

Disciplina: Dinâmica de Ecossistemas Marinhos

Plataforma continental: processos químicos

Profa. Mônica Wallner-Kersanach

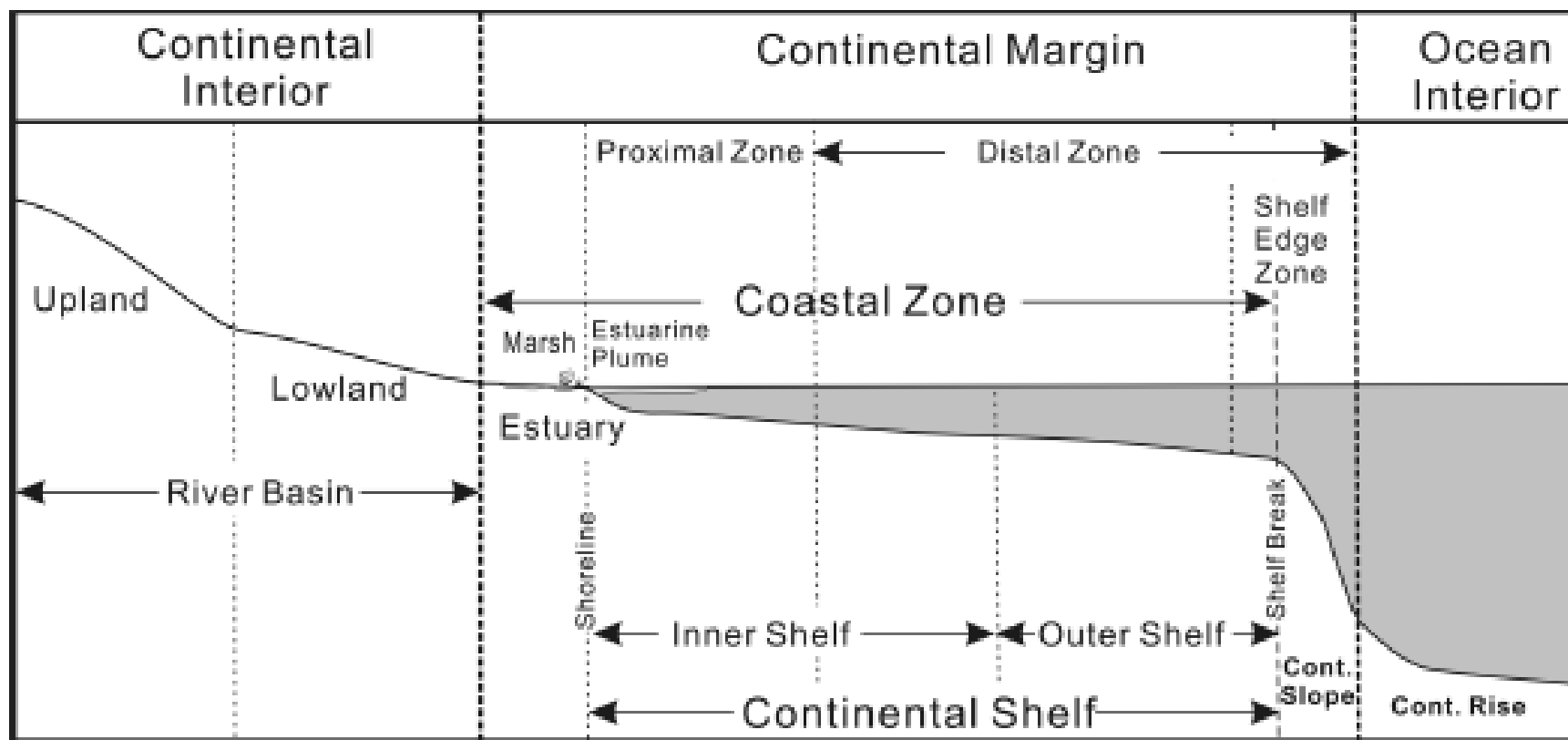
Junho 2015

Conteúdo

- Plataforma continental: definição e extensão;
- Transporte de material para o oceano;
- Estudos na plataforma continental do RS.

Esquema indicando a plataforma continental, segundo o projeto internacional LOICZ (Land Ocean Interactions in the Coastal Zone)

A plataforma continental compreende a parte submersa costeira, que se estende do continente até a quebra do talude (área submersa mais profunda).



Muitas plataformas existentes no mundo foram expostas durante os períodos glacial e interglacial.

