

# Alça microbiana

Dr. José Juan Barrera Alba  
Instituto Oceanográfico-USP  
[juanalba@usp.br](mailto:juanalba@usp.br)

- **Introdução - classificações**
- **Métodos de estudo de  
microorganismos marinhos**
- **Rede trófica microbiana**

Introdução  
à ecologia microbiana  
marinha

# **Tópicos:**

**Relembrando.....Quem são os micróbios?**

**Classificações e características dos principais grupos.**

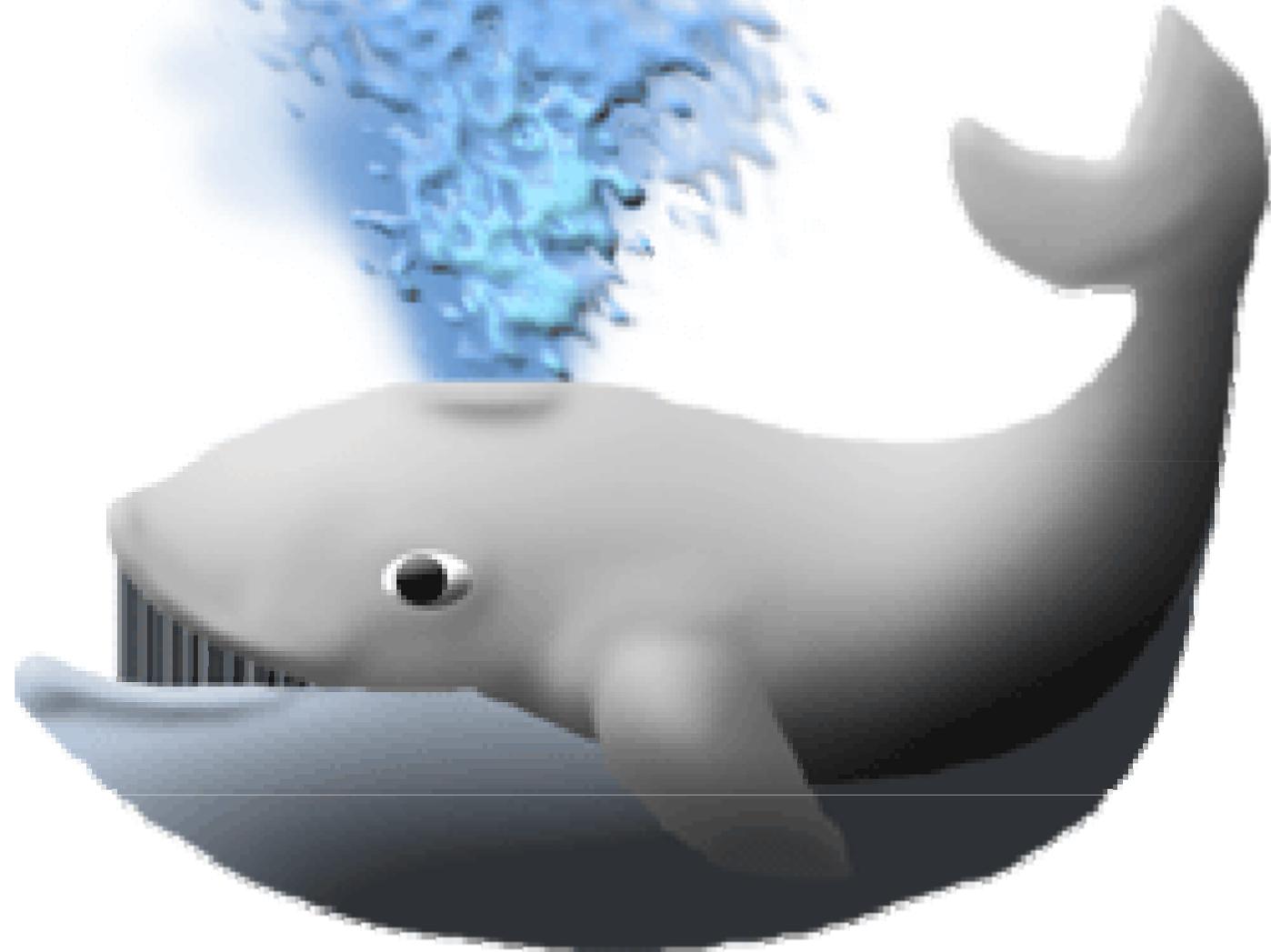
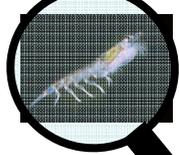
## Quem são os micróbios?

- O termo micróbios envolve uma extensa reunião de organismos com características morfológicas, ecológicas e fisiológicas: procariontes autótrofos e heterótrofos (bactérias e cianobactérias), e eucariontes autótrofos e heterótrofos (algas e protistas fagotróficos), assim como também os vírus e fungos (Sherr and Sherr, 2000).

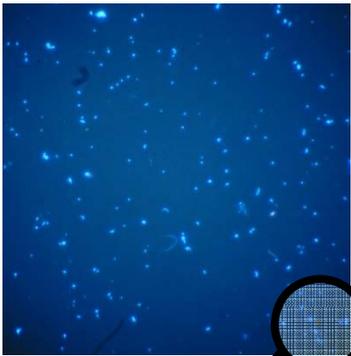
# Quem são os micróbios?

15-20 m

4 cm



# Quem são os micróbios?



0,3  $\mu\text{m}$



150  $\mu\text{m}$

## Quem são os micróbios?

- Os micróbios estão presentes nas três divisões, ou domínios, da vida no nosso planeta:

Bactéria, Archaea e Eukarya.

