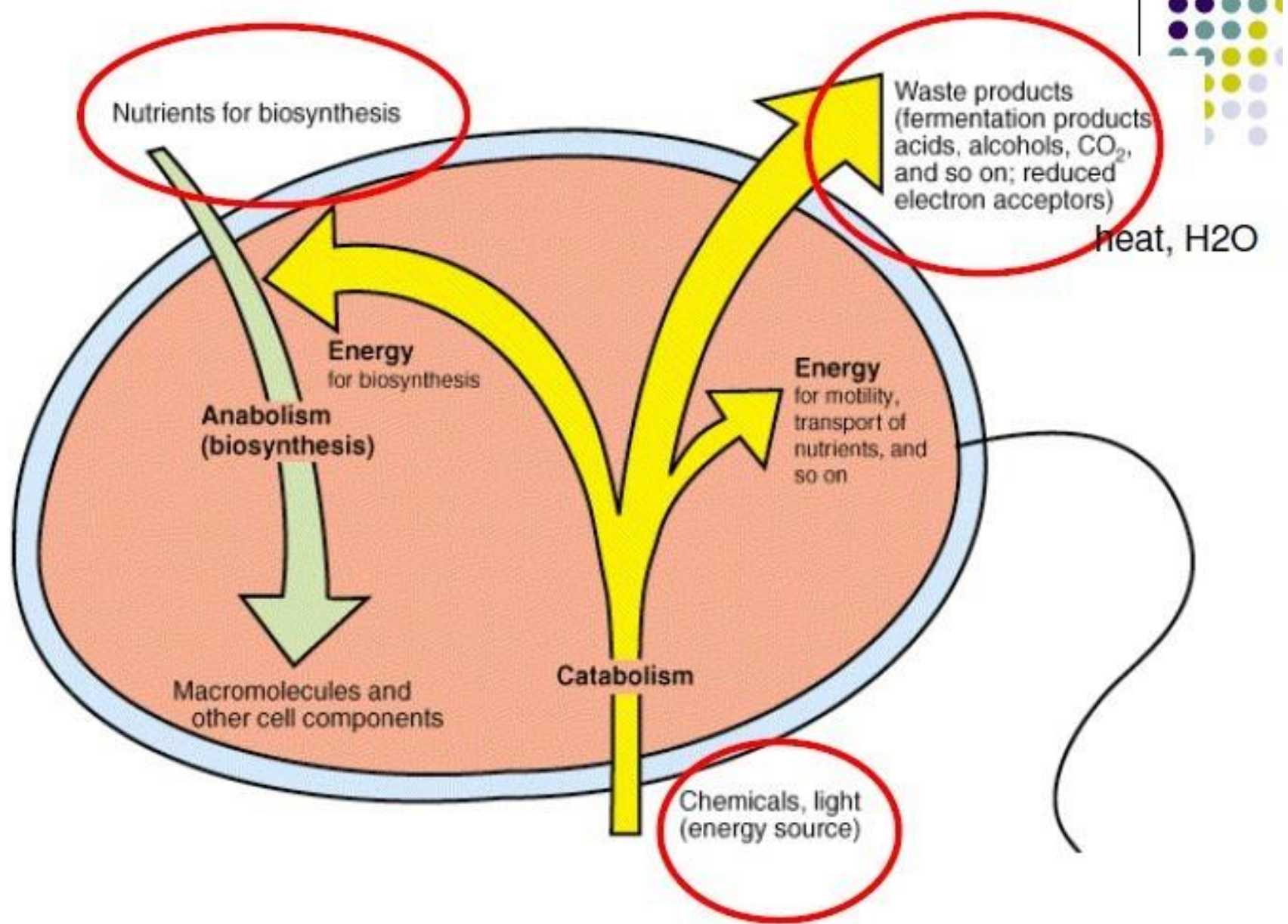
Decomposição das moléculas grandes em moléculas mais pequenas, com o objectivo de gerar energia:

- Proteínas em aminoácidos
- Amido em glicose...



Síntese de moléculas grandes a partir de pequenas:

- Aminoácidos em proteínas
- Glicose em amido...



