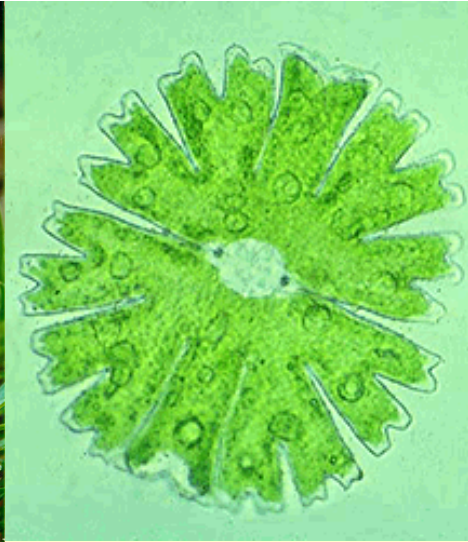




Doryopteris angelica
Pteridaceae
© M. LeGrande



Diversidade e evolução dos organismos fotossintetizantes



BIB 124 – Diversidade e Evolução dos Organismos Fotossintetizantes
Instituto de Biociências – Universidade de São Paulo
2023

Professores

Estela M. Plastino e José Rubens Pirani (responsáveis).
Flávio A.S. Berchez, Fungyi Chow e Gregório T.C. Ceccantini.

Estagiário PAE (pós-graduação)
Renato Magri (Noturno).

Monitores

- Integral

André Callá e Yasmin V.L. Godoy (bolsistas).
Cecilia de Paula Martins e Mario Henrique V.O. Princesa (voluntários).

- Noturno

Alexsander Ferboni Gonçalves e Joseane Pereira da Silva (voluntários).

ORGANIZAÇÃO DA DISCIPLINA

1. Aulas teóricas (Anfiteatro - Zoo) e práticas (Microscopias 1 e 2, CD).

- Materiais de apoio complementares: Moodle, STOA-USP.

2. Aulas Práticas

- Formar duplas para as atividades de laboratório. Permanecer nas mesmas bancadas até o final da disciplina: anotar o No. da Equipe (bancada).

- Ao final das práticas: discussão geral sobre os materiais analisados (deixar a bancada em ordem).

- Trazer material de dissecação (lâminas de barbear, pinça de ponta fina e 2 estiletes), lâminas e lamínulas por dupla, caderno de desenho (individual) e avental.

3. Três exercícios no Fitotério do Departamento de Botânica e dois trabalhos em campo nos dias 19 de agosto (costão rochoso) e 25 de novembro (visita a uma reserva de Mata Atlântica).

4. Prática como Componente Curricular (PCC): grupos de 4 alunos.

AVALIAÇÃO

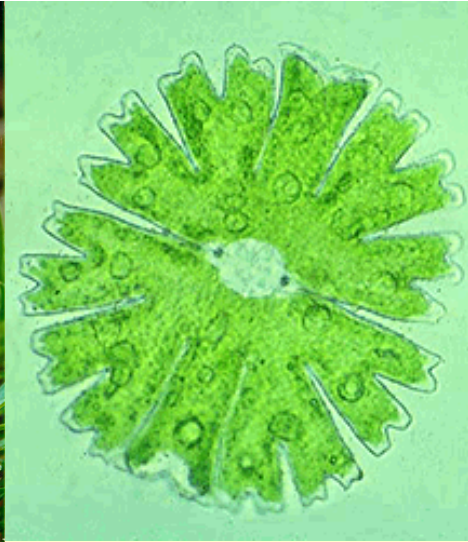
- Três avaliações teórico-práticas (AV) - peso 2 (cada uma).

- Uma PCC (prática de complemento curricular): peso 1.

M. final = $\frac{(AV1 \times 2) + (AV2 \times 2) + (AV3 \times 2) + (\text{Ex. Excursões e Esquemas}) + \text{Ex. extraclases (Moodle)} + \text{PCC}}{9}$



Doryopteris angelica
Pteridaceae
© M. LeGrande



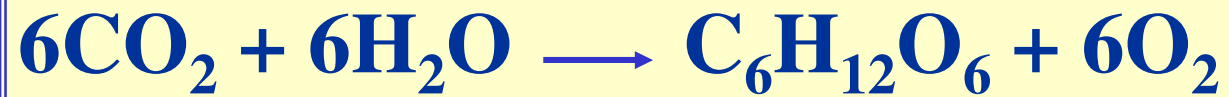
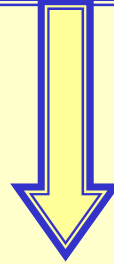
Diversidade e evolução dos organismos fotossintetizantes