- Os dois primeiros são divisões dos procariontes, enquanto que o terceiro, ao qual pertencemos os humanos inclui as algas, flagelados e ciliados protistas, fungos, plantas e animais.

## Quem são os micróbios?

- Mas, qual é a diferença entre procariontes e eucariontes?
- Os **procariontes** são organismos unicelulares com parede celular rígida e DNA disperso numa região da célula denominada nucleóide. Enquanto que os **eucariontes** são organismos uni ou pluricelulares providos de membrana nuclear.

# Classificações e características dos principais grupos.

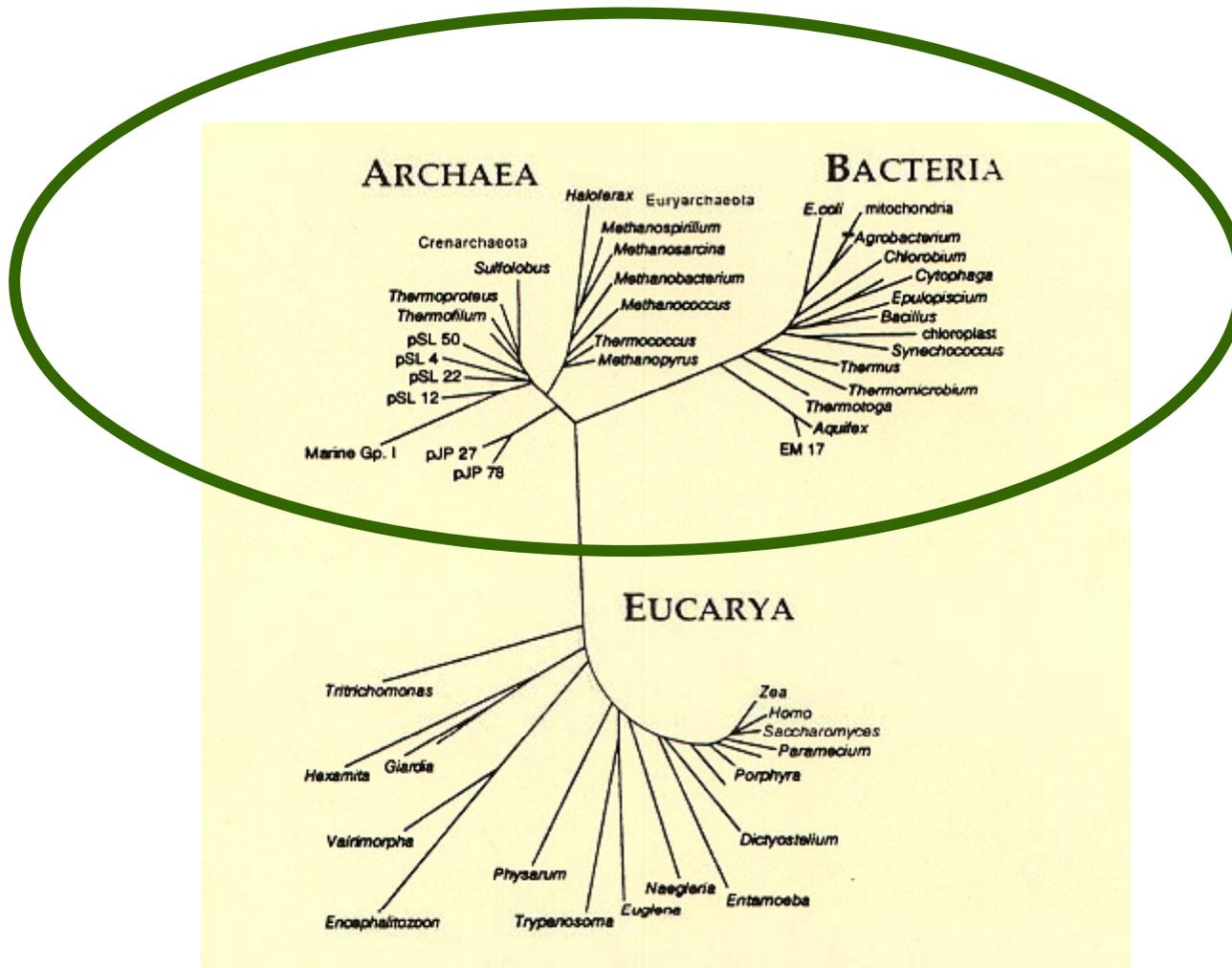
➤ **Procariontes Marinhos**

➤ **Protistas Marinhos**

**Classificações  
e  
características  
dos  
principais grupos de  
procariontes marinhos**

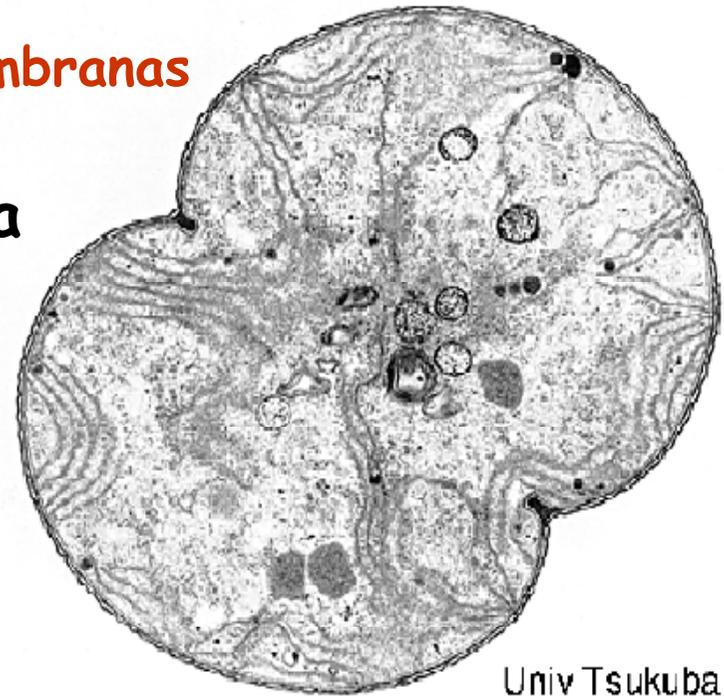
# Procariontes Marinhos

➤ De quem estamos falando?