After Pernetta and Milliman, 1995

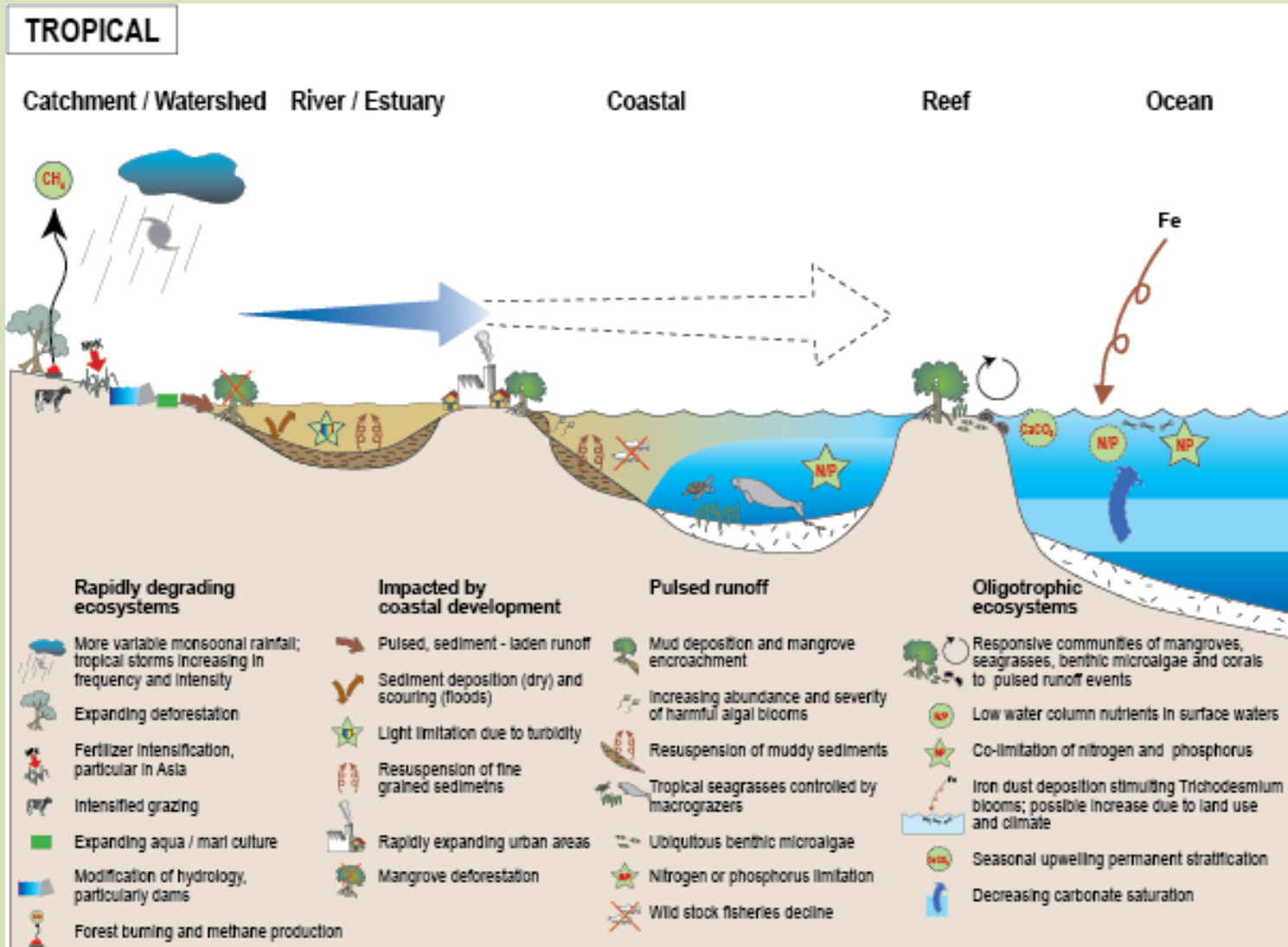
Plataforma continental no Brasil



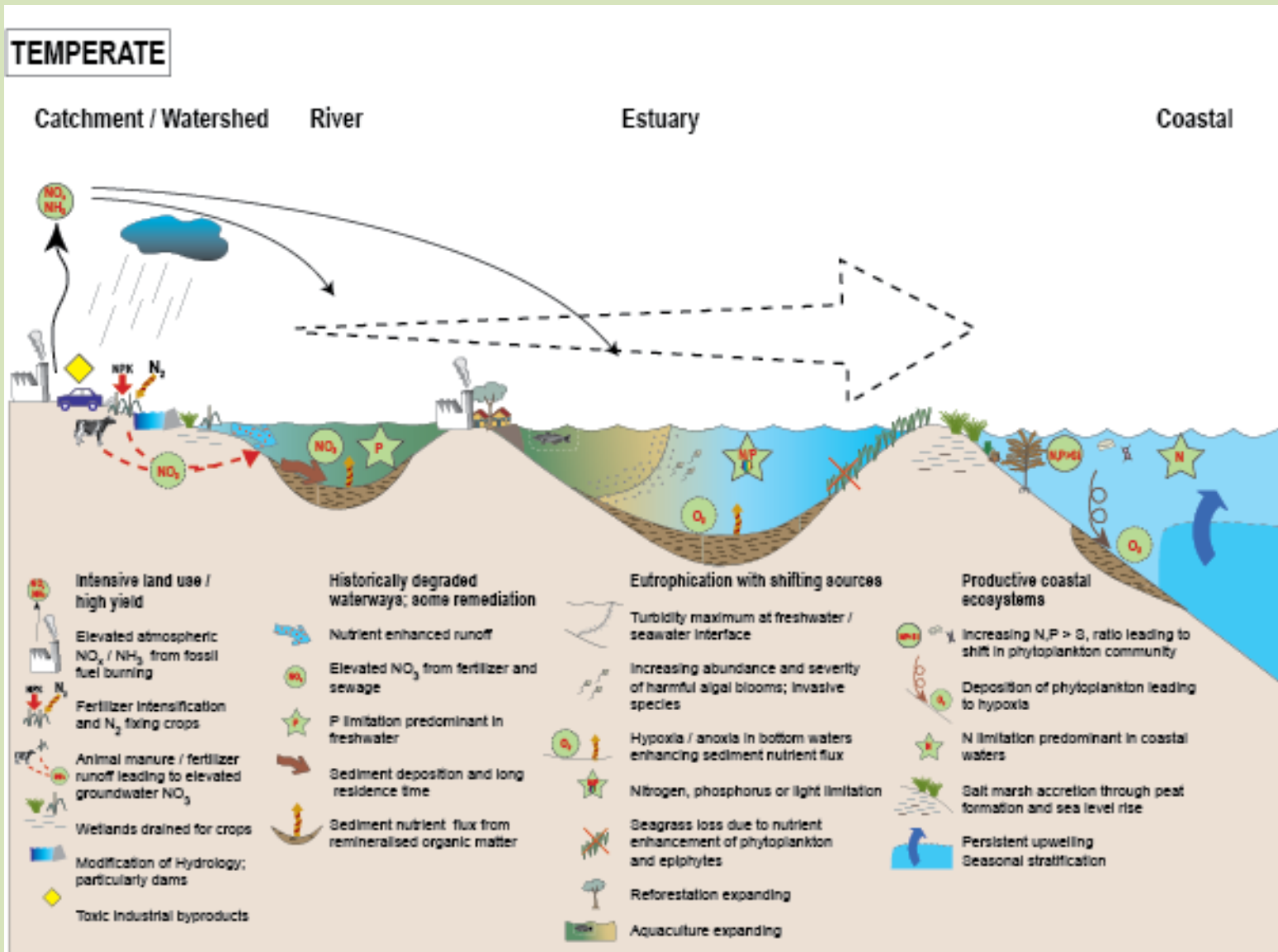
A área costeira e sua influência na plataforma continental

- A área marginal costeira apresenta elementos bioativos que são controlados por uma variedade de fatores físicos, biológicos, químicos e antropogênicos.
- A topografia de fundo e trocas da água com o continente (via estuários) e o oceano são os guias físicos desta ciclagem.
- Fatores externos como a temperatura, precipitação e vento, podem estar ativos em escala de dias a meses, produzindo estratificação sazonal, permanente ou misturas.
- Trocas da matéria entre ambientes marinhos semi-fechados e interfaces (como, a atmosfera, continente, rios, oceano e sedimentos) governam a biogeoquímica e a estrutura do ecossistema semi-fechado.
- Muitos destes processos relevantes para o ciclo biogeoquímico tem sido afetado pelas atividades humanas , seja diretamente ou através de mudanças climáticas.
- A extensão pela qual estes processos controlam o sistema biogeoquímico varia de acordo com a região, assim, são estes processos que caracterizam um sistema e que irão influenciar a plataforma continental adjacente.

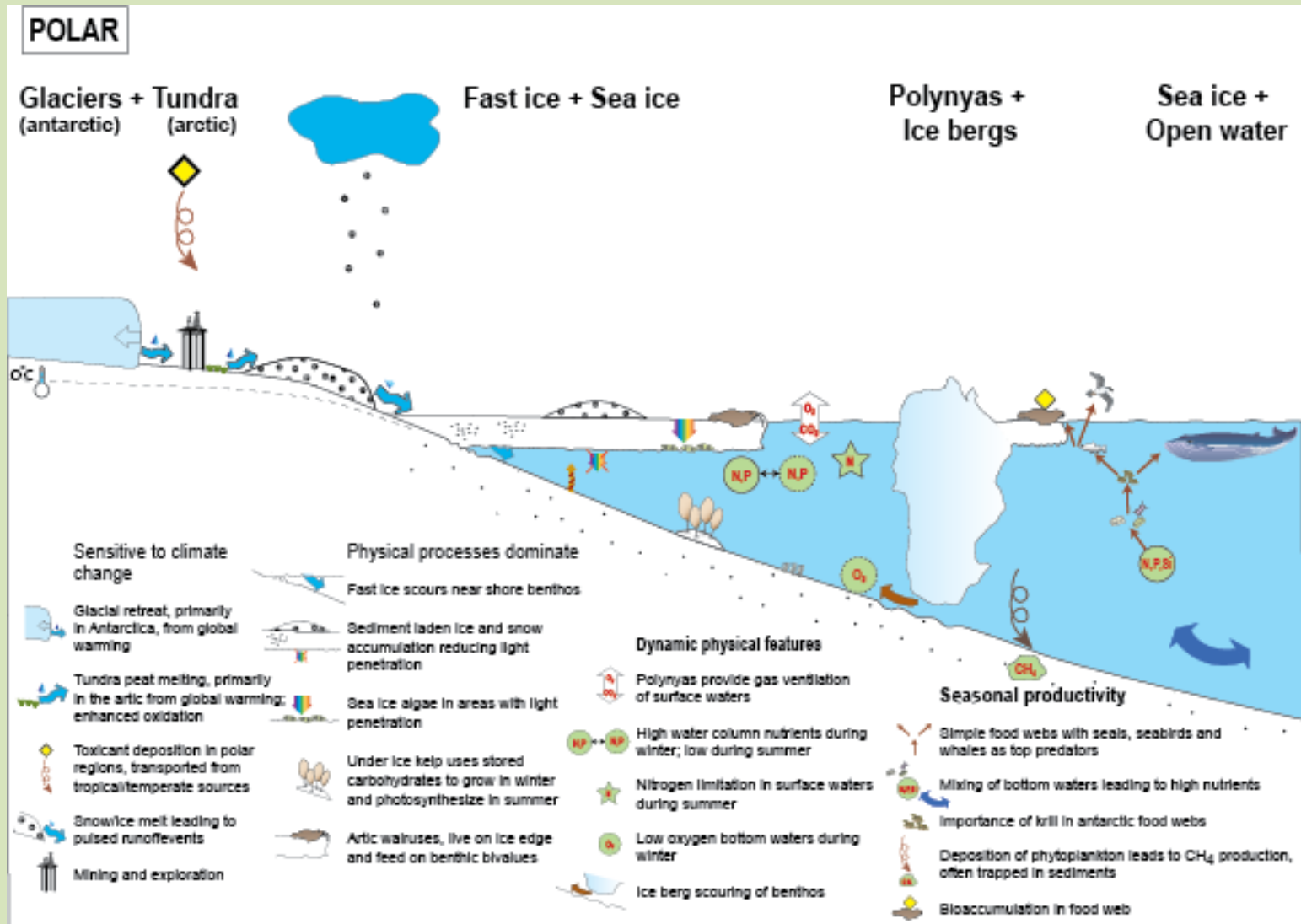
Contribuição continental na área tropical



