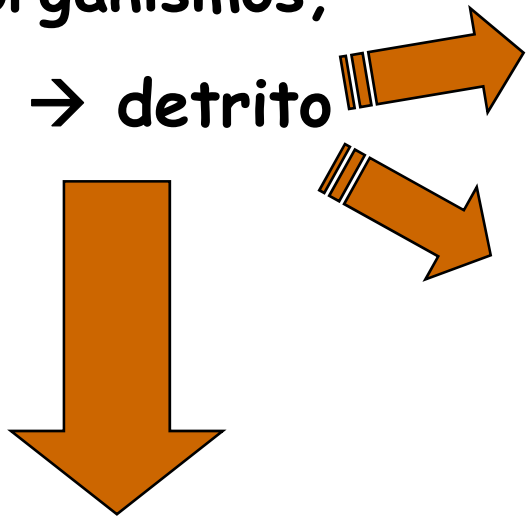
Rede Trófica Microbiana

Dr. José Juan Barrera Alba
Instituto Oceanográfico-USP
juanalba@usp.br

A matéria orgânica nos ambientes pelágicos e as redes tróficas

Matéria orgânica nos ambientes pelágicos e redes tróficas

- Duas fontes principais de matéria orgânica nos ambientes aquáticos:
  - viva → organismos,
  - não-viva → detrito



- Qual é a composição dessa matéria detrítica ???
- De onde bem esta matéria orgânica ?????

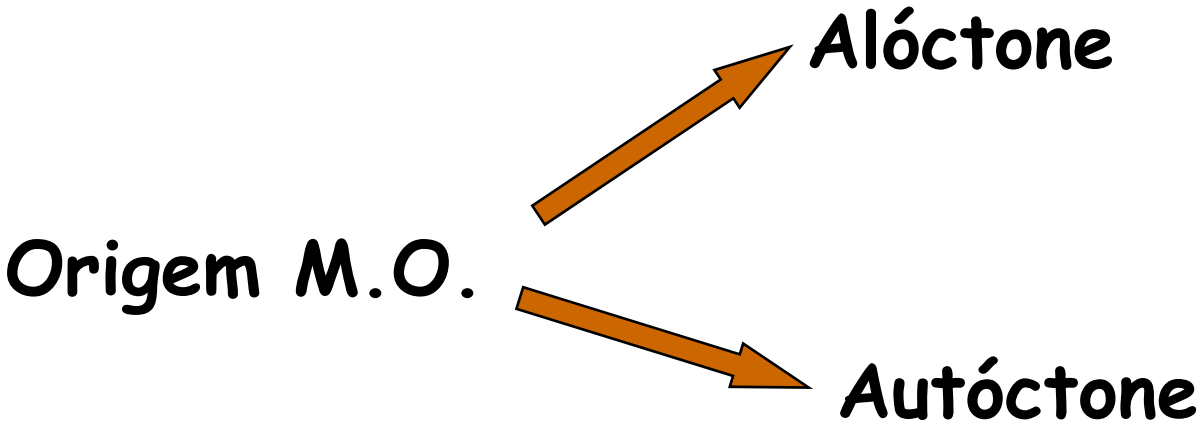
Matéria orgânica nos ambientes pelágicos e redes tróficas

- **Composição dos detritos:**

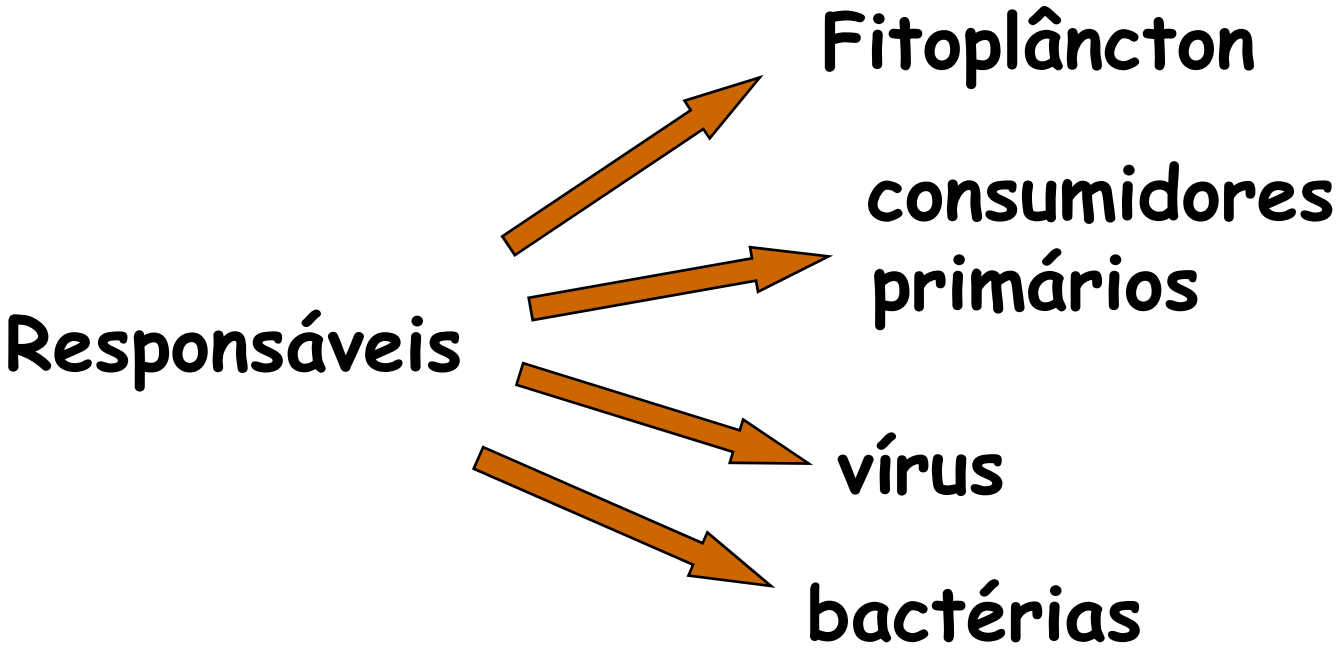
  - **substâncias não húmicas:** Carboidratos, proteínas, peptídeos, aminoácidos, gorduras, resinas, pigmentos, e outras substâncias orgânicas de baixo peso molecular.

  - **substâncias húmicas:** ácidos húmicos e outras substâncias refratárias formadas durante a degradação das plantas superiores → correspondem a 80% da matéria orgânica.

Matéria orgânica nos ambientes pelágicos e redes tróficas



Matéria orgânica nos ambientes pelágicos e redes tróficas



O fitoplâncton

- Até a década dos setenta pensava-se que o sistema pelágico praticamente não tinha perdas de carbono fixado pelos produtores primários, e a maior parte do carbono passava diretamente aos herbívoros.

- Posteriormente, foi verificado que aproximadamente 50% da produção fotossintética diária é liberada ao ambiente na forma de matéria orgânica dissolvida (MOD),

Matéria orgânica nos ambientes pelágicos e redes tróficas

- **A liberação extracelular de MOD pelo fitoplâncton ocorre de muitas formas:**
  - **carboidratos,**
  - **compostos nitrogenados,**
  - **ácidos orgânicos,**
  - **lipídios.**

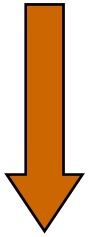
Matéria orgânica nos ambientes pelágicos e redes tróficas

- em culturas, diversos estudos estimaram uma liberação de aproximadamente 2 a 10% da matéria fixada na produção primária durante a fase exponencial de crescimento

- sendo a liberação maior quando há déficit de nutrientes, condições de crescimento sub-ótimas ou as células estão na fase de crescimento estacionária ou senescente.

Matéria orgânica nos ambientes pelágicos e redes tróficas

- **em ambientes naturais, a liberação extracelular de MOD varia normalmente entre 10 e 20%, atingindo valores máximos de 80% durante a fase final das florações de fitoplâncton, coincidindo com o esgotamento dos nutrientes.**



nestes casos a MOD é rica em carboidratos → quando N e P são escassos → as células liberam compostos ricos em C

Matéria orgânica nos ambientes pelágicos e redes tróficas

- **a liberação extracelular tende a ser maior também perto da superfície em condições de alta irradiância**

Resultado dos danos celulares ou da fotorrespiração

Matéria orgânica nos ambientes pelágicos e redes tróficas

- **mas, como a MOD é liberada pelo fitoplâncton ???**

dois mecanismos propostos

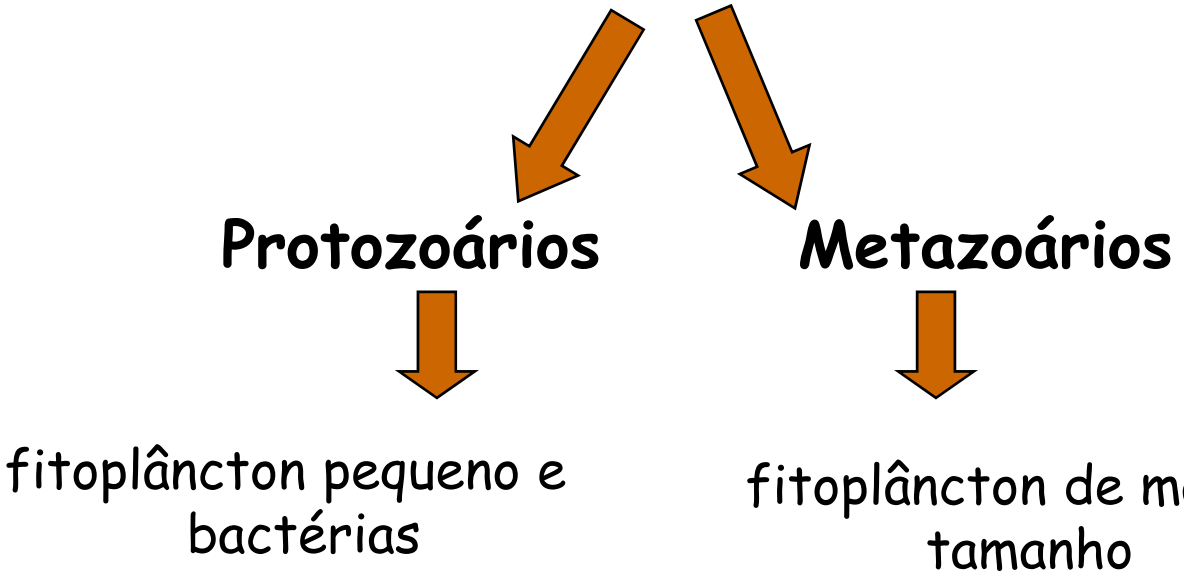
- **Overflow Model**
  - em condições de luz suficiente e baixas [nuts], a fixação de C excede à incorporação de material à célula, resultando na liberação do excedente de compostos ricos em C.

- **Leakage Model**
  - MOD de baixo peso molecular é continuamente liberado por permeação passiva através da membrana celular. Explicando assim, a liberação de aminoácidos livres.

Produção de MOD pelos consumidores

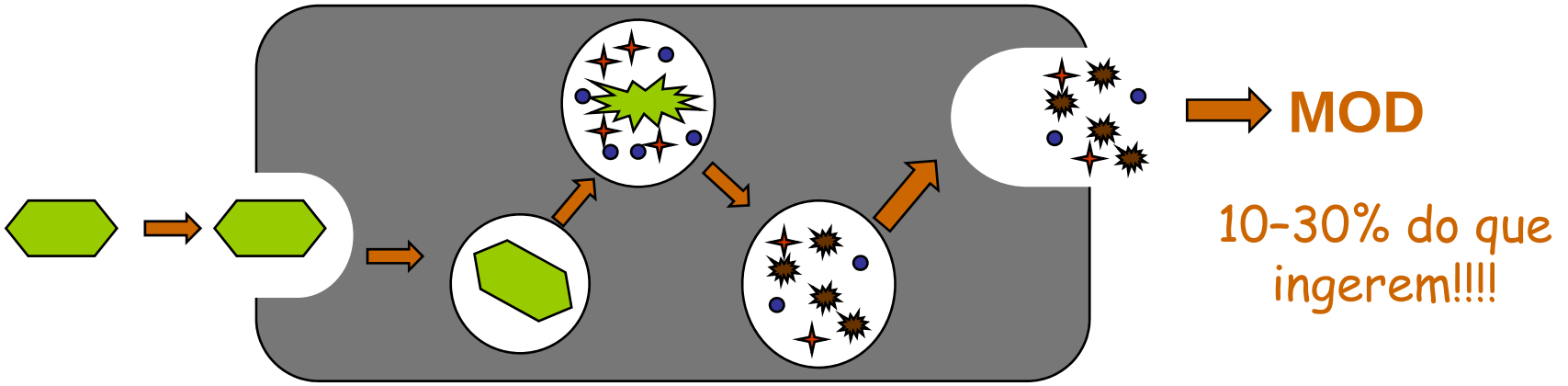
- **os "consumidores primários" ou 'grazers' são uma fonte importante de MOD**

- **existem dois grupos principais**



Produção de MOD pelos protozoários

- Representa entre 10–30% do MOP fixado pela PP em oceano aberto,
- Liberam compostos dissolvidos de alto valor nutricional (N, P, Fe),
- **Mecanismo**

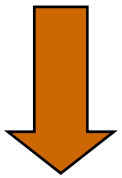


Produção de MOD pelos protozoários

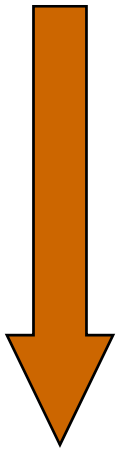
- a liberação de MOD depende de:
  - abundância do alimento → aumento na abundância da pressa, aumenta liberação MOD

Produção de MOD pelo zooplâncton

- mais importantes em ambientes costeiros



domina o fitoplâncton de maior tamanho



- pode representar entre 10-20% da ingestão

Produção de MOD pelo zooplâncton

- mecanismos:
  - alimentação negligente,
  - excreção,
  - egestão,
  - fecal pellets