# Procariontes Marinhos

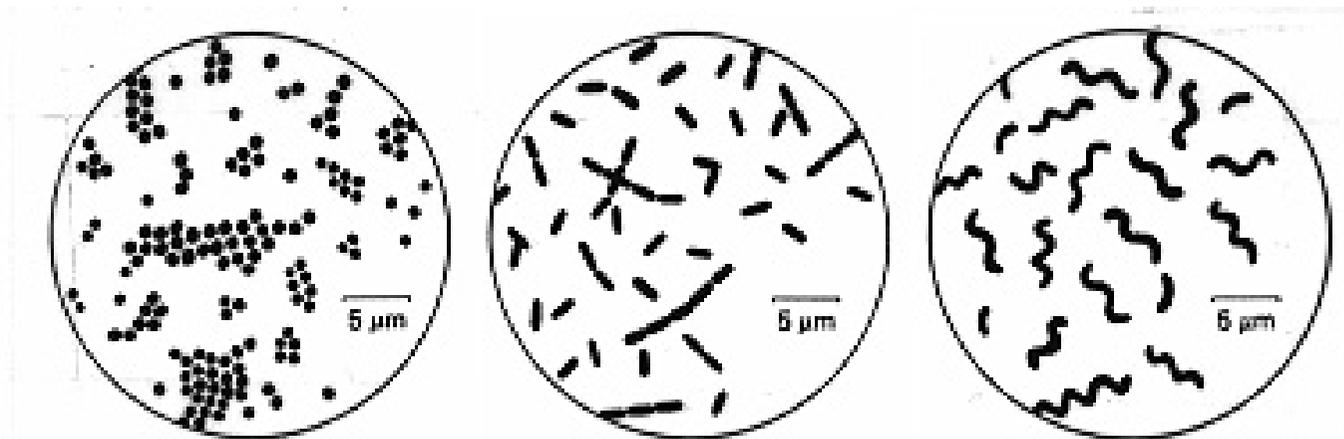
- Não apresentam núcleo,
  - Mas têm DNA e RNA
- Não apresentam cloroplastos,
  - Mas têm pigmentos, tilacóides e enzimas
- Não apresentam mitocôndria,
  - mas têm cadeia respiratória e membranas
- Ribossomos pequenos (70s) para a síntese de proteínas



Univ Tsukuba

## Procariontes Marinhos

- Morfologicamente são bastante simples: bastões, esferas e filamentos microscópicos geralmente de menos de 1 ou 2  $\mu\text{m}$ .



## Procariontes Marinhos

- Mas do ponto de vista taxonômico e metabólico são extremamente diversos.
- Estima-se que há entre 10.000 e 10.000.000 de espécies em todo o planeta

# Procariontes Marinhos

- **Constituem uma importante porção do carbono orgânico do mundo**
- **Constituem também um importante pool de fósforo e nitrogênio**

## Ecologia, diversidade e ecologia dos procariontes marinhos

- O bacterioplâncton é um exemplo da vitória da evolução.
- O sucesso do bacterioplâncton pode ser medido pelo amplo número de fontes de carbono, nitrogênio e fósforo que apresentam.

## Ecologia, diversidade e ecologia dos procariontes marinhos

- Apesar da pouca diversidade de formas, os procariontes apresentam uma elevada diversidade biológica,
- De onde vem essa diversidade?????

## Ecologia, diversidade e ecologia dos procariontes marinhos

- Ao apresentar reprodução assexuada e haplóide, a diversidade genética procede de mutações genéticas,
- Se estima que 4 mutações simultâneas aconteceriam cada 0,4 h em heterótrofos marinhos e cada 0,5 h em autótrofos (Whitman 1998)

## Principais grupos

### ➤ Archaea,

➤ metanogênicas,

➤ termófilas extremas,

➤ halófilas extremas

### ➤ Bacteria,

➤ cianobactérias,

➤ bactérias Gram-negativa,

➤ bactérias Gram-positiva

**Divisão quanto ao  
Metabolismo**

## Procariontes Marinhos

- Todos os organismos vivos têm os mesmos requerimentos fundamentais:
  - uma fonte de energia para regenerar ATP a partir de ADP + fosfato,
  - uma fonte de elementos para a biossíntese (C, N, P, S e elementos traça),
  - uma fonte de equivalentes redutores (elétrons) para produzir moléculas orgânicas e polímeros orgânicos a partir de compostos oxidados.

➤ **Portanto,**

➤ **Divisão básica do metabolismo:**

➤ **autótrofos**

➤ **heterótrofos.**

# Autótrofos

- Já entre os diferentes modelos metabólicos, a divisão pode ser realizada em termos da fonte de energia para a produção de ATP:
  - **organismos fotoautótrofos**, aqueles que obtém a energia da luz;
  - **quimioautótrofos**; a partir da oxidação de elementos reduzidos.