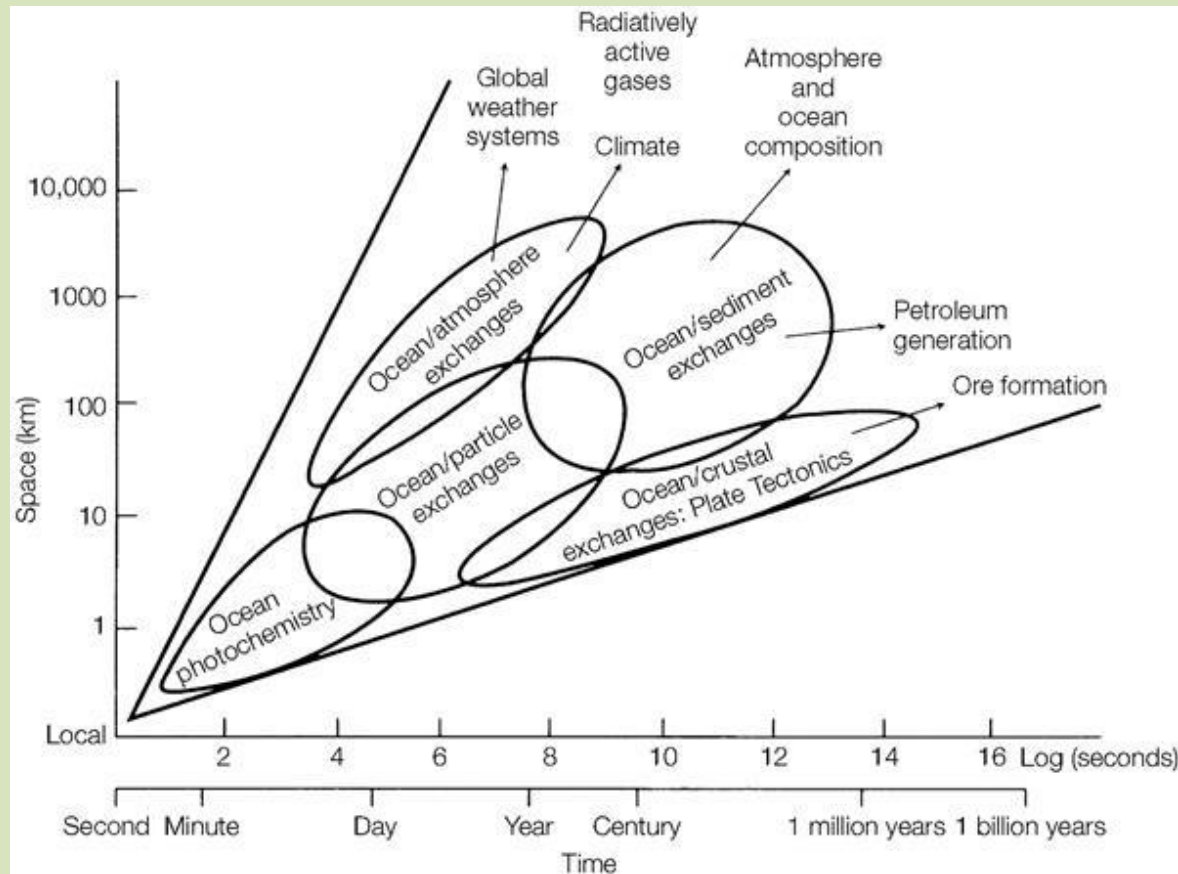
Contribuição continental na área temperada



Contribuição continental na área polar

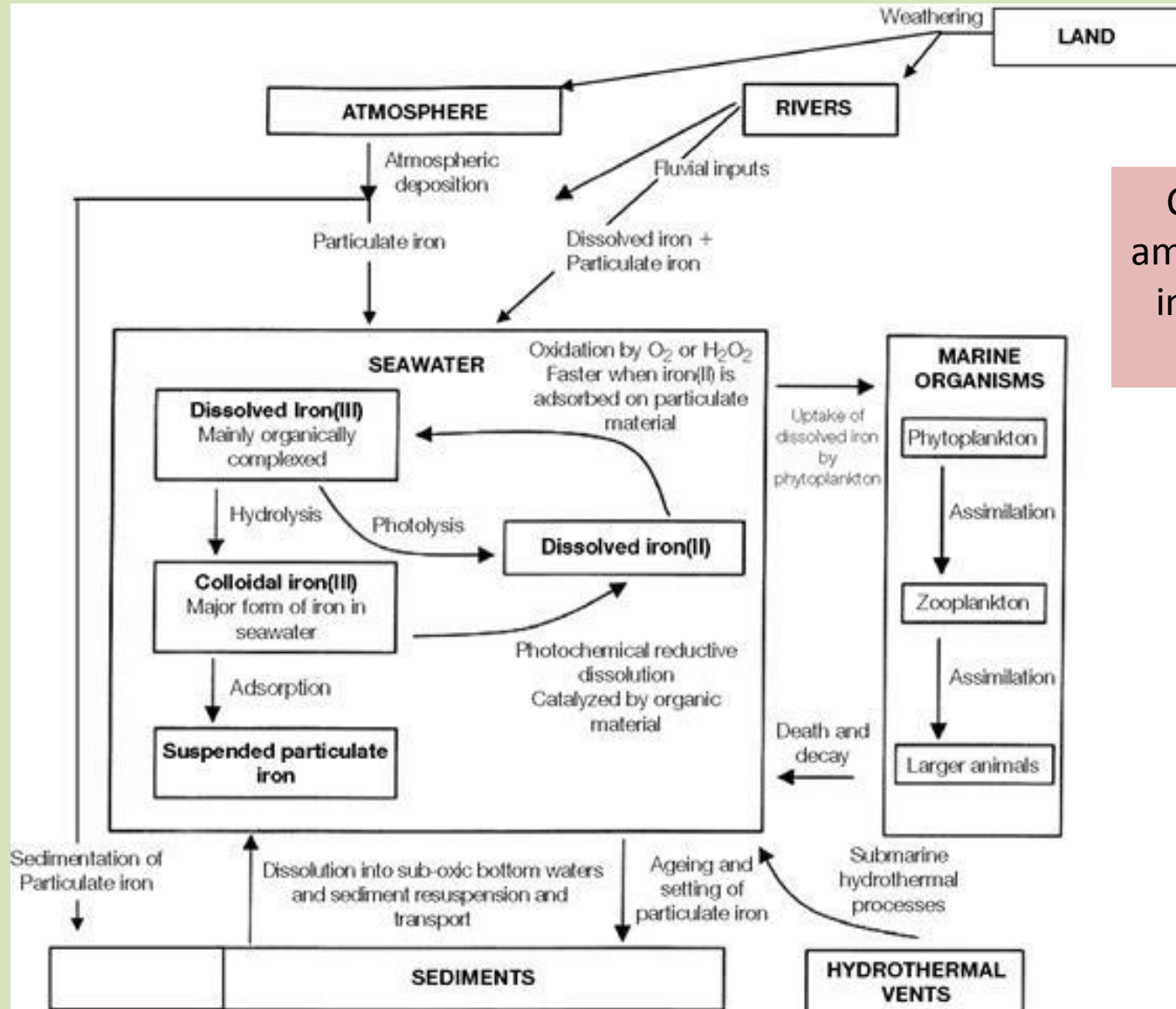


Fenômenos biogeoquímicos e físicos



Processos em escala temporais e espaciais na crosta terrestre-oceano-atmosfera
Libes (2009)