Produção de MOD pelos vírus

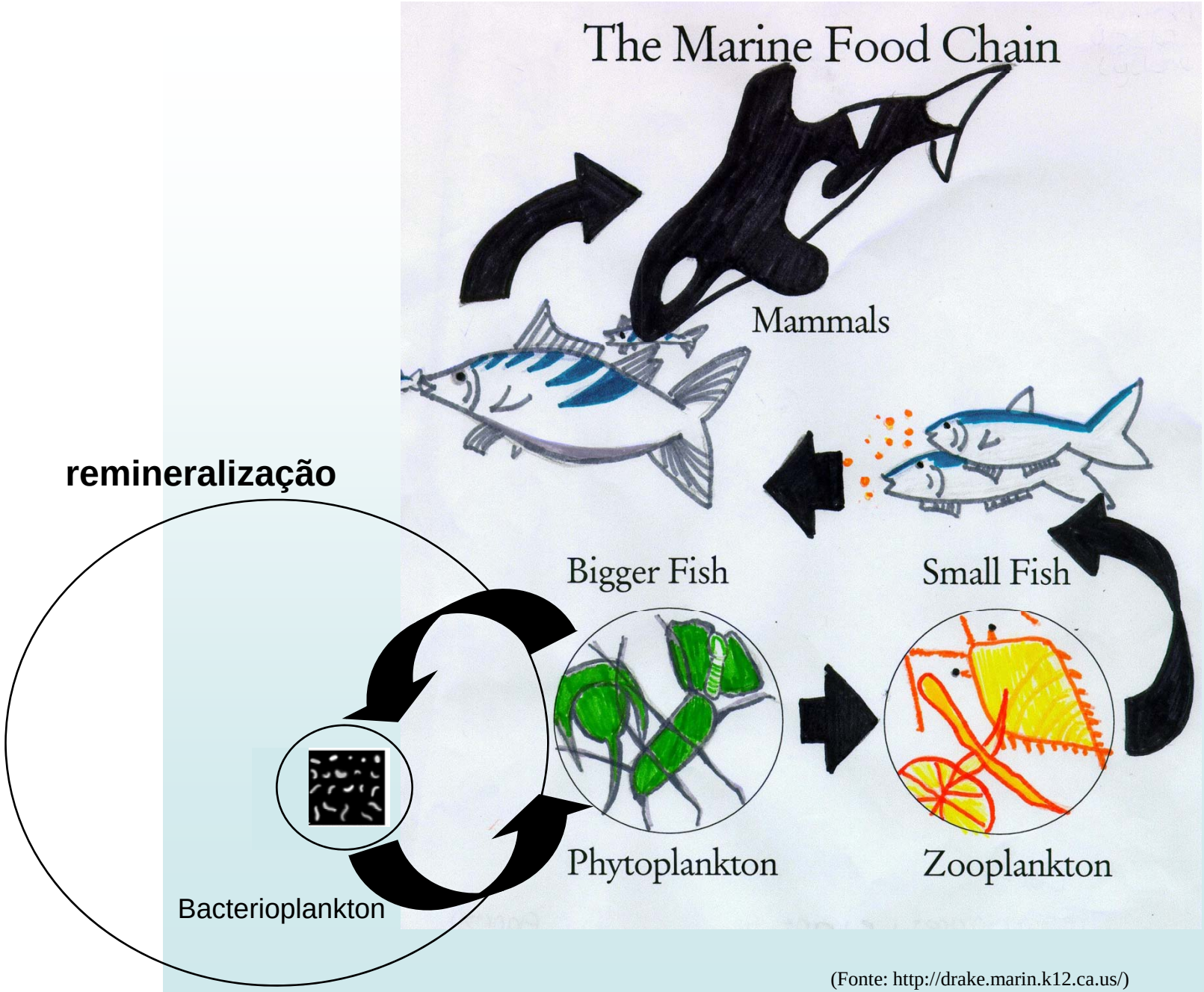
- a infecção por vírus pode ser a maior causa de mortalidade de bactérias e fitoplâncton,
- pode representar 40% do carbono da célula hospedeira transformado em MOD,
- pode ser mais importante na fase final das florações,

↓

evidências recentes sugerem que podem contribuir significativamente para a finalização das florações do fitoplâncton

Para onde vai toda essa MOD?????

Se olhamos a cadeia trófica clássica.....



(Fonte: http://drake.marin.k12.ca.us/)

..... não tem

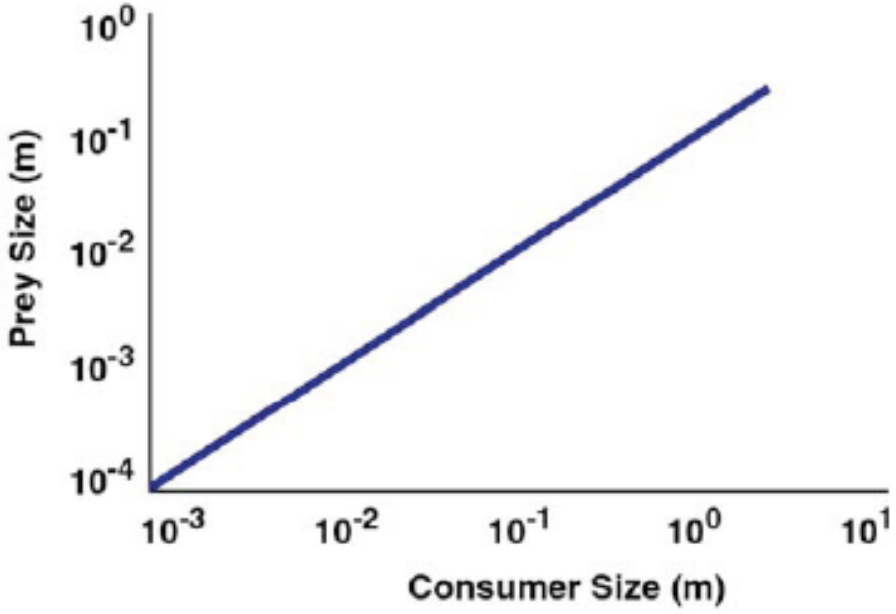
para

onde ir

A Alça Microbiana

O conceito de Alça Microbiana foi proposto por Azam et al. (1983):

- nasceu da idéia de que os organismos tenderiam a se alimentar de partículas uma ordem de magnitude inferior do que eles próprios (Sheldo, 1972)

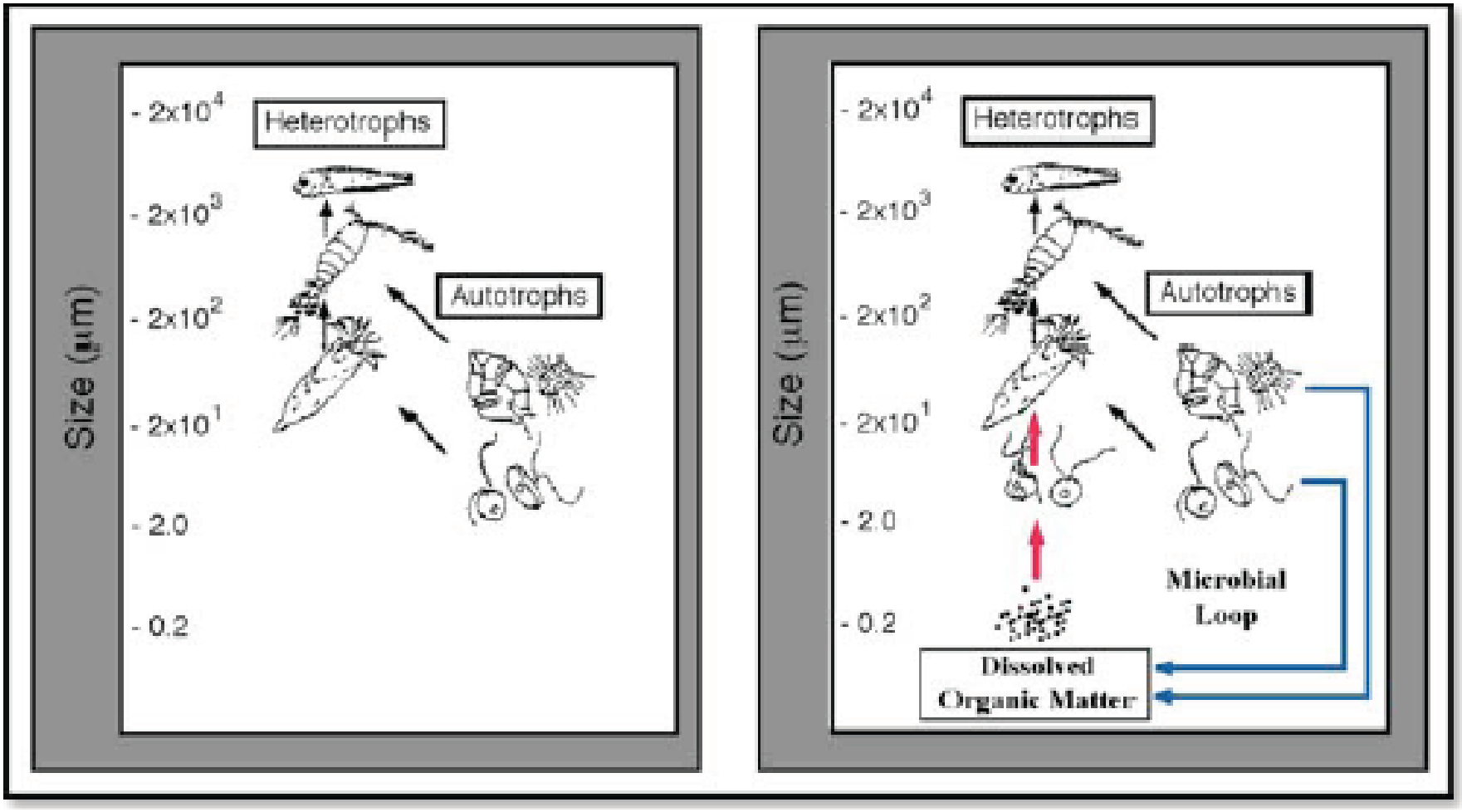


- bactérias heterotróficas e fototróficas, e nano e picofitoplâncton são consumidos pelos nanoflagelados heterótrofos, que por sua vez são consumidos pelos protozoários maiores e estes pelo metazooplâncton, trazendo de volta a energia perdida como MOD para os níveis tróficos superiores.

A Alça Microbiana

Começo dos anos 70

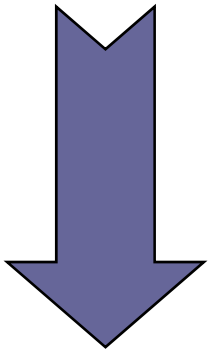
Começo os anos 80



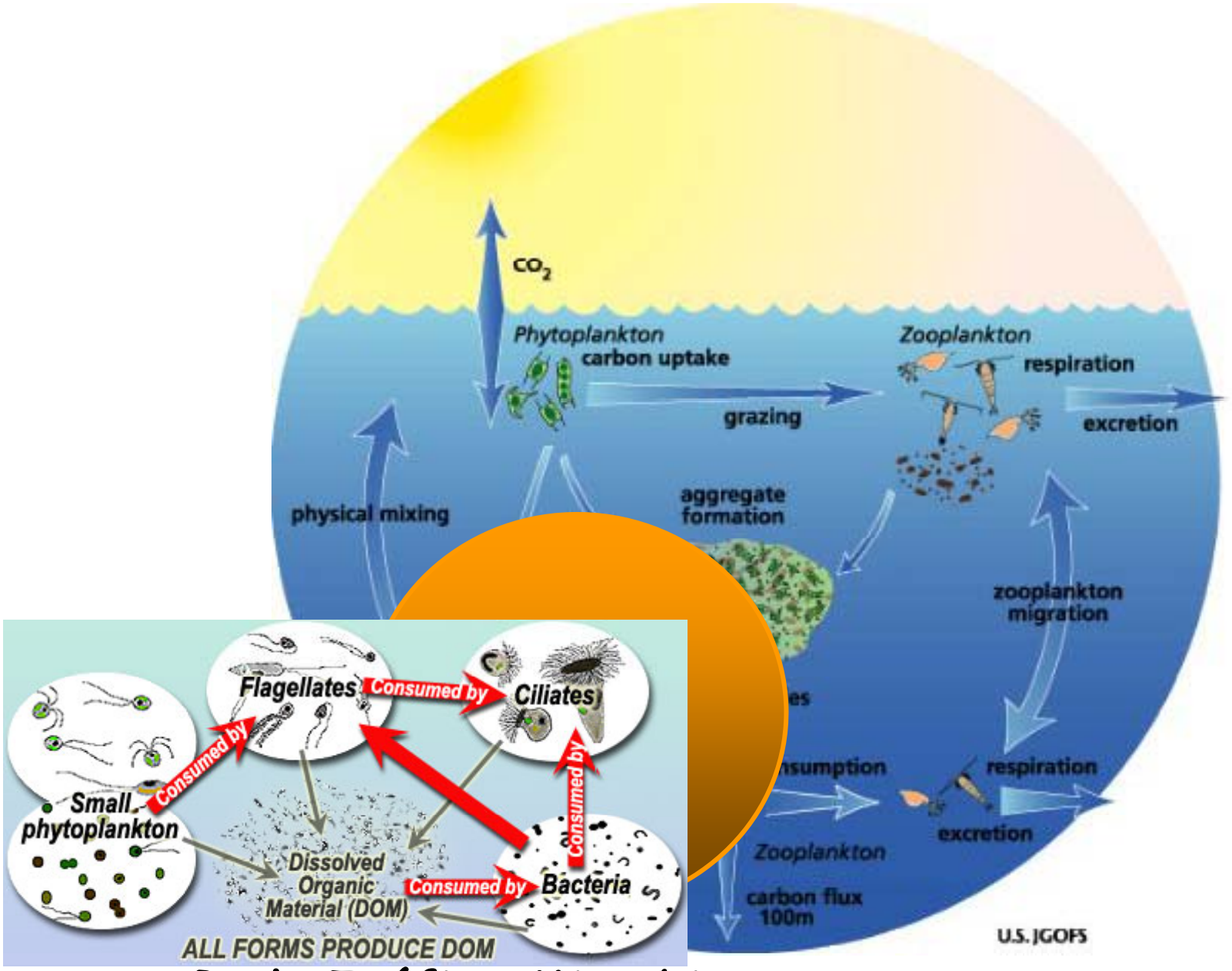
A Rede Trófica Microbiana

O conceito proposto por Azam et al. (1983) foi aperfeiçoado por Sherr & Sherr (1988), :