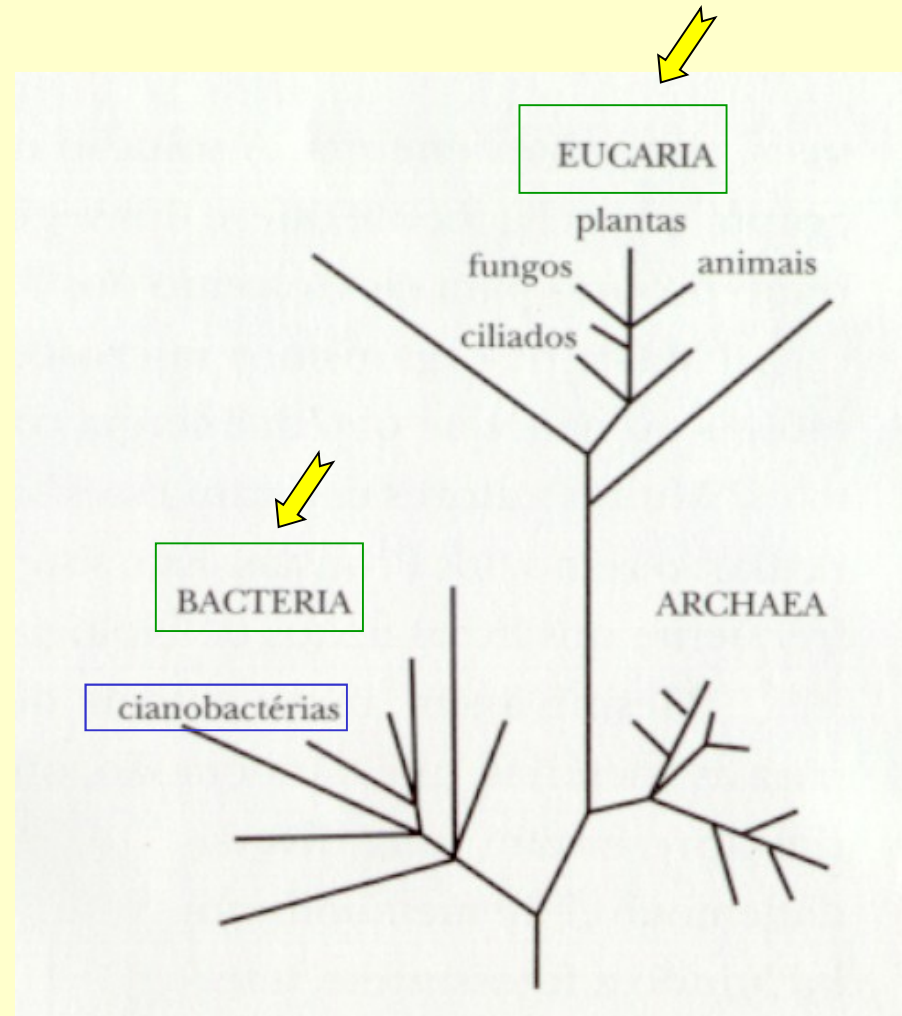
ORGANISMOS COM CLOROFILA A



FOTOSSÍNTESE



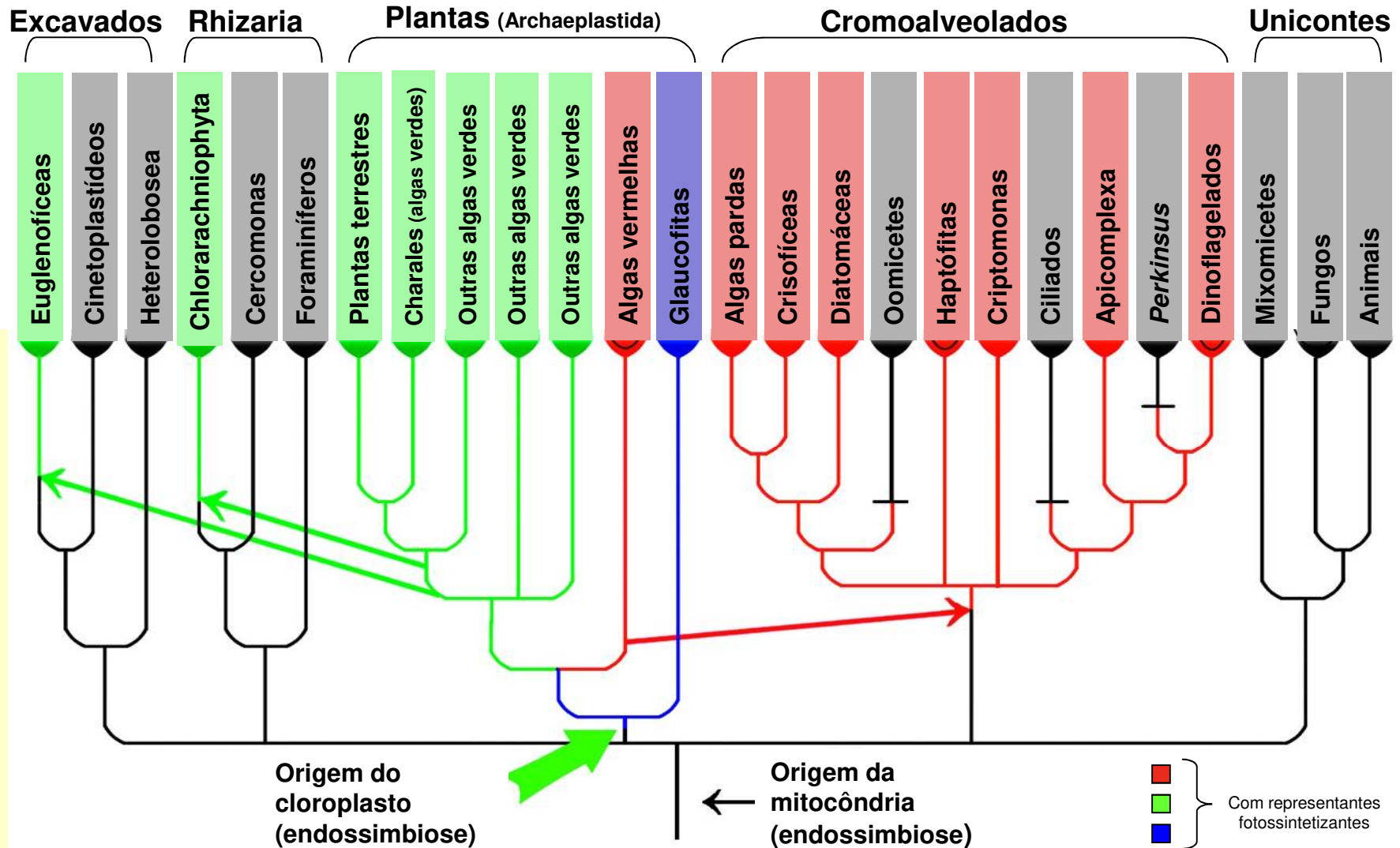
QUEM SÃO OS ORGANISMOS COM CLOROFILA A ?



Árvore filogenética universal (Woese 1983): domínios

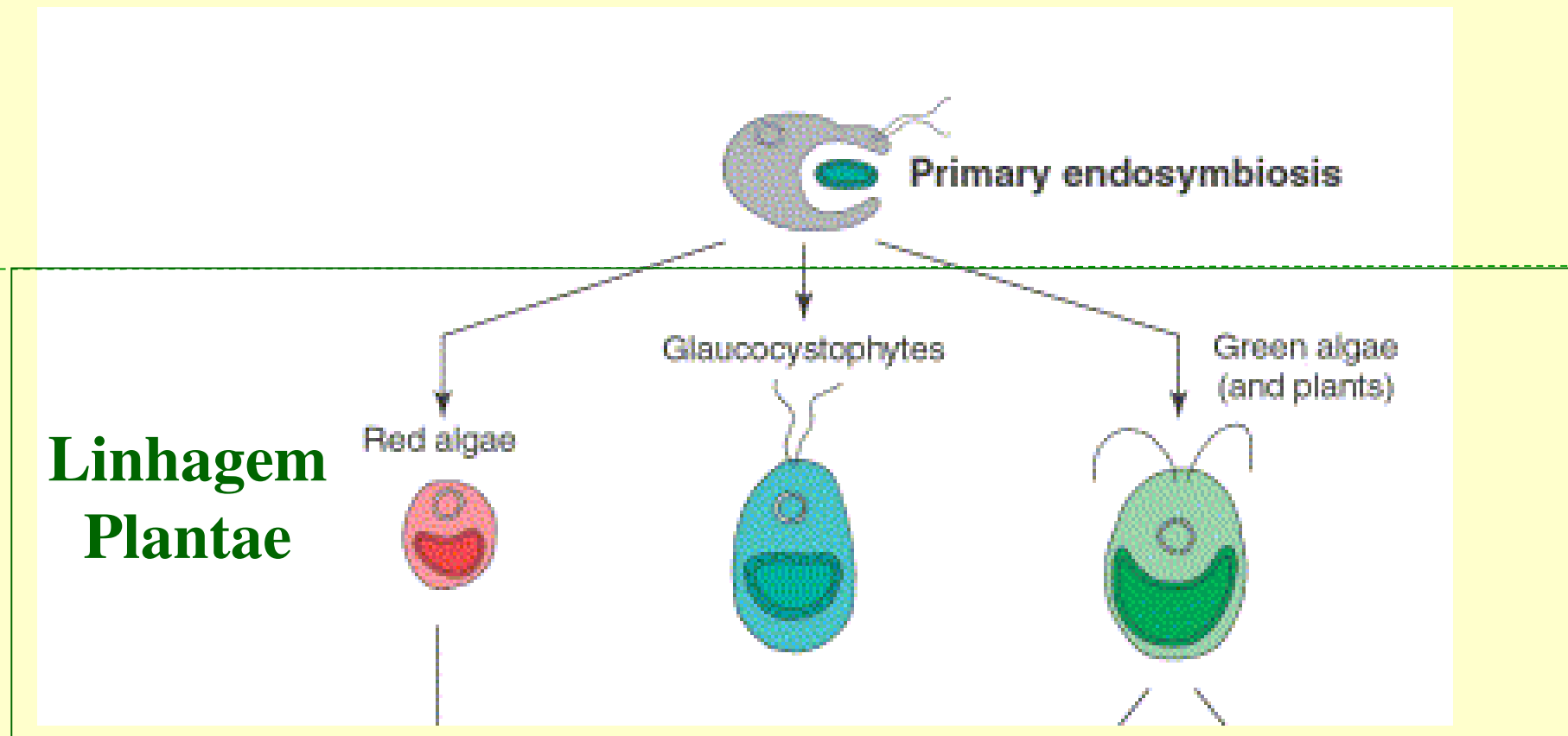
**QUEM SÃO OS EUCARIONTES
FOTOSSINTETISANTES ?**

Eucariontes atuais

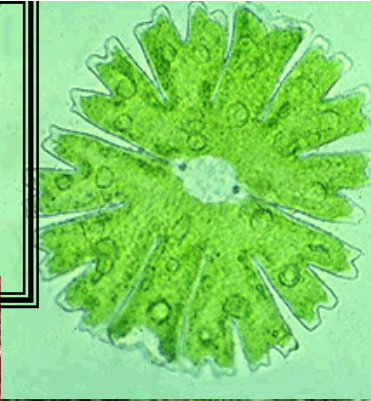


Relações filogenéticas entre eucariontes atuais, com ênfase nos grupos que possuem cloroplastos e suas conexões evolutivas via endossimbiose primária e secundária (modificado de Palmer et al. 2004, American Journal of Botany 91: 1437-1445). As cinco linhagens principais (excavados, rhizaria, plantas, cromoalveolados e unicontes) são sustentadas não só por marcadores moleculares, mas também por dados ultra-estruturais e bioquímicos.

Endossimbiose primária

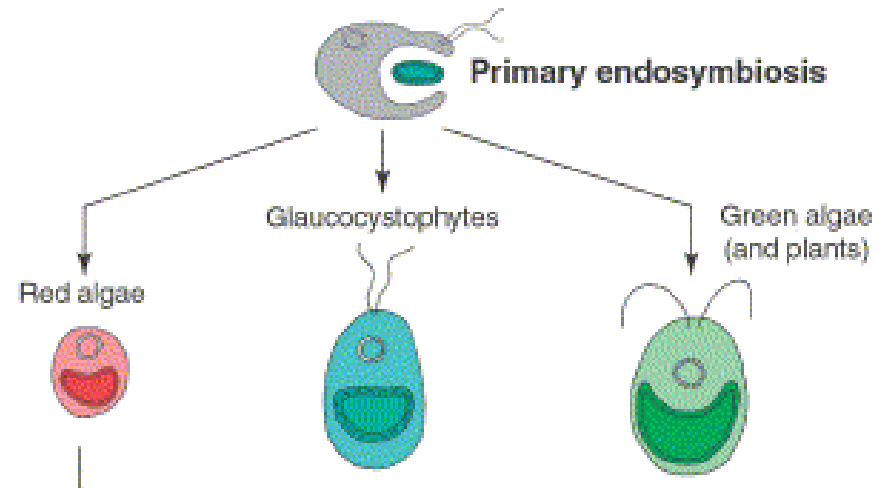


Linhagem Archaeplastida (Plantae)