Exemplo da biogeoquímica do ferro



Ciclagem do Fe nos ambientes e complexas interações bióticas e abióticas.

Significantes contribuições de sedimento em suspensão e carbono orgânico dissolvido e particulado são transportados do continente para a plataforma continental.

Quanto de sedimento e carbono particulado proveniente do continente contribuem para a área costeira e oceano aberto?

Contribuição de sedimento em suspensão para os oceanos

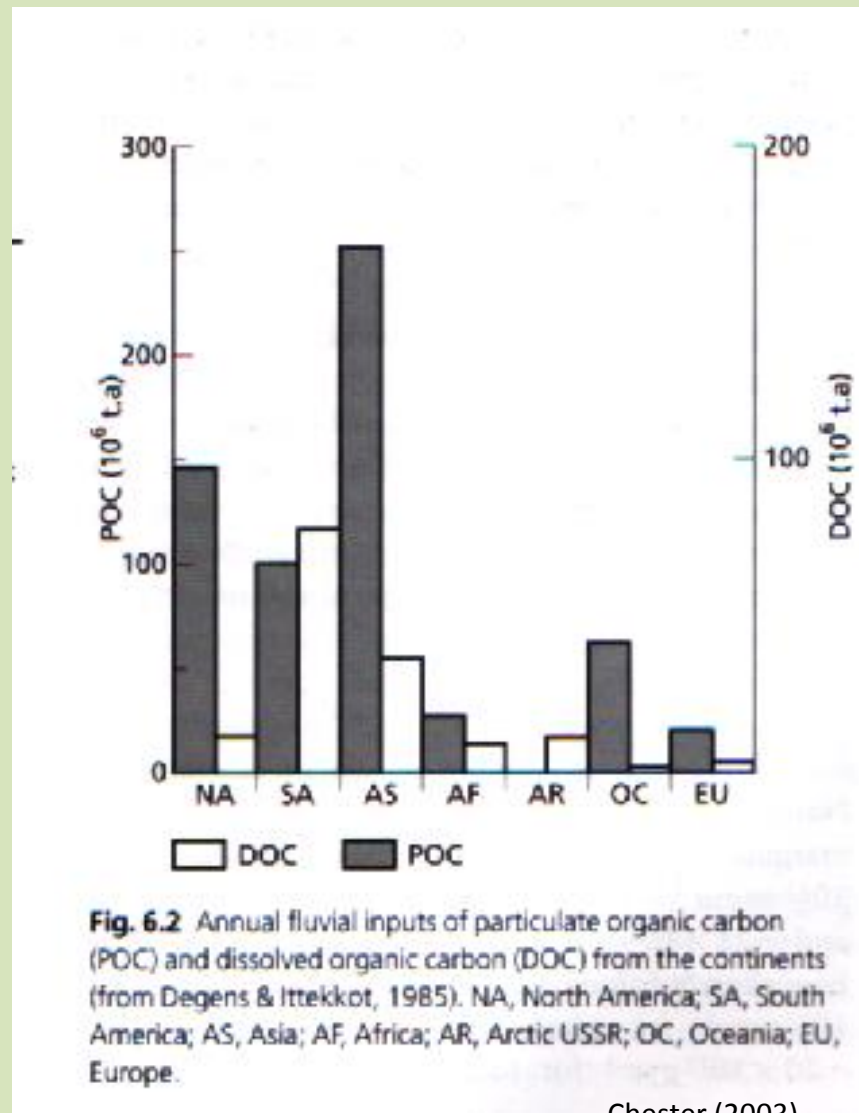
(a) Suspended sediment discharge from major rivers.

River	Annual suspended sediment discharge ($\times 10^6 \text{ t yr}^{-1}$)	
	1	2
Hwang Ho (China)	1890	1080
Ganges (India)	2180	1670
Brahmaputra (Bangladesh)		
Yangtze (China)	502	478
Indus (Pakistan)	440	100
Amazon (Brazil)	364	900
Mississippi (USA)	349	210
Irrawaddy (Burma)	300	265
Mekong (Thailand)	170	160
Red (North Vietnam)	410	—
Nile (Africa)	111	0
Zaire (Africa)	64	43
Niger (Nigeria)	4	40
St Lawrence (Canada)	4	4

(b) Suspended sediment discharge in the oceans by rivers from the continents.

Continental region	Drainage area (10^6 km^2)		Sediment discharge (10^6 t yr^{-1})		Sediment yield ($\text{t km}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)	
	1	2	1	2	1	2
North and Central America	20.48	17.50	1780	1462	87	84
South America	19.20	17.90	1090	1788	57	97
Europe	9.2	4.61	290	230	32	50
Eurasian Arctic	—	11.17	—	84	—	8
Asia	26.6	16.88	14480	6349	543	380
Africa	19.7	15.34	490	530	25	35
Australia	5.1	2.20	210	62	41	28
Large Pacific Islands	—	3.00	—	3000	—	1000

Contribuição anual de Carbono Orgânico Dissolvido (DOC) e Particulado (POC)



Fluxos de carbono orgânico dos rios no mundo

Table 6.7 Fluvial organic carbon fluxes to the World Ocean (data from Degens et al., 1991b).

Continent	Total discharge (km ³ yr ⁻¹)	Total suspended solids (x10 ¹⁵ g yr ⁻¹)	DOC (x10 ¹⁵ g yr ⁻¹)	POC (x10 ¹⁵ g yr ⁻¹)	TOC‡ (x10 ¹⁵ g yr ⁻¹)
South America	11 039	1.93	0.044	0.024	0.067
North America	5840	1.83	0.034	0.0145	0.042
Africa	3409	0.211	0.025	0.008	0.033
Asia	12 205	11.2	0.094	0.13	0.17
Europe*	2826	0.42	—	—	0.024
Total†	35 319	15.6	—	—	0.336

* Selected rivers. † Excluding Australia. ‡ Approximate values of total organic carbon.

Contribuição atmosférica e de rios para os oceanos no mundo

Table 6.19 Atmospheric versus fluvial deposition of elements to the World Ocean; units, 10^{12} g yr⁻¹ (data from Duce et al., 1991).