- a alça microbiana seria parte de um sistema onde procariontes e eucariontes, autótrofos, heterótrofos e mixotróficos, interagem de forma complexa

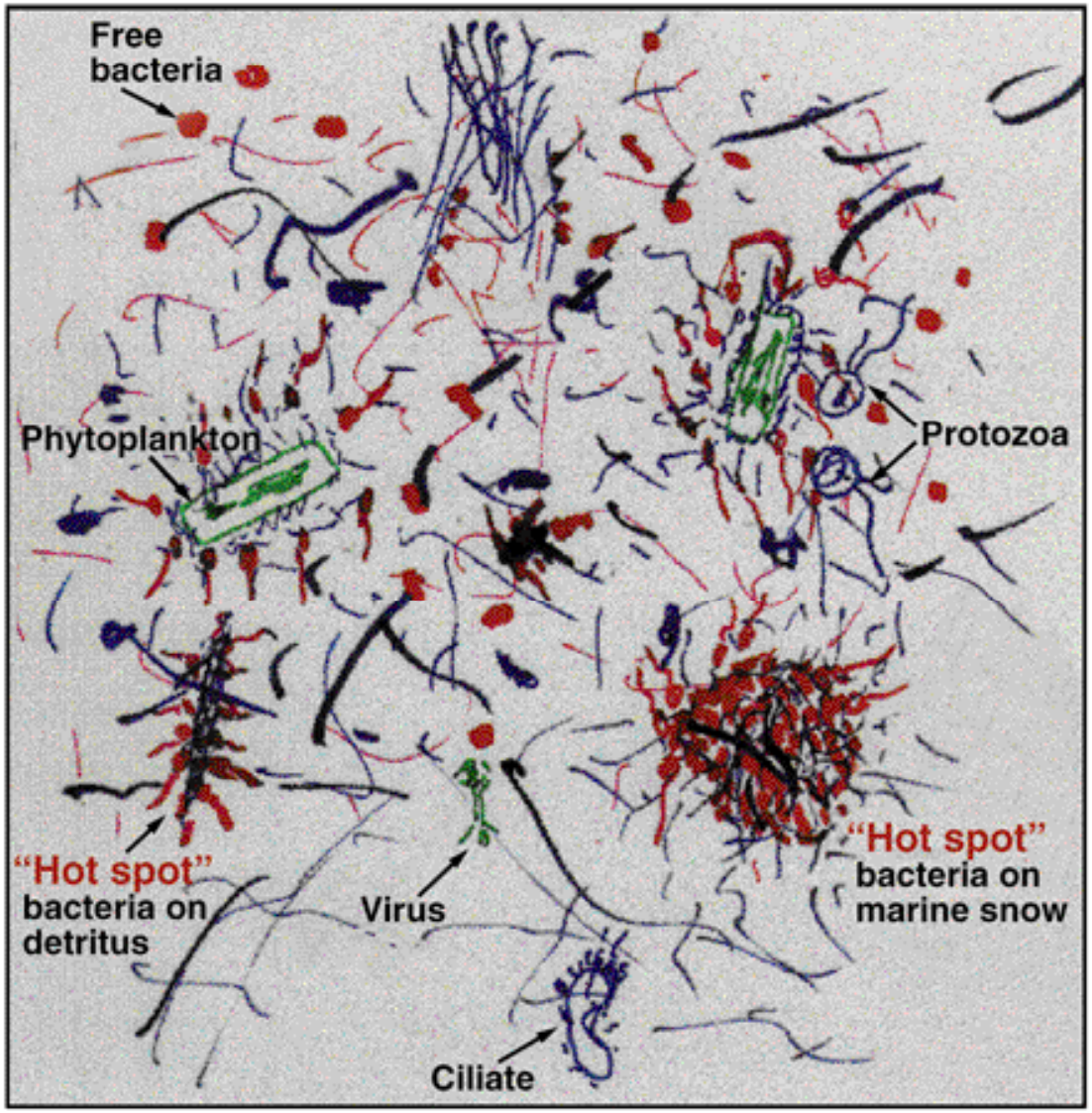


Rede Trófica Microbiana



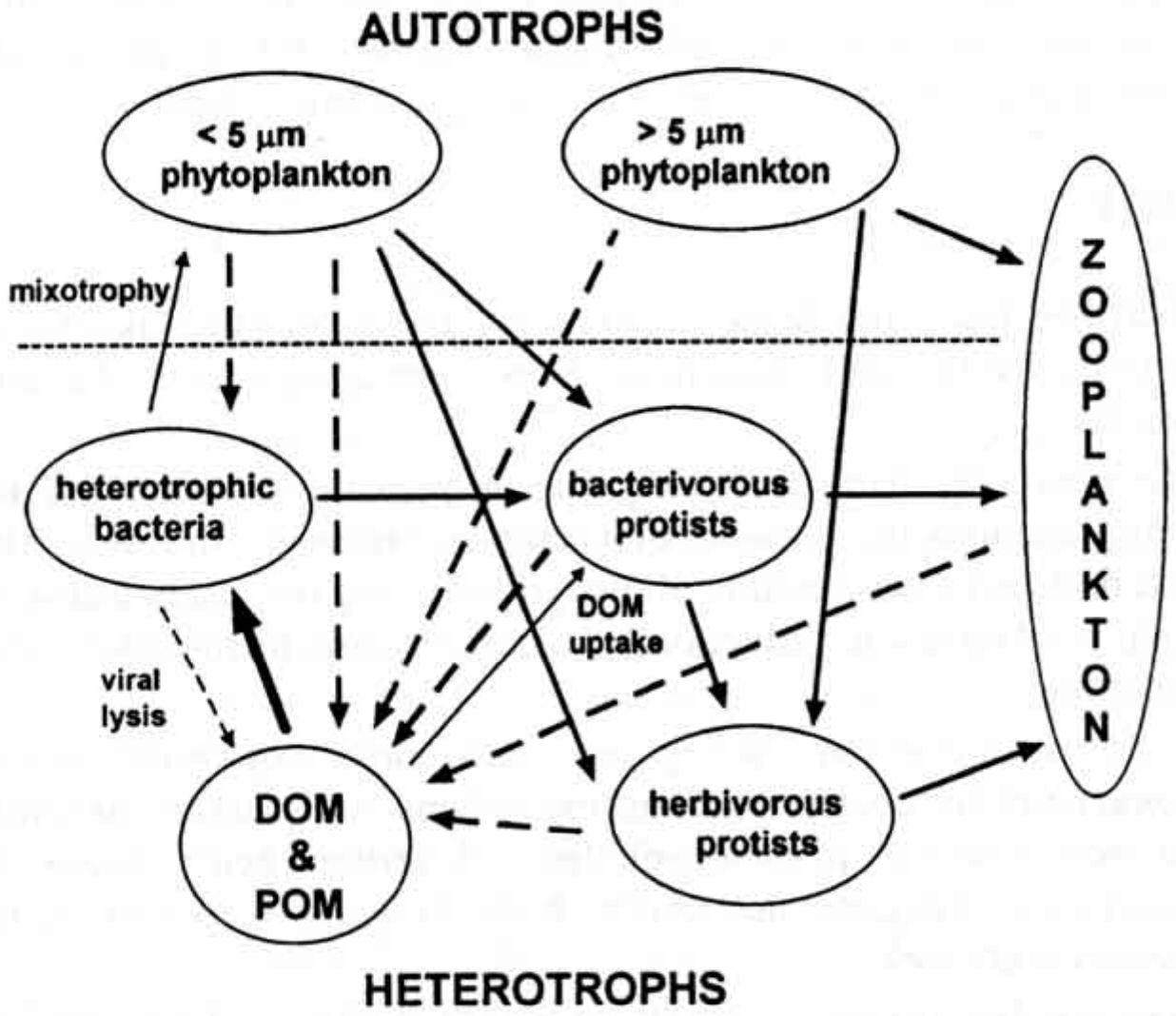
Rede Trófica Microbiana

A Rede Trófica Microbiana



The microbial loop: impressionist version. A bacteria-eye view of the ocean's sunlit layer. Seawater is an organic matter continuum, a gel of tangled polymers with embedded strings, sheets, and bundles of fibrils and particles, including living organisms, as "hotspots." Bacteria (red) acting on marine snow (black) or algae (green) can control sedimentation and primary productivity; diverse microniches (hotspots) can support high bacterial diversity. From Azam (1998). http://oceanworld.tamu.edu/resources/oceanography-book/microbialweb.htm

A Rede Trófica Microbiana

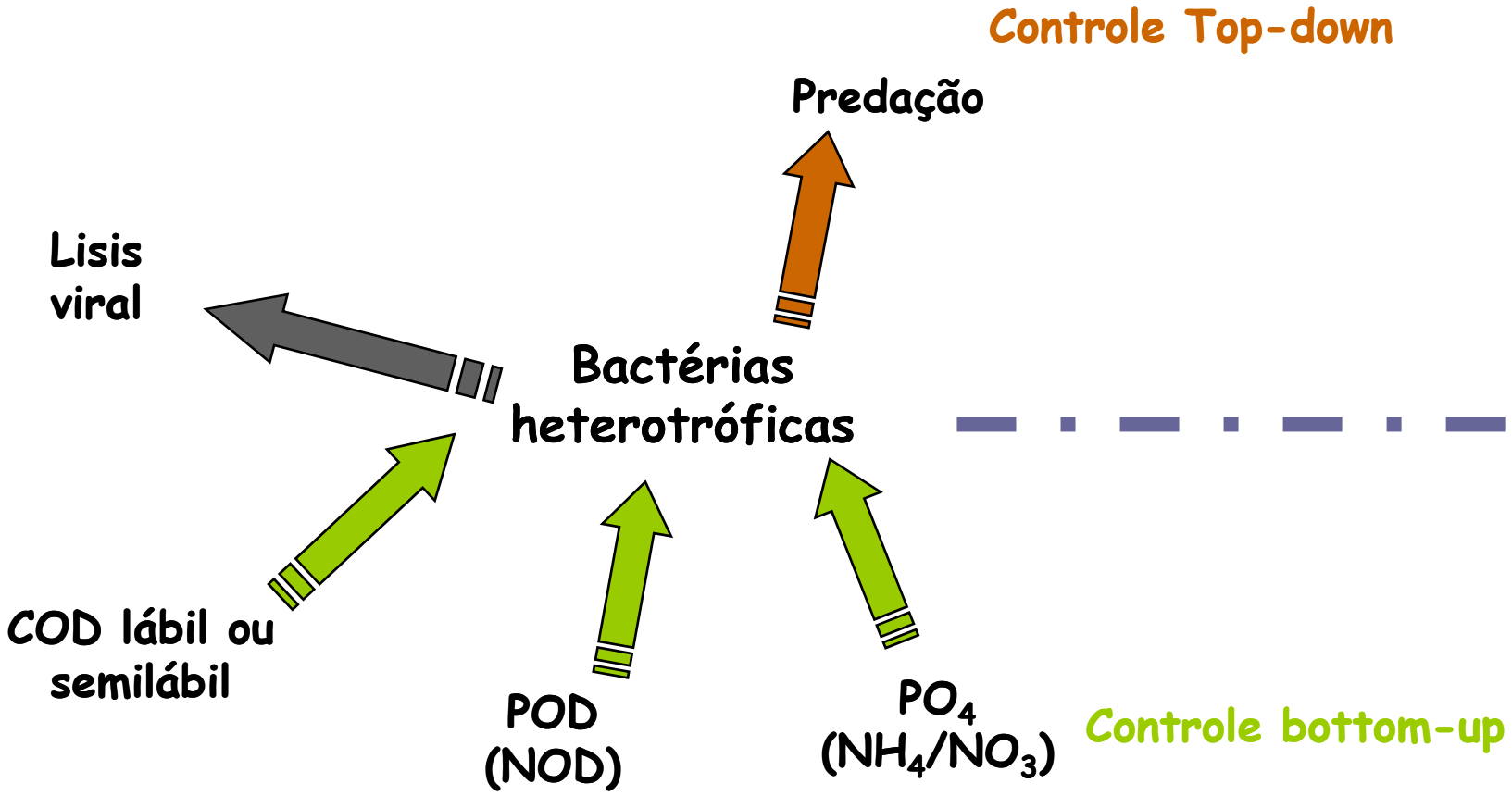


http://oceanworld.tamu.edu/resources/oceanography-book/microbialweb.htm

A Rede Trófica Microbiana

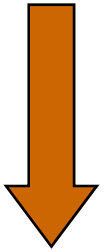
Controle do Crescimento bacteriano

- Numa rede trófica idealizada → 5 possíveis interações das bactérias com os seus vivinhos tróficos



A Rede Trófica Microbiana – Controle Bottom-up

- A disponibilidade de nutrientes limita a biomassa total de bactérias,
- As bactérias heterotróficas obtêm a energia da degradação da MO
- Além das fontes de MOD, as bactérias precisam também de fontes de nutrientes inorgânicos → N, P, Fe