Grande diversidade metabólica

- Fonte de energia: catabolismo
 - Luz: **fototróficos**
 - Reacções de oxi-redução dos compostos químicos: **quimiotróficos**
- Fonte de electrões: catabolismo
 - Compostos orgânicos: **organotróficos**
 - Compostos inorgânicos: **litotróficos**
- Fonte de carbono para crescimento: anabolismo
 - Compostos orgânicos: **heterotróficos**
 - Compostos inorgânicos: **autotróficos**

Fotoautotróficos

Fonte de energia	Fonte de electrões	Fonte de carbono	Exemplos
Luz	Compostos inorgânicos		
	H ₂ O	CO ₂	Microalgas; cianobactérias
	H ₂ S; H ₂	CO ₂	Bactérias verdes sulfurosas ; bactérias púrpuras sulfurosas

... e todas as plantas!



Fotoheterotróficos

Fonte de energia	Fonte de elétrões	Fonte de carbono	Exemplos
Luz	Compostos orgânicos		Bactérias verdes não sulfurosas; Bactérias púrpuras não sulfurosas



Quimioautotróficos

Fonte de energia	Fonte de electrões	Fonte de carbono	Exemplos
Compostos inorgânicos: H ₂ ; NH ₃ ; NO ₂ ; H ₂ S; Fe ^{II}		Compostos inorgânicos: CO ₂	Alguns <i>Bacteria</i> - bactérias nitrificantes - e muitos <i>Archaea</i>