Element	Atmospheric input		Fluvial input	
	Dissolved	Particulate	Dissolved	Particulate
Fe	3.2×10^3	29×10^3	1.1×10^3	110×10^3
P	310	640	Total 300*	Total 300*
Ni	8–11	14–17	11	1400
Cu	14–45	2–7	10	1500
Pb	80	10	2	1600
Zn	33–170	11–60	6	3900
Cd	1.9–3.3	0.4–0.7	0.3	15
As	2.3–5.0	1.3–2.9	10	80

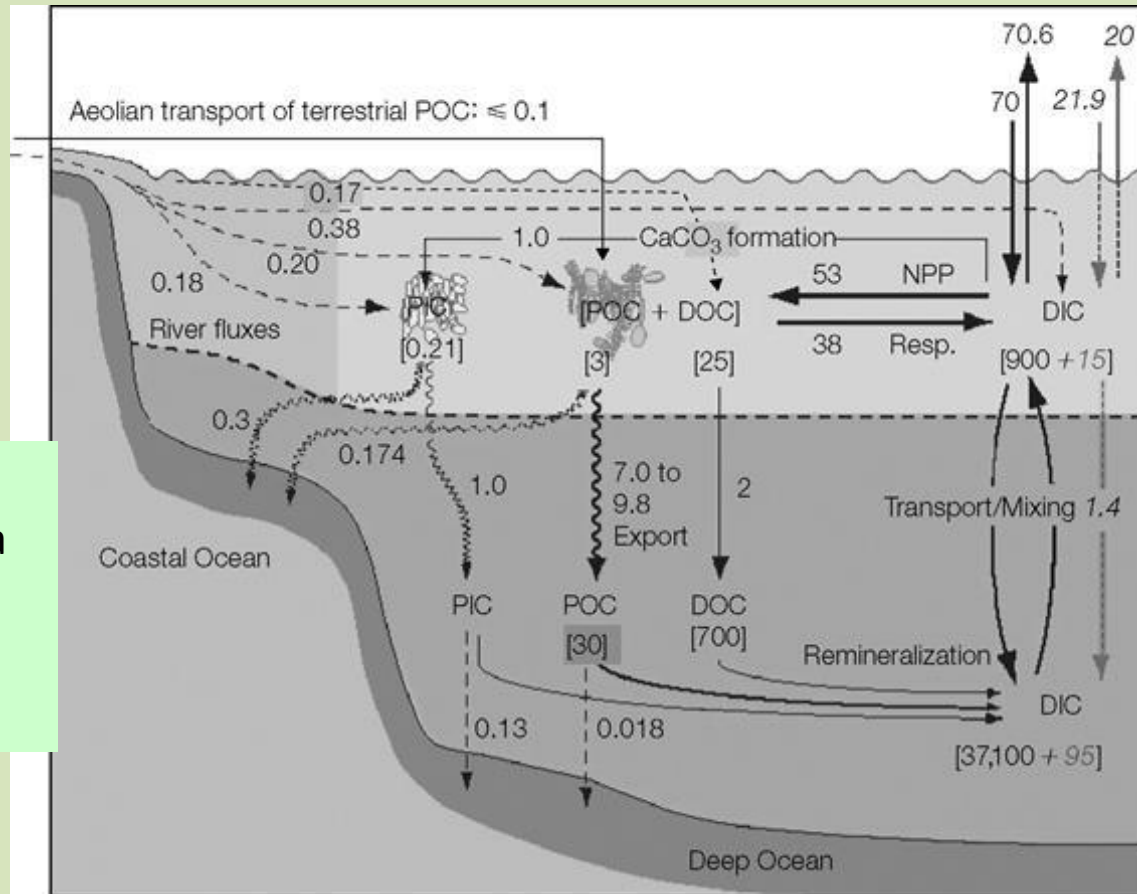
* Total P input to marine sediments.

Chester (2003)

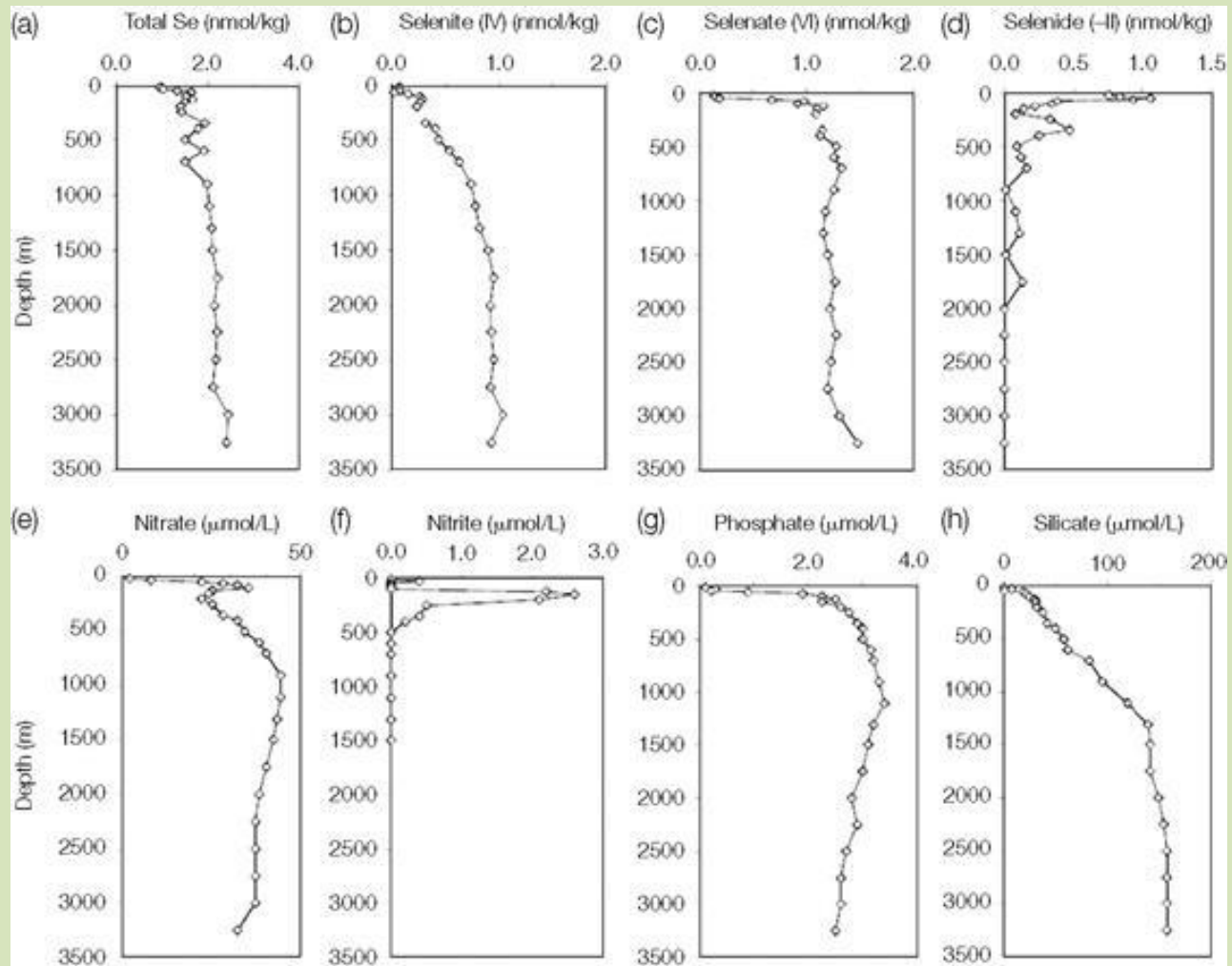
- As áreas costeiras marginais são constituídas de ecossistemas altamente diversos que podem assimilar, regenerar, transformar and/or remover carbon e elementos nutrientes de várias formas, dependendo das características locais.
- Ciclos do carbono, nitrogênio e fósforo são sujeitos a processos biogeoquímicos envolvendo reações de redução-oxidação (redox) e de especiação.