Doryopteris angelica
Pteridaceae
© M. LeGrande

Endossimbiose primária

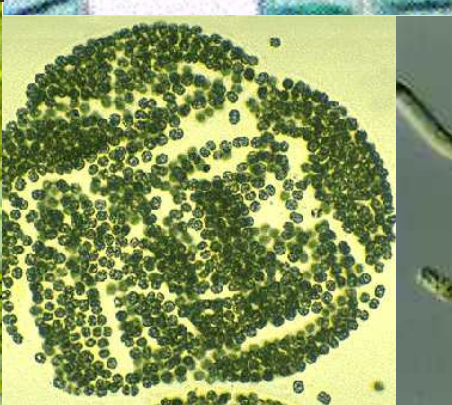
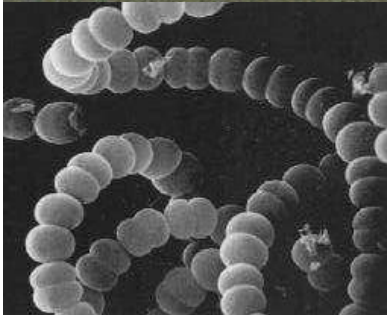
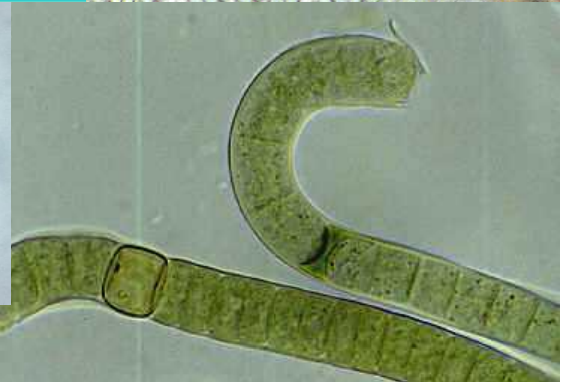
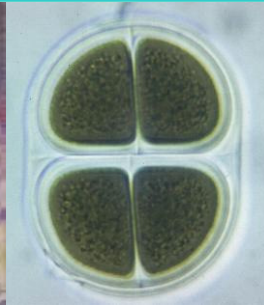
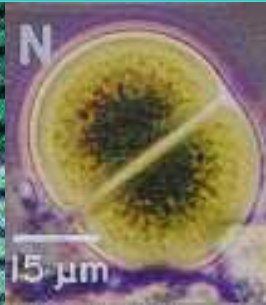
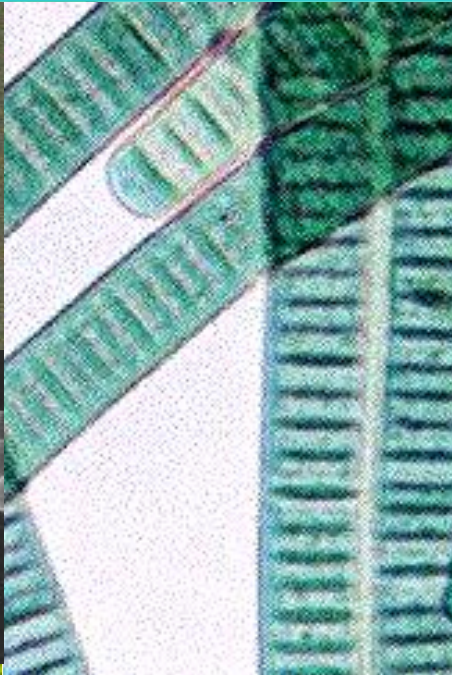
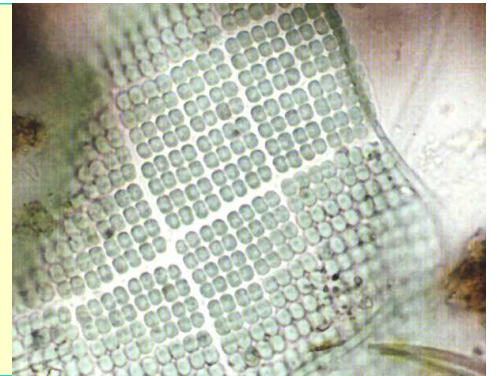
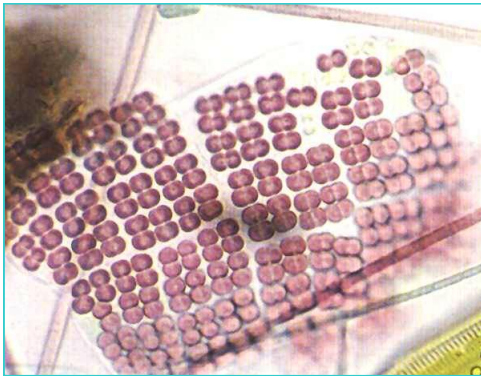


Linhagem dos Cromoalveolados

Algas pardas



Cianobactérias



Cianobactérias (Cyanophyta)

(Chloroxybacteria)

KYANOS (Grego) = Azul
PHYTON (Grego) = Planta

- 150 gêneros – 2.000 sp

Ocorrência



Oceano
(plâncton e bentos)



Água Doce



Terrestres

Solo

Rochas

Regiões Polares

Desertos

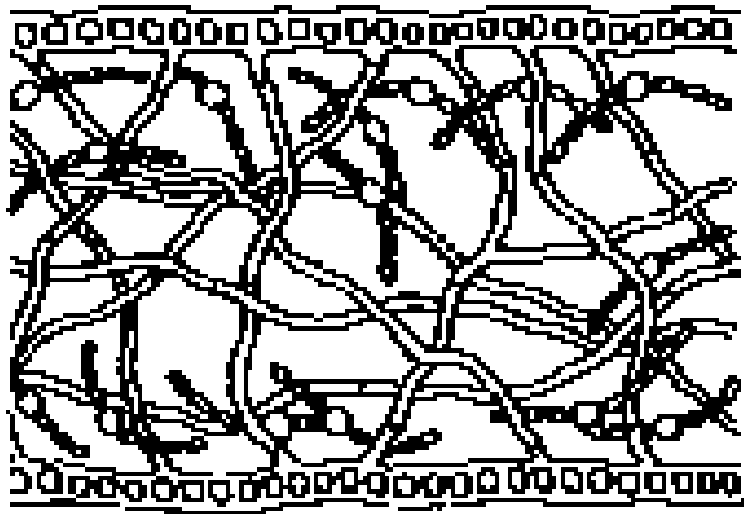


Cianofíceas termofílicas no Parque Nacional de Yellowstone

Associação a outros organismos

Associações

Líquenes \Rightarrow apenas 10% com cianobactérias



Leptogium – corte transversal



Leptogium sp.

Associações

Cianobactérias

Cianobactérias e plantas



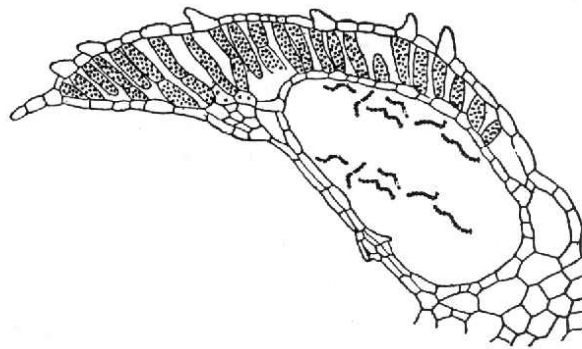
Briófitas
Monilófitas
Gimnospermas
Angiospermas

- Monilófitas

-*Anabaena* em cavidades de folhas de *Azolla* \Rightarrow fixação de N_2



Azolla



Corte longitudinal da folha de *Azolla* sp.:
cavidade com *Anabaena* sp. (Smith, 1955)



Anabaena sp.

Cianobactérias

Associações

Cianobactérias e plantas

- Gimnospermas: raízes de *Cycas* sp.

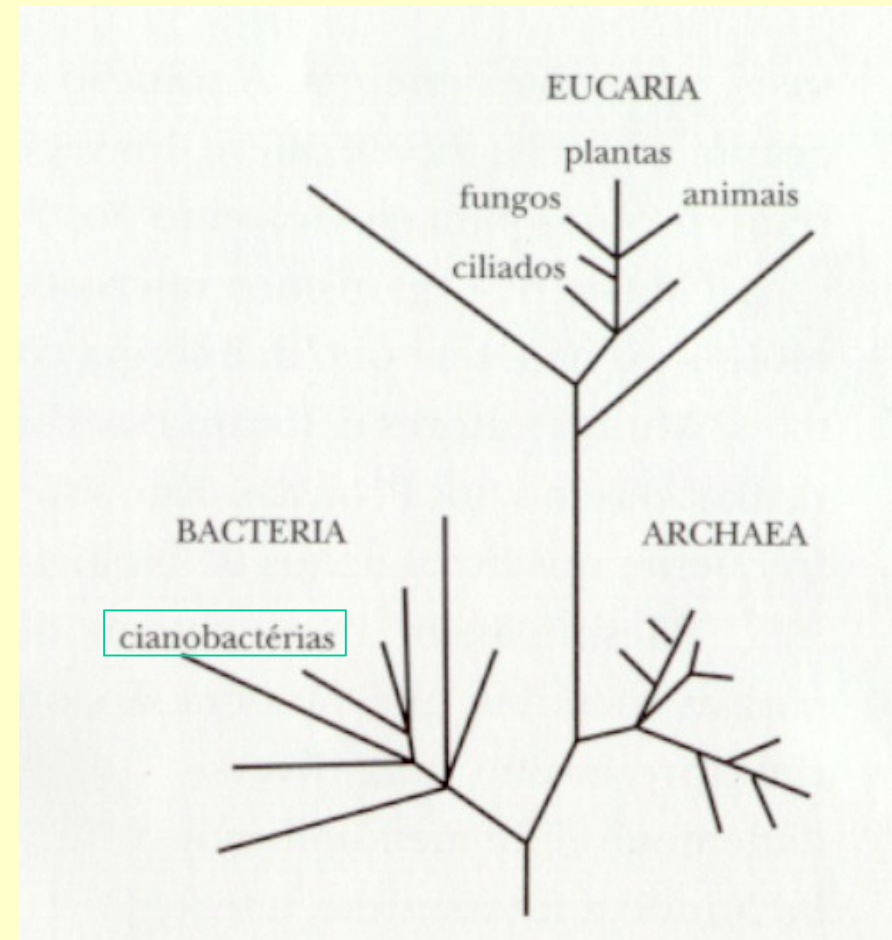


Coralloid (C) and Precoralloid (PC) on a *Cycas circinalis* growing in the Enid Haupt Conservatory at the New York Botanical Garden. The green cyanobacterial zone (arrow) is clearly visible in a broken root as well as the green coloration in the precoralloid apices.