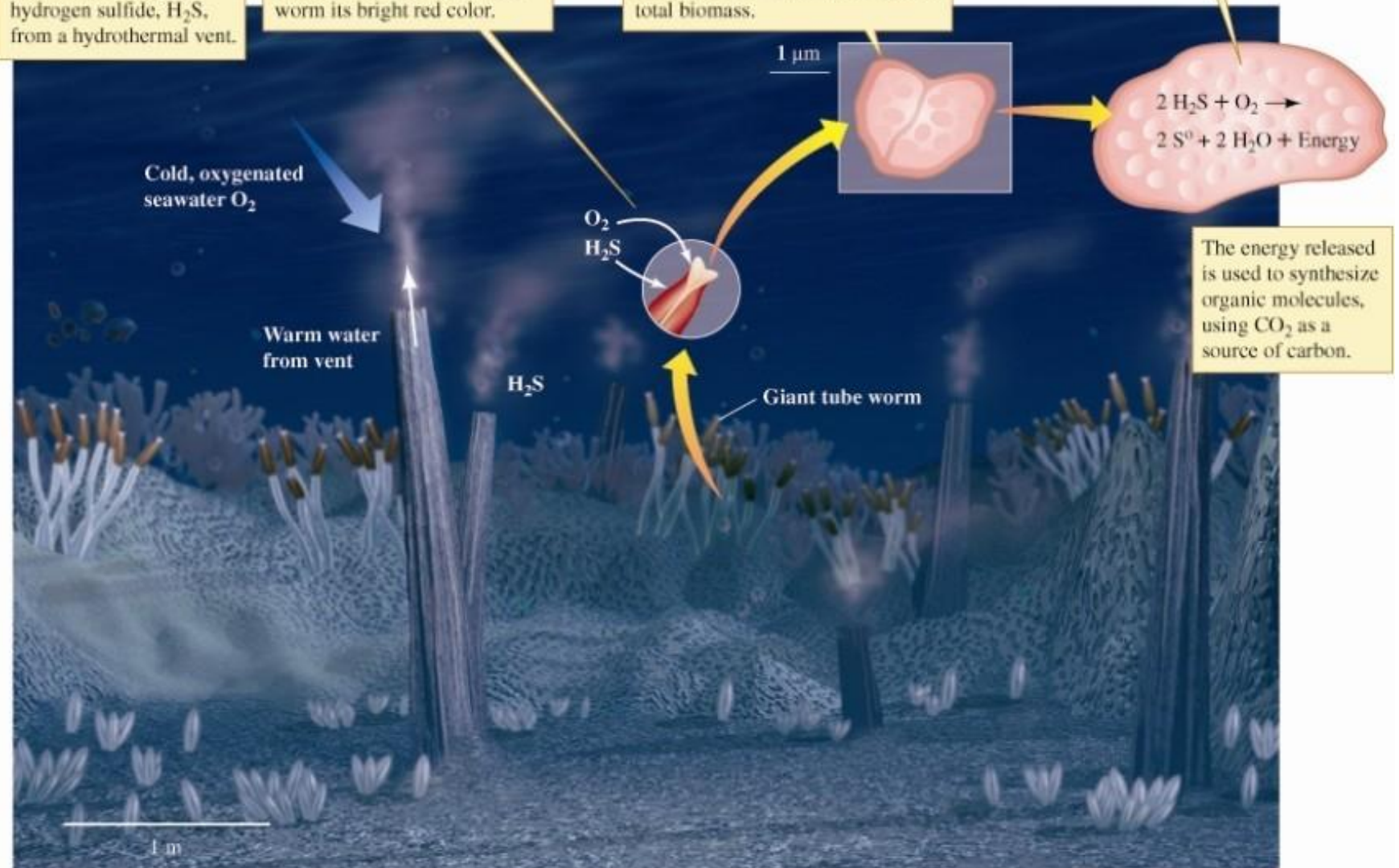


Cold, oxygen-bearing seawater mixes with warm water carrying hydrogen sulfide, H_2S , from a hydrothermal vent.

A giant tube worm takes up O_2 and H_2S with the aid of hemoglobin, which gives the worm its bright red color.

Chemoautotrophic sulfur-oxidizing bacteria in the tissues of the worm can make up to 60% of the worm's total biomass.

Sulfur-oxidizing bacteria oxidize H_2S to elemental sulfur, an energy-yielding reaction.



Quimioheterotróficos

Fonte de energia	Fonte de electrões	Fonte de carbono	Exemplos
Compostos orgânicos: hidratos de carbono, glicose, lactose, sucrose, manitol, citrato, aminoácidos...			A maioria dos <i>Bacteria</i> -todas as patogénicas - e alguns <i>Archaea</i> Protozoários; fungos

... e todos os animais!

Simbiose
Mutualismo
Cooperação ou sintrofismo
Comensalismo
Predação
Amensalismo
Competição

INTERACÇÕES COM OUTRAS CÉLULAS

Conceitos

1

- A maioria dos microrganismos que fazem parte de comunidades complexas nunca foi estudada, o que dificulta a compreensão das interações microbianas e do seu papel nas doenças
- As interações são importantes nos processos naturais e na ocorrência de doenças
- Ao interagirem, os microrganismos formam agrupamentos físicos complexos como os biofilmes, que se formam em superfícies vivas ou inertes
- Os microrganismos também interagem através de sinais químicos (moléculas) que permitem que as populações microbianas respondam ao aumento da densidade populacional

Conceitos

2

- No ambiente deve existir energia, electrões e nutrientes para que os microrganismos funcionem
- Os microrganismos interagem com o seu ambiente para obter energia (a partir da luz ou de ligações químicas), electrões e nutrientes, contribuindo para os ciclos biogeoquímicos
- Os microrganismos alteram o estado físico e a mobilidade de muitos nutrientes à medida que os usam no seu processo de crescimento
- Os microrganismos são uma parte importante dos ecossistemas; participam na sucessão (alterações previsíveis que ocorrem num ecossistema quando é perturbado)

Conceitos

3

- Os ambientes extremos em factores físicos como a temperatura, o pH, a pressão ou a salinidade restringem os tipos de microrganismo capazes de sobreviver e funcionar
- Muitos microrganismos que se encontram em ambientes extremos estão especialmente adaptados não apenas para sobreviver mas para funcionar metabolicamente sob aquelas condições
- Para estudar as interacções microbianas são usados métodos microscópicos, químicos, enzimáticos e moleculares que providenciam informação sobre condições ambientais, biomassa microbiana, tipos de microrganismo, actividade e estrutura das comunidades

Simbiose

Qualquer tipo de interacção (positiva ou negativa) entre organismos de espécies diferentes

- Do grego *sýn* “com” e *bíōsis* “vivo”
- Bennett (1877): primeira utilização da palavra para descrever a relação de mutualismo existente nos líquenes
- Heinrich Anton de Bary (1879): “a vida comum de organismos diferentes”
- ***Ecto-simbiose***: um organismo vive sobre o outro
- ***Endo-simbiose***: um organismo vive dentro do outro
- ***Obrigatória***: necessária para a sobrevivência de pelo menos um dos organismos da relação
- ***Facultativa***: a relação é benéfica mas não essencial para a sobrevivência dos organismos
- As associações entre organismos podem ser intermitentes | cíclicas ou permanentes; doenças humanas como malária envolvem relações intermitentes e cíclicas

- Chapman M.J. & Margulis, L. (1998). Morphogenesis by symbiogenesis.
Internatl. Microbiol. **1**:
319–326