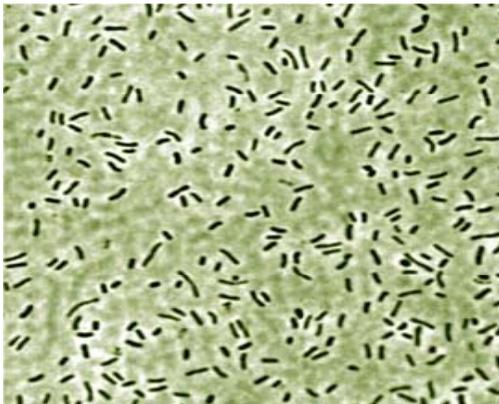
# Fotoautótrofos

## Procariontes Marinhos - Fotoautótrofos

- **Fotoautótrofos anoxigênicos e aneróbicos, são pouco importantes nos sistemas pelágicos e estão restritas a ambientes anóxicos.**

## Procariontes Marinhos - Fotoautótrofos

- No Mar Negro as massas de água anóxicas atingem a base da zona eufótica, levando a florações de *Chlorobium* spp. (Repeta *et al.*, 1989).



*Chlorobium* spp



Floração no Mar Negro

(Fonte: <http://jtintle.wordpress.com/2006/06/01/phytoplankton-blooms-in-the-black-sea/>)

## Procariontes Marinhos - Fotoautótrofos

- **Fotoautótrofos oxigênicos e aeróbicos.**
- 2 grupos de bactérias oxigênicas foram identificados como uma fração importante do fitoplâncton total enquanto à biomassa e produtividade
  - **Cianobactérias cocoides**
  - **Prochlorofitas**

## Procariontes Marinhos – Cianobactérias

- O gênero mais representativo das cianobactérias cocoides é *Synechococcus*:
  - 1,0  $\mu\text{m}$  diâmetro,
  - Clorofila-a e ficobiliproteínas,
  - fluorescência alaranjada quando excitadas com luz azul,
  - abundâncias entre  $10^7$  e  $10^9$  cels  $\text{mL}^{-1}$  na zona eufótica, tanto em águas costeiras quanto em oceano aberto.

# Procariontes Marinhos - Cianobactérias



(Fonte: [www.marbot.gu.se](http://www.marbot.gu.se))

- nos giros oligotróficos de oceano aberto podem representar entre 60 e 80% da produção primária da coluna de água

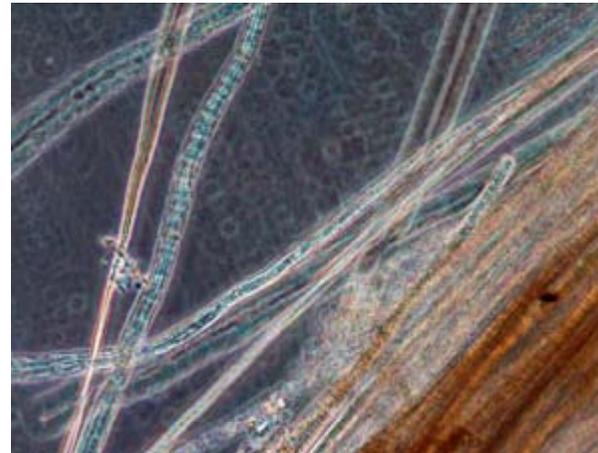
## Procariontes Marinhos – Cianobactérias

- As cianobactérias filamentosas podem ser também importantes em determinados ambientes pelágicos marinhos. Os gêneros *Trichodesmium* e *Richelia* são formas filamentosas capazes de fixar nitrogênio:



Bloom de *Trichodesmium* spp.

(Fonte: <http://www.hml.noaa.gov/stressors/habs/trichodesmium.html>)



*Trichodesmium* spp.

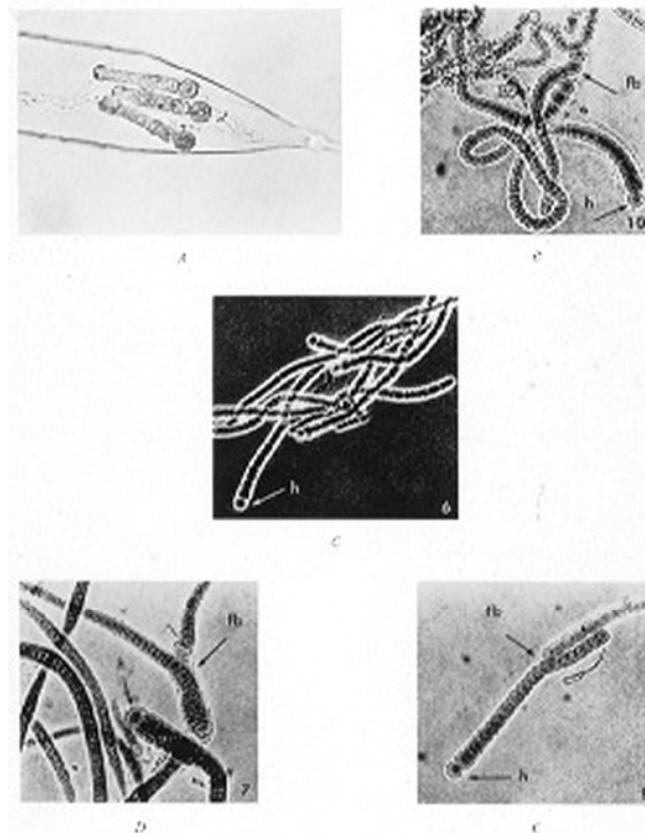
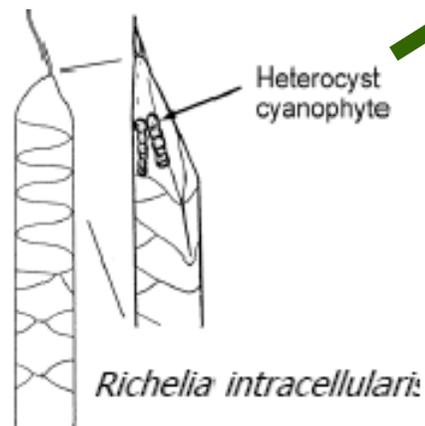
(Fonte: <http://serc5.si.edu/algae/phyla3.htm>)

## Procariontes Marinhos - Cianobactérias

- *Richelia intracellularis* é um simbiote intracelular de diatomáceas oceânicas grandes como *Rhizosolenia* sp e *Hemiaulus* sp (Villareal, 1991).