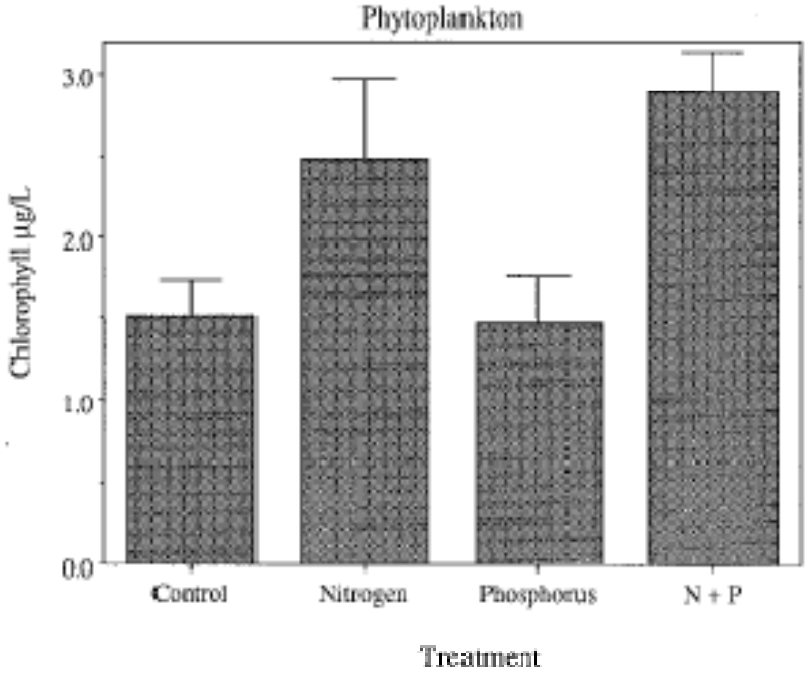


Competição com o fitoplâncton

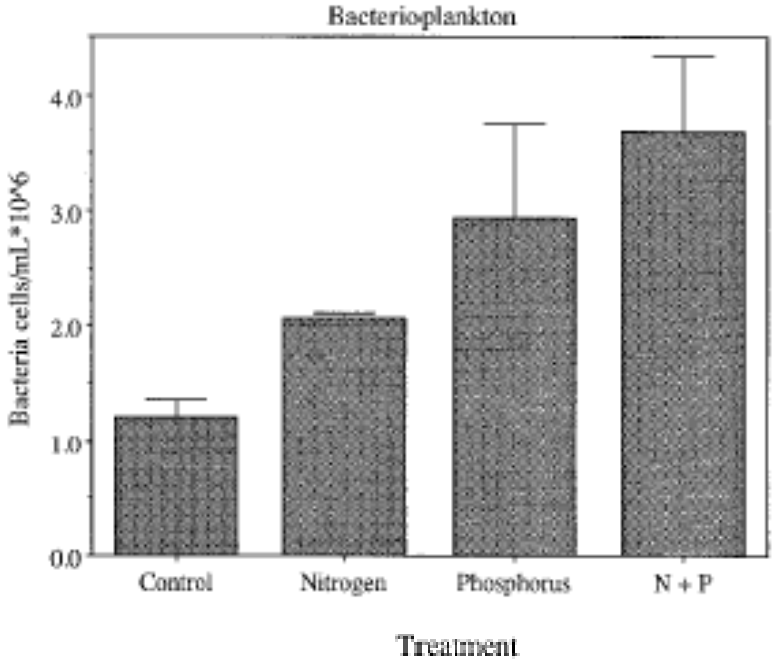
A Rede Trófica Microbiana – Controle Bottom-up

Competição por P

Estimulação por N e P



Estimulação por P



(Brett et al., 1999)

A Rede Trófica Microbiana – Controle por predação

- A bacterivoria por protistas é a maior fonte de mortalidade de bactérias, tanto em ambientes de água doce, quanto em ambientes marinhos,

- A predação por protozoários controla até 70% da produção bacteriana diária em águas oceânicas
  - alguns deles são estritamente heterótrofos, mas também mixotróficos,

A Rede Trófica Microbiana – Controle por predação

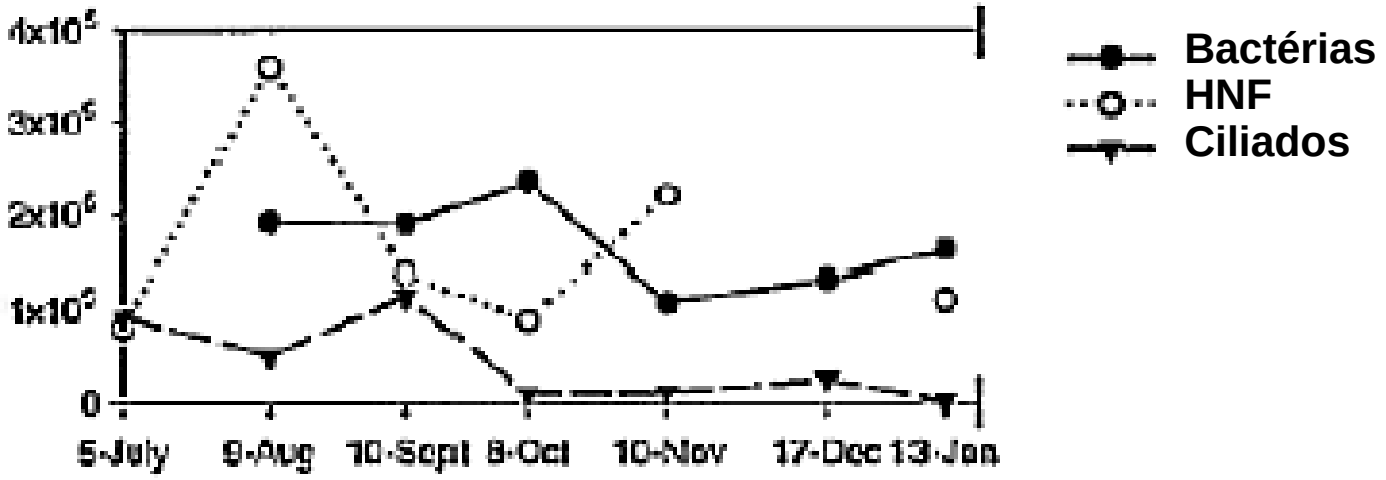
- em águas costeiras, são também importantes as larvas planctônicas de invertebrados bentônicos, metazooplâncton (consumindo bactérias aderidas), zooplâncton gelatinoso,.....

- podem afetar tanto morfológica quanto filogeneticamente à composição da comunidade bacteriana.

A Rede Trófica Microbiana – Controle por predação

- Os flagelados heterótrofos apresentam períodos potenciais de geração de aproximadamente 5 h,

- podem responder mais rapidamente ao aumento na abundância de bactérias que os predadores maiores



A Rede Trófica Microbiana – Controle por predação

Quem são os bacterívoros?

- em águas oceânicas → principalmente protistas,
  - alguns deles são estritamente heterótrofos, mas também mixotróficos,

- em águas costeiras, são também importantes as larvas planctônicas de invertebrados bentônicos, metazooplâncton (consumindo bactérias aderidas), zooplâncton gelatinoso,.....

Bacterívoros

Nanoflagelados

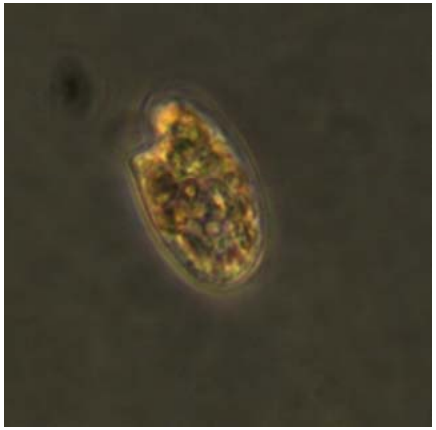
Actinomonas mirabilis

Pseudobodo tremulans

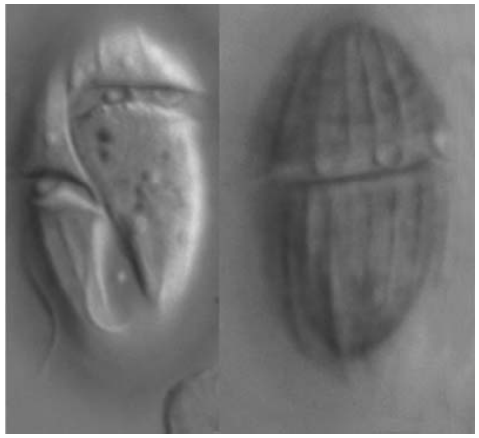
Paraphysomonas sp

Monosiga sp

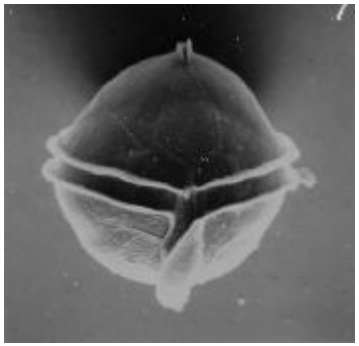
Dinoflagelados



Oxyrrhis marina



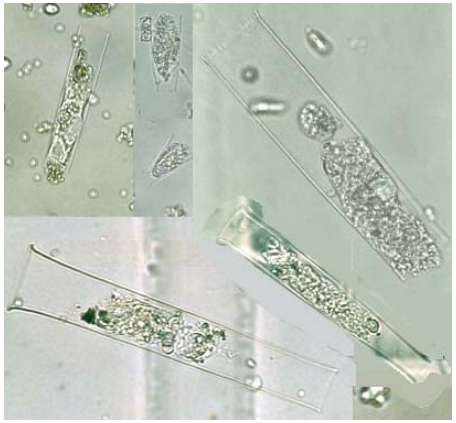
Gyrodinium dominans



Protoperidinium hirobis

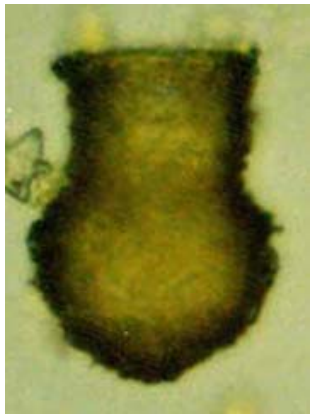
Bacterívoros

Ciliados



Eutintinnus sp

Favella sp



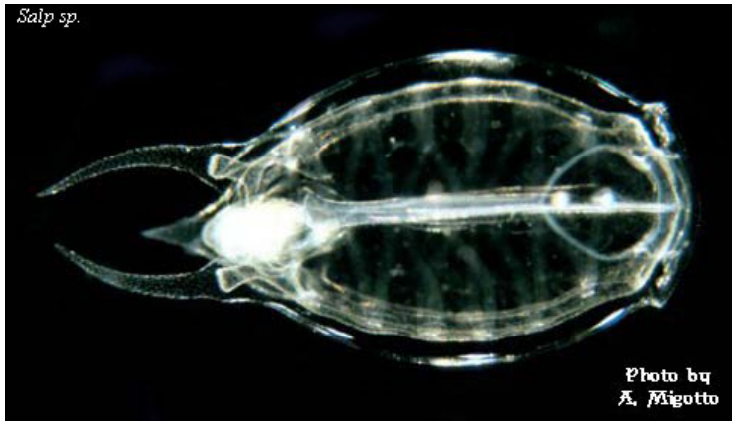
Tintinnopsis cratera

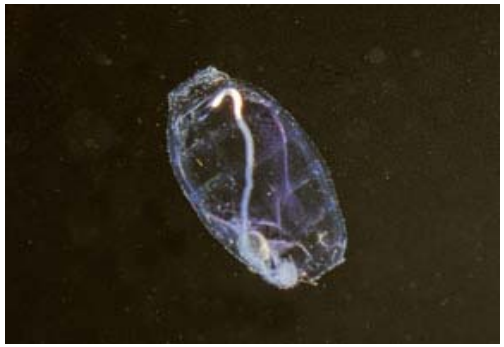
Strombidium sp

Rotíferos

Brachionus sp

Bacterívoros





A Rede Trófica Microbiana

é fácil se alimentar de bactérias?????

concentração média de bactérias no oceano → 10^6 céls mL^{-1}

diâmetro médio → 0,6 µm → vol. médio 0,11 μm^3

Ocupam a 1,1 x 10^{-7} parte de um mililitro

Traduzindo para a terra e o homem

Uma pessoa ocupam 1 m^2 da superfície da Terra

↓

10 km^2 de espaço pessoal

↓

Metade da densidade populacional do Alaska

↓

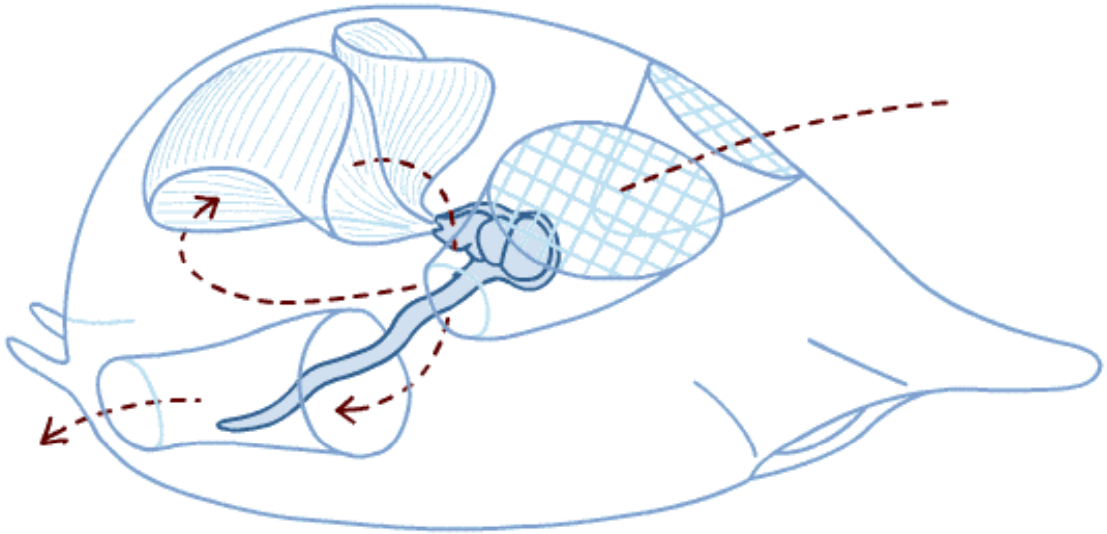
É difícil achar uma bactéria!!!!!!!!!!!!!!!!!!