Cianobactérias

- fotossintetizante
(libera O₂ como produto final)

- procarióticas
-clorofila **a**
-glicogênio
-mucopolissacarídeos
-ausência de flagelos

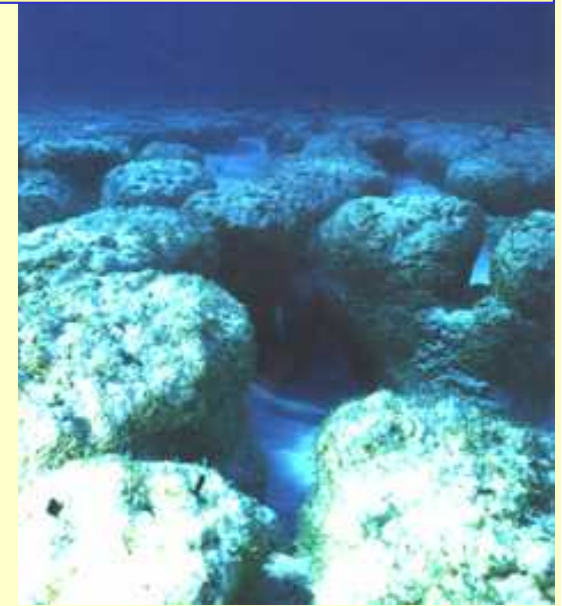


-grupo monofilético dentro de Eubacteria
-antigo (3.5 bi de anos?)

Cianobactérias

Estromatólitos

- Formações calcárias em camadas
- Origem: 3,5 bi de anos (2,7 bi – cianofíceas)



Exposto no Parque de
Ciência e Tecnologia
(CienTec - USP)

Importância evolutiva

- Primeiros organismos fotossintetizantes → O_2 → O_3
(barreira contra UV)
 - pouco sensíveis à radiação UV
 - fotossíntese é estimulada por baixos teores de O_2
- Liberação de O_2 para a atm terrestre: 1º evento de poluição.

- Origem primária dos cloroplastos

Organização celular

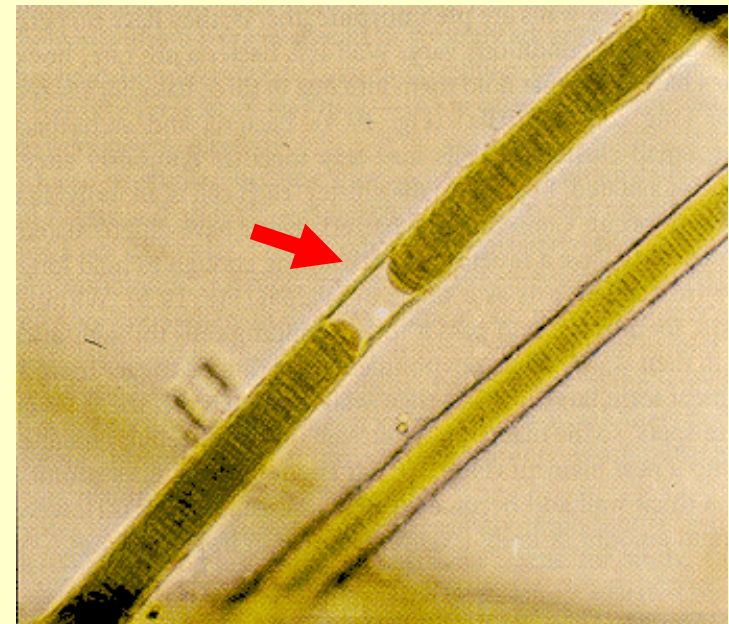
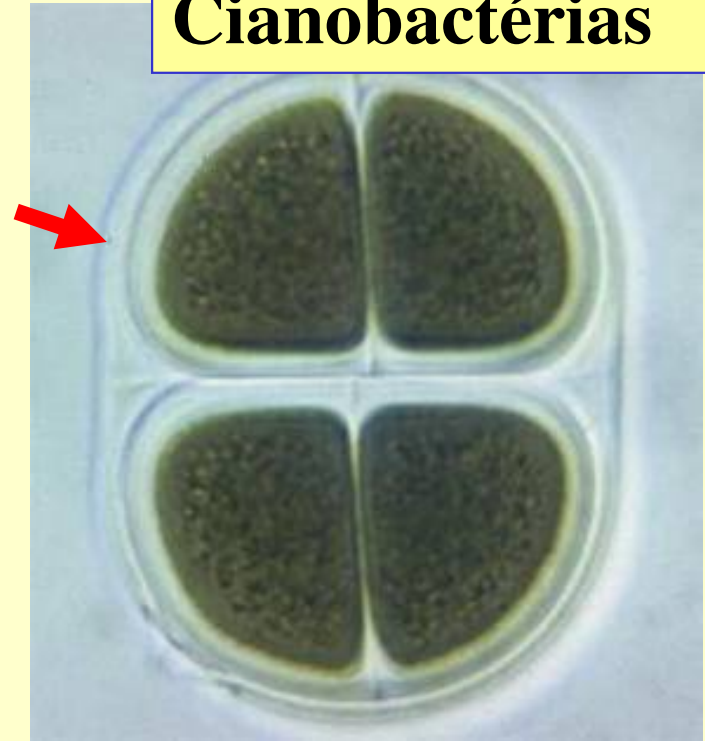
- **parede celular** - diferentes camadas.

composição: glicopeptídeo
(semelhante a bactérias gram-negativas)

- **bainha de mucilagem**
(mucopolissacarídeo e ácidos pécticos)

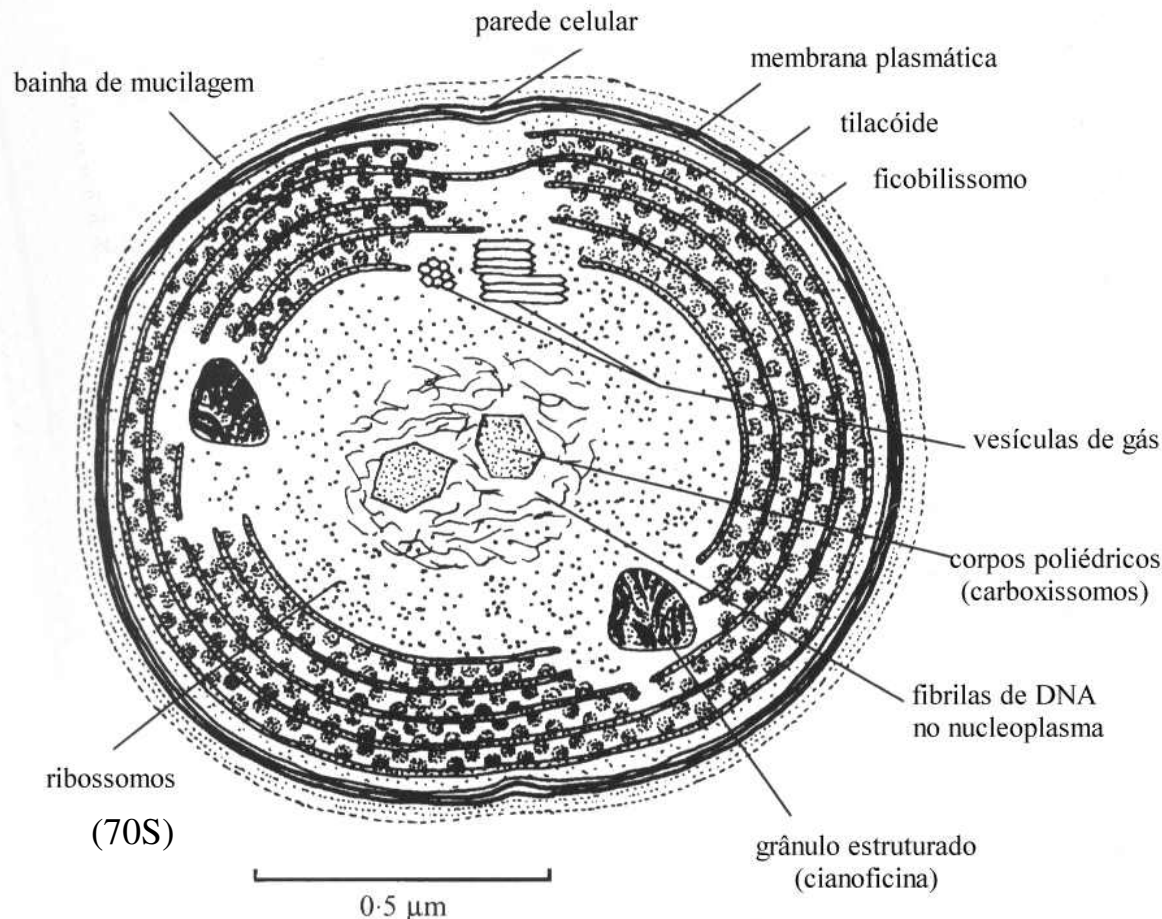
- proteção
- movimentação

Cianobactérias



Organização celular (MET)

Cianobactérias



Nucleóide

Carboxissomos (estruturas protéicas: Rubisco)

- mecanismos de concentração e fixação de carbono - Ciclo de Calvin.