Relações intermitentes | cíclicas

Simbiose	Hospedeiro	Microrganismo simbiote
com plantas	<i>Gunnera</i> (angiospérmica tropical)	<i>Nostoc</i> (cianobactéria fixadora de N ₂)
	<i>Azolla</i> (planta aquática)	<i>Anabaena</i> (cianobactéria fixadora de N ₂)
	<i>Phaseolus</i> (feijoeiro)	<i>Rhizobium</i> (bactéria fixadora de N ₂)
	<i>Ardisia</i> (angiospérmica)	<i>Protobacterium</i>
com animais marinhos	Cnidários (pólipos) dos corais	<i>Symbiodinium</i>
	Peixes luminosos	<i>Vibrio</i> , <i>Photobacterium</i>
	Lula	<i>Photobacterium fischeri</i>

Relações permanentes com animais

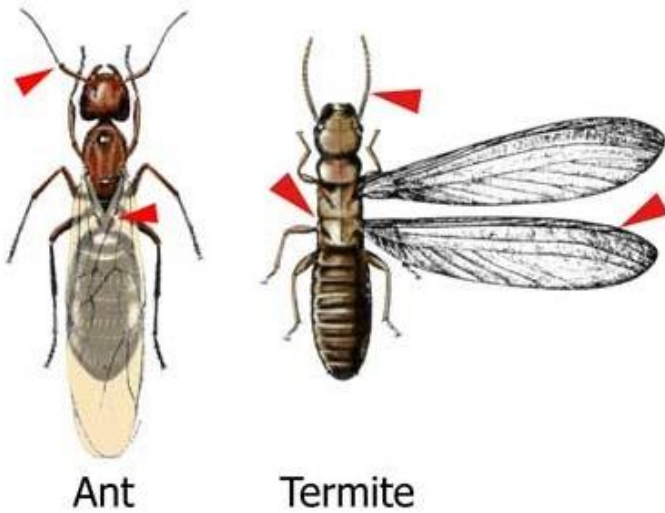
Animal hospedeiro	Microrganismo simbiote	Contribuição do simbiote
Lula (<i>Euprymna scolopes</i>)	<i>Vibrio fischeri</i> (bactéria luminiscente)	Luminescência
Sanguessuga (<i>Hirudo medicinalis</i>)	<i>Aeromonas veronii</i> (bactéria)	Digestão do sangue
Afídeo (<i>Schizaphis graminum</i>)	<i>Buchnera aphidicola</i> (bactéria)	Síntese de aminoácidos
Nemátode (<i>Heterorhabditis</i> spp.)	<i>Phototorhabdus luminescens</i> (bactéria luminiscente)	Predação e síntese de antibióticos

Mutualismo

protozoários e térmitas

- Os protozoários vivem no intestino da térmita; digerem a celulose ingerida pelas térmitas originando hidratos de carbono, dos quais se alimentam, e acetato
- As térmitas oxidam o acetato libertado pelos protozoários
- Vantagens da relação
 - O alimento dos insectos é pobre em aminoácidos e vitaminas; obtêm estes nutrientes dos protozoários
 - Os protozoários recebem alimento das térmitas e um local seguro para viver
- Como as térmitas são incapazes de digerir celulose (não têm celulase), dependem da relação simbiótica para sobreviver (relação obrigatória)

As térmitas e os seus protozoários simbióticos



Protozoário flagelado do género *Trichonympha*



Protozoário flagelado: filo Sarcomastigophora, subfilo Mastigophora; classe Zoomastigophora. Locomove-se através de flagelos (filamentos longos e em pequena quantidade)

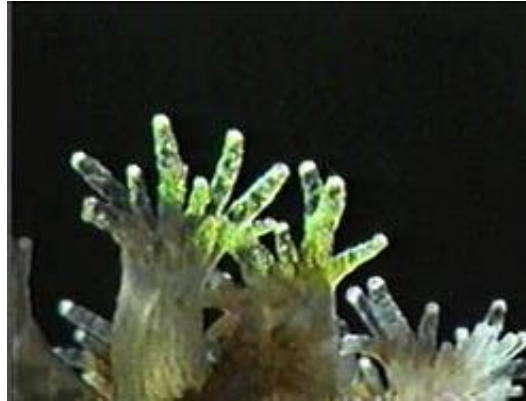
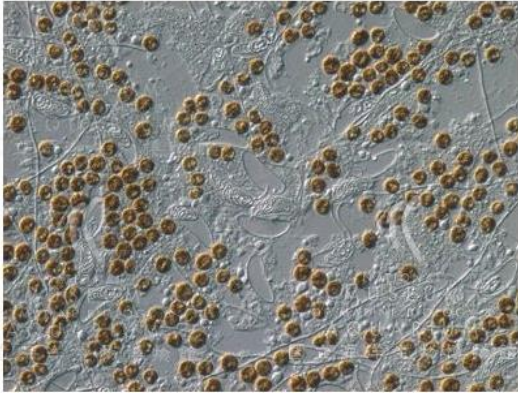
Mutualismo *Nostoc* e *Gunnera* (fixação de azoto)