A Rede Trófica Microbiana

- Ciliados e flagelados se auxiliam gerando correntes de água com os flagelos,

- outros bacterívoros se alimentam de bactérias aderidas a agregados,

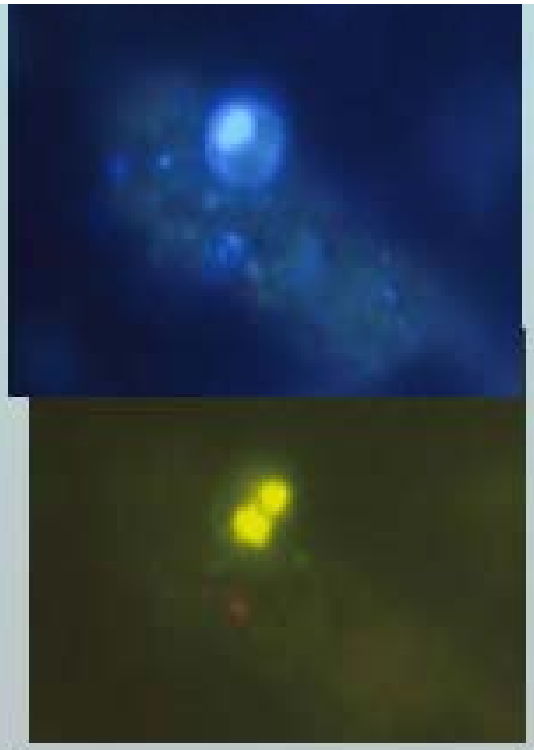
- Ex. Alimentação apendiculárias



A Rede Trófica Microbiana – Controle por predação

Fluorescently Labeled Bacteria (FLB) ingestion experiments

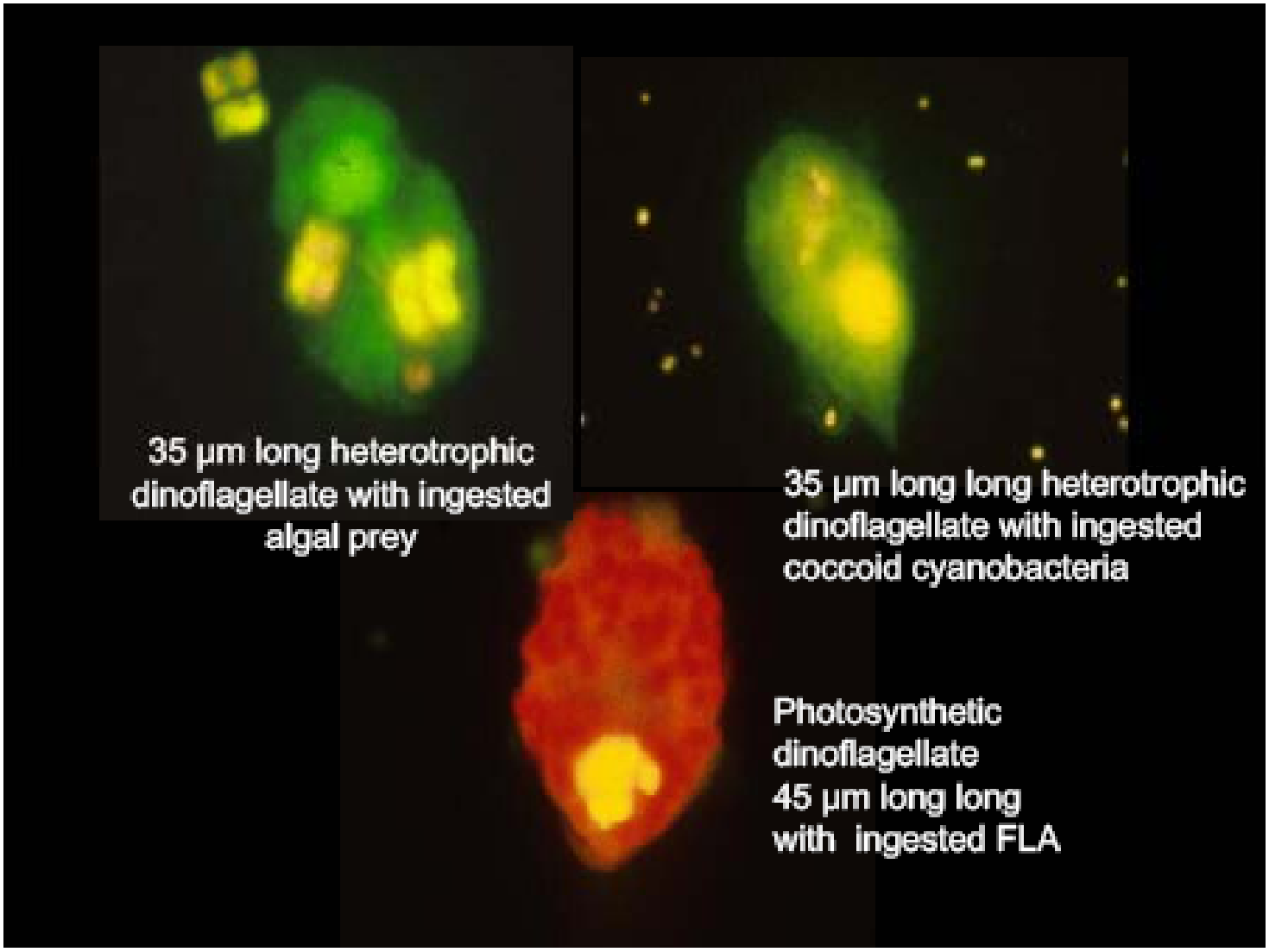
A. 5 µm heterotrophic flagellate with two food vacuoles full of FLB



B. 15 µm choreotrich ciliate with ~40 ingested FLB

http://bioloc.coas.oregonstate.edu/SherrLab/SherrMicrotalk.pdf

A Rede Trófica Microbiana – Controle por predação



http://bioloc.coas.oregonstate.edu/SherrLab/SherrMicrotalk.pdf

Importância dos vírus

- os vírus são os organismos mais pequenos conhecidos (20-200 nm),
- apresentam uma estrutura biológica extremadamente simples,
- são parasitas obrigatórios,
- Se reproduzem no interior de células vivas,

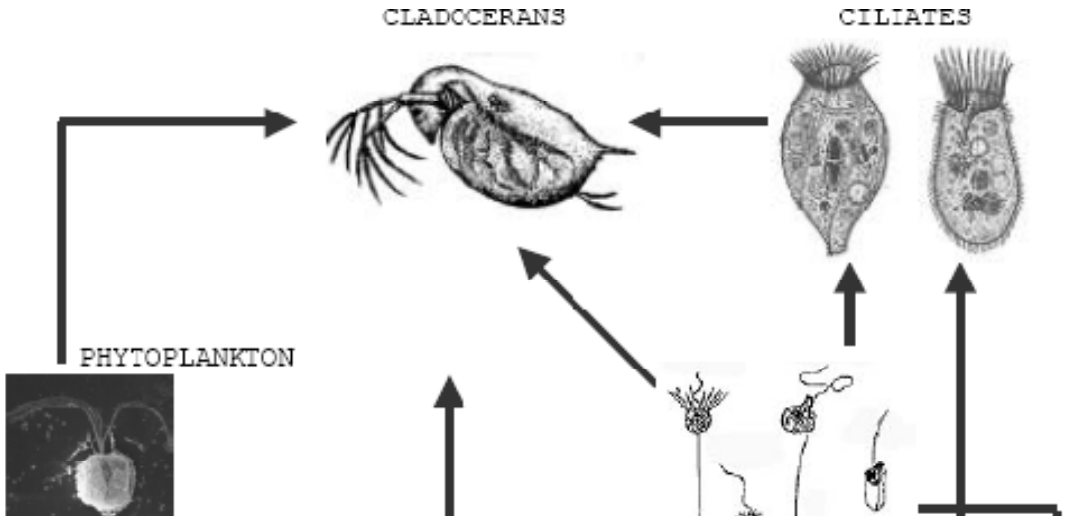
A Rede Trófica Microbiana – Importância dos vírus

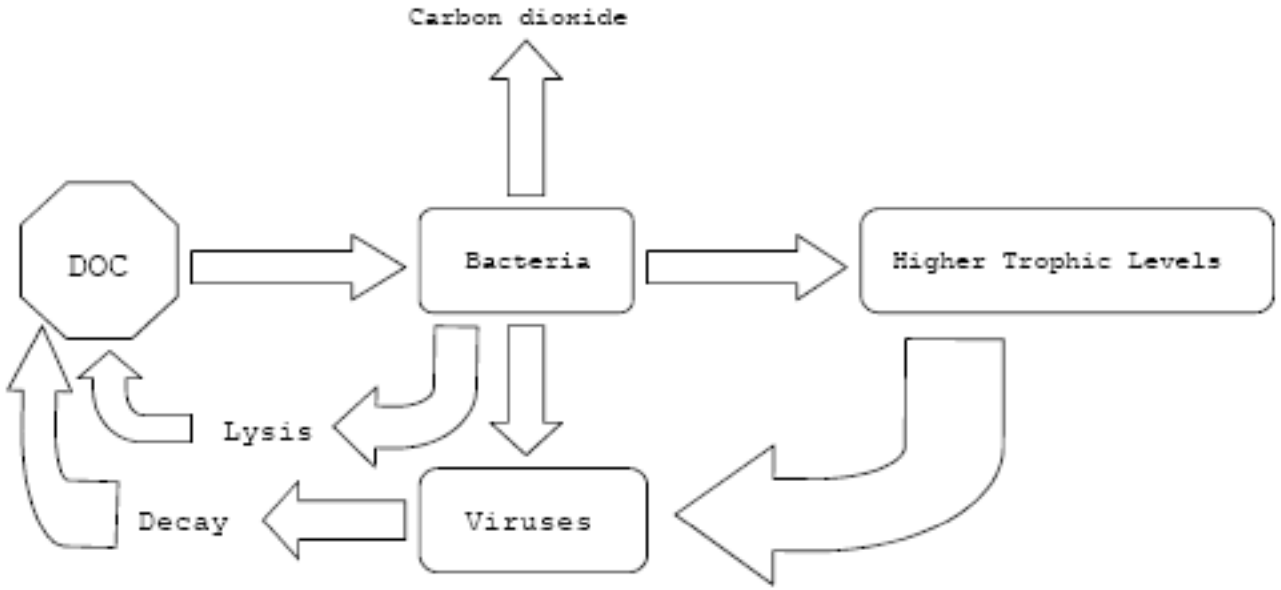
- Apresentam abundâncias de até 10^8 ind mL^{-1},

Location	Viruses ($x10^6$ ml^{-1})	Bacteria ($x10^6$ ml^{-1})	Source
Marine			
Chesapeake Bay	10.1	3.2	Bergh *et al.* 1989
Korsfjorden	6.1	1.1	Bergh *et al.* 1989
Raunefjorden, Western Norway	9.9	0.2	Bergh *et al.* 1989
North Atlantic	14.9	0.3	Bergh *et al.* 1989
Barents Sea	0.06	0.02	Bergh *et al.* 1989
Southern California Bight, USA	1.1 - 12.4	-	Cochlan *et al.* 1993
Gulf of Bothnia, Sweden	17.5 - 52.2	-	Cochlan *et al.* 1993
Arctic Sea Ice, Canadian Arctic	9 - 130	0.15 - 10	Maranger *et al.* 1994
Tampa Bay Florida, USA			
Summer	20	5.6	
Winter	4.8	1.8	Jiang & Paul 1994
Bering & Chukchi Seas	2.5 - 36	0.21- 2.1	Steward *et al.* 1996
North Pacific, Subarctic zone	0.06 - 3.8	0.04 - 0.94	Hara *et al.* 1996
Mediterranean Sea	5 - 30	-	Guixa-Boixereu *et al.* 1999
Average Marine	*8 - 25*	*1 - 3*	

(Säwström, 2003)

A Rede Trófica Microbiana - Importância dos vírus





Food web diagram adapted from Priscu *et al.* 1999

A Rede Trófica Microbiana – Importância dos vírus

- **Os vírus podem ser responsáveis por 30% da mortalidade em bactérias, e 2-10% no fitoplâncton,**

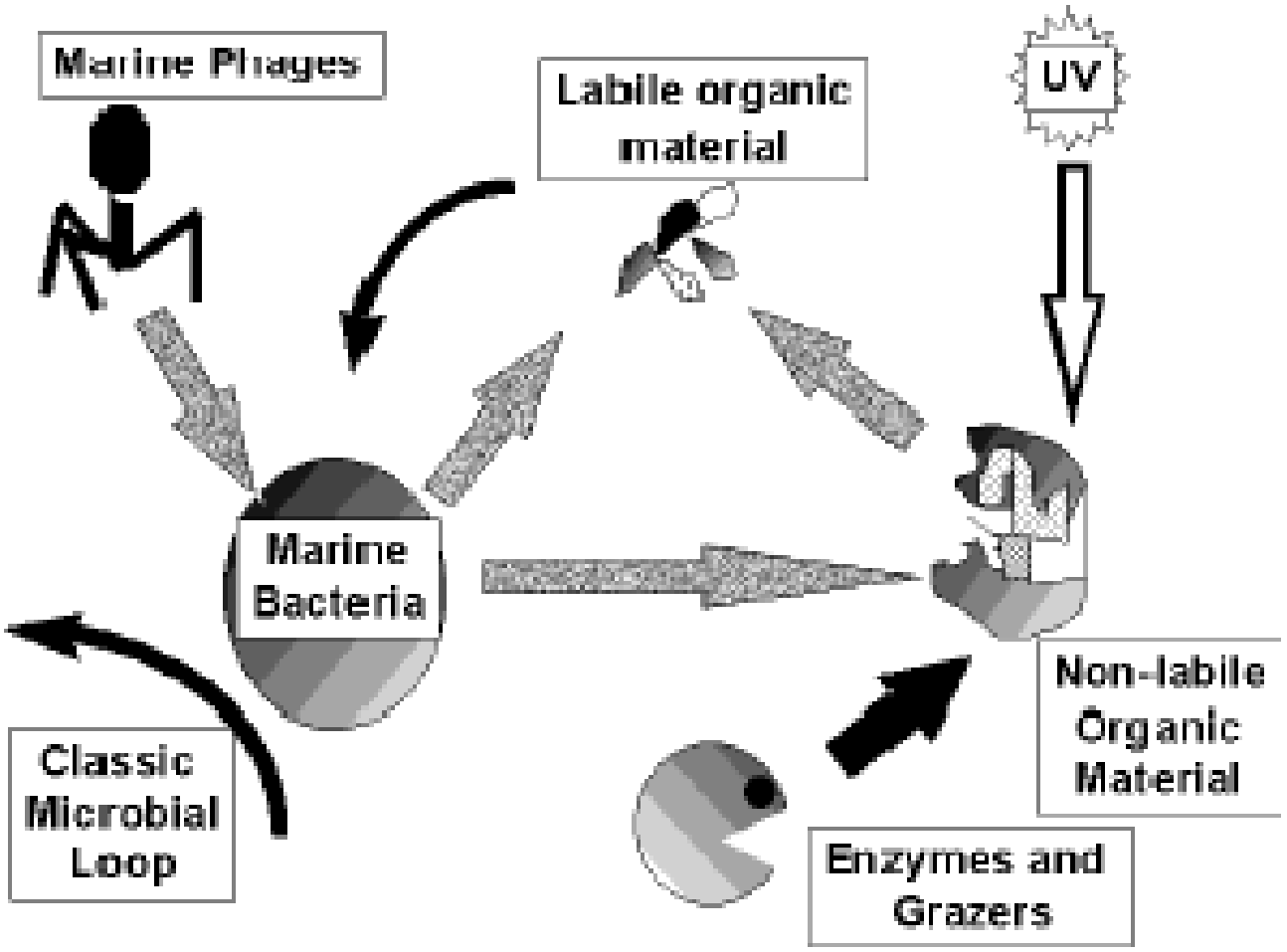
- **A lisis viral causa a morte da célula hospedeira, mas também a liberação de nutrientes para a rede trófica microbiana** (como comentado no início da aula),

A Rede Trófica Microbiana – Importância dos vírus

- enquanto que a limitação por nutrientes e os predadores têm efeito sobre a abundância total de bactérias,

- a atividade viral pode ter um efeito sobre a composição e diversidade de espécies das comunidades bacterianas, e não necessariamente sobre a concentração total (Maranger and Bird, 1995).