Reserva

grânulos de:

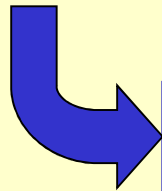
- “amido” (glicogênio)
- cianoficina (polipeptídeos) (N)
- polifosfato

Tilacóides

-invaginações do plasmalema

- Pigmentos:

1. **clorofila a**
2. **carotenóides**
3. **ficobiliproteínas**

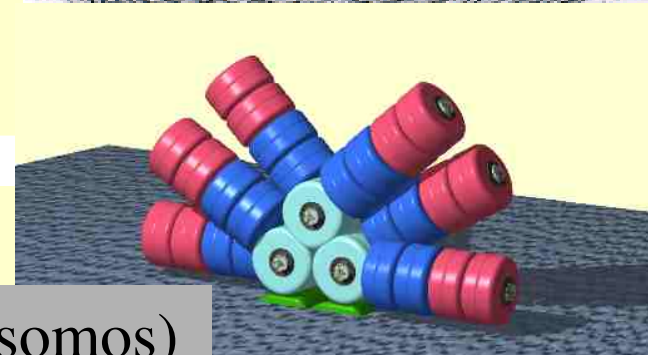


Aloficocianina

Ficocianina

Ficoeritrina

Cianobactérias



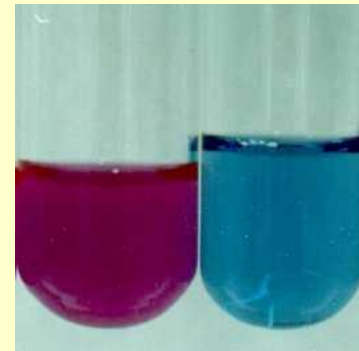
(ficobilissomos)

PIGMENTOS FOTOSSÍNTETIZANTES

Clorofila a



Ficobiliproteínas:

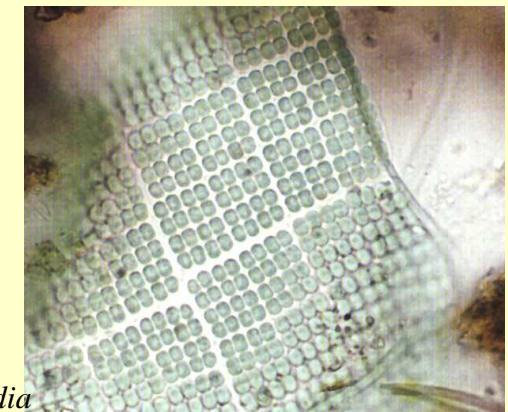
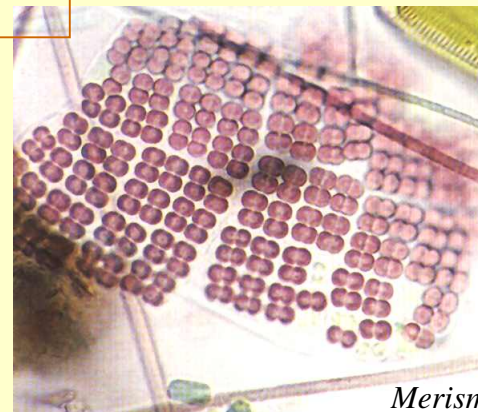


aloficocianina
ficocianina
ficoeritrina

Carotenóides:

- **carotenos** (beta-caroteno)
- **xantofilas** ou carotenóis

Aclimatação



Cianobactérias

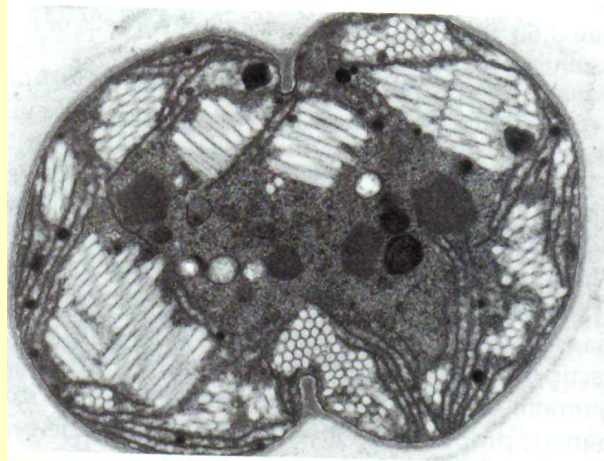
Vesículas de gás (planctônicas)

- circundadas por membranas protéicas
- controlam a flutuabilidade

Anabaena flos-aquae

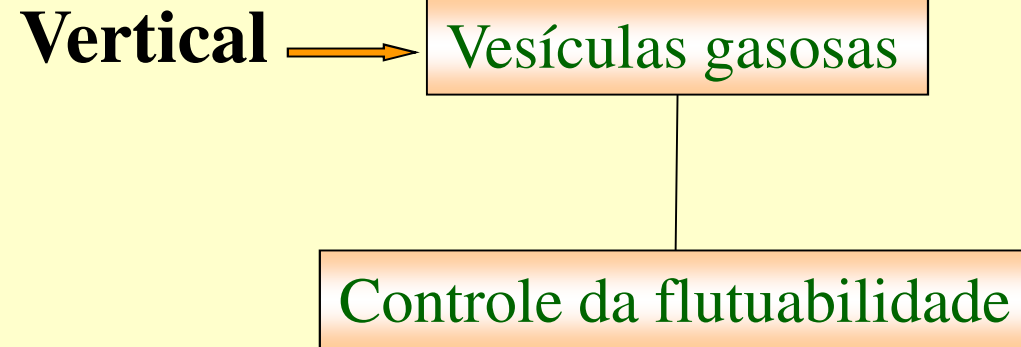


a) microscopia óptica



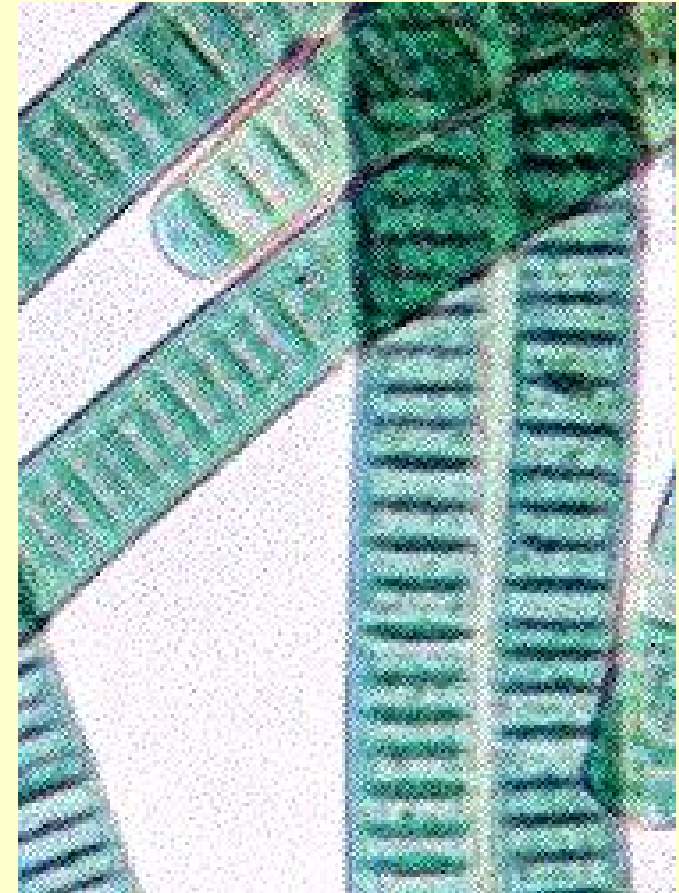
b) microscopia eletrônica de transmissão

Mobilidade



Horizontal

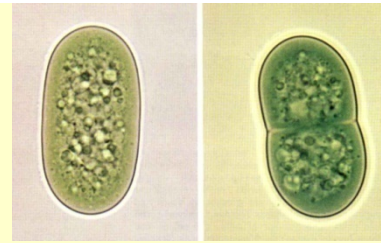
- Deslizamento: contato com o substrato
- Contração de microfibrilas no protoplasto