Figure 1. *Gunnera-Nostoc* symbioses. (a) Mature glands on *Gunnera manicata* stem. (b). Cross section of a *Nostoc*-colonized stem of *G. manicata*. (c) Cyanobacteria colonies at the base of a leaf from *Gunnera monoica* (d) Growth of *G. manicata* seedlings with (right) or without (left) symbiotic *Nostoc*.

Mutualismo

- Os pigmentos dos corais protegem as algas dos efeitos nocivos da radiação UV
- As zooxantelas favorecem a calcificação dos recifes e fornecem carbono orgânico aos corais
- A grande produtividade dos



Mutualismo

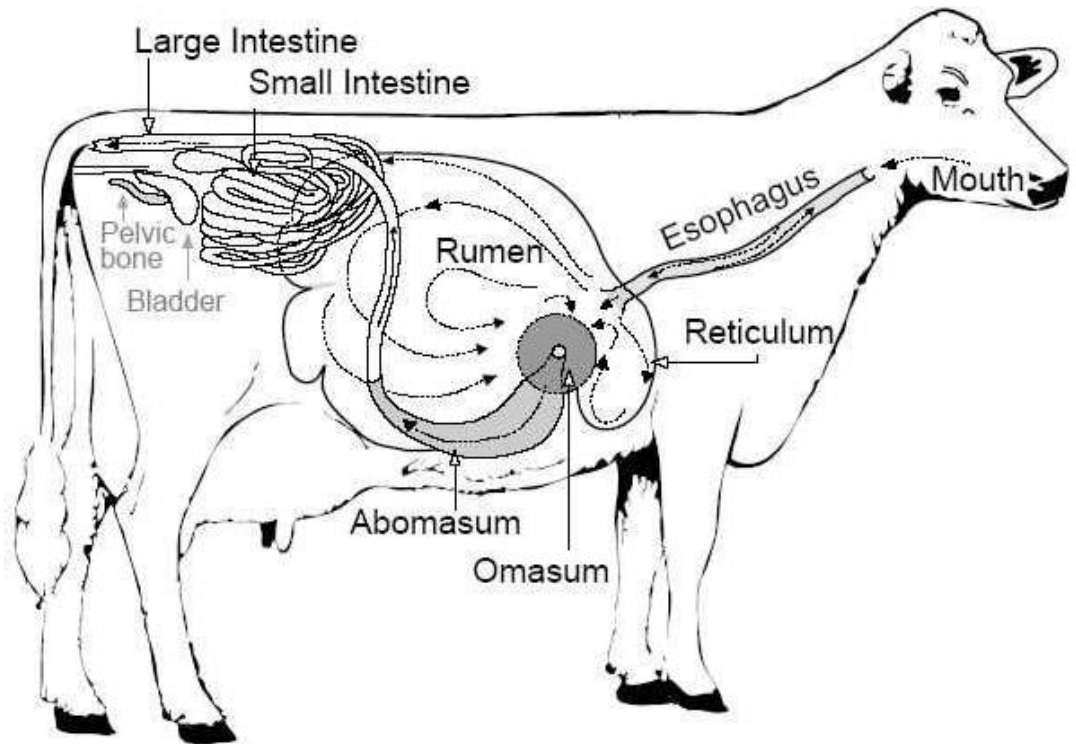
Microrganismos e
ruminantes: o rúmen

- As ervas são pobres em nutrientes (por isso os herbívoros têm que ingerir grandes quantidades de alimento) e ricas em celulose que os animais são incapazes de digerir (não têm celulase)
- Microrganismos anaeróbios (bactérias e fungos) produzem celulase e degradam a celulose libertando glicose que é depois fermentada em ácidos orgânicos (ex. acetato) que servem de fonte de energia para o ruminante
- O processo pode parar ao nível do acetato (aerobiose) ou pode continuar até à formação de metano (anaerobiose)

O rúmen

O rúmen dos ruminantes
que produzem metano
contém elevada
diversidade microbiana

Procariotas, fungos
anaeróbios (ex.
Neocallimastix), ciliados e
outros protozoários



Protozoário ciliado: filo Ciliophora. Locomove-se através de cílios
(filamentos curtos e em grande quantidade).

