

# PPM Aula Teórica de 10 de Outubro 2019

## Sumário

Ecologia dos Grupos Fitoplancton I.

Pigmentos Fotossintéticos: marcadores taxonómicos

Classes de Tamanho e Tipos Funcionais de Pigmentos:  
(PFT)

Vanda Brotas, MARE-FCUL-DBV

# Objetivos e ligação com aula anterior

- Aula Passada (26-9) Tomar conhecimento (ou rever) a variabilidade de espécies do Fitoplancton
- Aula de hoje (10-10). Qual a distribuição espacial e temporal dos grupos fitoplanctónicos? Como monitorizá-la?
- Pigmentos fotossintéticos como marcadores taxonómicos.
- Ligação com os Grupos Funcionais de Fitoplancton, PFT.

# Outline da aula

- Importancia da quantificação dos pigmentos fotossintéticos como método de estudo do Fitoplancton
- Como usar os pigmentos para estudar a distribuição especial das classes de tamanho

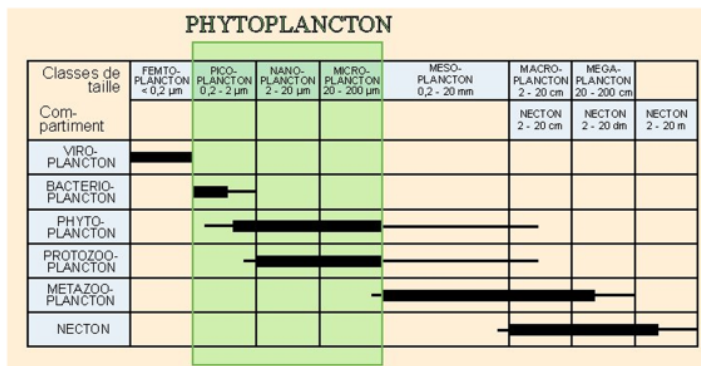
# Relembrando aula passada

- Classes taxonômicas
- Classes de tamanho
- Grupos funcionais

Graham &  
Wilcox,  
2000  
Cap 1  
Biblioteca

afia

Fitoplâncton, classificação em classes de tamanho



Sieburth, J. M., Smetacek, V. & Lenz, J. (1978). Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, 23, 1256–1263.

Table 1–1 Predominant photosynthetic pigments, storage products, and cell wall components for the major algal groups

	photosynthetic pigments	storage products	cell covering
Cyanobacteria (Chloroxybacteria)	chlorophyll a phycocyanin allophycocyanin phycoerythrin β-carotene xanthophylls	cyanophycin granules, cyanophytan starch (glycogen)	peptidoglycan ✓
prochlorophytes	chlorophyll a, b β-carotene xanthophylls	cyanophytan starch (glycogen)	peptidoglycan ✓
Glaucophyta	chlorophyll a phycocyanin allophycocyanin phycoerythrin β-carotene xanthophylls	starch	some cellulosic
Euglenophyta	chlorophyll a, b β-carotene, other carotenes and xanthophylls	paramylon	proteinaceous pellicle beneath plasma membrane
Cryptophyta	chlorophyll a, c phycocyanin phycoerythrin allophycocyanin α, β-carotene xanthophylls	starch	proteinaceous periplast beneath plasma membrane
Haptophyta	chlorophyll a, c β-carotene xanthophylls	chrysolaminaran	CaCO <sub>3</sub> scales common ✓
Dinophyta	chlorophyll a, c β-carotene xanthophylls	starch	cellulosic plates in vesicles beneath plasma membrane ✓
Ochrophyta (diatoms, chrysophytes, brown algae, etc.)	chlorophyll a, c β-carotene xanthophylls	chrysolaminaran, lipids	some naked; some with silica/organic scales; cellulose, alginates in some ✓
eustigmatophytes	chlorophyll a β-carotene xanthophylls	chrysolaminaran	present, but unknown composition
Rhodophyta	chlorophyll a	floridean starch	cellulose, sulfated

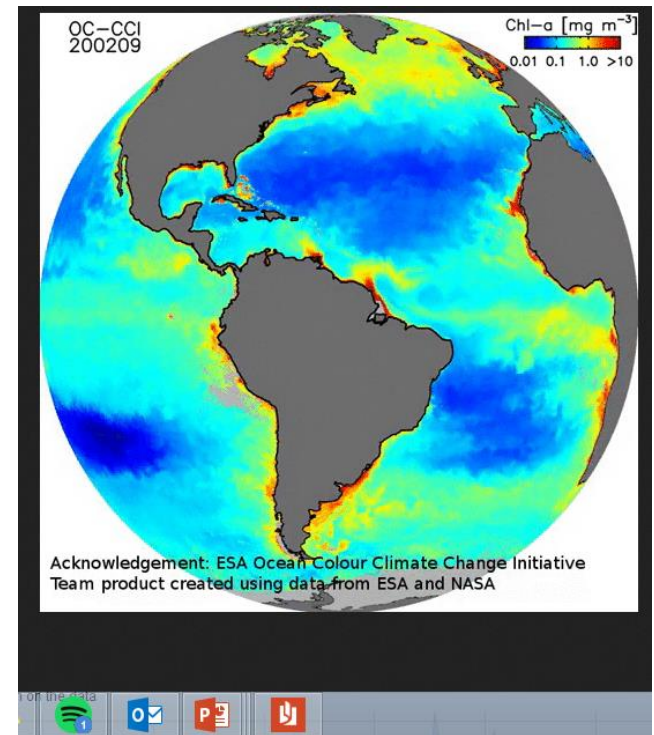
[http://www.esa-oceancolour-cci.org/sites/default/files/OC\\_CCI\\_TimeSeries\\_Video.gif](http://www.esa-oceancolour-cci.org/sites/default/files/OC_CCI_TimeSeries_Video.gif)





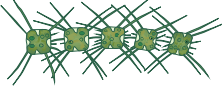

Observar:

Onde estão as maiores concentrações de Chla?

Onde estão as menores concentrações?

Em que zonas se distribuem preferencialmente 1) Diatomáceas?  
2) Prochlorococcus?

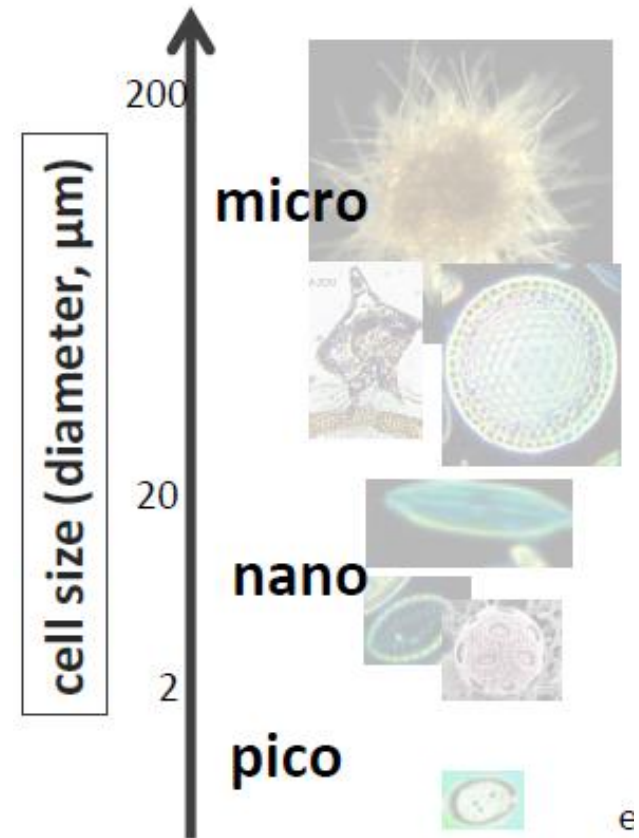
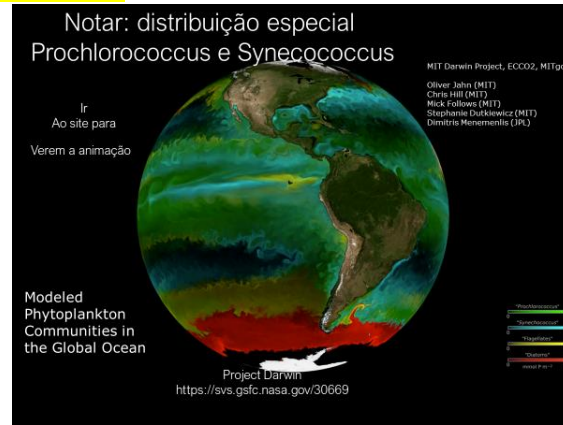


Tamanho (Dimensão linear máxima)	Classe	Grupos taxonómicos (mais importantes)	Exemplos (não está em escala)
0,2 – 2 µm	Picofitoplâncton	Cianobactérias	 <i>Synechococcus</i>  <i>Prochlorococcus</i>
2 – 20 µm	Nanofitoplâncton	Haptófitas, clorófitas, prasinófitas, crisófitas, criptófitas	 Haptófitas  Clorófitas
20 – 200 µm	Microfitoplâncton	Diatomáceas e dinoflagelados	 Diatomáceas  Dinoflagelados

In Stueliff et al 2016  
capítulo 3

# Procurando a relação entre:

- Classes taxonômicas
- Classes de tamanho
- **Grupos funcionais**



calcifiers

pico

silicifiers

$\text{N}_2$  fixers

mixotrophs

**Stephanie Dutkiewicz**  
Massachusetts Institute of Technology

# Ver em casa. Para saber mais sobre o slide anterior

Modeled Phytoplankton Communities in the Global Ocean The model contains flow fields from 1994-1998 (generated by the ECCO2 model), inorganic nutrients, 78 species of phytoplankton, zooplankton, as well as particulate and dissolved organic matter. Colors represent the most dominant type of phytoplankton at a given location based on their size and ability to uptake nutrients. Red represents diatoms (big phytoplankton, which need silica), yellow represents flagellates (other big phytoplankton), green represents prochlorococcus (small phytoplankton that cannot use nitrate), and cyan represents synechococcus (other small phytoplankton).

Phytoplankton are the base of the marine food web and are crucial players in the Earth's carbon cycle. They are also incredibly diverse. This visualization shows dominant phytoplankton types from 1994-1998 generated by the Darwin Project using a high-resolution ocean and ecosystem model. The model contains flow fields from 1994-1998 (generated by the ECCO2 model), inorganic nutrients, 78 species of phytoplankton, zooplankton, as well as particulate and dissolved organic matter. Colors represent the most dominant type of phytoplankton at a given location based on their size and ability to uptake nutrients. Red represents diatoms (big phytoplankton, which need silica), yellow represents flagellates (other big phytoplankton), green represents prochlorococcus (small phytoplankton that cannot use nitrate), and cyan represents synechococcus (other small phytoplankton). Opacity indicates concentration of the carbon biomass.

A key part of the Darwin Project is developing theoretical and numerical models of the marine ecosystems. The data shown here are from a simulation of the Darwin model in a physical run of the Massachusetts Institute of Technology general circulation model by the Estimating the Circulation and Climate of the Ocean (ECCO) group. The model provides a laboratory to explore the controls on biodiversity and the biogeography of different phytoplankton species. In particular, the role of the swirls and filaments (mesoscale features) appear important in maintaining high biodiversity.

For more information, visit: [darwinproject.mit.edu](http://darwinproject.mit.edu)

# CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL – QUAL A FUNÇÃO NO ECOSSISTEMA? Qual a função NOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS?

Phytoplankton Functional Types – Grupos funcionais mais frequentemente usados:

- 1) Nitrogen fixers - Cianobactérias
- 2) Silicifiers
- 3) Calcifiers
- 4) DMS producers (includes ~ all groups)

Não há UMA classificação de grupos funcionais, há VARIAS, de acordo  
Com o objetivo do estudo.