## Procariontes Marinhos – Cianobactérias

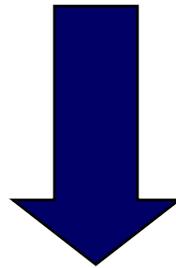
➤ *Richelia* obtém a energia para a fixação do N dos compostos orgânicos da diatomácea hospedeira, à qual supre com uma fonte extra de N em ambientes nos quais este nutriente pode ser limitante.



(Fonte: <http://www.biology.mcgill.ca/undergrad/c441b/lect06/sl6-3.gif>)

## Procariontes Marinhos – Proclorofitas

- Em 1988, Chisholm *et al.* descreveram a presença de um 'novo tipo de autótrofo muito pequeno que está presente em abundâncias elevadas, especialmente em regiões oligotróficas'.

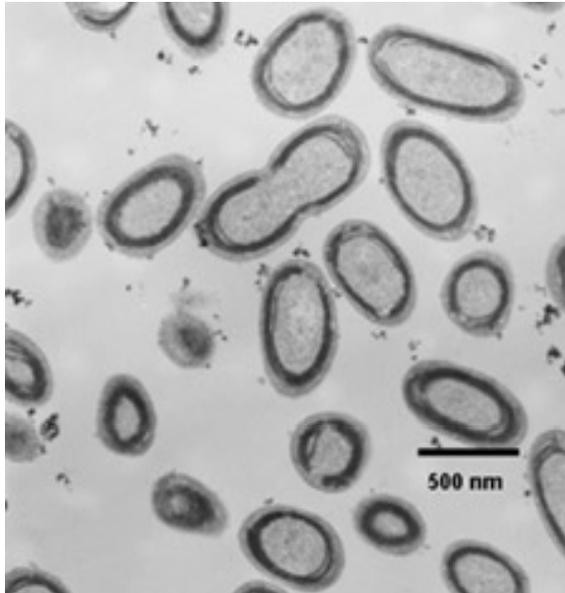


***Prochlorococcus***

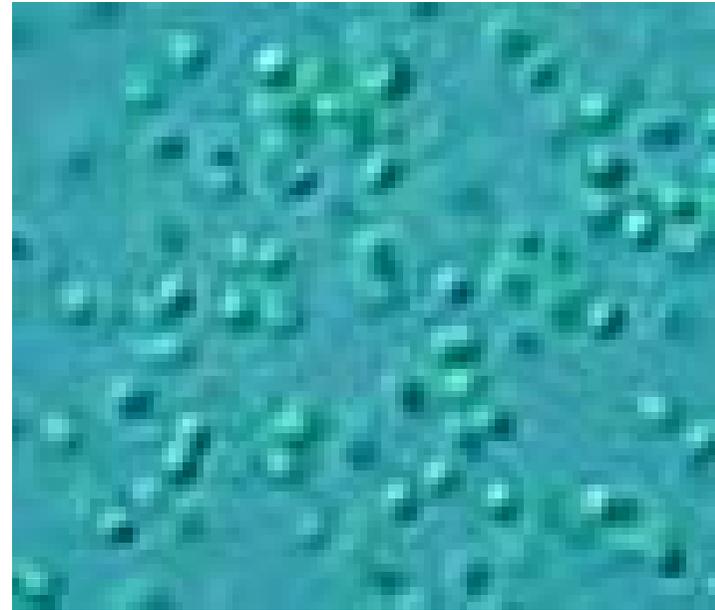
## Procariontes Marinhos – Proclorofitas

- 0,7  $\mu\text{m}$  diâmetro,
- divinil clorofila-a e divinil clorofila-b,
- fluorescência débil, detectadas principalmente com citometria de fluxo,
- abundâncias entre  $10^4$  e  $>10^5$  cels  $\text{mL}^{-1}$ ,
- em oceano aberto demonstraram contribuir mais do que cianobactérias para a produção primária
- Principais estudos no Mar do Sargasso e no Pacífico equatorial

# Procariontes Marinhos – Proclorofitas



(Fonte: [www.genomenewsnetwork.org/](http://www.genomenewsnetwork.org/))



### Bactérias Anoxigênicas Aeróbicas Fotoheterotróficas (AAP).

- Ocorrem em ambientes aeróbicos, porém não produzem oxigênio através do processo de fotossíntese, que é complementar ao metabolismo heterótrofo.

# Procariontes Marinhos - Fotoautótrofos

Conservam a energia luminosa em um ciclo de reações de transferência de elétrons dependente da bacterioclorofila (BChl) e de complexos protéicos na membrana, que translocam prótons através desta (Figura 1).