Exemplo: paramécia

Mutualismo

Fungos e microrganismos
fotossintéticos: os líquenes

- Associação entre um fungo (geralmente ascomicete mas também basidiomicete) e um organismo fototrófico (alga verde ou cianobactéria fixadora de azoto)
- O fungo recebe o carbono sintetizado pelo organismo fotossintético (no caso das cianobactérias recebe também azoto)
- A alga ou a cianobactéria recebem os nutrientes inorgânicos que os fungos retiram do meio ambiente assim como água

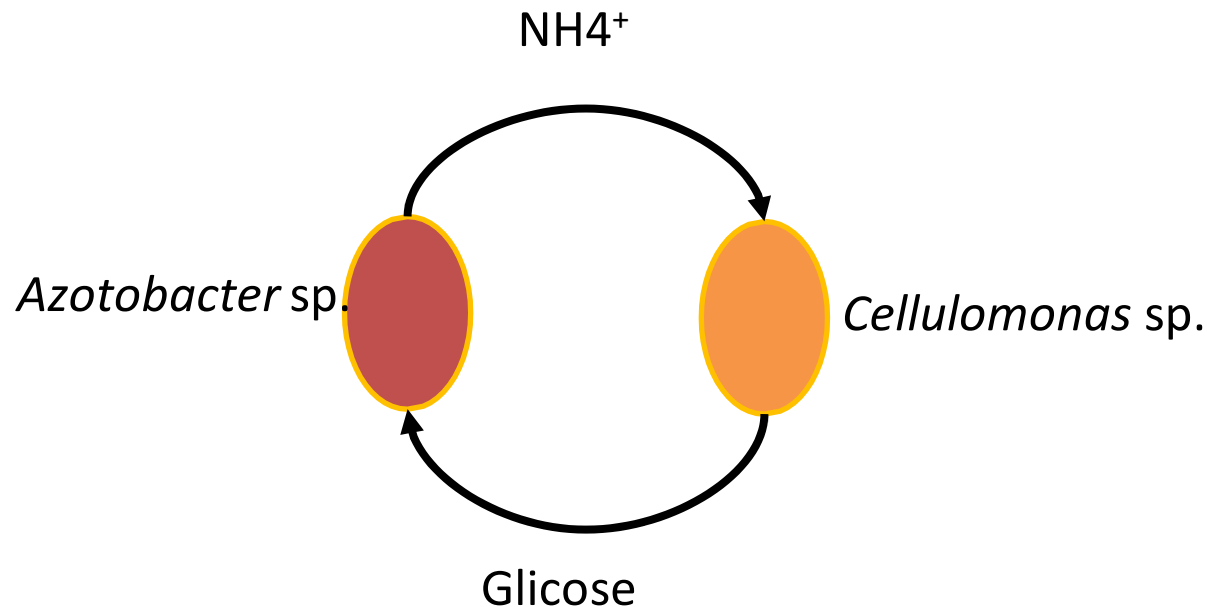
Mutualismo

Protozoários e algas

- Protozoário ciliado *Paramecium bursaria* e alga verde *Chlorella* spp.
- A paramécia tem um tom verde devido às centenas de algas existentes no seu interior; as algas dividem-se ao mesmo ritmo da paramécia
- A alga fornece ao protozoário nutrientes que ela produz através da fotossíntese (e o protozoário pode assim sobreviver desde que haja luz)
- Na ausência de luz, a paramécia alimenta-se de bactérias e fornece às algas nutrientes

Cooperação ou sintrofismo

- *Cellulomonas* degrada celulose libertando glicose que é usada por *Azotobacter* (fixador de azoto)
- *Azotobacter* fixa N_2 , transformando-o numa forma utilizável por *Cellulomonas* (NH_4^+)



Comensalismo

Consiste principalmente na utilização por uns dos produtos de excreção de outros

- Nitrificação (processo importante do ciclo do azoto)
- Juntas, as bactérias quimioautotróficas nitrificantes *Nitrosomonas* spp. e *Nitrobacter* spp. transformam amónia em nitrato



A relação não requer proximidade entre as células, visto que o nitrito pode difundir-se entre elas

Quimioautotróficas: classificação quanto às fontes de energia, de electrões e de carbono, respectivamente.