## Grupos Funcionais. Ler em casa.

- **Fixadores de azoto** – Todas as células de fitoplâncton necessitam de azoto. Geralmente, assimilam este nutriente através da captação de azoto na forma dissolvida, i.e. nitrato, nitrito ou amónia. No entanto, alguns organismos têm a capacidade de fixar azoto atmosférico, evitando as limitações nutricionais ao crescimento. Estes organismos pertencem ao grupo das cianobactérias; onde algumas espécies podem ter um papel importante no desenvolvimento de blooms.
- **Calcificadores** – Os organismos calcificadores produzem placas de revestimento ricas em carbonato de cálcio. Estes organismos pertencem tipicamente à Divisão Haptophyta. No entanto, nem todas as haptófitas produzem estas placas, apenas um grupo designado de cocolitóforos, pertencentes à Classe Prymnesiophyceae. Este grupo funcional tem uma elevada importância no ciclo do carbono, uma vez que a produção destas placas, leva à libertação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que reage rapidamente com as moléculas de água, contribuindo para uma cadeia de reações que leva à libertação de iões de hidrogénio e consequente redução de pH. Mas por outro lado, ao morrerem, estes organismos sedimentam nos fundos oceânicos, transportando consigo concentrações de carbono relevantes, retirando-o do seu ciclo biogeoquímico por milhares de anos.
- **Silificadores** – As diatomáceas são a classe mais importante deste tipo funcional, dado que a sua parede celular é constituída por uma frustula siliciosa. O facto de terem células relativamente grandes (pertencem à classe de tamanho microfitoplâncton) e ‘pesadas’ devido à sua composição rica em sílica, faz com que tenham uma tendência para se afundar na coluna de água, tendo um papel muito importante no transporte de carbono, azoto e sílica para o mar profundo.
- **Produtores de DMS (Sulfato de Dimetilo)** – Este composto orgânico volátil é libertado por células fitoplantónicas para a atmosfera terrestre, principalmente por morte das células, tendo um papel importante no ciclo do enxofre. Este composto contribui para a formação de nuvens, levando a uma diminuição do número de fotões que chegam à superfície do mar, e portanto atuando indiretamente na estabilização da temperatura terrestre. Os organismos conhecidos pela produção de DMS pertencem principalmente ao grupo das haptófitas e dinoflagelados.

# Pigmentos fotossintéticos

- Relação com a classificação taxonómica
- Métodos de estudo
- Sua utilidade para conhecer a distribuição espacial e sazonal dos Grupos Fitoplâncton
- Conceito de pigmento diagnosticante

# Conceito de pigmento diagnosticante ou marcador taxonómico

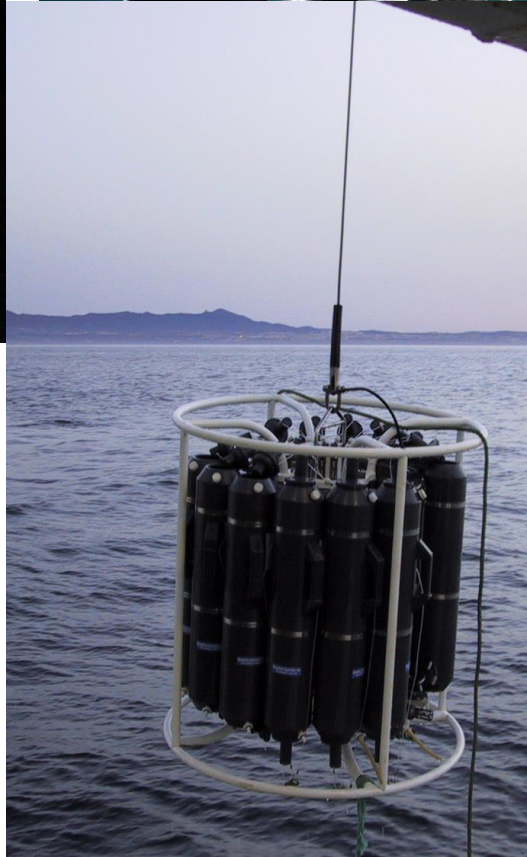
Pigmento diagnosticante	Grupos fitoplantónicos	Exclusivo	Presença obrigatória	Quantidade
Fucoxantina	Diatomáceas			●
Peridinina	Dinoflagelados			●
Clorofila <i>b</i>	'Linhagem verde'			●
Aloxantina	Criptófitas			●
Hex-fucoxantina	Haptófitas			●
Zeaxantina	Cianobactérias			●
Divinil clorofila <i>b</i>	<i>Prochlorococcus</i>			●

Como medir os pigmentos?

# Colheita

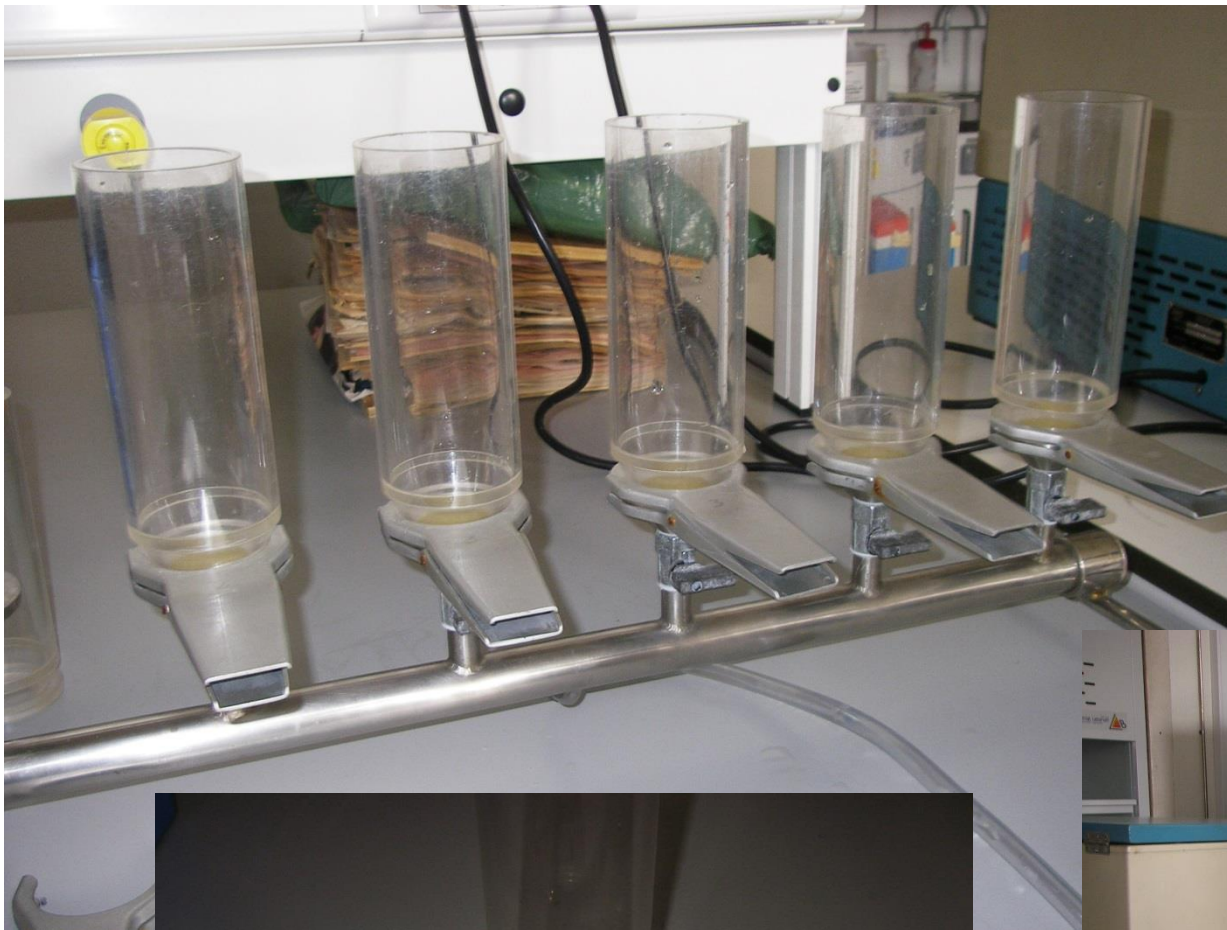
Aulas de Botânica Marinha, Marina de Cascais

garrafa Van Dorn

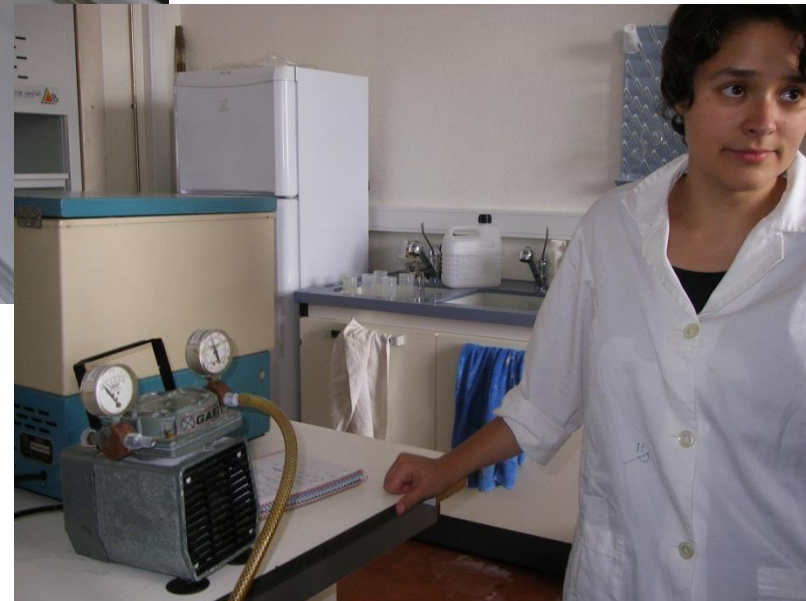


Rosette  
Colheita em navio





Filtrar um volume  
Conhecido de água  
Filtro é analisado  
A fim de obter a  
Concentração dos  
Diversos pigmentos