Ciclo do Carbono no oceano

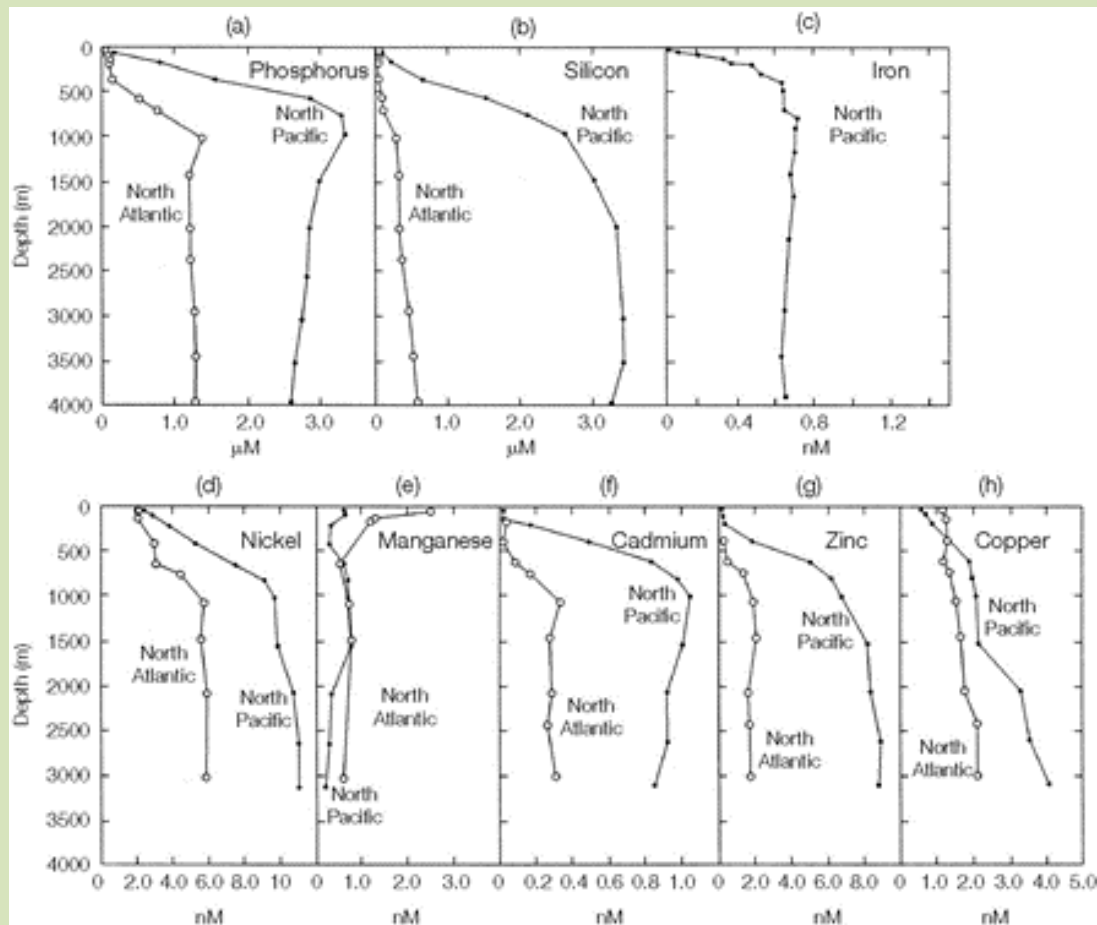
80 a 90% da matéria orgânica chegando ao sedimento é depositada na magem continental em profundidade abaixo de 1000 m.



Oceanic carbon cycle showing the preindustrial (black) and anthropogenic (gray) ocean-atmosphere and land-atmosphere exchange fluxes in units of Pg C/y. Anthropogenic fluxes are shown in italics and by the dashed arrows. Reservoir sizes (Pg C) are in brackets. Anthropogenic fluxes are average values for the 1980s and 1990s. This figure includes an estimate for PIC burial on the shelves, unlike Figure 25.1. Some values differ from those in Figure 25.1, reflecting scientific uncertainty. *Source:* After NOAA PMEL Carbon Group, Global Carbon Cycle, <http://www.pmel.noaa.gov/co2/gcc.html>, accessed Sept. 2008. Additional data sources as per Figure 25.1 plus: (1) riverine organic fluxes from Seitzinger, S. P., et al. (2005) *Global Biogeochemical Cycles*, 19, GB4S01, (2) detrital POC flux from Mackenzie, F. T., and A. Lerman (2006). *Carbon in the Geobiosphere*. Springer-Verlag, p. 9, and (3) aeolian POC flux from Hedges, J. I. and R. G. Keil (1995) *Marine Chemistry* 49. 81–115, and Chester, R. (2003) *Marine Geochemistry*, 2nd ed., Blackwell Publishing, p. 68 and 219.



Vertical concentration profiles of (a) total dissolved Se, (b) selenite $\text{Se(IV)O}_2\text{-3}$, (c) selenate $\text{Se(VI)O}_2\text{-4}$, (d) selenide (-II), (e) nitrate, (f) nitrite, (g) phosphate, and (h) silicate in the North Pacific. *Source:* From Cutter, G. A., and K. W. Bruland (1984). *Limnology and Oceanography*, 29 1179–1192.



Concentration profiles from the North Atlantic and North Pacific: (a) phosphorus, (b) silicon, (c) iron, (d) nickel, (e) manganese, (f) cadmium, (g) zinc, and (h) copper. *Source:* From Morel, F. M. M., and J. G. Hering (1993) *Principles and Applications of Aquatic Chemistry*. John Wiley & Sons, p. 406. Data sources: Bruland, K. W., and R. P. Franks (1983). *Trace Metals in Seawater* pp. 395–414, C. S., Wong, *et al.* Plenum Press and Bruland, K. W. (1980). *Earth and Planetary Sciences Letters*, 47, 176–198.

Contribuições para a Plataforma Continental do Sul do Brasil:

- a) contribuições continentais oriundas de descargas superficiais;
- b) intrusão de massas de água ricas em nutrientes;
- c) o processo de ressurgência; e
- d) os locais onde possa ocorrer a advecção de águas subterrâneas.

Contribuições de elementos provenientes do encontro de correntes e aumento da produtividade na área.