Químio: fonte de energia e de electrões = moléculas inorgânicas;

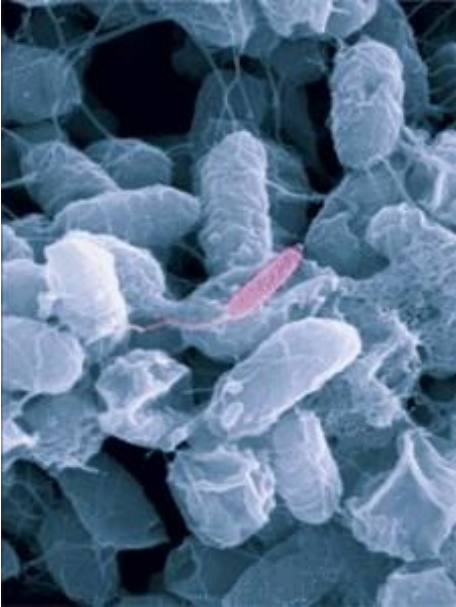
Auto: fonte de carbono = moléculas inorgânicas

Predação

bactérias que comem
bactérias

- *Bdellovibrio*
 - penetra a parede celular da presa, multiplica-se entre a parede e a membrana plasmática e provoca a lise da presa e a libertação das células filhas
- *Vampirococcus*
 - cola-se à superfície da presa e segrega enzimas para provocar a libertação do seu conteúdo
- *Daptobacter*
 - penetra numa presa usando o conteúdo citoplasmático como fonte de nutrientes

***Bdellovibrio* e as suas presas**



- *Bdellovibrio* consome bactérias Gram-positivas (*Pseudomonas phaseolicola*, *Pseudomonas fluorescens*, *Escherichia coli*, *Spirillum serpens*, ...)
- A célula de *Bdellovibrio* pega-se à superfície da célula hospedeira, fazendo um buraco através do qual entra na célula
- A célula hospedeira perde a sua mobilidade e a sua actividade metabólica e o conteúdo celular é progressivamente degradado de forma a providenciar nutrientes ao parasita
- 1-3 horas depois, a célula de *Bdellovibrio* transforma-se numa espiral e divide-se em 6-25 células filhas que se libertam para o meio ambiente

Predação

fungos que comem
nemátodes

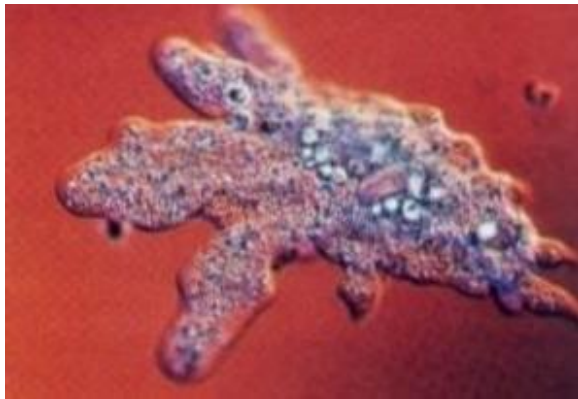
- O fungo *Arthrobotrys* captura nemátodes usando hifas constritoras
- As hifas crescem dentro da presa, usando o conteúdo do citoplasma como nutrientes



Predação

protozoários que comem
fungos

- Predação de conídeos de fungos do solo (*Cochliobolus sativus*) por protozoários amebóides
- Em 2-4 horas, os pseudópodes da ameba perfuram o conídeo (furos com 2-4 μm de diâmetro) e lisam o seu conteúdo alimentando-se dele



Conídeo: esporo de reprodução assexuada

Protozoário amebóide: Filo Sarcodina. Locomove-se através de pseudópodes.
Exemplo: *Amoeba* sp.