Oscillatoria

Morfologia

Cianobactérias



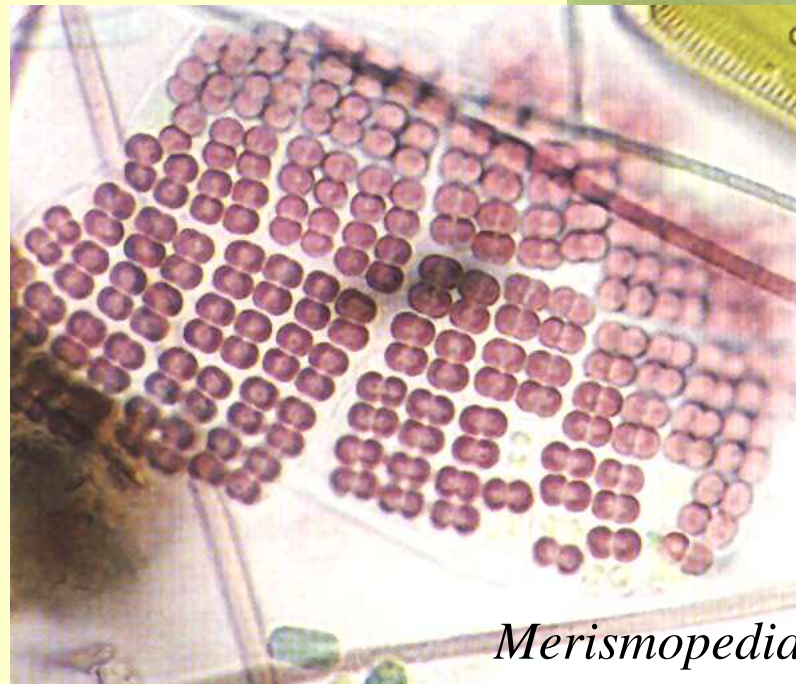
Cyanothece

Unicelulares

Filamentosas

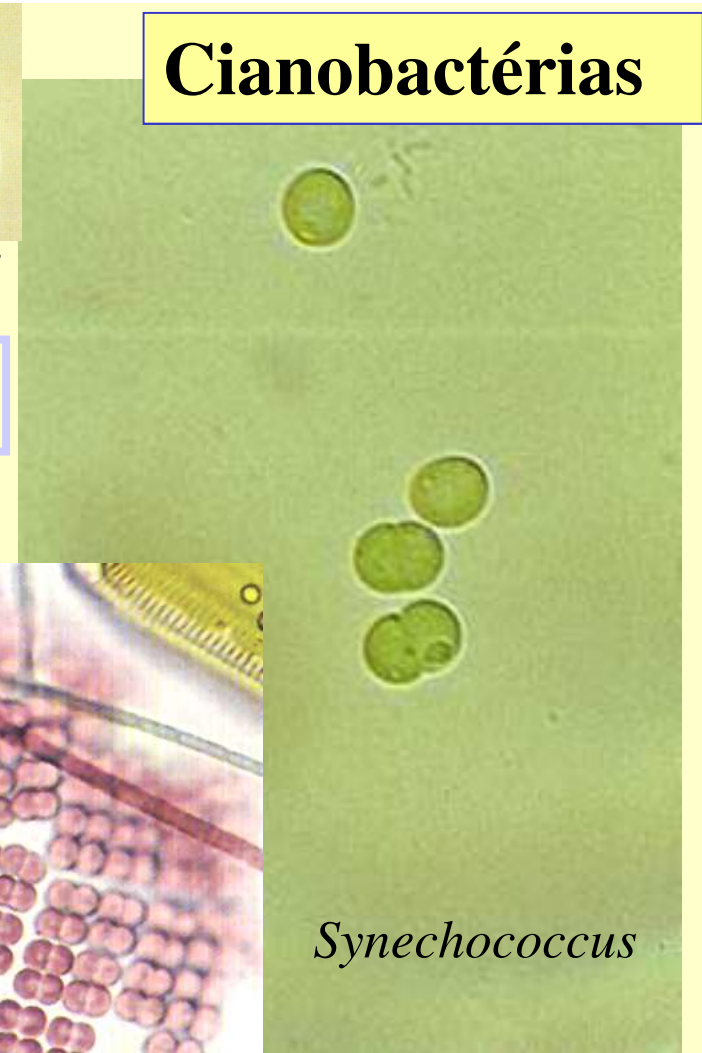


Oscillatoria



Merismopedia

Coloniais

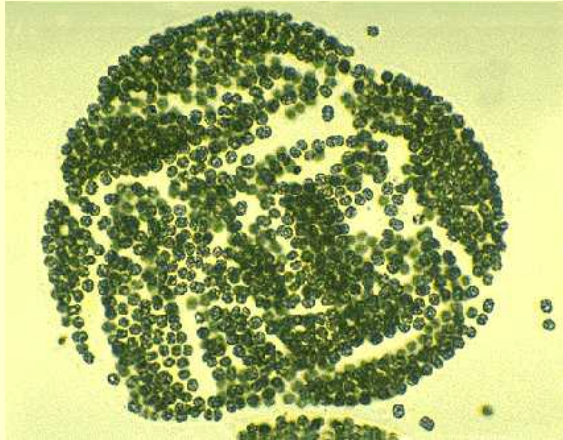


Synechococcus

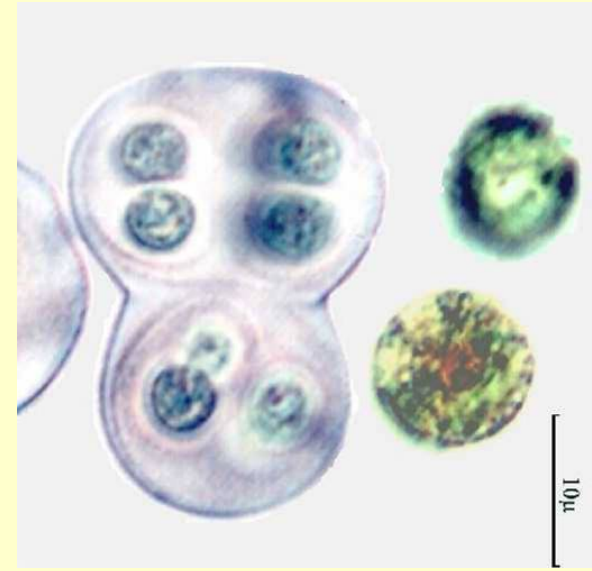
Cianobactérias

Morfologia

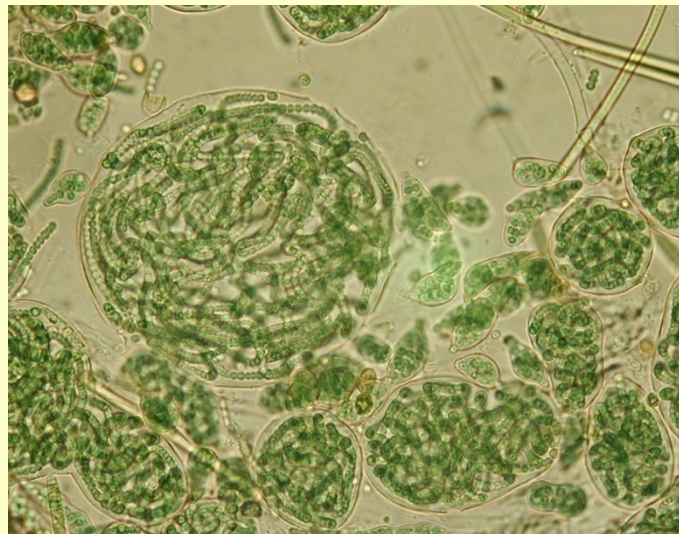
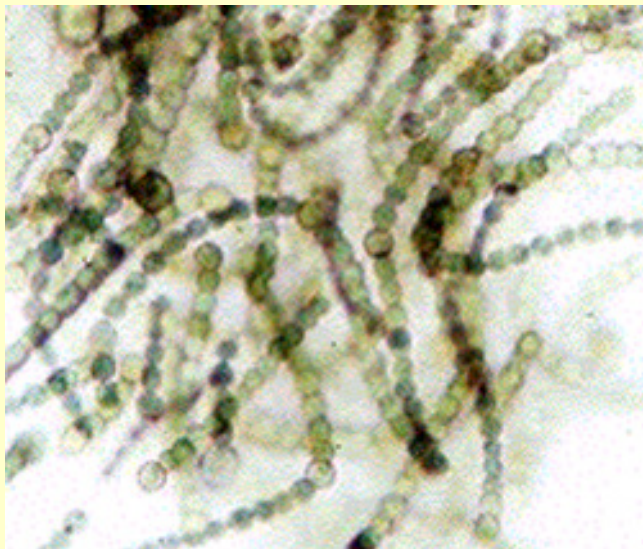
Coloniais



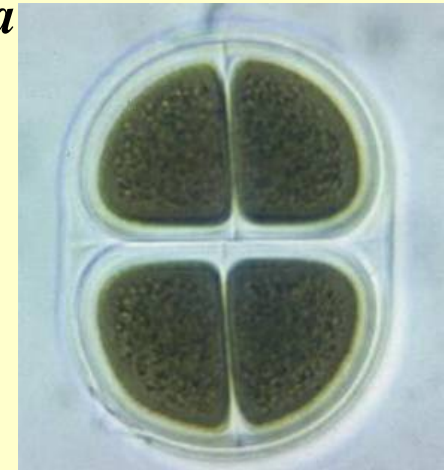
Microcystis



Gloecapsa



Nostoc



Morfologia

Filamentosas

- tricoma: envolvido por bainha mucilaginosa

Tipos: - unisseriados ou plurisseriados

- com ou sem ramificação

- ramificações falsa (F) e verdadeira (V)

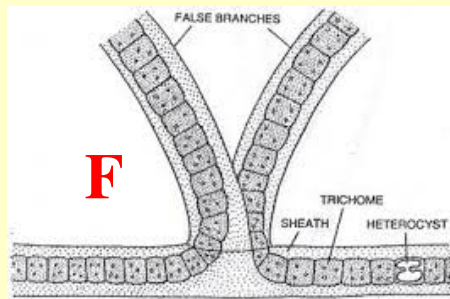
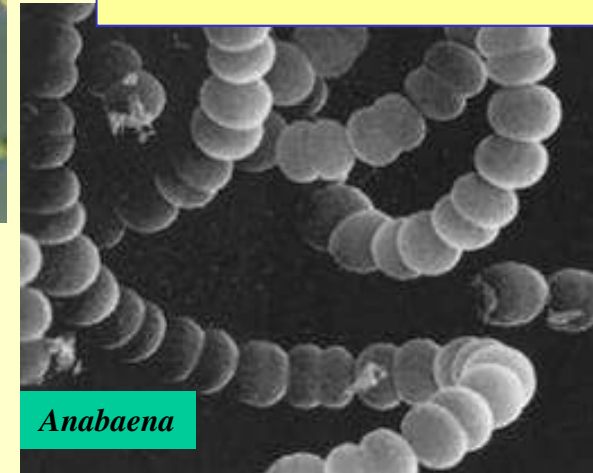


Fig. 2.54. Cyanobacteria. Scytonemataceae. *Scytonema* sp.