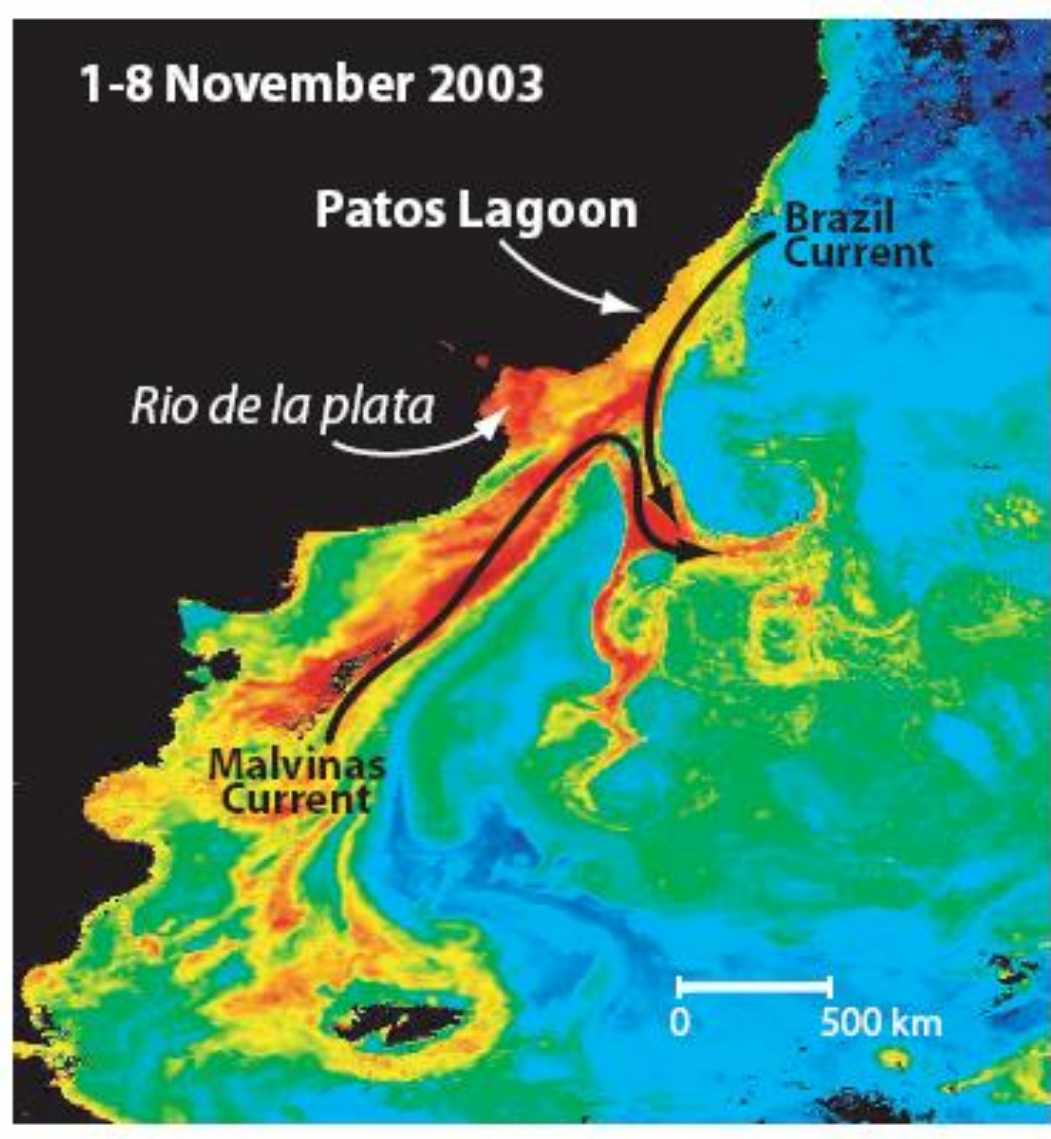


Figure 1: Weekly averaged SeaWiFS chlorophyll image of the Southwestern Atlantic Ocean Margin (ca. 28-55° S), MODIS ocean color image showing chlorophyll along the frontal zone of the Brazil-Malvinas Confluence. Image provided by the SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center and ORBIMAGE. Distance scale is approximate. Current locations are only approximate.

Estudos na plataforma do RS

Levantamento de dados físico-químicos existentes na plataforma continental

3. COMPOSIÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA E SEUS POTENCIAIS PRODUTIVOS NA ÁREA ENTRE O CABO DE SÃO TOMÉ (RJ) E O CHUÍ (RS)

Elisabete S. Braga e Luis Felipe H. Niencheski

[Colaboradores: João Carlos Cattini Maluf (IOUSP), Rosuita Helena Roso (DHN) e Clarissa Del Rosso Barbosa (FURG)]

INTRODUÇÃO

Na região de estudo (Fig. 1), a plataforma interna é ocupada pela Água Costeira (AC), a qual está sujeita aos processos de mistura causados pelo vento e correntes de maré, muitas vezes apresentando características homogêneas quando a influência continental é reduzida. A formação de uma frente térmica de fundo separa a plataforma interna da plataforma intermediária. A posição da frente térmica muda sazonalmente, estando mais próxima da costa no verão e mais afastada no inverno. A diferença de temperatura é bastante pronunciada na frente durante o verão, quando uma termoclina pouco profunda ocorre e se identifica a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na camada inferior. As águas da plataforma intermediária são separadas daquelas da plataforma externa por uma frente salina pouco profunda. Águas mais salinas são características da Água Tropical (AT) e estão presentes na camada superior do domínio externo da plataforma, onde existe forte influência da ACAS nas camadas inferiores.

As características termohalinas das massas de água na costa sudeste-sul do Brasil apresentam amplitudes significativas de variação, sobretudo em função da sazonalidade e dinâmica das mesmas. Com isso, as variações das características químicas dessas massas acompanham suas mudanças físicas e biológicas.

Um mecanismo que contribui para a estrutura da termoclina na costa sudeste-sul do Brasil é a variação sazonal da direção e intensidade dos ventos. Durante o verão, a direção predominante dos ventos pertence ao primeiro quadrante (E-N), com o componente paralelo à costa soprando de nordeste para sudoeste.