Parasitismo

Fungos que transformam formigas em 'zombies'

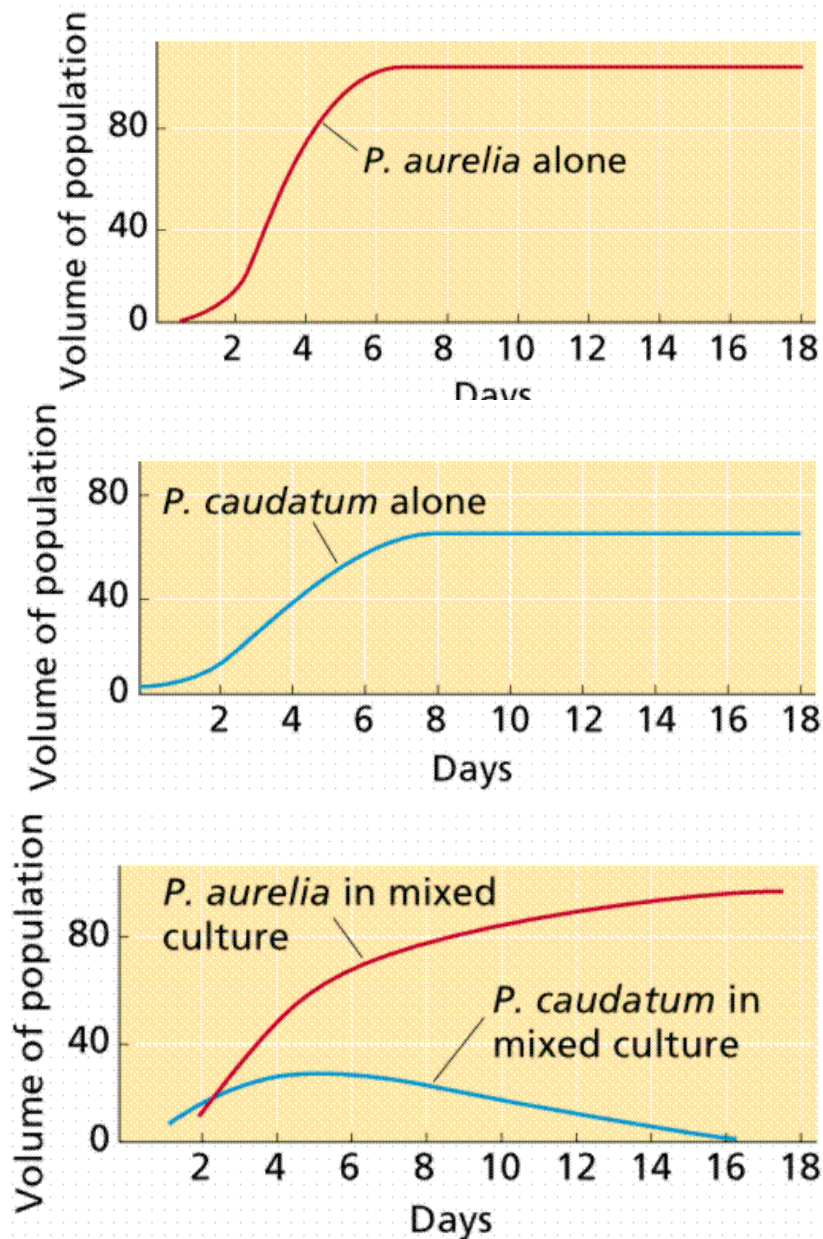


Estes fungos do género *Ophiocordyceps* manipulam o cérebro das formigas alterando o seu comportamento e causam a sua morte obrigando-as a fixar-se à página inferior das folhas, o local ideal para a sua propagação

Amensalismo



- Muitos microrganismos, principalmente actinomicetes, espécies de *Bacillus* e fungos, produzem antibióticos como metabolitos secundários, que inibem grupos específicos de organismos:
 - Penicilinas e cefalosporinas - activas contra bactérias Gram-positivas
 - Streptomina – activa contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas
 - Cicloheximida – activa contra células eucariotas



Competição

Ocorre quando microrganismos tentam usar o mesmo recurso (local físico, nutriente, ...)

Se um deles dominar, crescerá mais que o outro (princípio da exclusão competitiva)

Exemplo: protozoários ciliados que têm nichos ecológicos semelhantes

Glossário

As associações entre microrganismos

- **Mutualismo:** associação obrigatória na qual ambos beneficiam
- **Cooperação ou sintrofismo:** associação facultativa na qual ambos beneficiam
- **Comensalismo:** um dos organismos beneficia e o outro não é afectado pela associação
- **Predação:** o predador mata e consome a presa
- **Parasitismo:** um organismo retira nutrientes dos tecidos ou das células de outro
- **Amensalismo:** repressão de uma espécie pelas toxinas produzidas por outra (exemplo antibióticos)
- **Competição:** ambos ficam limitados devido à sua dependência de um recurso comum; uma pode excluir a outra (exclusão competitiva)