Spirulina

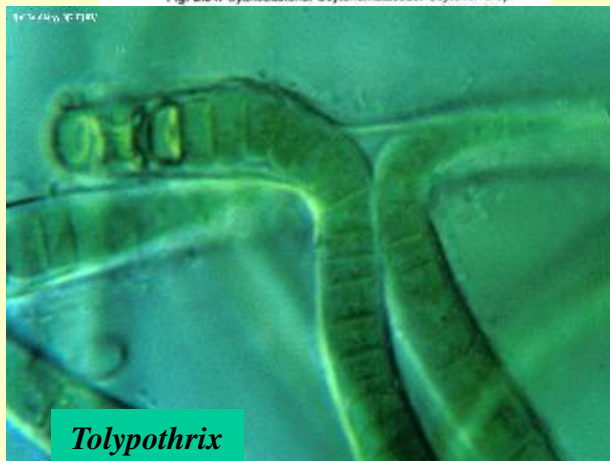
Cianobactérias



Anabaena



Oscillatoria



Tolypothrix



Hapalosiphon



Reprodução

Cianobactérias

• **Sexuada** (não conhecida): evidências de recombinação genética.

• **Assexuada**

- divisão celular

- fragmentação: formas filamentosas
coloniais

- hormogônios: formas filamentosas

- acineto (esporo de resistência)

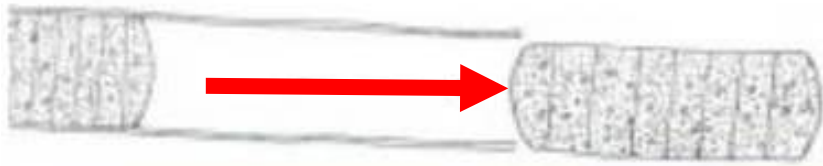
- endósporo (baeócitos)

- exósporo

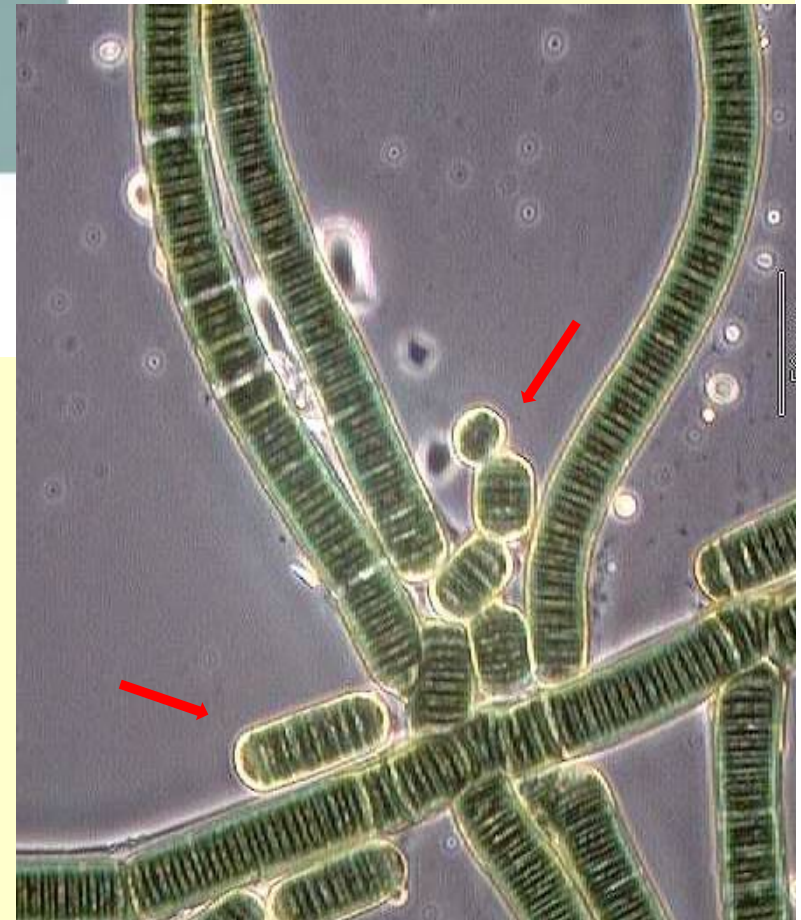
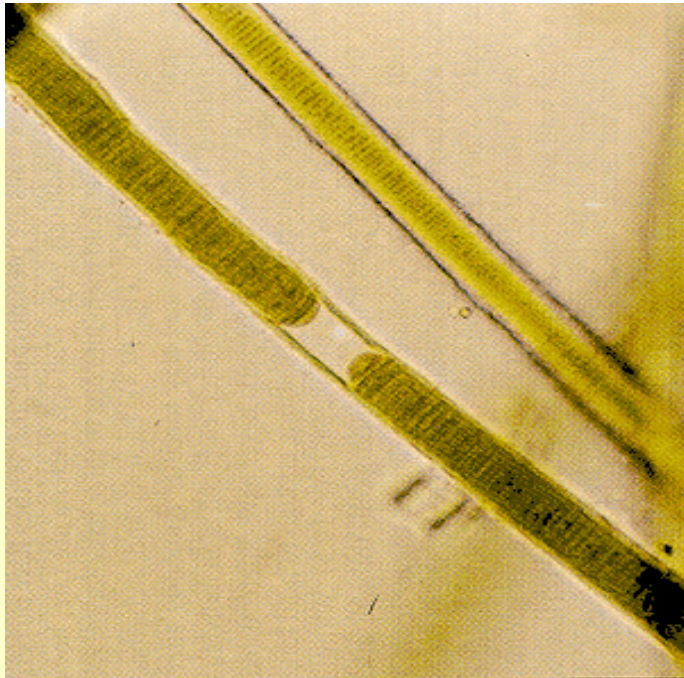


Hormogônios (propágulos)

Cianobactérias



Ocorrem apenas em formas filamentosas com mucilagem



Reprodução assexuada

Cianobactérias



Acineto (esporo de resistência):

- podem ocorrer em formas filamentosas heterocitadas;
- acumulam grande quantidade de reserva;
- possuem parede espessada.

Heterocito

-fixação de nitrogênio (N_2):

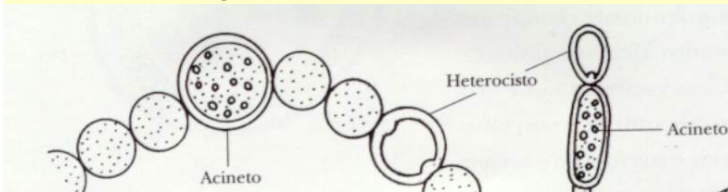
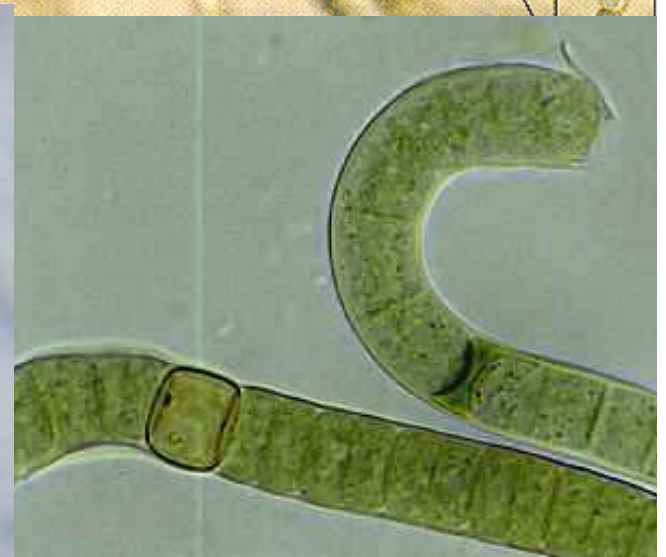
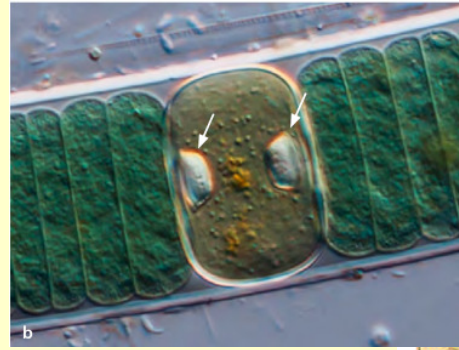
-Grânulos de cianoficina (nódulos polares).

- Nitrogenase converte N_2 em amônia na ausência de O_2 .

- A fixação de N_2 pode ocorrer em outras células em condições anóxicas.