A Rede Trófica Microbiana – Importância dos vírus



(Säwström, 2003)

A Rede Trófica Microbiana – Importância dos vírus

- Num modelo teórico, Thingstad (2000) mostrou que os vírus poderiam atuar como um fator controlador, permitindo que bactérias com diferentes taxas de crescimento pudessem co-existir,
- os vírus controlariam o número das espécies de bactérias dominantes no equilíbrio evitando que as mais competitivas crescessem em excesso,

A Rede Trófica Microbiana – Regulação Bactérias

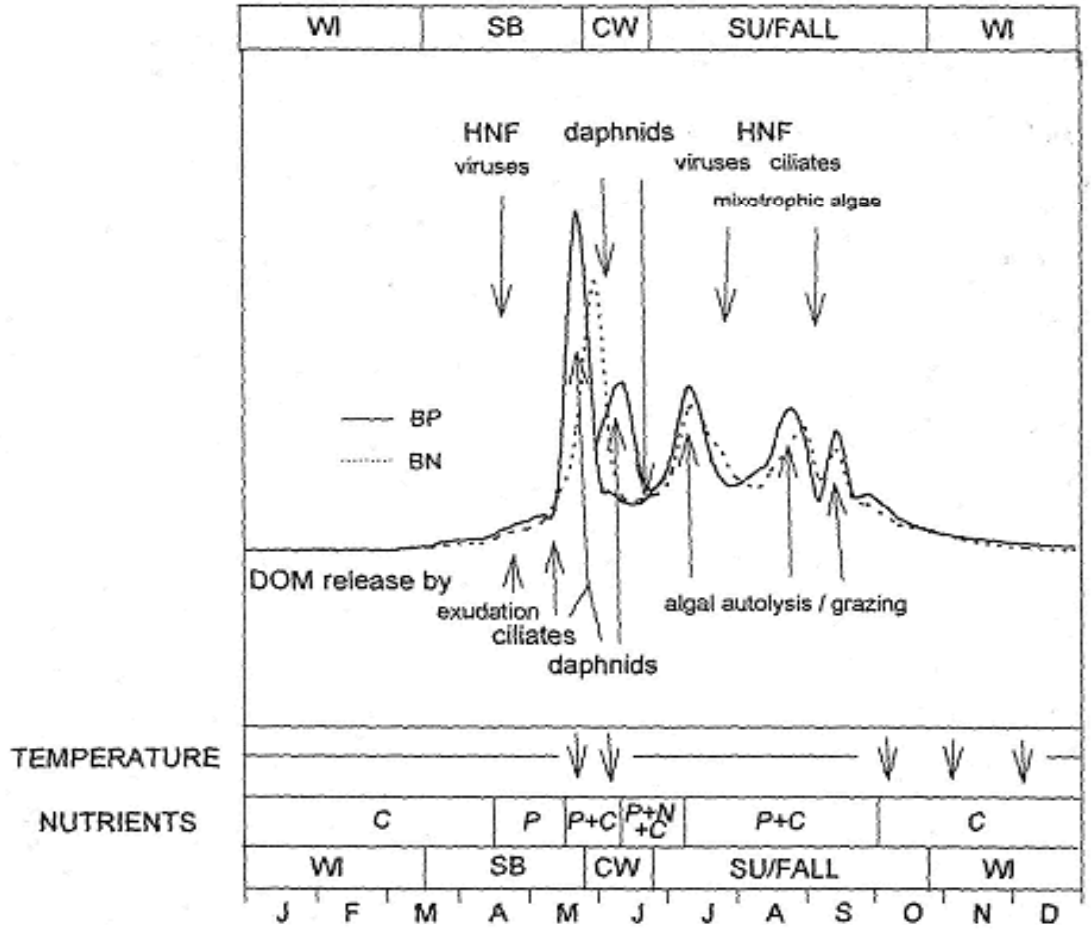


FIGURE 17-6 Idealized patterns of seasonal dynamics and regulation of bacterioplankton abundance and production in temperate, mesotrophic Lake Constance, southern Germany. *BN* = bacterial numbers; *BP* = bacterial production; *WI* = winter; *SB* = spring increase in phytoplankton abundance; *CW* = "clearwater" phase, which is highly variable from year-to-year depending on the relative abundance of daphnid zooplankton and their effectiveness in grazing of phytoplankton algae; *SU/FALL* = summer and autumn periods. Upward arrows = net positive effect, and downward arrows = net negative effects on bacterioplankton. (Modified from Simon *et al.*, 1998a.)

A Rede Trófica Microbiana – Agregados

Partículas Exopolímeras Transparentes (TEP)

- Alldredge *et al.* (1993) descobriram a importância ecológica dos exudados de carbono do fitoplâncton (TEP) dentro do ciclo biogeoquímico do carbono.

- Quimicamente, os exopolímeros são fibras coloidais enriquecidas em polissacarídeos ácidos que permanecem agregados principalmente por pontes catiônicas (Shuster & Herndl, 1995). Estes exopolímeros, uma vez liberados passam a formar parte do "pool" de matéria orgânica dissolvida (MOD), representando assim um precursor para a formação das TEP.

A Rede Trófica Microbiana – Agregados

- A formação das TEP pode ser:

  - biótica (ação bacteriana, *grazing* sobre o material coloidal, etc)

  - abiótica (adsorção a superfícies sólidas, coagulação superficial sobre bolhas, colisão sob condições turbulentas, etc).

A Rede Trófica Microbiana – Agregados

Assim, por processos abióticos ou bióticos:

A Rede Trófica Microbiana – Agregados

Importância ecológica das TEP

- Como conseqüência da sua elevada concentração, tamanho relativamente grande, e elevada aderência potencial:

  - influi na dinâmica de agregação das partículas e no espectro de tamanhos do séston afetando o fluxo vertical de carbono (Passow & Alldredge, 1994)

A Rede Trófica Microbiana – Agregados

- Na ecologia do fitoplâncton:
  - permitem a mobilidade e adesão a substratos,
  - estabilizar colônias,
  - proteger as células frente a mudanças físicas e químicas,
  - proteger a parede de sílica da dissolução,
  - servir de sistema concentrador de nutrientes,
  - reduzir a pressão osmótica,
  - facilitar diferentes processos durante a reprodução, etc.

(Hollingan et al., 1984)

A Rede Trófica Microbiana – Agregados

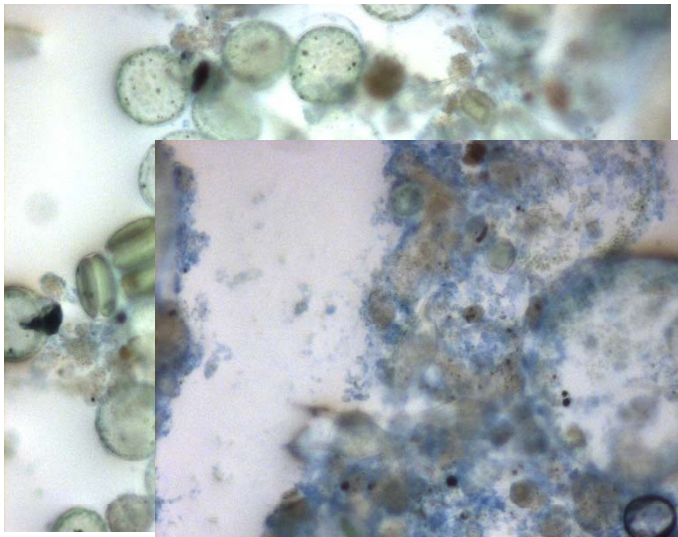
Que importância teriam estas partículas na Alça Microbiana???

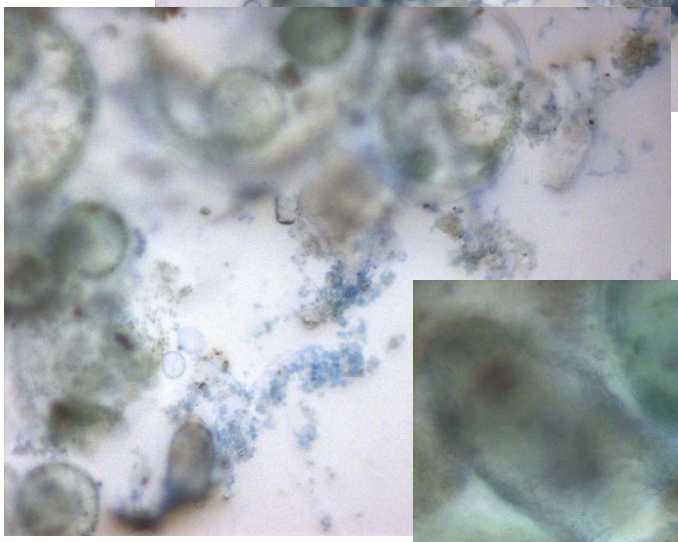
- Elevada concentração,
- tamanho relativamente grande,
- elevada aderência potencial

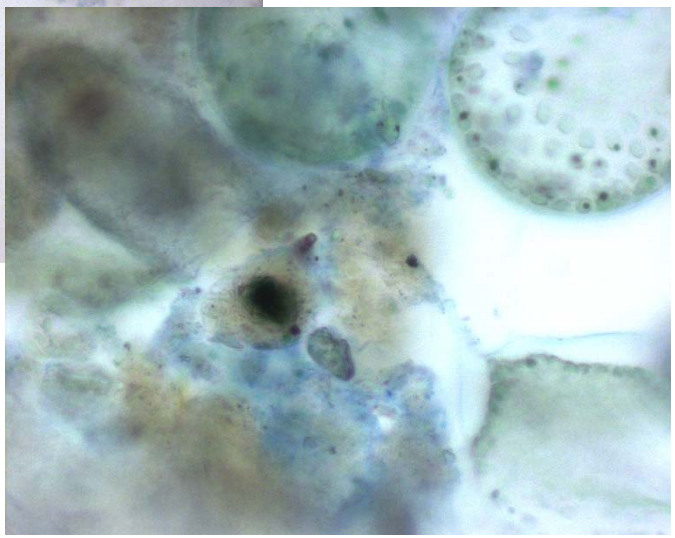
influem na dinâmica de agregação das partículas e no espectro de tamanhos do séston afetando o fluxo vertical de carbono e fitoplâncton (Passow & Alldredge, 1994)

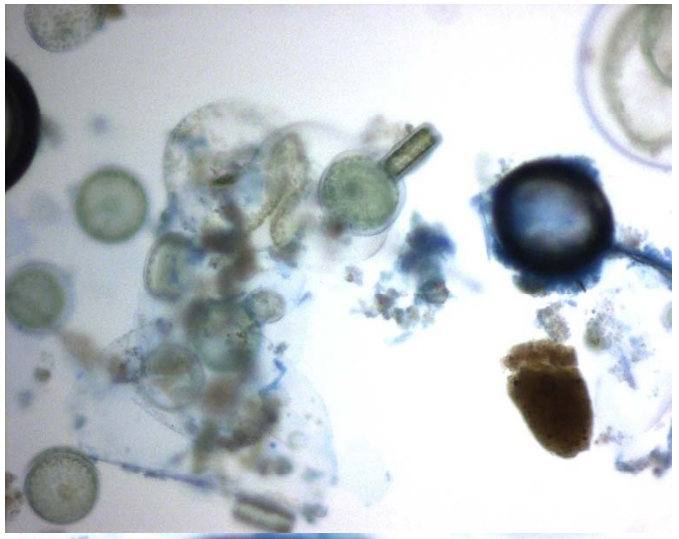
substrato para as bactérias aderidas e outros organismos

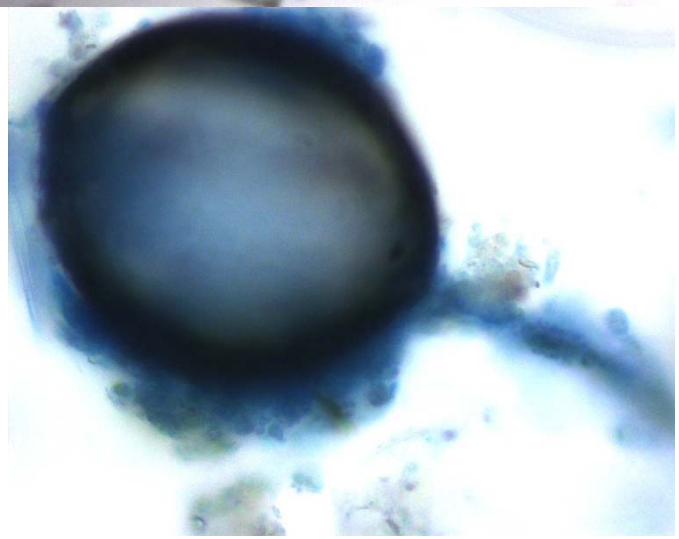
TEP enriquecidas em bactérias podem ser consumidas diretamente pelos níveis tróficos superiores, podendo ser uma via alternativa à alça microbiana (Mari, 1999).