# Metodologia: HPLC



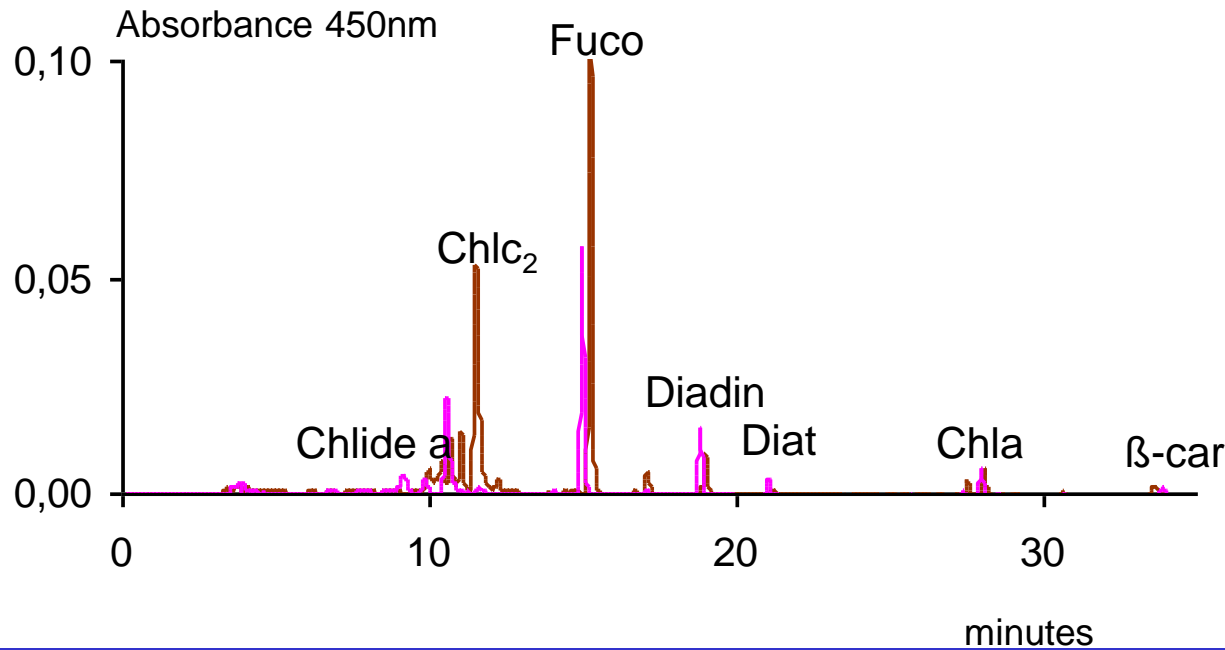
Fitoplâncton

Identificação classes  
taxonómicas

Separação pigmentos  
degradados

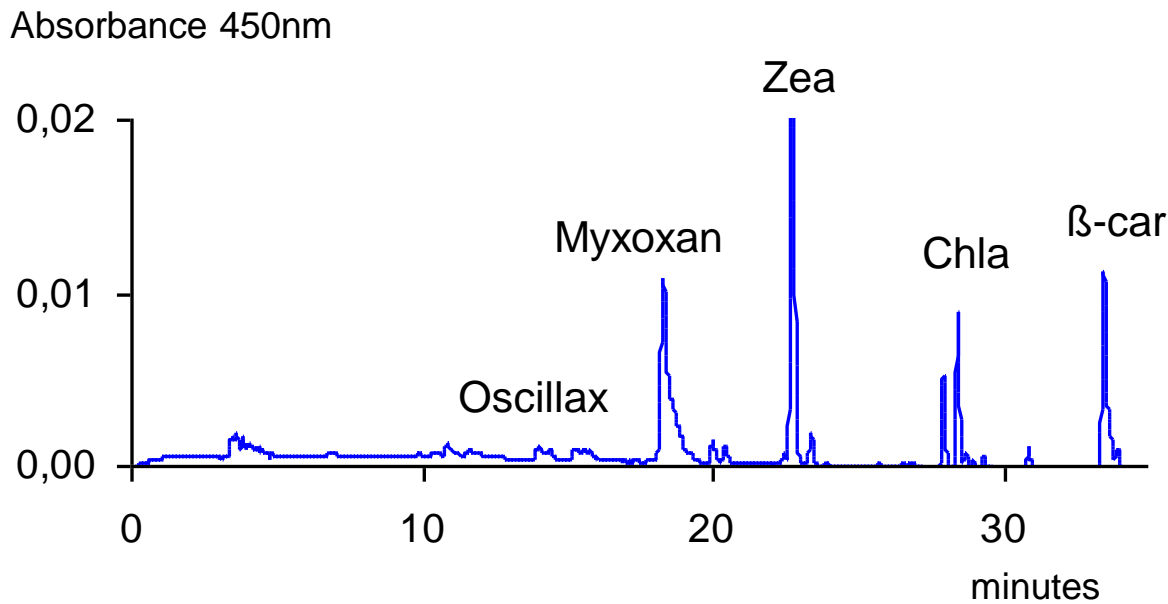
# Diatoms

*Phaeodactylum*



# Cianobacteria

*Spirulina*

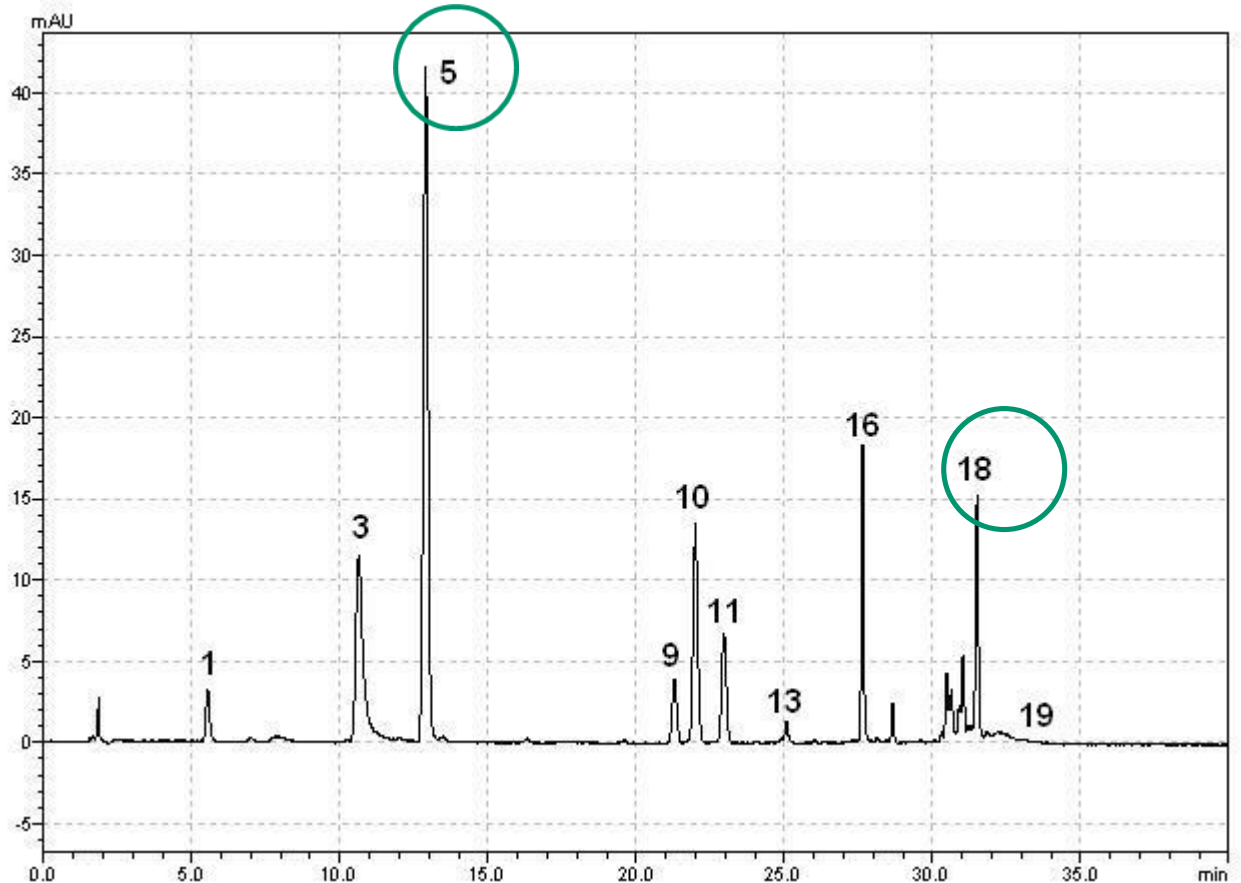
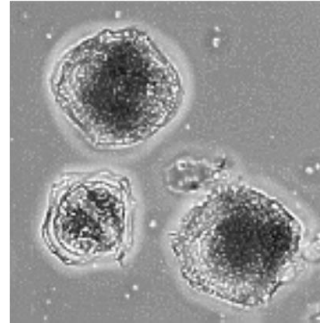




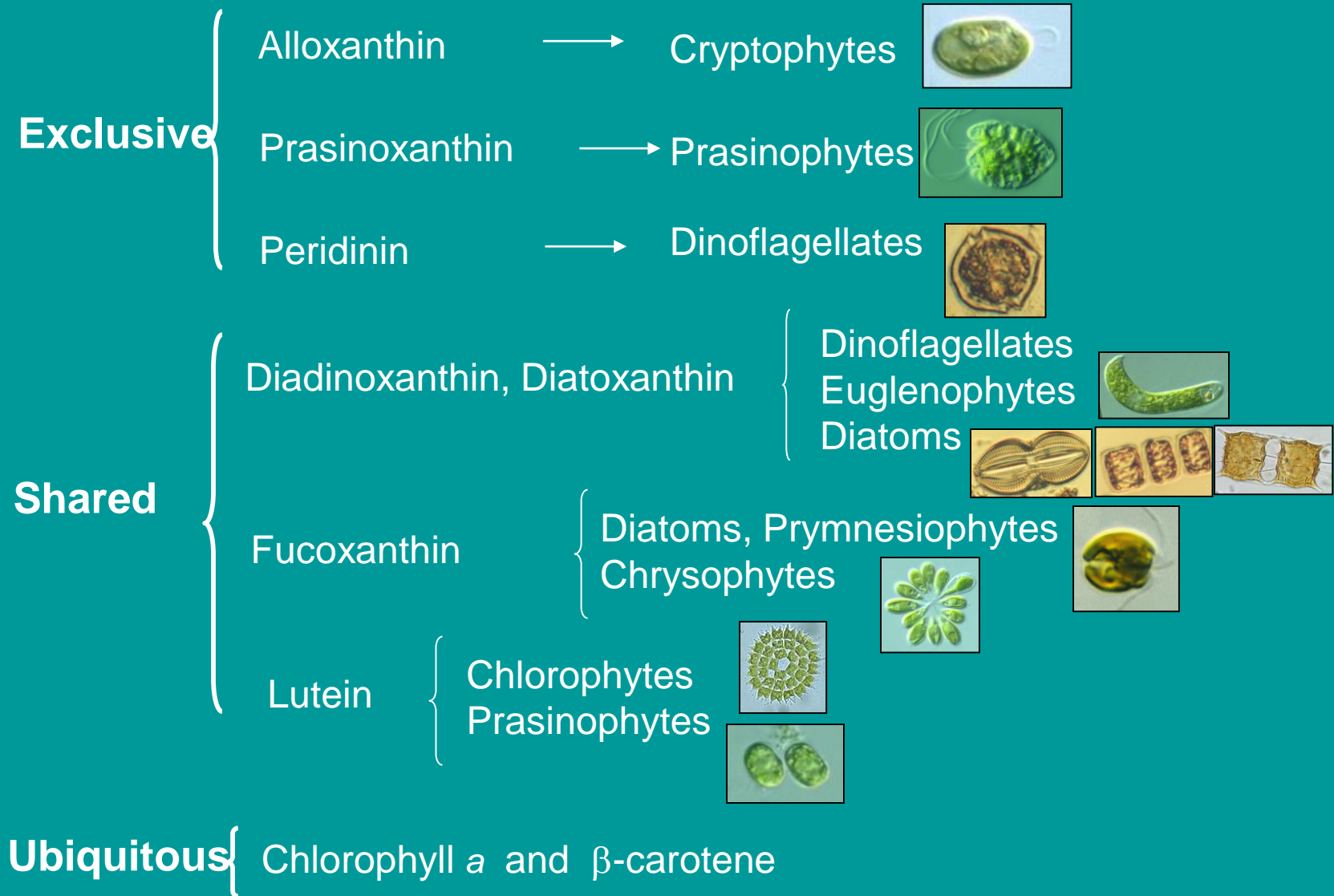
# Lingolodinium polyedrum

## Pigments

- 1 Peridininol
- 2 Chlorophyllide a
- 3 Chlorophyll C2
- 4 Chlorophyll C1
- 5 Peridinin
- 6 Fucoxanthin
- 7 Neoxanthin
- 8 Violaxanthin
- 9 Diadinochrome
- 10 Diadinoxanthin
- 11 Dinoxanthin
- 12 Antheraxanthin
- 13 Diatoxanthin
- 14 Zeaxanthin
- 15 Lutein
- 16 Standard
- 17 Chlorophyll b
- 18 Chlorophyll a
- 19 Pheophytin a
- 20  $\beta$ -carotene



# Taxonomic Markers



# Conceito de pigmento diagnosticante ou marcador taxonómico. Tabela simplificada

Pigmento diagnosticante	Grupos fitoplantónicos	Exclusivo	Presença obrigatória	Quantidade
Fucoxantina	Diatomáceas			●
Peridinina	Dinoflagelados		<input type="checkbox"/>	●
Clorofila <i>b</i>	'Linhagem verde'			●
Aloxantina	Criptófitas			●
Hex-fucoxantina	Haptófitas			●
Zeaxantina	Cianobactérias			●
Divinil clorofila <i>b</i>	<i>Prochlorococcus</i>			●