- Reprodução: ponto de quebra do filamento.

- Formação dos acinetos



CYANOPHYTA

Classificação: cerca de 2000 sp. em 150 gêneros

Filo: Cyanophyta

Classe: Cyanophyceae

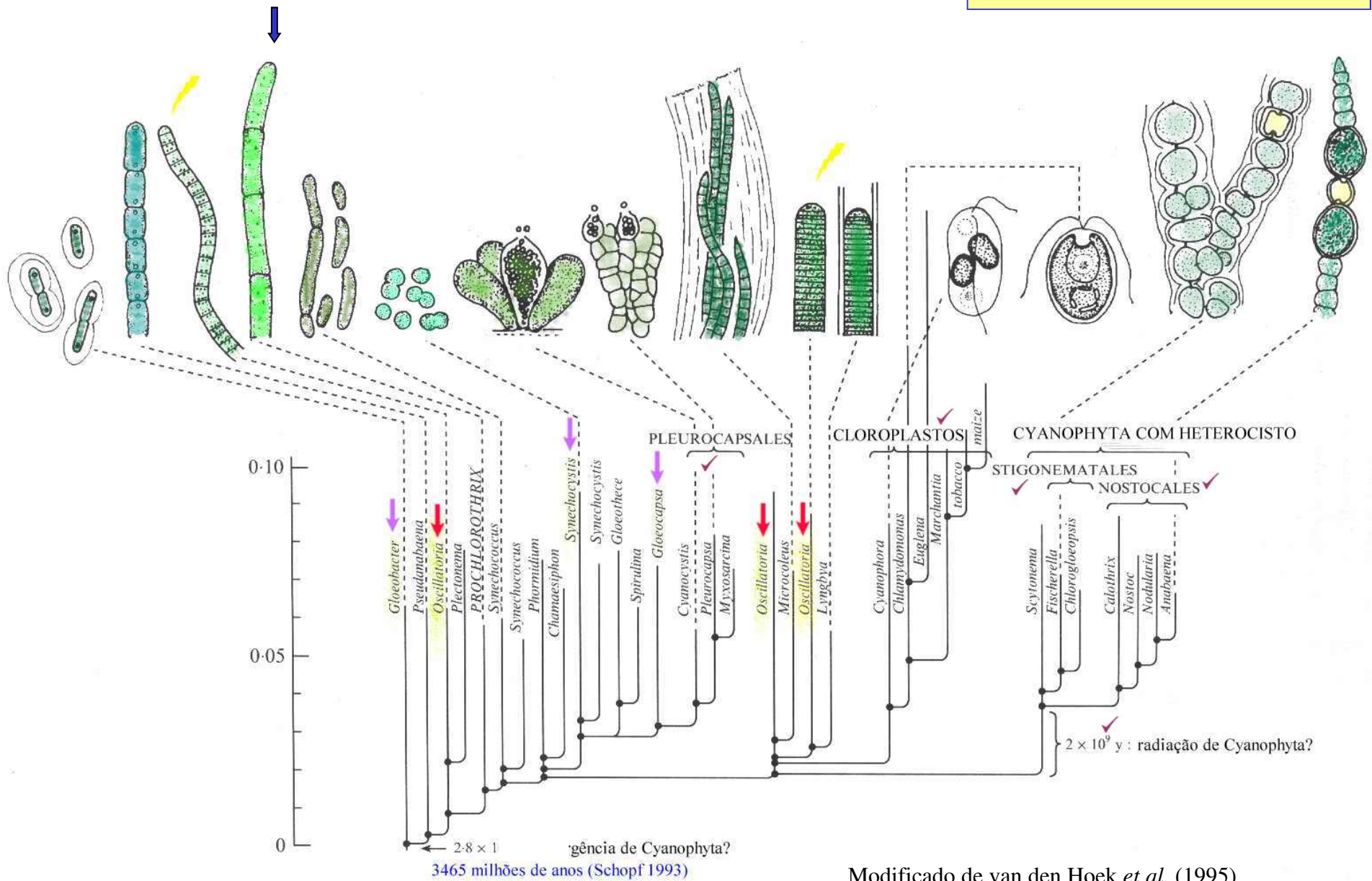
Ordens:

Chroococcales (unicel. ou coloniais)

Nostocales (filamentosas)

Chamaesiphonales (reprodução por esporos)

Cianobactérias



Modificado de van den Hoek *et al.* (1995)

Importância econômica de cianobactérias

Produção de biodiesel



Schirmer et al. 2010. Microbial Biosynthesis of Alkanes. *Science* 329: 559-562.

Synechococcus elongatus PCC7942

S. elongatus PCC6301

Synechocystis sp. PCC6803

Prochlorococcus marinus CCMP1986

Anabaena variabilis ATCC29413

Nostoc punctiforme PCC73102

Gloeobacter violaceus PCC7421

Nostoc sp. PCC7120

Cyanothece sp. PCC7425

Cyanothece sp. ATCC51142

Synechococcus sp. PCC7002

Importância econômica de cianobactérias

Produção de biodiesel



Shell (2007): planta piloto (Hawaii–EUA)

- vantajoso para o meio ambiente devido a emissões significativamente menores de enxofre;
- falta de hidrocarbonetos aromáticos;
- maior teor de oxigênio e combustão eficiente.

*Modificado de Sergio de Oliveira Lourenço
Universidade Federal Fluminense*

Importância econômica de cianobactérias

- Fixadoras de N

Cultivo de arroz



Azolla sp.



Anabaena sp.

- Complemento alimentar



- pobres em calorias e ricas em proteínas

Cianobactérias

Spirulina sp.



Combate à desnutrição

- *Spirulina* sp.

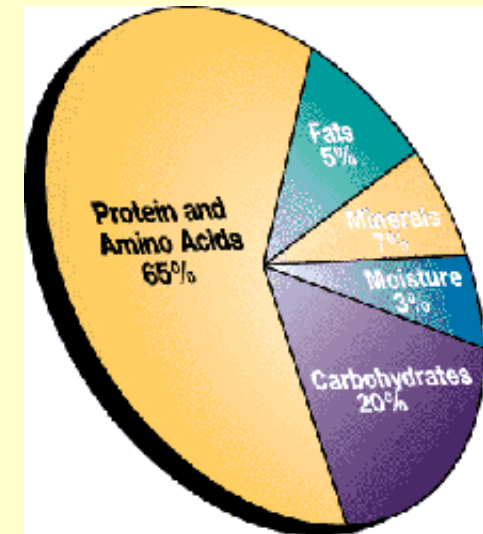
Cianobactérias



Eating spirulina noodles in India



Spirulina drink in Togo, West Africa



Harvesting spirulina in Togo, West Africa

Cianobactérias

Florações de cianobactérias

- Ambientes de água doce
 - Redução da diversidade de espécies
- ⇒ liberação de substâncias tóxicas



Lago Onondaga, N.Y.(Sze, 1986)

- Neurotoxinas
- hepatotoxinas (ex. microcistina)

Síndrome de Caruarú -PE - (1996)

Dra. Sandra Azevedo

Fev/96 - 116 (89%) of 131 pacientes com sintomas
(distúrbios visuais, náusea, vômito, fraqueza muscular).
- Dez/96 - 58 mortes – microcistina

AZEVEDO, S.M.F.O.; CARMICHAEL, W.W.; JOCHIMSEN, E.M.;
RINEHART, K.L.; LAU, S.; SHAW, G.R. & EAGLESHAM G.K.
2002. Human intoxication by microcystins during renal dialysis
treatment in Caruaru - Brazil. *Toxicology*, 181: 441-446.

Minist. Saúde (2000) –legislação brasileira: parâmetros
de controle de qualidade para água potável
(cianobactérias e cianotoxinas)

Trabalho em campo em Itanhaém (SP), costão rochoso.

Data: 19/08/2023

Horário de saída da USP: 6:00h.

- Conta no Banco do Brasil (titular):
não pode ser conjunta, poupança ou salário.
cadastrar o No. Da Conta no Sistema Júpiter.
- Alunos que não comparecerem:
- Devolver à Tesouraria do IB (prazo de 7 dias)

Aula Prática

- Dois ou três alunos – Lista (Lugares determinados no Lab.)
- Leitura do guia - “Orientação para as aulas práticas” – trazer material: pinças, estilete, papel sulfite ou caderno, lâmina de barbear, lâmina e lamínula, lenço de papel.

- **Integral** : L. Microscopia 2

- **Noturno**: L. Microscopia 2

Referências

Referências para aula prática

- Graham, L.E., Graham, J.M. & L.W. Wilcox. 2009. *Algae*. 2nd ed. Pearson Benjamin Cummings. San Francisco, CA.
- Bicudo, C. & Bicudo, R. 1970. *Algas de águas continentais brasileiras*. Fundação Brasileira para o desenvolvimento do Ensino de Ciências, São Paulo.
- Bicudo, C. E. M. & Menezes, M. 2006. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições*. 2. ed. RiMa Editora, São Carlos.
- Joly, A.B. 1975. *Botânica. Introdução à taxonomia vegetal*. Edusp, São Paulo
- Bold, H.C. & Wynne, M.J. 1978 *Introduction to the algae*. Structure and reproduction. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Lee, R.E. 2008. *Phycology*. 4th ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Van den Hoek, C., D.G. Mann & H.M. Jahns. 1995. *Algae. An introduction to phycology*. Cambridge University Press, Cambridge.