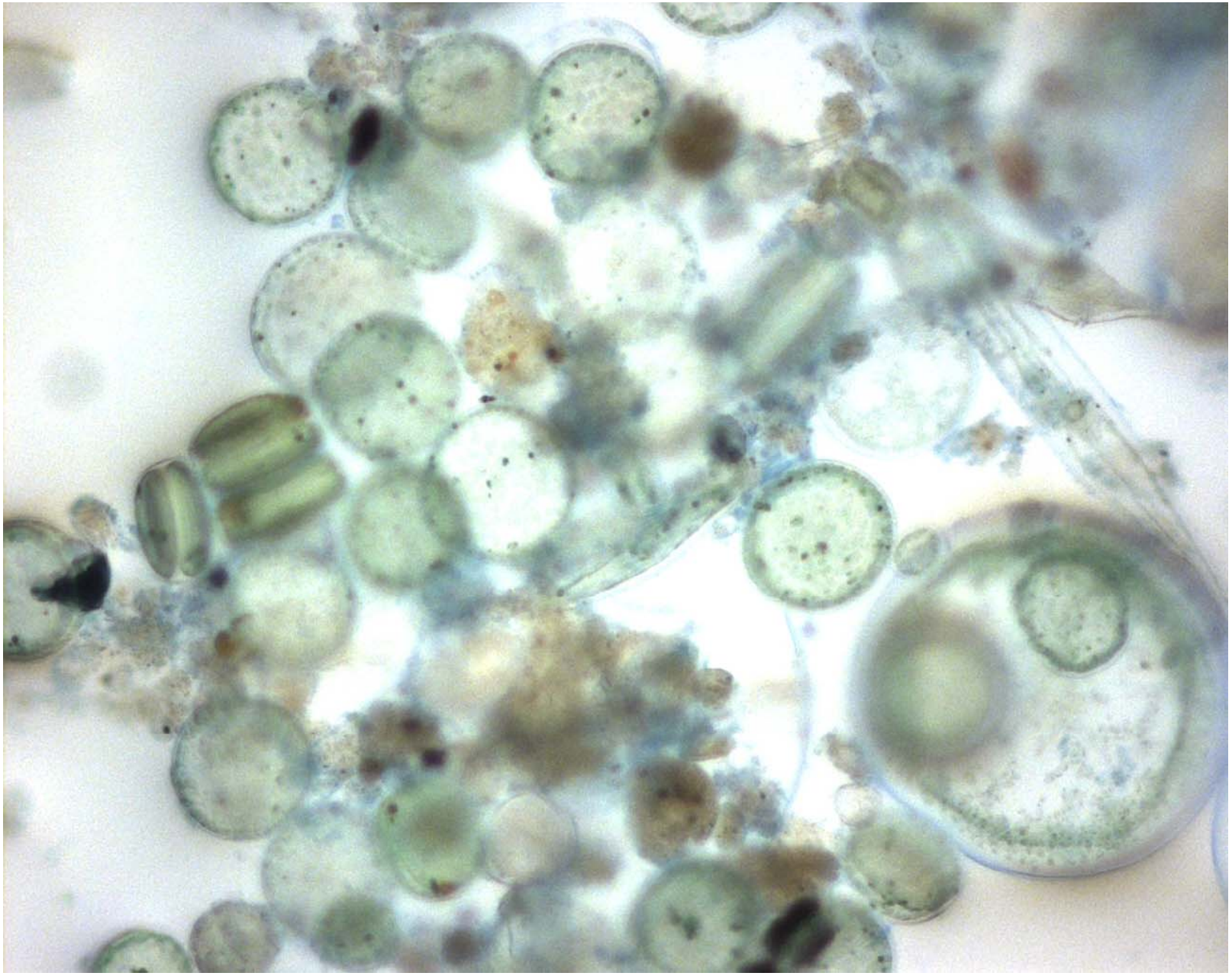








A Rede Trófica Microbiana – Agregados



A Rede Trófica Microbiana – Agregados

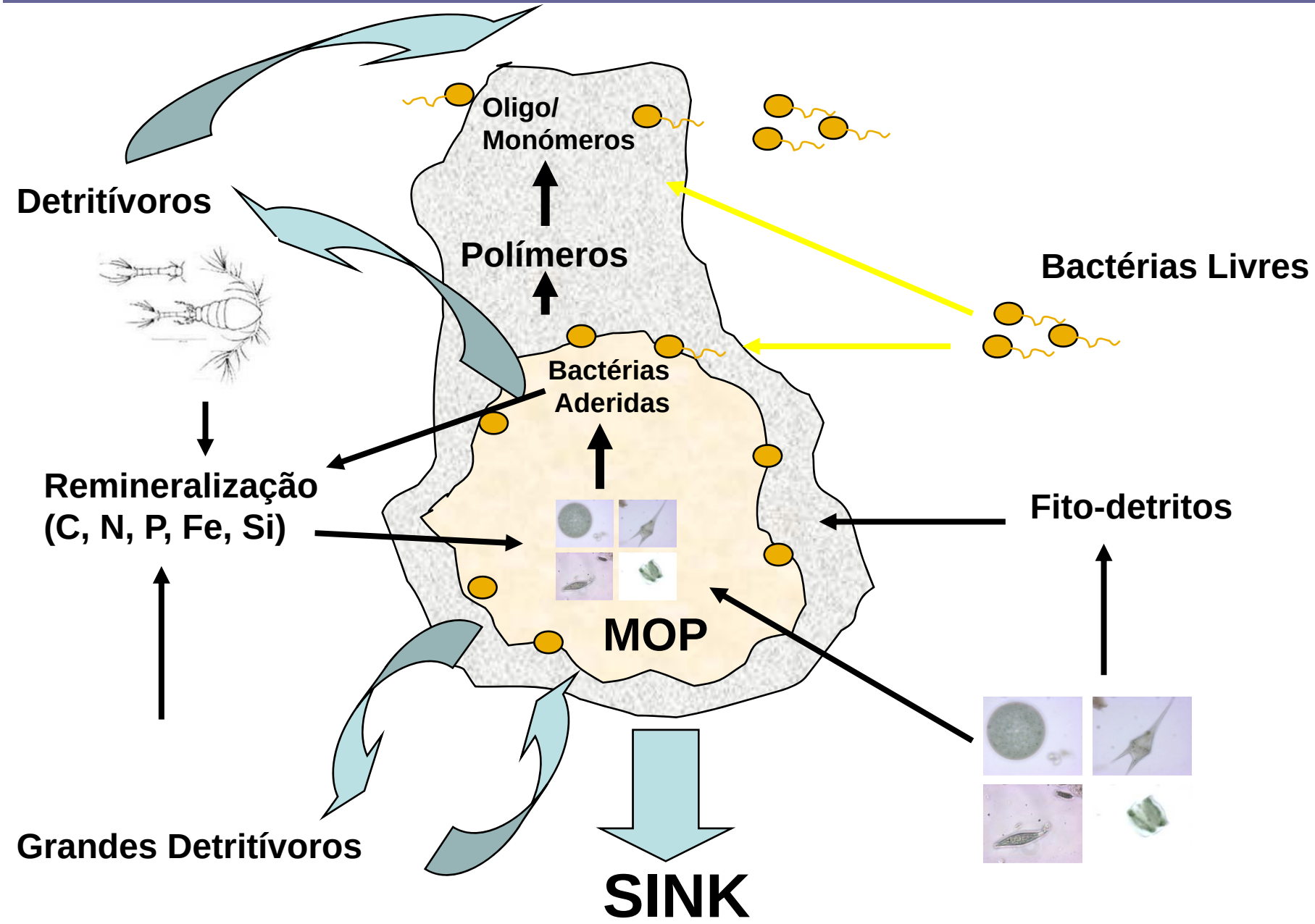
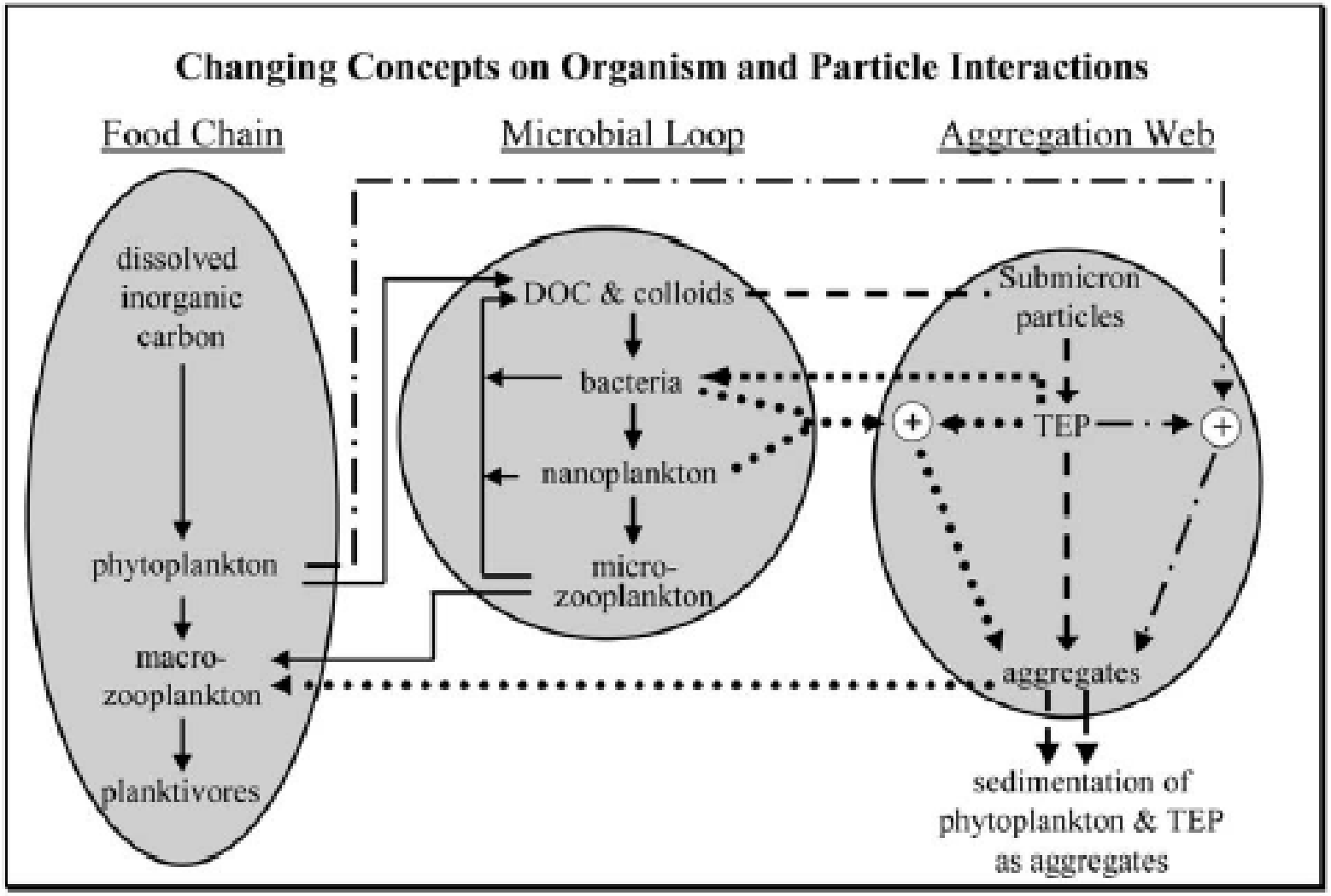