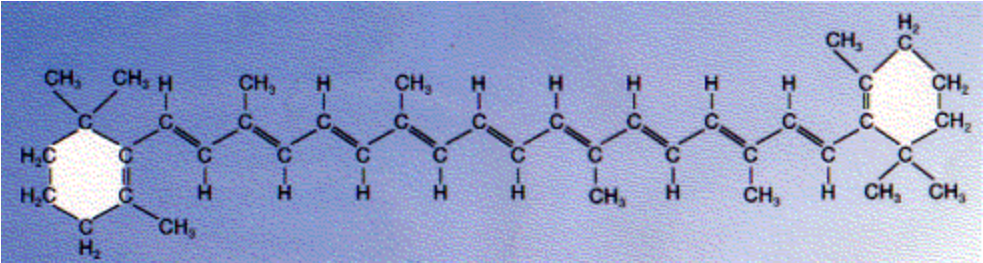
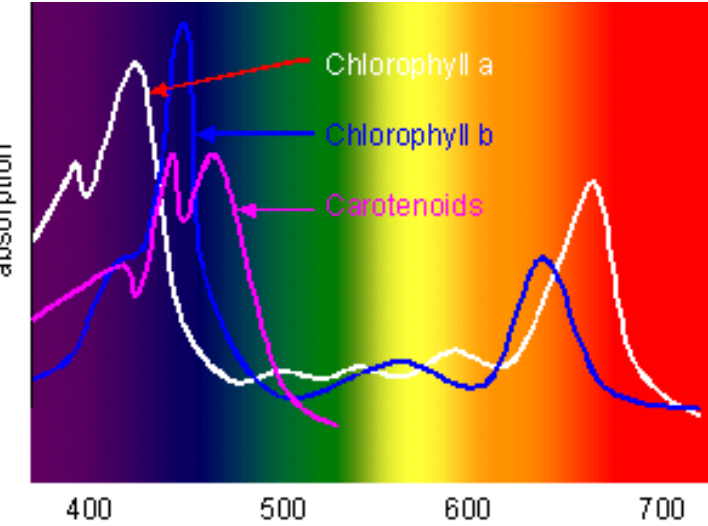
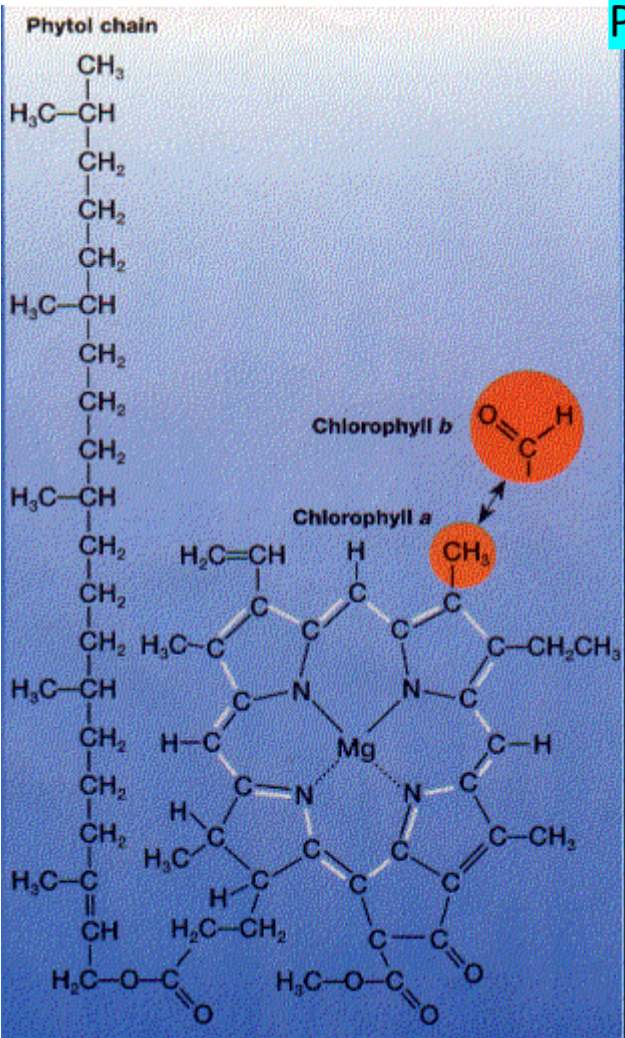
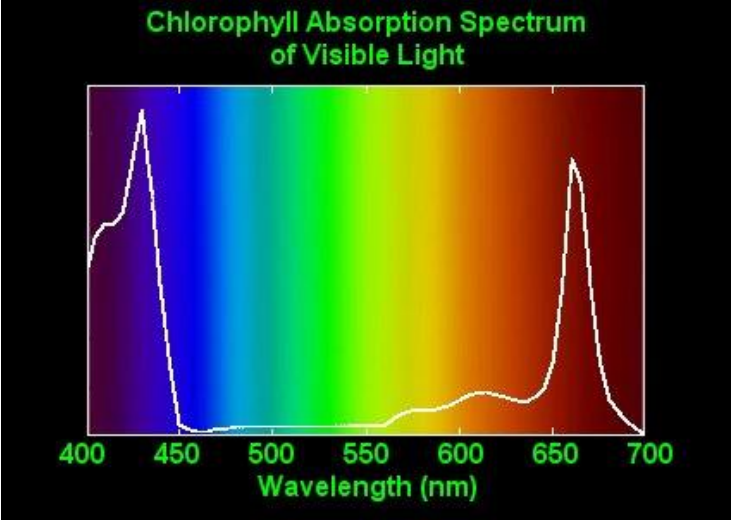
# Breve introdução aos vários tipos de pigmentos

# Tipos de Pigmentos

# Pigmentos fotossintéticos

## Clorofilas

## Carotenóides





Tipos de Pigmentos

- Clorofilinos
- Carotenóides
- Ficobilinas

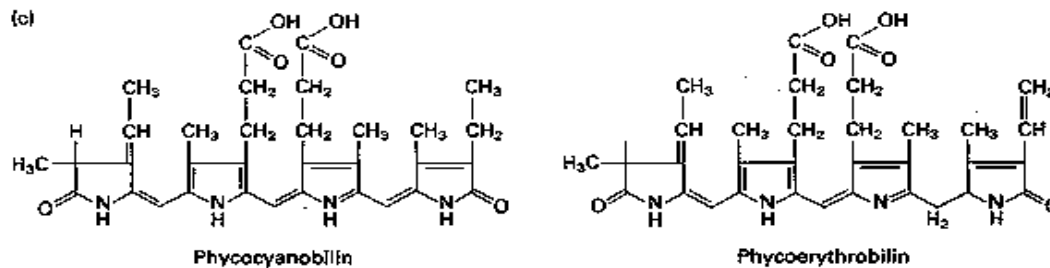
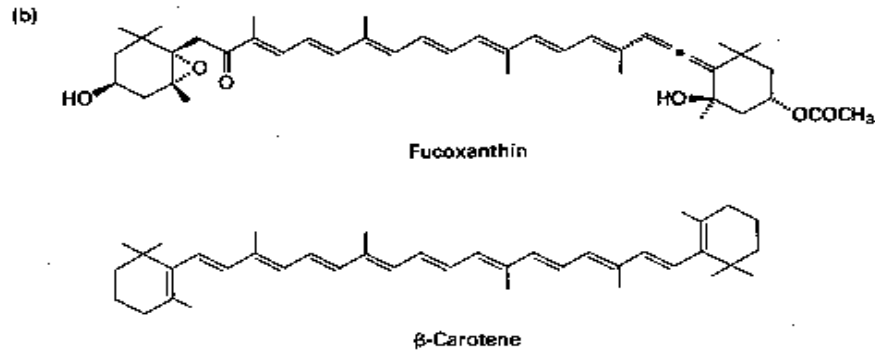
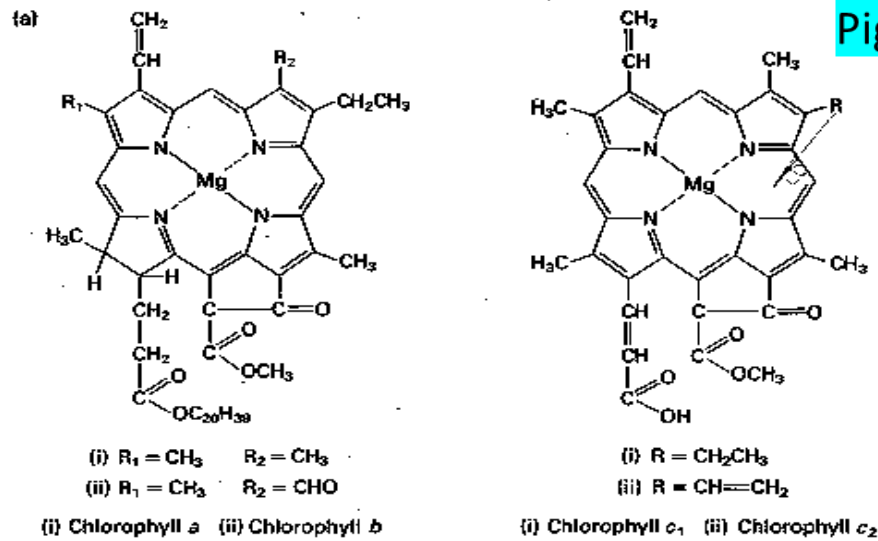


Fig. 6.1 Chemical structure of three main groups of photosynthetic pigments. (After Ragan, 1981.)



Carotenoids are a diverse family of yellow, orange or red pigments  
the carotenes (hydrocarbons) and xanthophylls (oxygenated carotenoid derivative).

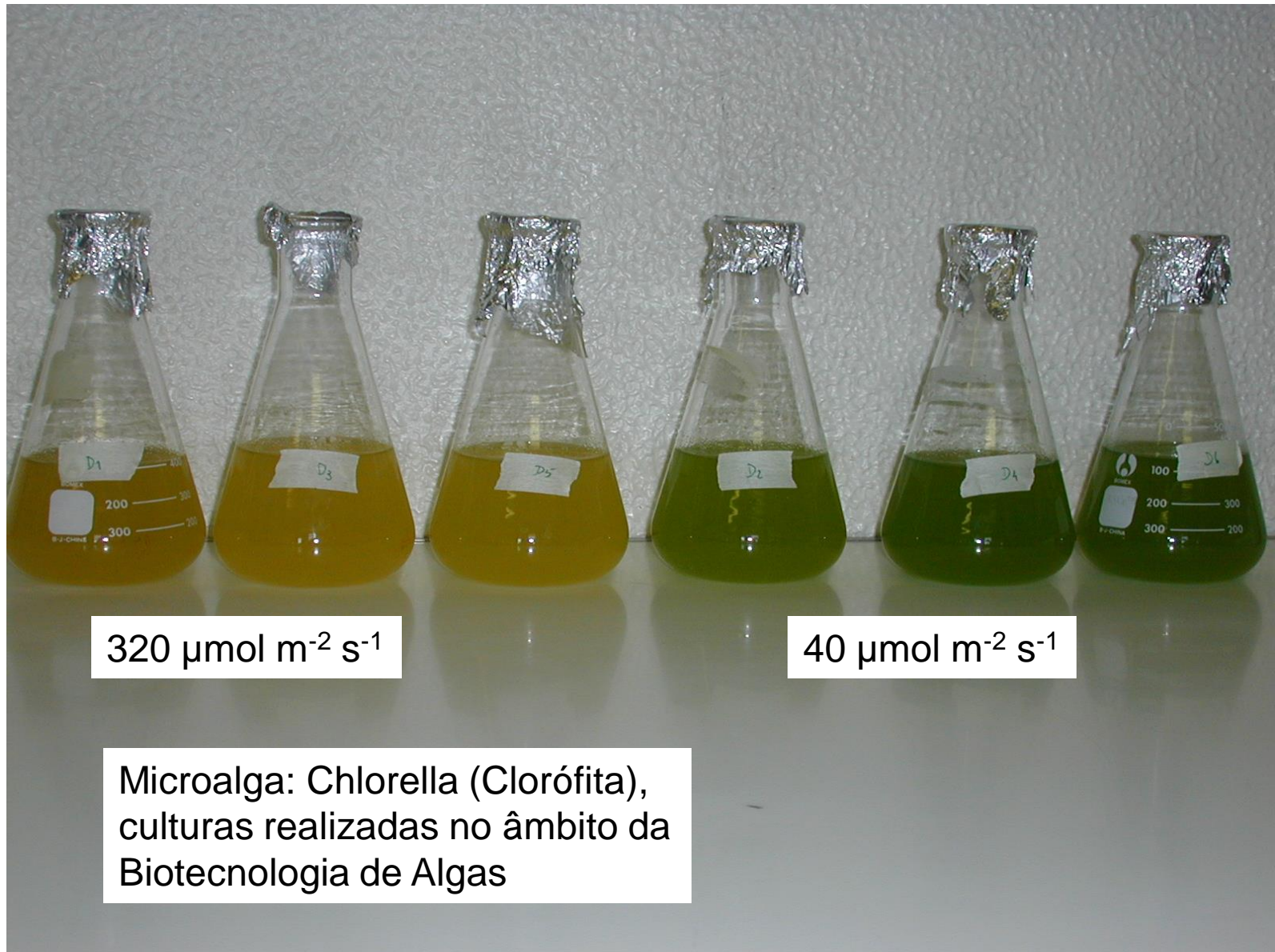
Carotenoides: função na captação de luz para a fotossíntese

função de proteção contra o excesso de luz (slide seguinte)