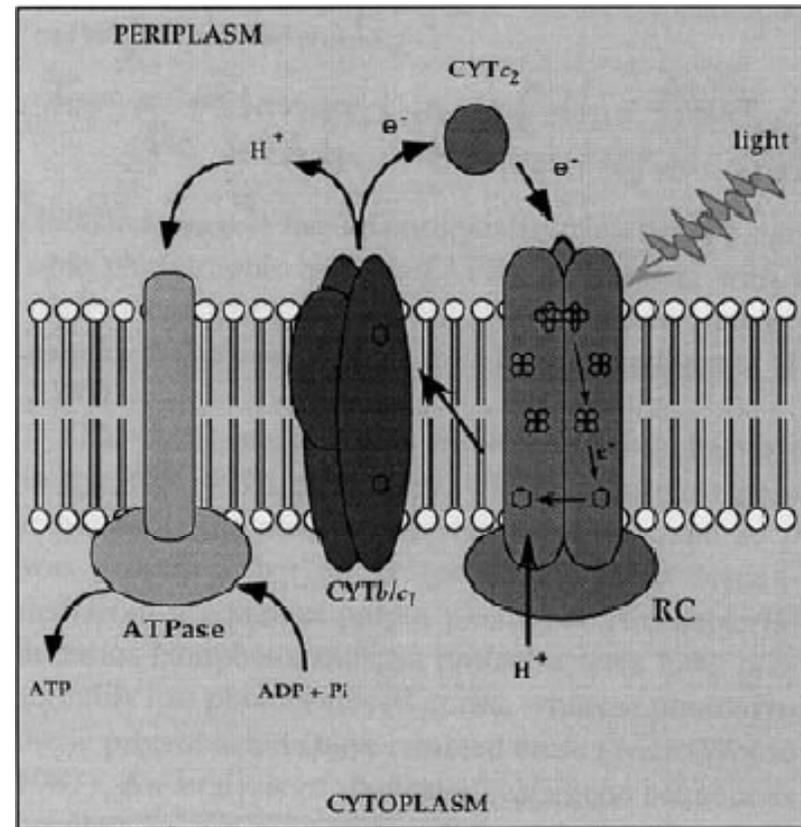


Figure 1. Representation of a membrane-imbedded, generic purple bacterial photosynthetic reaction center and related redox catalysts. Light-harvesting complexes are not shown. RC – the reaction center; CYT $b/c_1$  – the cytochrome  $b/c_1$  complex; ATPase – the ATP phosphohydrolase complex; CYT $c_2$  – a mobile periplasmic cytochrome;  $e^-$  and  $H^+$  – electrons and protons. For a color version of this figure, see section in the front of the issue.

## Procariontes Marinhos - Fotoautótrofos

- Devido a natureza cíclica destas reações de transferência de elétrons, este tipo de fotossíntese em princípio não requer um doador externo de elétrons, como no caso das cianobactérias e algas eucarióticas cuja hidrólise tem este papel, produzindo oxigênio.

## Procariontes Marinhos - AAPs

- Estas bactérias foram inicialmente isoladas de uma variedade de ambientes marinhos por Shiba et al. (1979).
- Entretanto, sua abundância e importância no bacterioplâncton permanecia desconhecida até recentemente.

## Procariontes Marinhos - AAPs

- Com duas formas potenciais de aquisição de carbono, foi sugerido que estas bactérias seriam abundantes em ambientes oligotróficos (Kolber et al., 2000),
- podem superar o desenvolvimento de outras bactérias por utilizarem luz,
- e ao mesmo tempo o desenvolvimento do fitoplâncton por incorporação de nutrientes inorgânicos, devido ao seu tamanho reduzido.

## Procariontes Marinhos - AAPs

- Entretanto, Sieracki et al. (2006), em um estudo realizado no Mar do Sargasso (oligotrófico) e no Golfo do Maine (eutrófico), demonstraram que estas bactérias são abundantes ( $7 \times 10^3$  até  $9,8 \times 10^4$  cel/mL) tanto em ambientes oligotróficos quanto em ambientes eutróficos.