Figura adaptada de Simon et al., 2002

A Rede Trófica Microbiana – Agregados

Novos Conceitos nas Redes Microbianas



Fonte: Passow, 2002

A Rede Trófica Microbiana - Sink/Link

SINK

VS

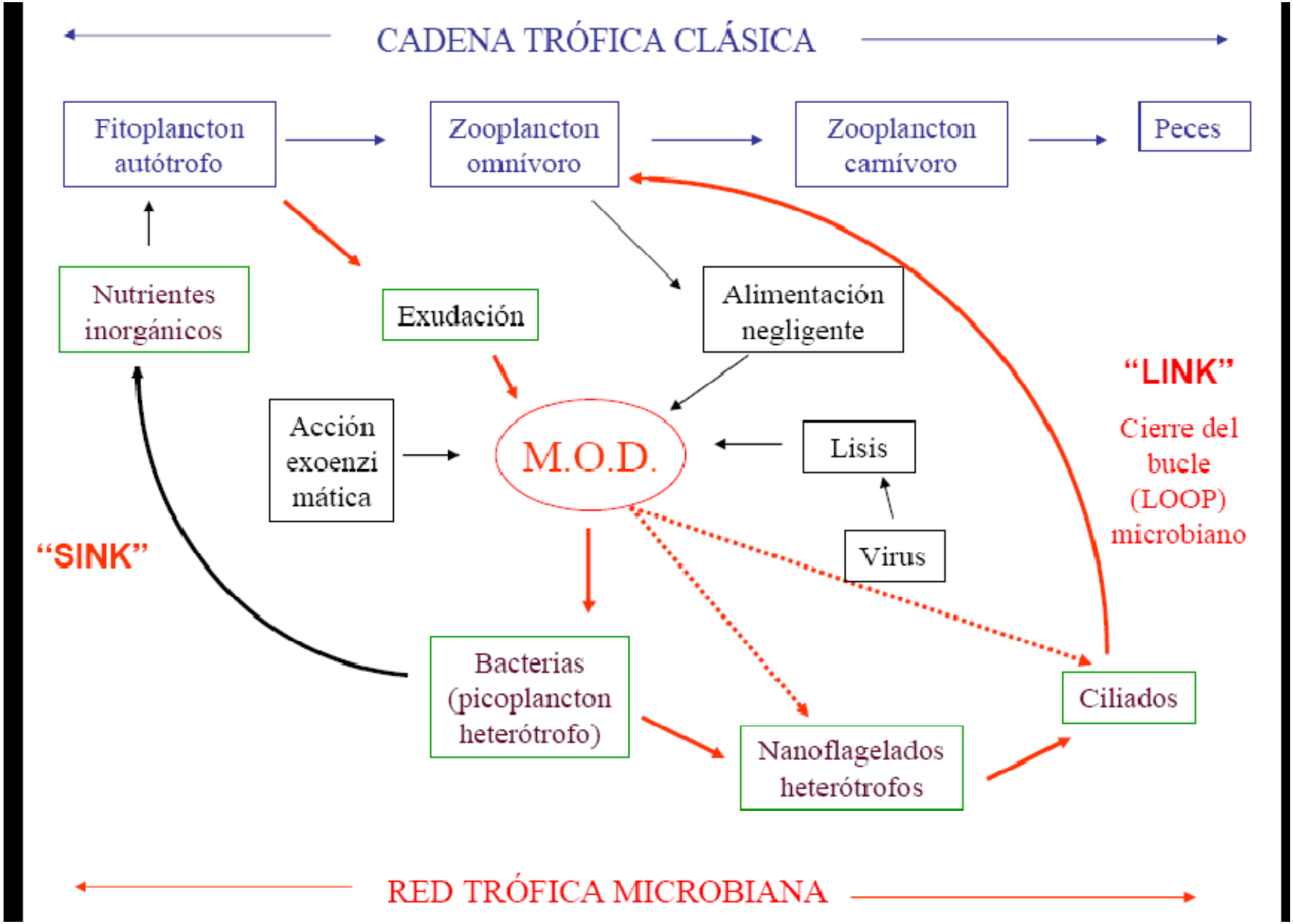
LINK

A Rede Trófica Microbiana – Sink/Link

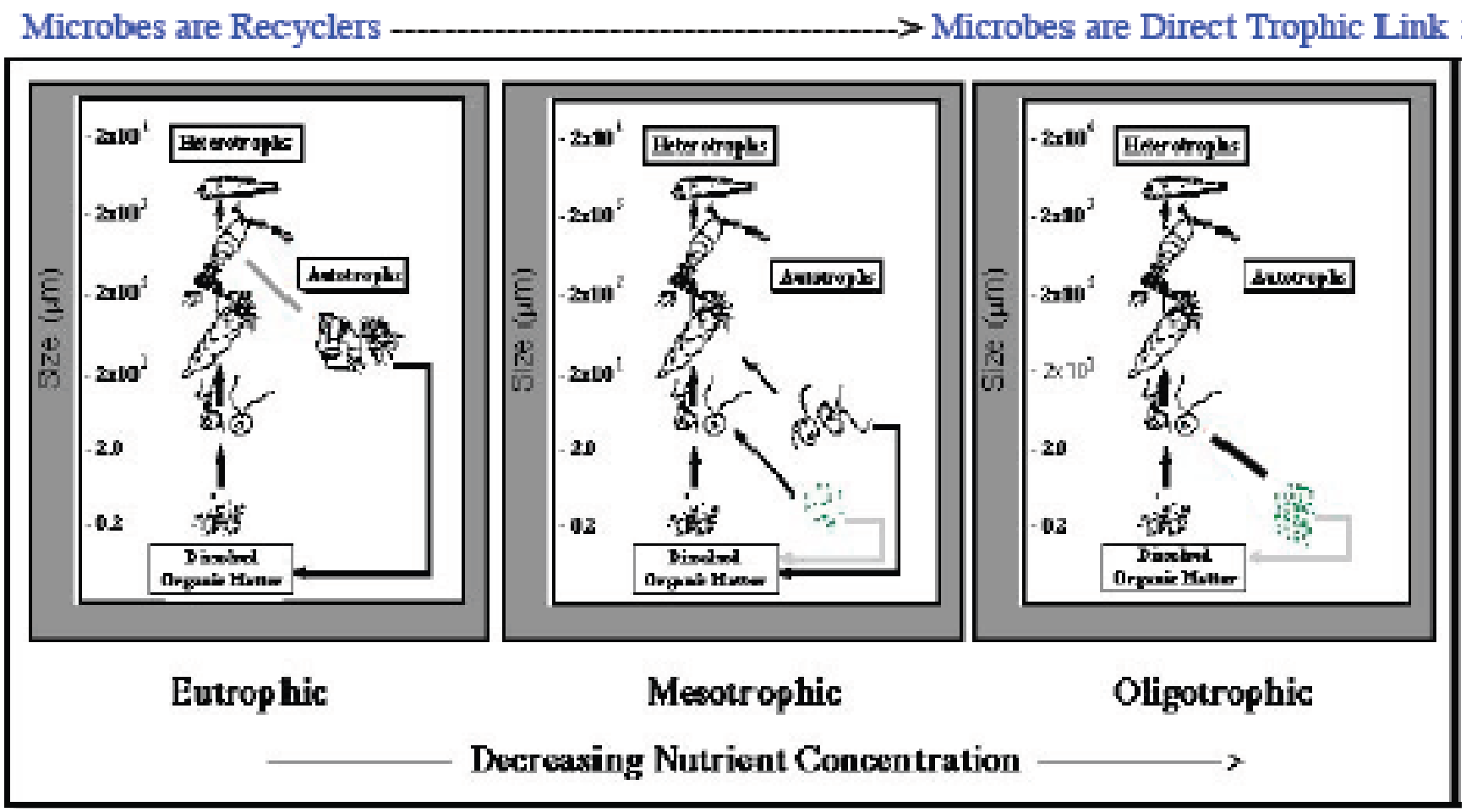
- o duplo papel das bactérias como mineralizadoras e recicladoras de MO e nutrientes → novo debate:

  - a alça microbiana atua como sumidouro (Sink) ou ligação (Link) de MO e energia????

A Rede Trófica Microbiana - Sink/Link



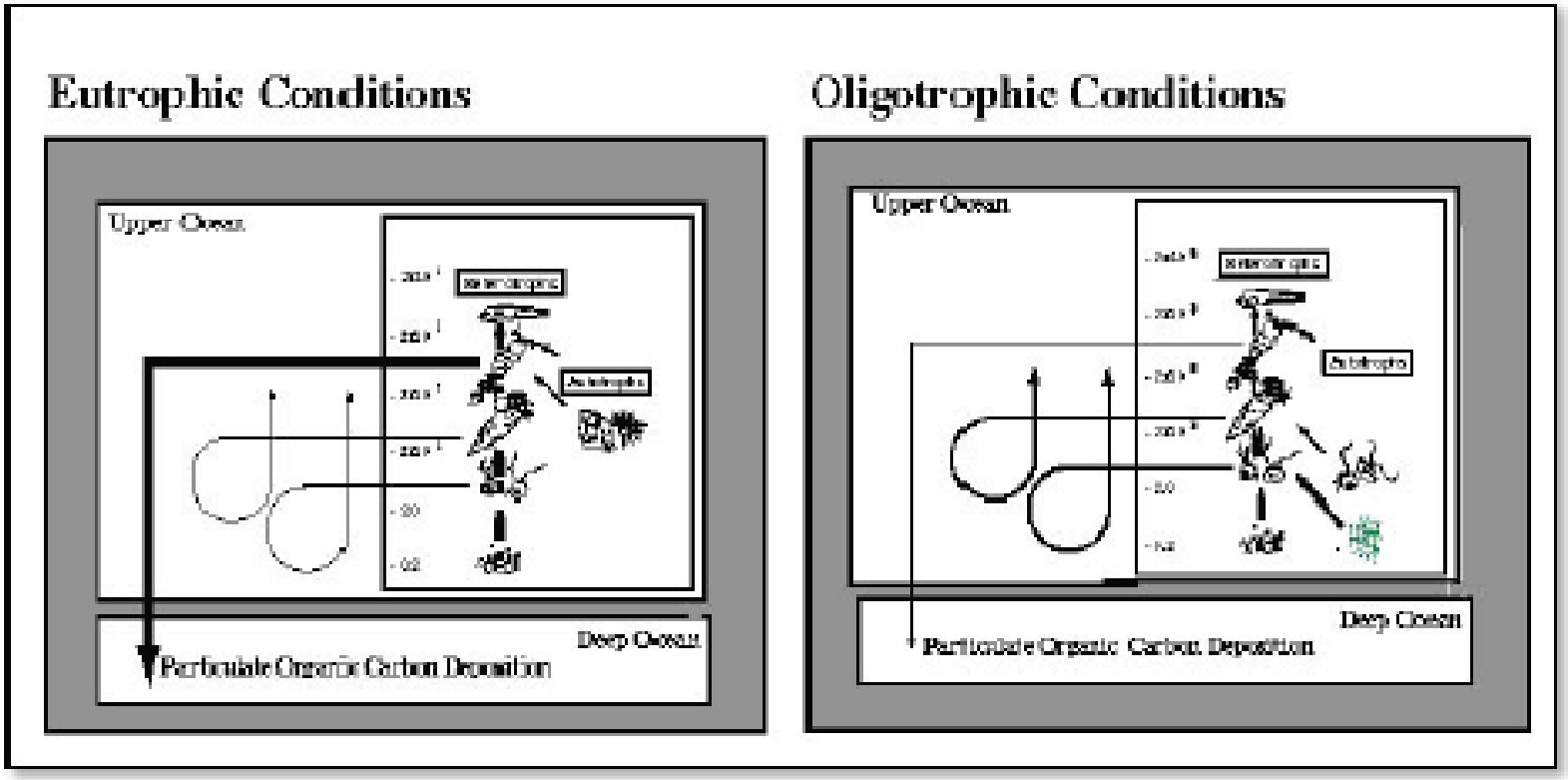
A Rede Trófica Microbiana - Sink/Link



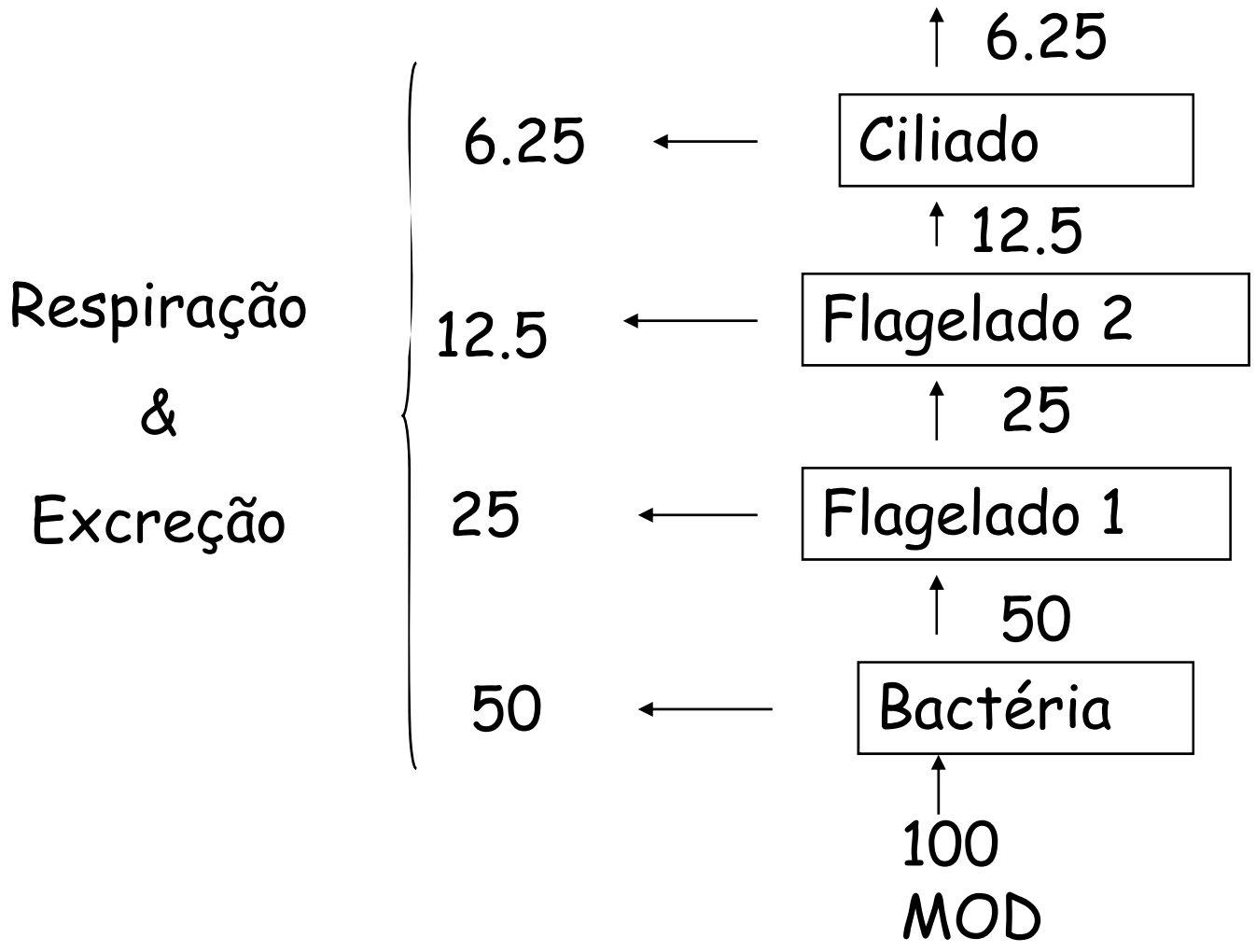
A Rede Trófica Microbiana – Sink/Link

Role of Microbes in Carbon Cycling in the Ocean…

Carbon Cycling



When the dominant phytoplankton cells are large, the dominant grazers are large and the large fecal material easily sinks to the deep ocean taking organic carbon with it - this forms an ***efficient*** biological carbon pump. The opposite is true when the dominant phytoplankton is small and the biological pump is more ***inefficient***.

A Rede Trófica Microbiana - Sink/Link

sink ou link?