Menos luz, mais Chla por célula. Excesso de luz, menos Chla por célula, mais Pigmentos fotoprotectores

Pigmentos fotossintéticos



320  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

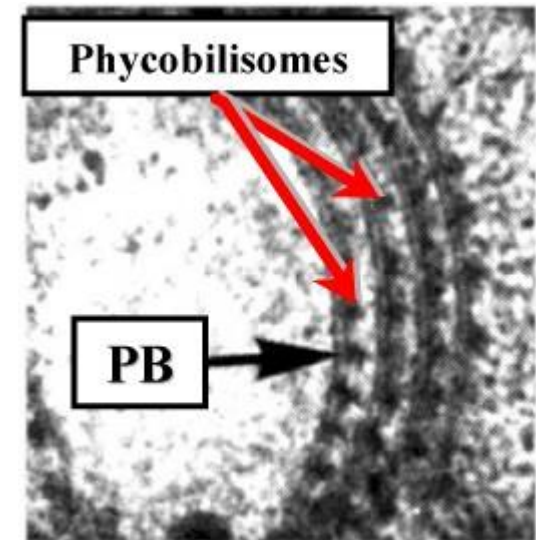
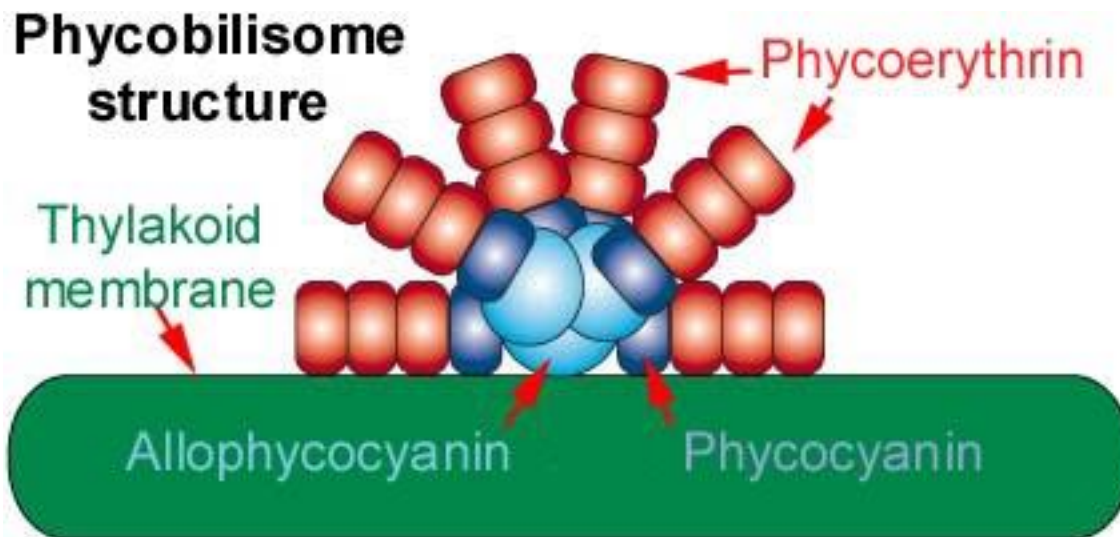
40  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

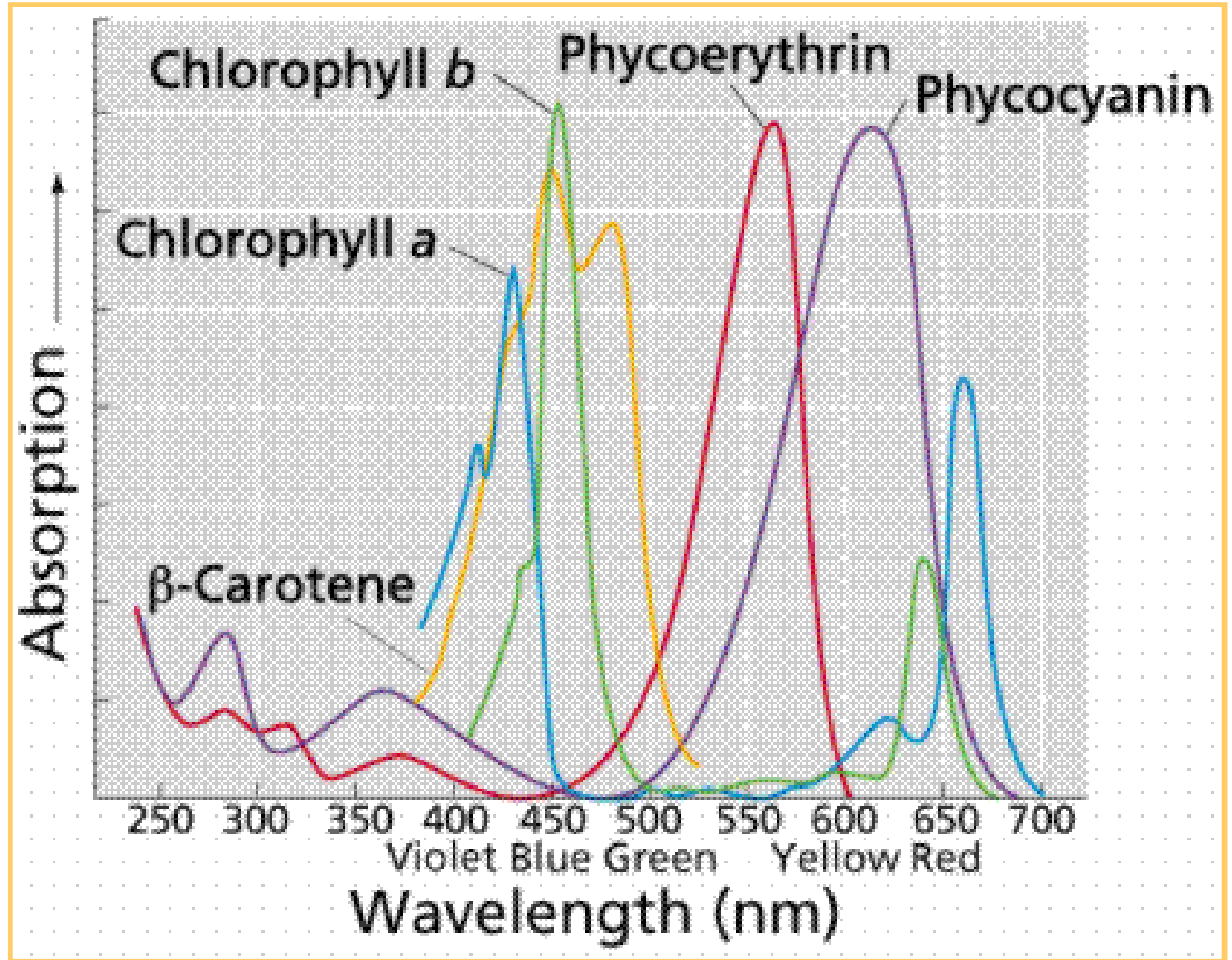
Microalga: Chlorella (Clorófita),  
culturas realizadas no âmbito da  
Biotecnologia de Algas

## Cianobactérias

### **Procariotas,**

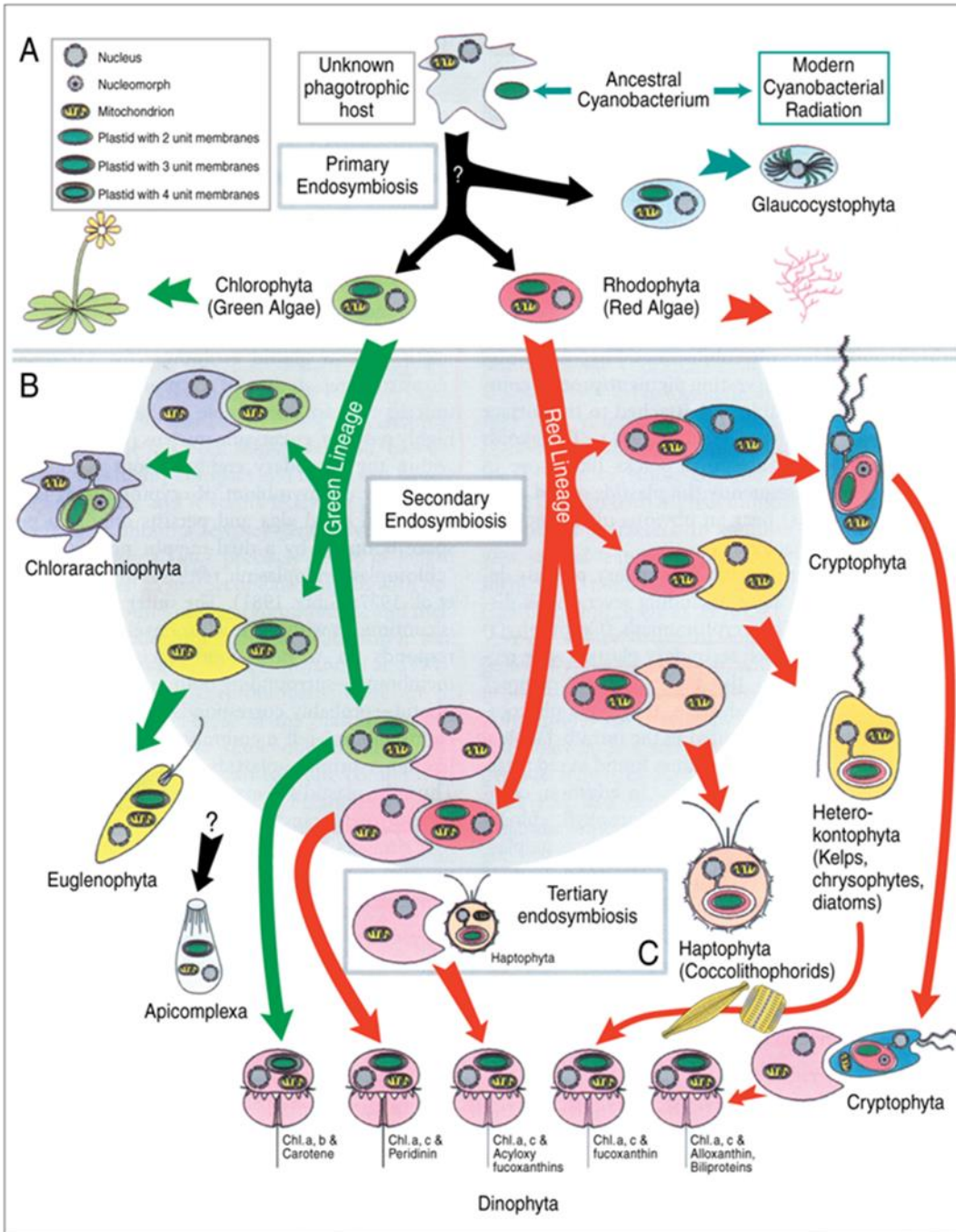
Tilacóides não sugem em grana, mas isolados, em anéis concêntricos. Pigmentos dispostos em ficobilissoma.





Microalgas e Macroalgas

Porquê esta diversidade?





# Specific pigment markers for taxonomic groups



## Specific pigment markers for taxonomic groups

## Pigmentos fotosintéticos

Chlorophyll <i>a</i>	all microalgae
Chlorophylls <i>a + b</i>	green algal lineage
Chlorophylls <i>a + c</i>	red algal lineage (not red algae per se)
DV - Chl <i>a</i> ; DV - Chl <i>b</i>	prochlorophytes
Chl <i>c</i> family	haptophytes
biliproteins	red algae, cyanobacteria, cryptomonads
peridinin	dinoflagellates (DINO-1)
fucoxanthin	diatoms; and all “chromophyte algae”
19' - hex- fucoxanthin	haptophytes / dinoflagellates
19' - but - fucoxanthin}	haptophytes / dinoflagellates
alloxanthin	cryptomonads/ dinoflagellates
vaucheriaxanthin esters	eustigmatophytes / some chrysophytes
siphonaxanthin esters	some prasinophytes
prasinoxanthin	some prasinophytes / dinoflagellates
ureolide	some prasinophytes
micromonal (ol)	some prasinophytes
zeaxanthin	cyanobacteria / some chlorophytes

Note 1: Beware of endosymbionts within heterotrophic hosts and other environmental complexities!