# Procariontes Marinhos - AAPs

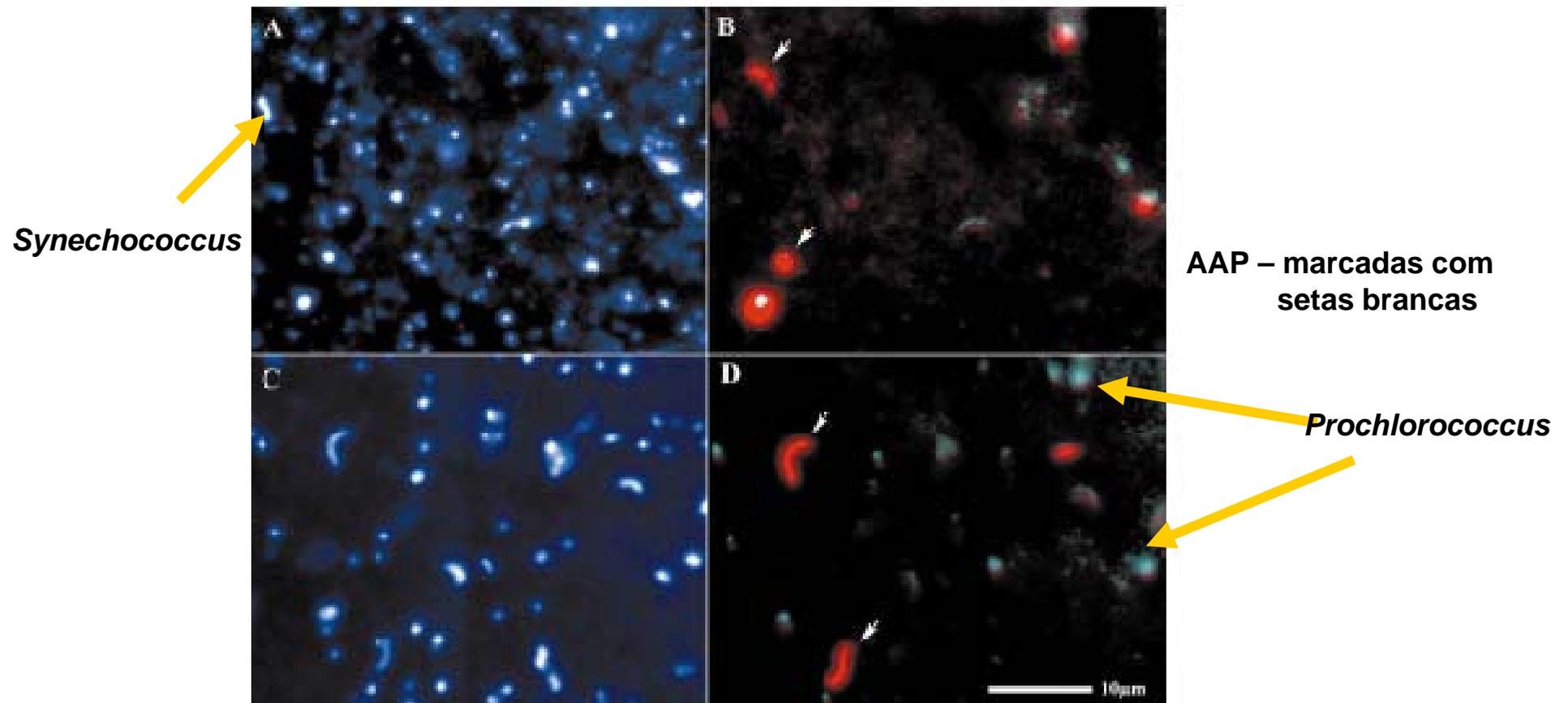


Fig. 1. Selected digital images of AAPs from (A and B) Georgia Bank and (C and D) Sargasso Sea. Panels A and C show the total bacterial population stained with DAPI. Panels B and D are dual-image overlays showing AAP cells under infrared fluorescence as red (arrows) and chlorophyll *a* (Chl *a*) or divinyl Chl *a* fluorescence under blue excitation as cyan. The large bright cell in the upper left of panels A and B is a *Synechococcus* cell. The dim cyan cells in D are *Prochlorococcus*.

(Adaptado de Sieracki *et al.*, 2006)

## Procariontes Marinhos - AAPs

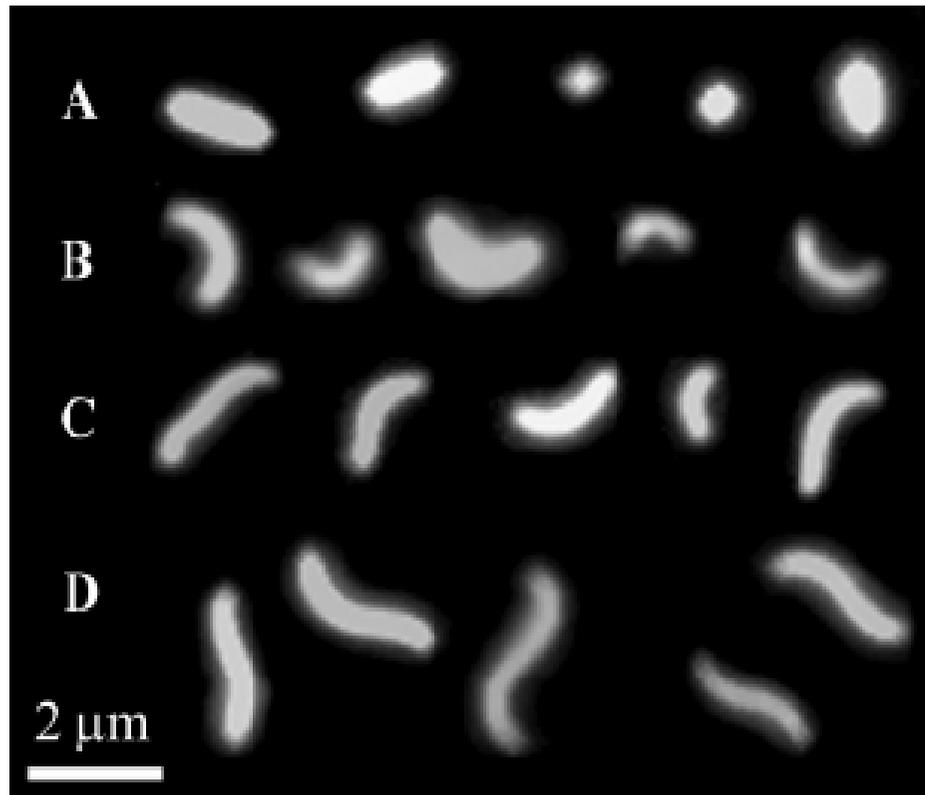
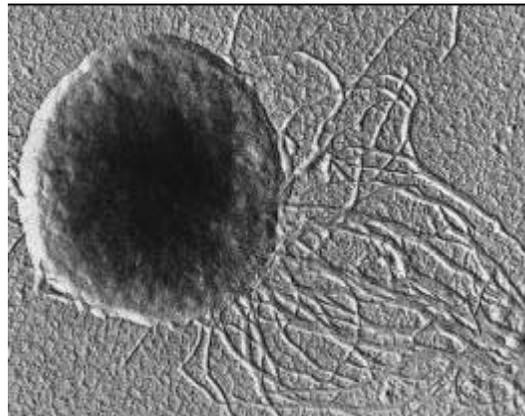
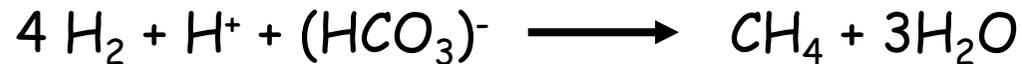


Fig. 2. Commonly observed morphological types of AAP cells from infrared fluorescence images: (A) short rods; (B and C) vibrio; and (D) spirilla.