Note 2: Always look at your samples under the light microscope, otherwise you may get confused!

# Tabela resumo Divisões - Pigmentos



## Distribution of pigments in algal classes

	Chlorophylls										Xanthophylls													
	chl a	chl b	chl c1	chl c2	chl c3	MgDVP	DV a	DV b	$\beta, \epsilon$ -car	$\beta, \beta$ -car	Allo	19 BF	Diadino	Dino	Fuco	19HF	Lut	Neo	Per	Pras	Viola	Zea	P/cyanin	P/erythrin
Cyanophyta	●																					●	●	●
Prochlorophyta							●	●	●	●												●		
Rhodophyta	●								●													●	●	●
Cryptophyta	●			●					●	●													●	●
Chlorophyceae	●	●							●	●							●	●			●	●		
Prasinophyceae	●	●				●			●	●							●	●		●	●			
Euglenophyta	●	●							●	●			●					●						
Eustigmatophyta	●								●	●											●	●		
Bacillariophyta	●		●	●					●	●			●		●									
Dinophyta	●			●					●	●			●	●					●					
Prymnesiophyceae	●		●	●	●				●	●		●	●		●	●								
Chrysophyceae	●			●	●				●	●		●	●		●									
Raphidophyceae	●		●	●					●	●			●		●									

Pigmentos fotossintéticos

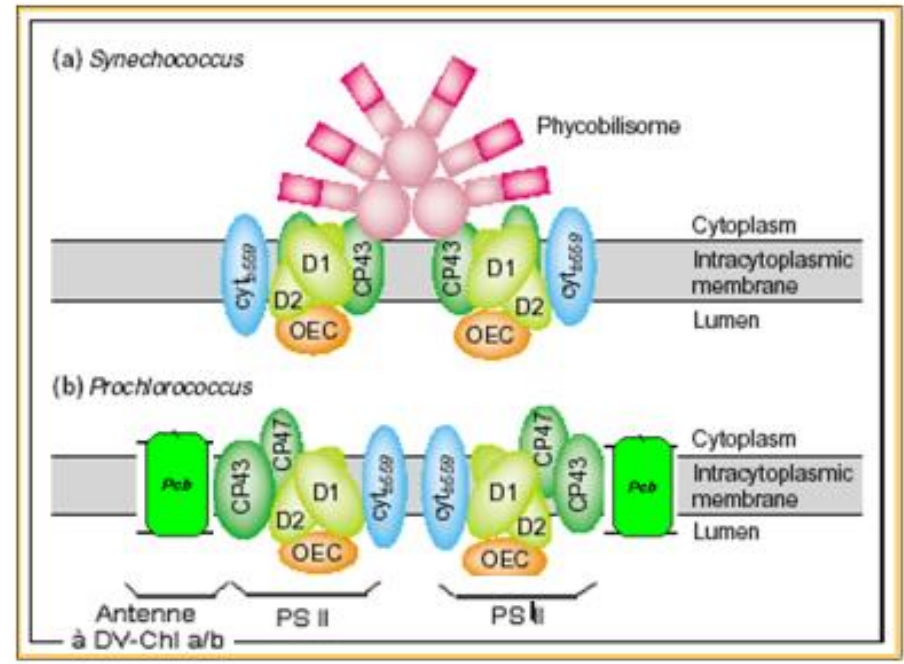




# Pigments of the Cyanobacterial Lineage

Pigment	Cyanobacterial Radiation						Present in Other Lineages	
	Cyano-bacteria		Prochloro-phytes			GLAUCO-1	RED	GREEN
	CYANO-1	CYANO-2	CYANO-3	CYANO-4	CYANO-5			
<b>Chlorophylls</b>								
Chl <i>a</i>	●	●	●	t	●	+	+	
DV Chl <i>a</i> (Chl <i>a</i> <sub>2</sub> )				●		-	-	
Chl <i>b</i>			●	●		-	+	
DV Chl <i>b</i> (Chl <i>b</i> <sub>2</sub> )				●		-	-	
Chl <i>d</i>					●	-	-	
MgDVP	t	t	t	t	●	+	+	
<b>Phycobiliproteins</b>								
Allophycocyanin	●	●			t	+	-	
Phycocyanin	●	●			t	+	-	
Phycocerythrin	●	●		●		+	-	
<b>Carotenes</b>								
β,β-carotene (β)	●	●	●		●	+	+	
β,ε-carotene (α)				●	●	+	+	
<b>Xanthophylls</b>								
β,β-carotene-epoxide			t			-	-	
β,β-cryptoxanthin	●		●		●	-	-	
Iso-cryptoxanthin	●		●			-	-	
Canthaxanthin	●					+	-	
Echinenone	●					-	-	
OH-Echinenone	●					-	-	
Mutachrome	●		●			-	-	
Myxoxanthophyll	●					-	-	
Myxoxanth. deriv. <sup>a</sup>	○					-	-	
Oscillaxanthin	○					-	-	
Zeaxanthin	●	●	●	●	●	+	+	
Source data	1	2	3	4	5	6		

Prochlorococcus



- **Clorofila a (Chla), pigmentos, organismos fitoplanctônicos**
- Conclusão
- Divisões e classes distintas têm uma composição pigmentar distinta. Divisão Chlorophyta (algas verdes) tem a mesma composição que as plantas superiores
- Cada célula tem Clorofila a – pigmento chave para a fotossíntese, tem pigmentos acessórios (captam luz que é transmitida para a Chla) e pigmentos protetores (protegem da luz excessiva). A concentração da Chla, pigmentos acessórios e pigmentos protetores por célula, varia de acordo com a luz, = varia com a profundidade (dentro de certos limites)
- A diversidade dos pigmentos está relacionada com as linhas evolutivas das diversas classes, e com a sua distribuição ecológica (ex, cianobactérias do picoplancton encontram-se a grande profundidade, têm ficocianinas que absorvem no azul).



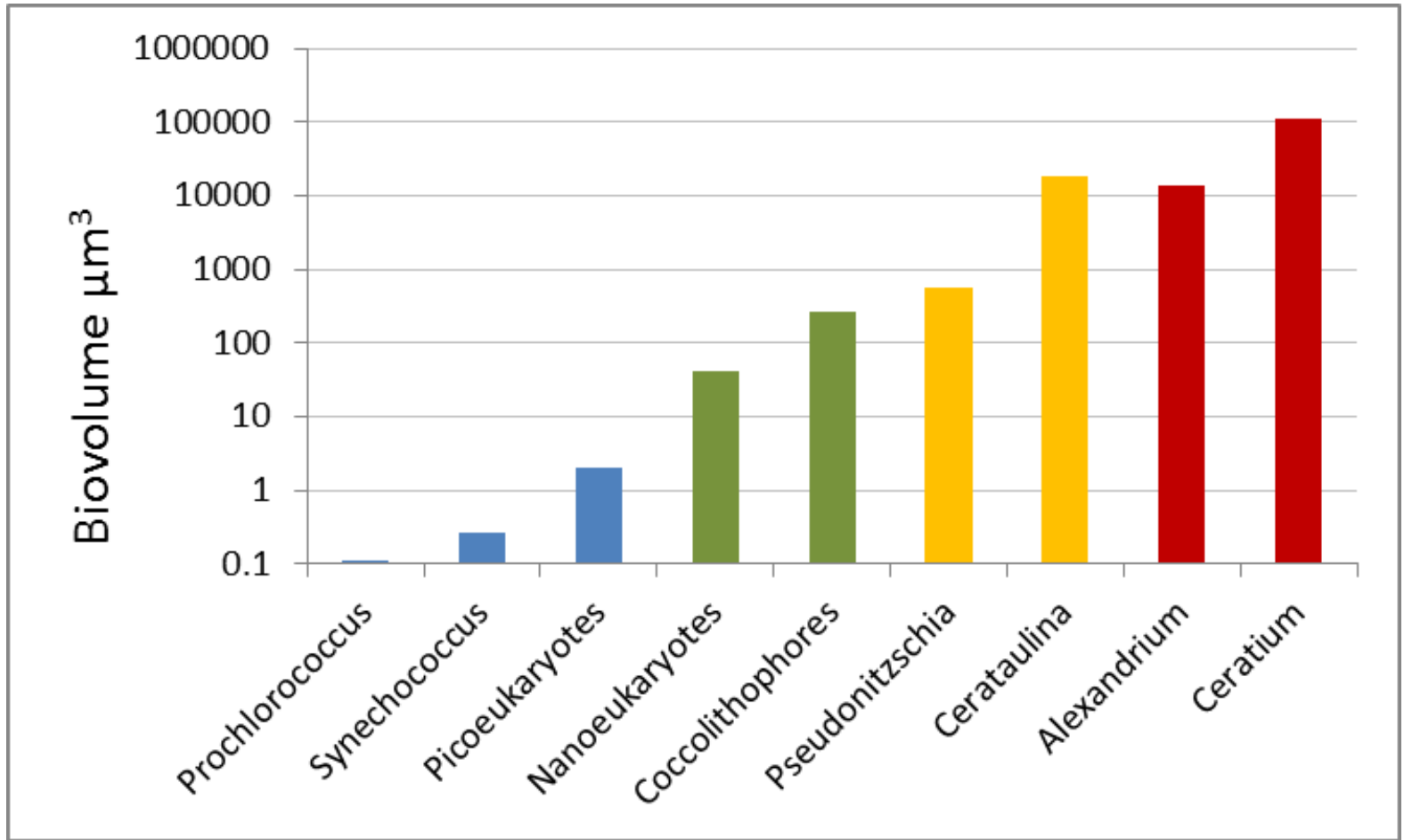
Para saber mais. Ler em casa. Tirado de Jeffrey &, Wright 2005.

- They are present in all photosynthetic algae, but not in most bacteria, protozoa or detritus, allowing phytoplankton to be distinguished from other components of the microbial community
- All photosynthetic phytoplankton contain one or more types of chlorophylls as part of the light-harvesting complexes in their chloroplasts. Chlorophylls are magnesium coordination complexes of conjugated cyclic tetrapyrroles with a fifth isocyclic ring and often an esterified long-chain alcohol.
- Carotenoids are a diverse family of yellow, orange or red isoprenoid, polyene pigments—the carotenes (hydrocarbons) and xanthophylls (oxygenated carotenoid derivative).
- Certain carotenoids are involved in photoprotection, notably diadinoxanthin and diatoxanthin in chromophytes and violaxanthin, antheraxanthin, and zeaxanthin in green algae. These pigments are taxonomically useful but quantitatively variable since their abundance can change dramatically in response to irradiance. Over 600 carotenoids are known in nature
- Phycobiliproteins are the third type of light harvesting pigment found in cyanobacteria, rhodophytes and cryptophytes. Three main subtypes are found—the phycoerythrobilins, phycocyanobilins and the phycourobilins.

# Procurando a relação entre:

- Classes taxonómicas
- Classes de tamanho
- Grupos funcionais

# Fitoplancton: Comparação volume celular

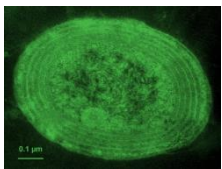


**Picoplancton**  
**Cyanobacteria**  
**Picoeukaryotes**

**Nanoplancton**  
**Coccolithophores**  
**Nanoflagellates**

**Microplancton**  
**Diatoms**

**Microplancton**  
**Dinoflagellates**

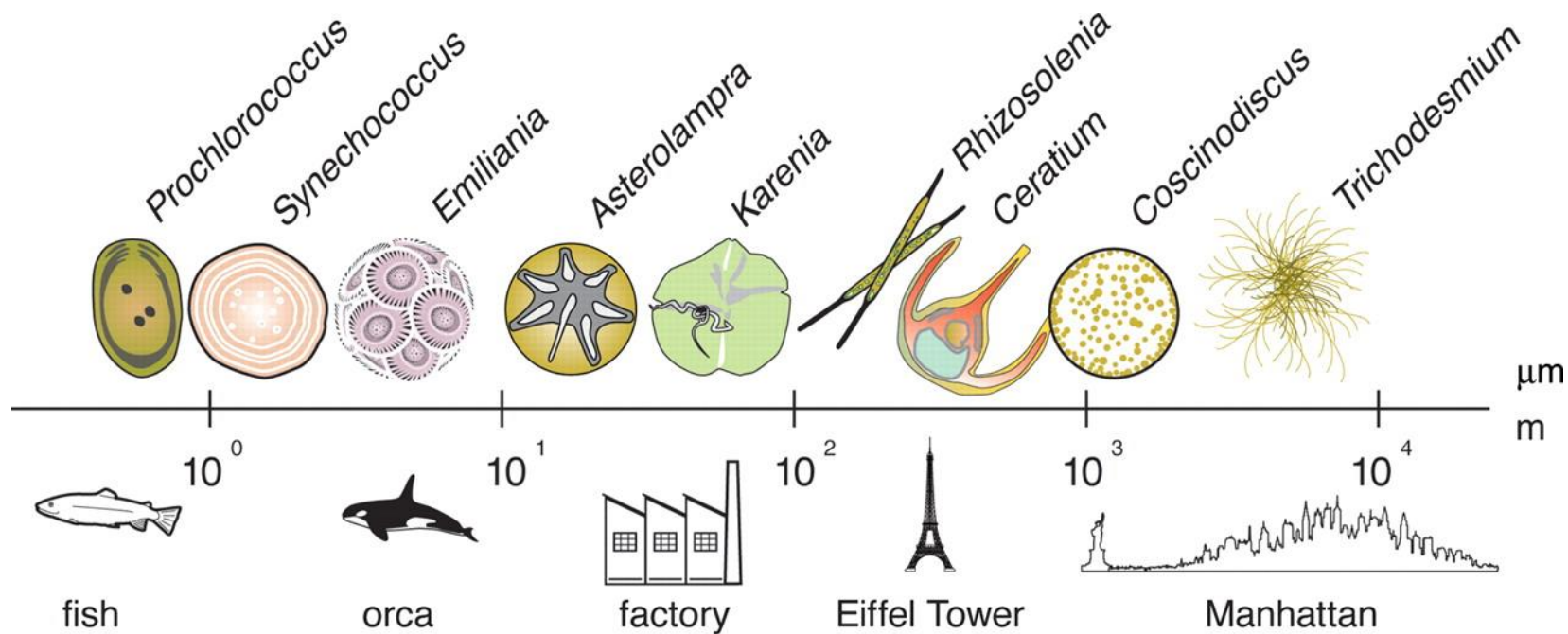


0.6 µm diametro



200 µm

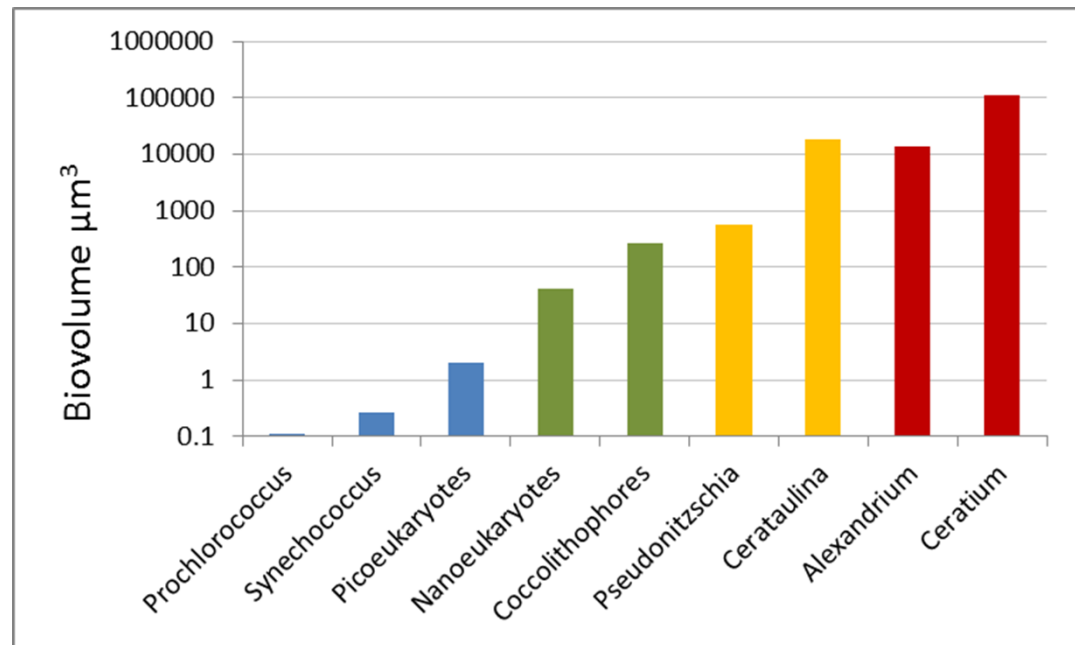
**A comparison of the size range (maximum linear dimension) of phytoplankton relative to macroscopic objects.**



Finkel Z V et al. J. Plankton Res. 2010;32:119-137

# Phytoplankton Size-classes

## PFTs: Phytoplankton Functional Types



Picoplankton  
Cyanobacteria  
Picoeukaryotes

Nanoplankton  
Coccolithophores  
Nanoflagellates

Microplankton  
Diatoms

Microplankton  
Dinoflagellates

- Pico-autotrophs
- Calcifiers
- Silicifiers
- DMS producers (nanoflagellates, and ~ all groups)

## Biogeochemical cycles



# Pigmentos Marcadores e Relação com a classificação por tamanhos

Diagnostic pigments

Uitz et al 2006

Uitz et al	Chla <sub>Zeu</sub> /P <sub>zeu</sub>	
Zea	0.89	Cyano and Phrochorophytes
TChl b (Chlb + Divinyl Chlb)	1.01	Green flagellates and Cyano and Phrochorophytes
Alloxanthin	0.60	Cryptophytes
19'Hexanoyloxyfucoxanthin	1.27	Chromophytes nanoflagellates – Haptophytes
19'Butanoyloxyfucoxanthin	0.35	Chromophytes nanoflagellates – Haptophytes
Fucoxanthin	1.41	Diatoms
Peridinin	1.41	Dinoflagellates

**Pico:**  
0.2 – 2 μm

**Nano:**  
2 – 20 μm

**Micro:**  
20 – 200 μm

$$\text{microplancton} = (1.41[\text{Fuco}] + 1.41[\text{Peri}]) / \sum W_i P_i$$

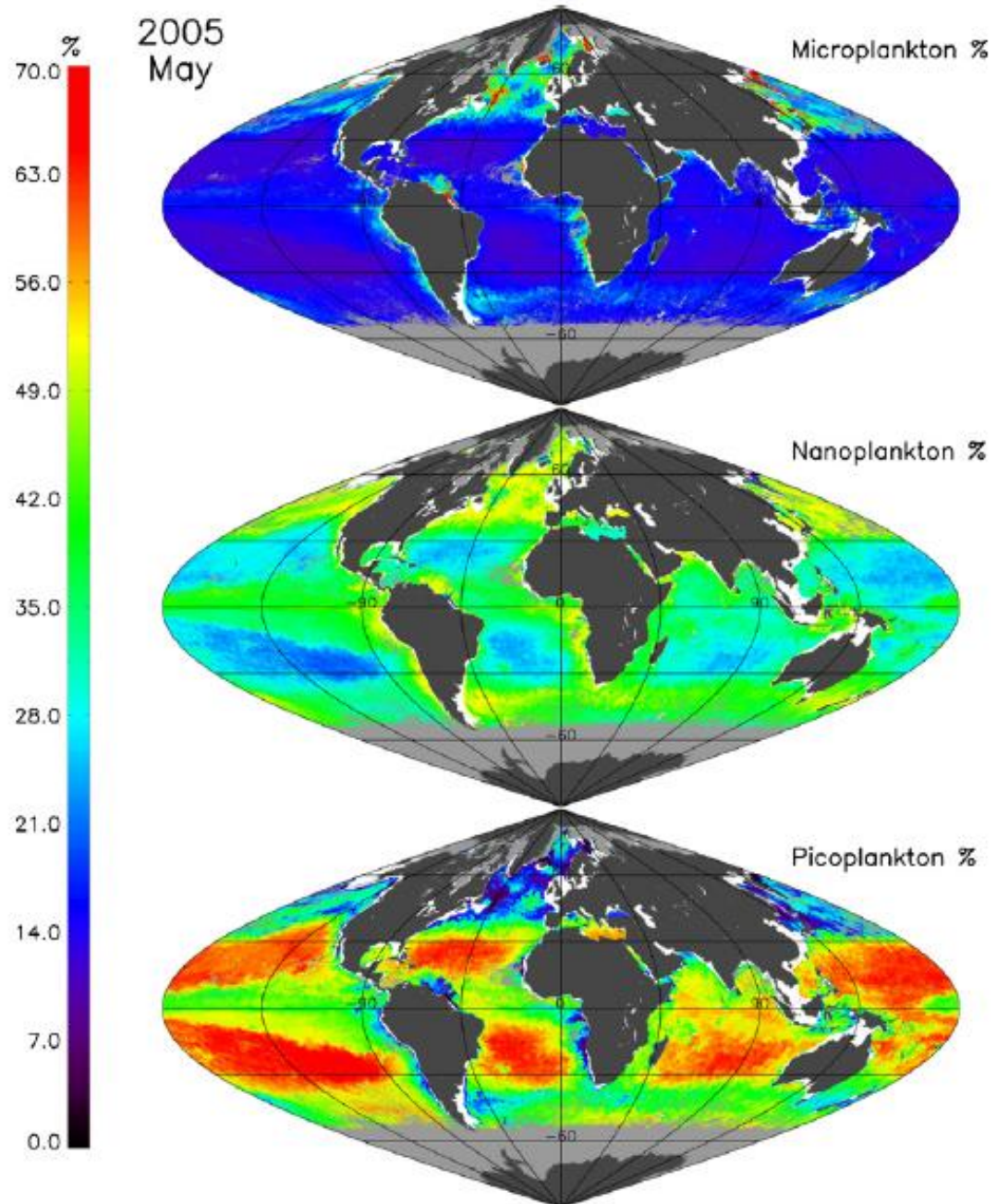
$$\text{nanoplancton} = (1.27[\text{hexa}] + 0.35[\text{buto}] + 0.60[\text{allo}]) / \sum W_i P_i$$