(Fonte: Sieracki *et al.*, 2006)

## Procariontes Marinhos - Quimioautótrofos

- **Metanogênicas**, são um dos 3 principais grupos de Archaea. São anaeróbicos estritos, obtêm a energia química da oxidação do hidrogênio e utilizam o  $\text{CO}_2$  como fonte de C para a biosíntese.
- reação da metanogênese para a produção de energia,



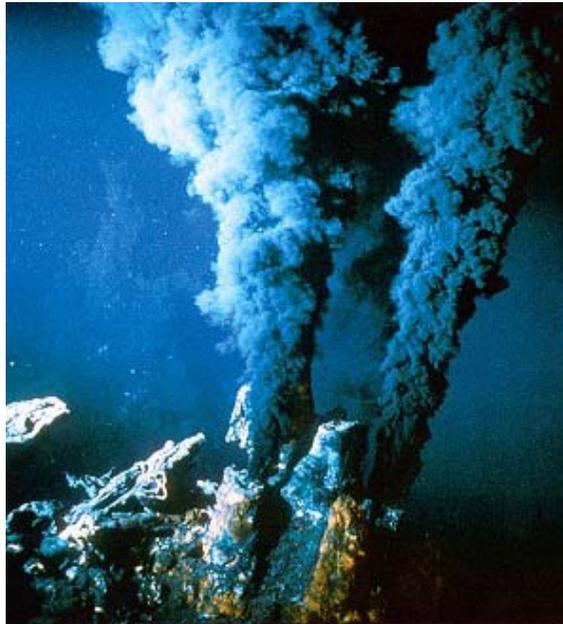
*Methanococcus jannischii*

## Procariontes Marinhos - Quimioautótrofos

- **Bactérias oxidantes do enxofre**, filogeneticamente são muito diversas, desde membros termofílicos de Archaea até bactérias termófilas e mesófilas (bactérias púrpuras do enxofre).
- O enxofre ( $S^0$ ) e sulfido de hidrogênio ( $H_2S$ ) são oxidados para liberar energia para a fosforalização. O produto final é o sulfato.

# Procariontes Marinhos - Quimioautótrofos

- Nos sistemas marinhos são a base da rede trófica nas fontes hidrotermais.



<http://www.cas.muohio.edu/~mbi-ws/ExtremeMicro/deepsevents.htm>

## Procariontes Marinhos - Quimioautótrofos

- **Bactérias nitrificantes**, formado por um consórcio de 2 grupos de bactérias geneticamente distintos:

(1) Bactérias oxidantes de amônia;

(2) bactérias oxidantes do nitrito.

- Têm um papel importante no ciclo do N no mar removendo amônia, tóxico em altas concentrações para os eucariontes, e formando nitrato.

Procariontes Marinhos

Heterótrofos

## Procariontes Marinhos - Heterótrofos

- O bacterioplâncton é dominado numericamente por bactérias gram-negativas heterotróficas.
- Em águas oxigenadas, catalisam as moléculas orgânicas via respiração aeróbica, na qual o oxigênio é o aceitador final de elétrons.

# Procariontes Marinhos - Heterótrofos

- Sob condições de baixa disponibilidade de oxigênio,  $\text{NO}_3$  e  $\text{SO}_4$  podem ser usados como aceptores finais de  $e^-$  alternativos na respiração anaeróbica.
- Em condições anóxicas, a fermentação pode ser importante.

# Procariontes Marinhos - Heterótrofos

➤ **Respiração Aeróbica**

➤ **Processos Anaeróbicos**

➤ **Fermentação**

**Pouco importantes  
nos ambientes  
pelágicos**

# Procariontes Marinhos - Heterótrofos

## ➤ Respiração Aeróbica

- Do ponto de vista trófico, a respiração aeróbica representa um processo otimizado:
  - não é necessário nenhum requerimento extra de energia para a redução do  $CO_2$  para precursores orgânicos,
  - a energia liberada por cada mol de substrato orgânico oxidado é elevada,
  - independência tanto da luz quanto dos elementos químicos reduzidos.

## Procariontes Marinhos - Heterótrofos

### ➤ Processos Anaeróbicos

- Os processos anaeróbicos não são normalmente considerados importantes nas redes tróficas microbianas pelágicas.
- Não obstante, no interior de partículas orgânicas, como as pelotas fecais, podem ocorrer condições anóxicas (Alldredge & Cohen, 1987).

## Procariontes Marinhos - Heterótrofos

- Grandes áreas nos oceanos apresentam, com frequência, condições sub-óxicas abaixo da zona eufótica. Ex: florações de fitoplâncton em regiões de ressurgências.
- A eutrofização crescente nas regiões costeiras também levam frequentemente à formação de massas de água sub-óxicas/anóxicas nas quais o metabolismo anaeróbico toma o lugar do metabolismo aeróbico nas comunidades microbianas.

## Procariontes Marinhos - Heterótrofos

- Em ausência de oxigênio, algumas bactérias usam outros substratos oxidados como aceptores finais de elétrons. Os dois compostos mais usados são:
  - Nitrato - muitas bactérias aeróbicas são "nitrate respirers" facultativas: podem substituir o oxigênio por nitrato como aceitor final de elétrons em condições anóxicas. Um sub-grupo de bactérias nitrato-redutoras são capazes de reduzir nitrato e nitrito para nitrogênio gaseoso.
  - Sulfato - são anaeróbicas obrigatórias que podem usar sulfato, tiosulfato e, eventualmente enxofre, como aceptores terminais de elétrons em respiração.

# Procariontes Marinhos - Heterótrofos

## ➤ Fermentação

- É o processo de menor eficiência trófica,
- Estritamente anaeróbico,
- Na fermentação, os elétrons são transferidos diretamente desde compostos mais reduzidos para os mais oxidados no citoplasma celular.