$$\text{picoplancton} = (1.01[\text{TChlb}] + 0.86[\text{Zea}]) / \sum W_i P_i$$

O que treinaram na aula passada no ODV

Relative contribution  
of phytoplankton size classes  
on a global scale

Adding information  
Pigment content  
Groups  
Size Classes

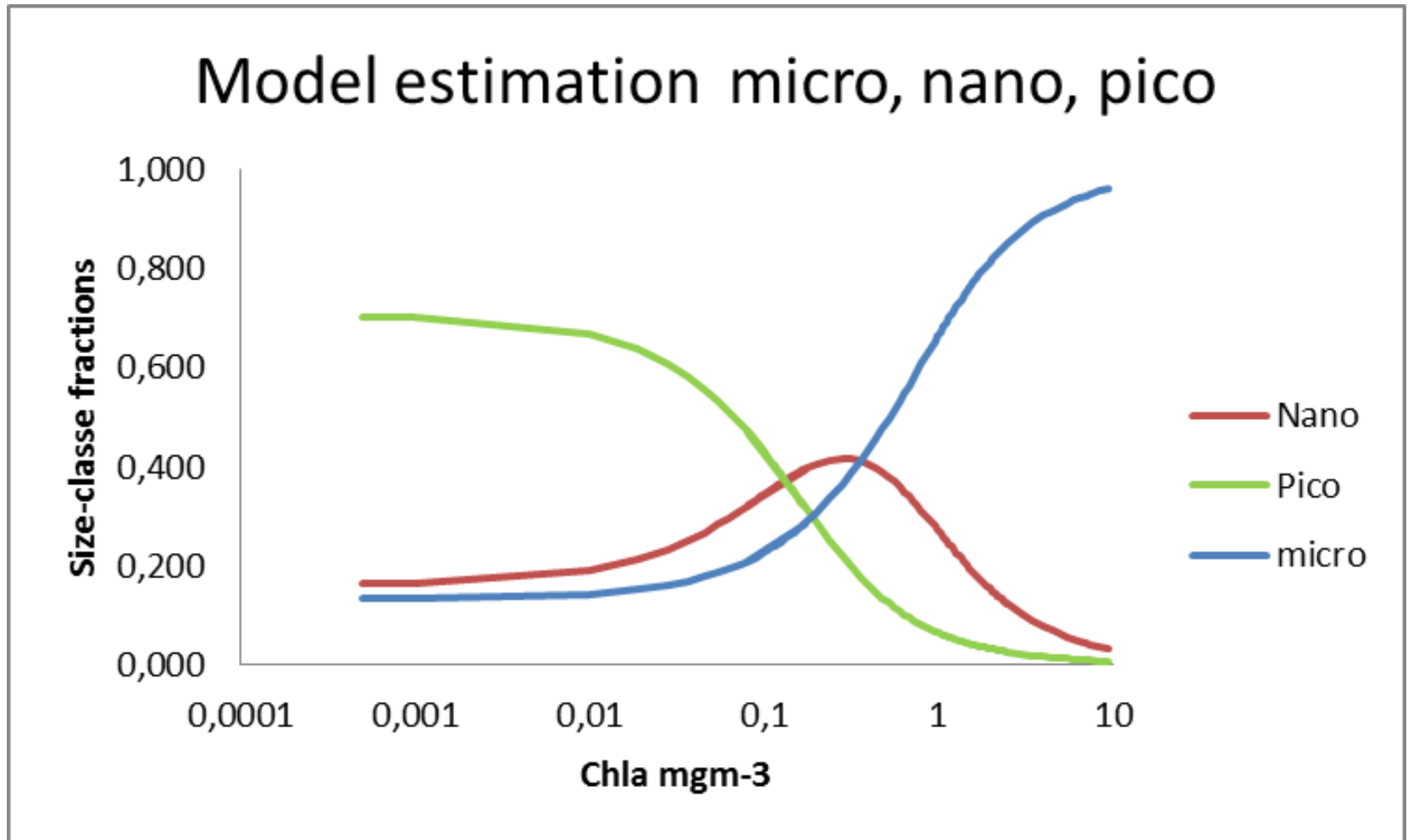


In Sutcliffe et al 2016, pag 98

Relação entre a concentração  
Em Chla e a ocorrência das diferentes classes de tamanho

A three-component model of phytoplankton size class for the Atlantic Ocean

Robert J.W. Brewin<sup>a,\*</sup>, Shubha Sathyendranath<sup>b</sup>, Takafumi Hirata<sup>b,c,1</sup>, Samantha J. Lavender<sup>a,d</sup>,  
Rosa M. Barciela<sup>e</sup>, Nick J. Hardman-Mountford<sup>b,c</sup>





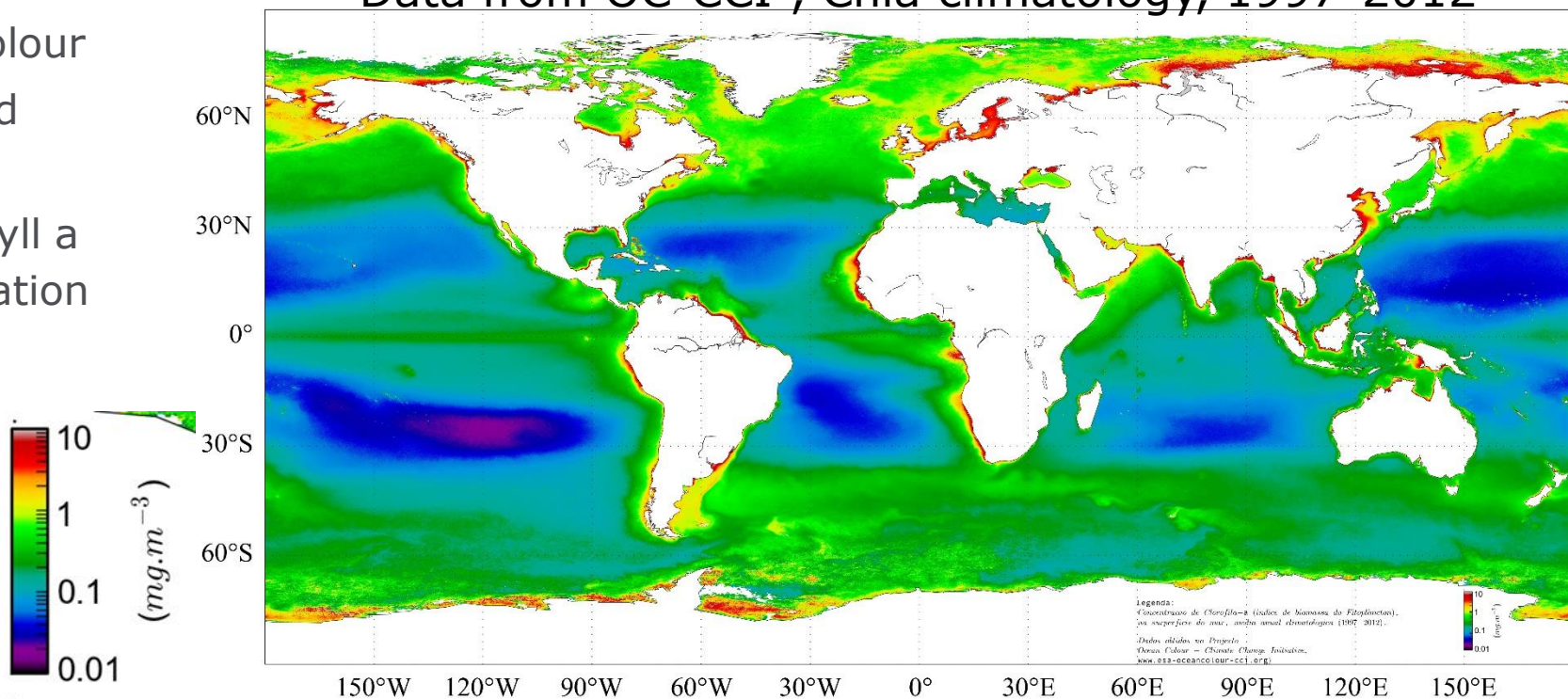
**Table 2. Division of the Ocean Into Provinces According to Their Annual Mean Levels of Chlorophyll Concentration in the Upper Layer**

Province	Chlorophyll mg m <sup>-3</sup>	Area (%)	Production		
			%	Gt C yr <sup>-1</sup>	g C m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>
Oligotrophic	Chl ≤ 0.1	55.8	44.0	14.5	91.0
Mesotrophic	0.1 < Chl ≤ 1	41.8	47.5	15.7	131.5
Eutrophic	Chl > 1	2.4	8.5	2.8	422.0
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>33.0</b>	

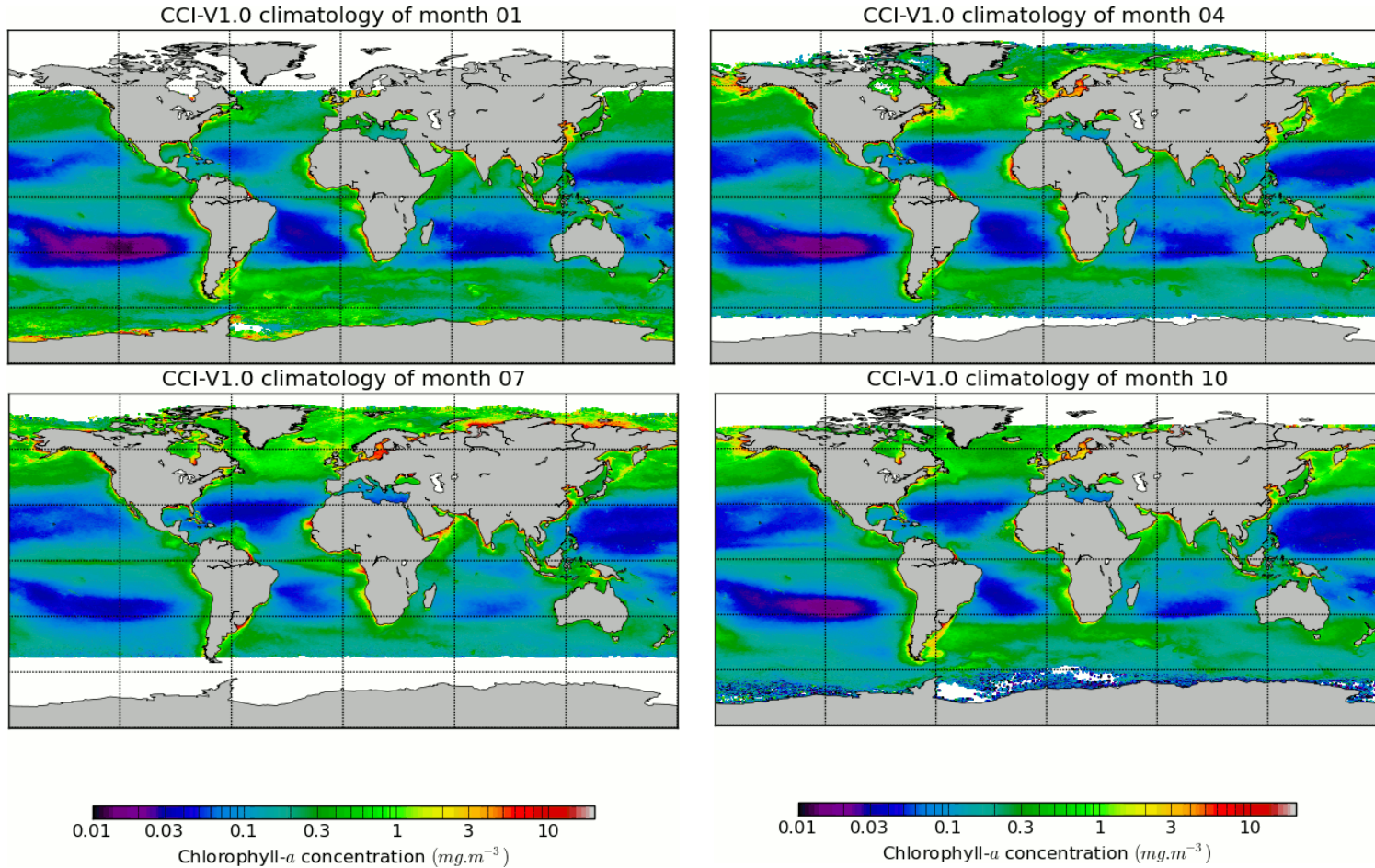
Only the 50°S to 50°N zonal belt is considered here, thus the total area actually represents 81% of the entire ocean and the total production represents 91% of the production of the entire ocean (line 1 in Table 1). The contributions of the three provinces to the total production are given (in relative and absolute units), as well as their productivity per unit of area.

Remote sense of  
Ocean Colour  
Most used  
product:  
Chlorophyll a  
concentration

## Data from OC-CCI , Chla climatology, 1997-2012



# Climatology in January, April, July and October



# Bibliografia de base

## Em Português

- Sutcliffe, A., Brito, A.C., Sá, C., Sousa, F., Boutov, D., Brotas, V. 2016. Observação da Terra: Uso de imagens de temperatura da superfície do mar e cor do oceano para a monitorização de águas costeiras e oceânicas. DGRM, Lisboa, Portugal. E-book disponível em [www.sophia-mar.pt](http://www.sophia-mar.pt).

## In English

- IOCCG Report nº 15. *Phytoplankton Functional Types from Space*. Edited by Shubha Sathyendranath, pp. 156. Chapter 1 and 2.

Free to download in : <https://ioccg.org/what-we-do/ioccg-publications/ioccg-reports/>

# Bibliografia para quem quer saber mais

## Paper no fenix:

Hdb Env Chem Vol. 2, Part N (2006): 71–104  
DOI 10.1007/698\_2\_003  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005  
Published online: 28 September 2005

---

### **Pigment Markers for Phytoplankton Production**

Simon W. Wright<sup>1</sup> (✉) · S. W. Jeffrey<sup>2</sup>