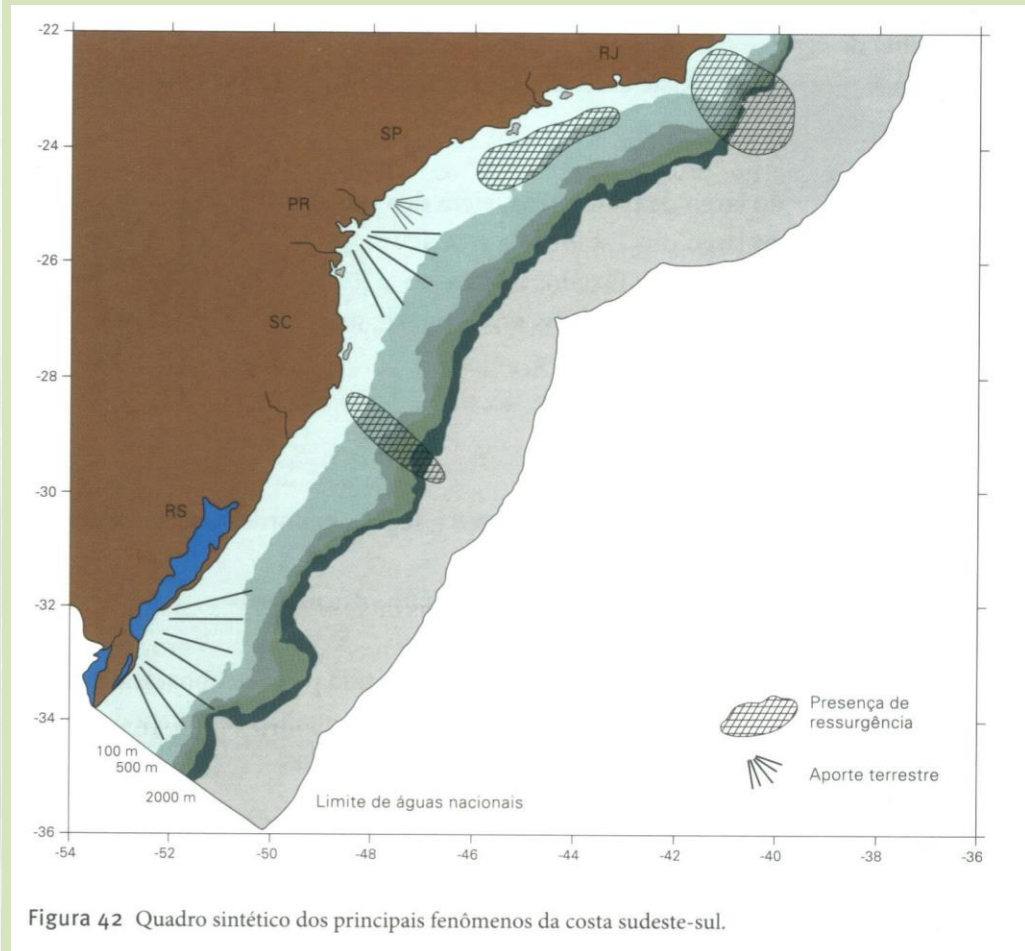
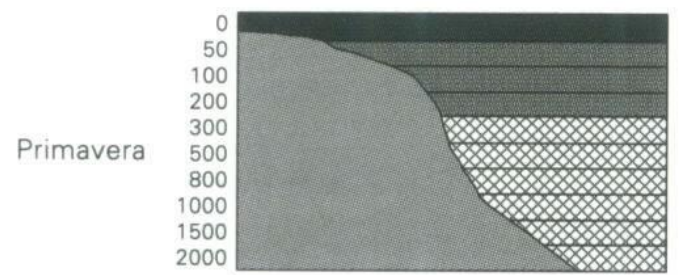
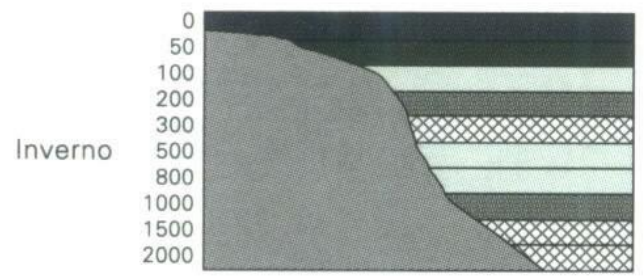
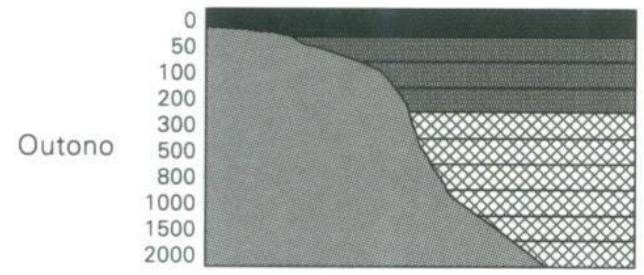
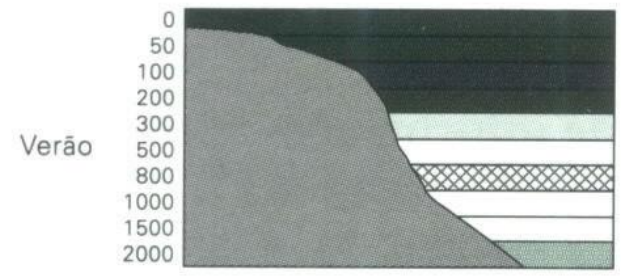
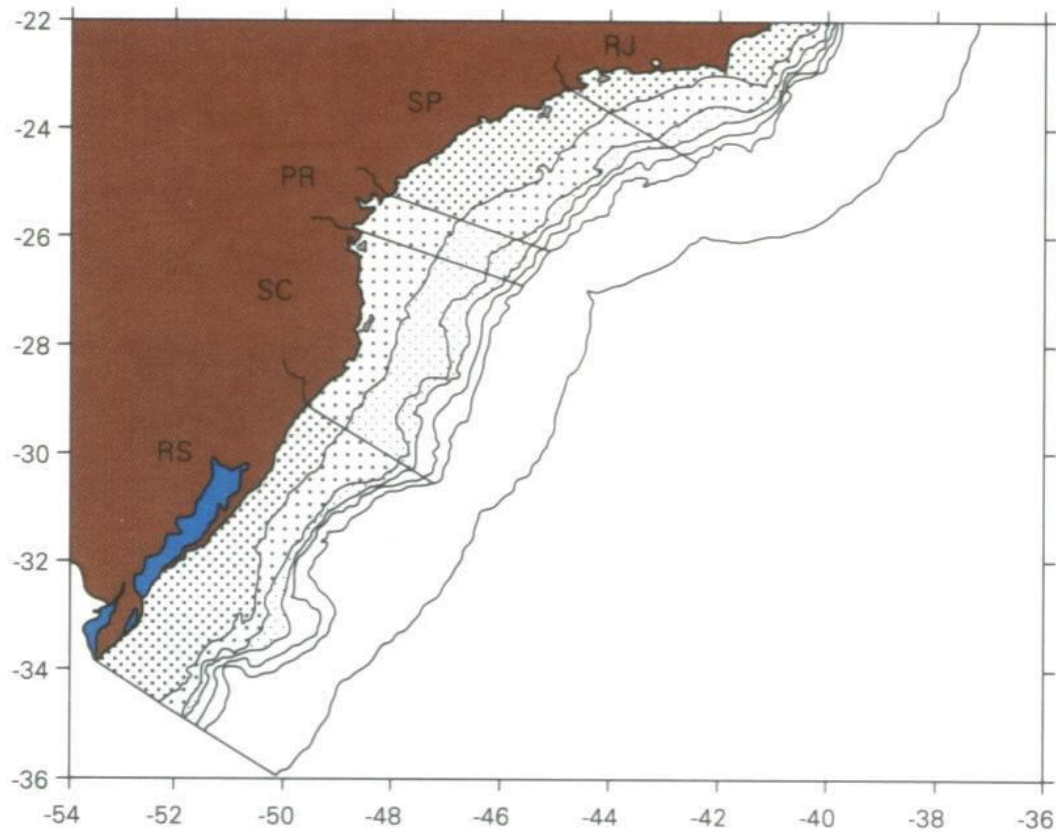


Figura 42 Quadro sintético dos principais fenômenos da costa sudeste-sul.

Silica Reativa



- Silicato (μM)
- 3.60 – 4.20
 - 4.21 – 4.60
 - 4.61 – 4.80
 - 4.81 – 5.00
 - 5.01 – 5.20
 - 5.21 – 5.40
 - ▣ Não disponível

Figura 37 Síntese de informações sazonais e de disponibilidade de dados de sílica reativa.

Fosfato

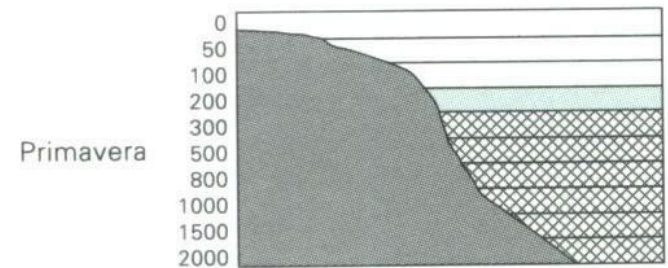
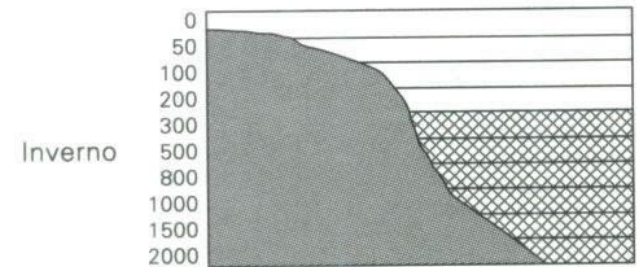
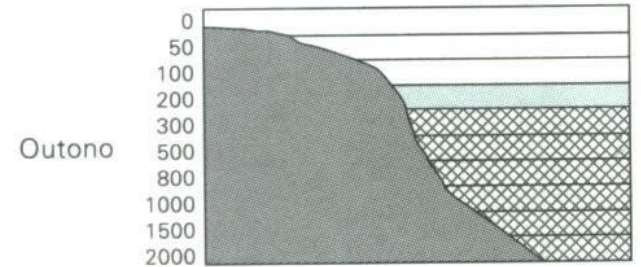
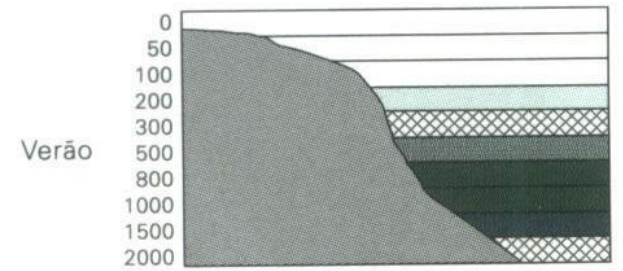
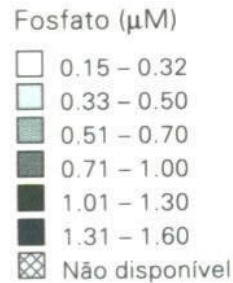
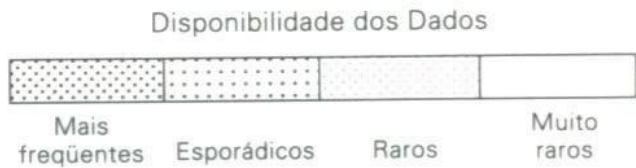
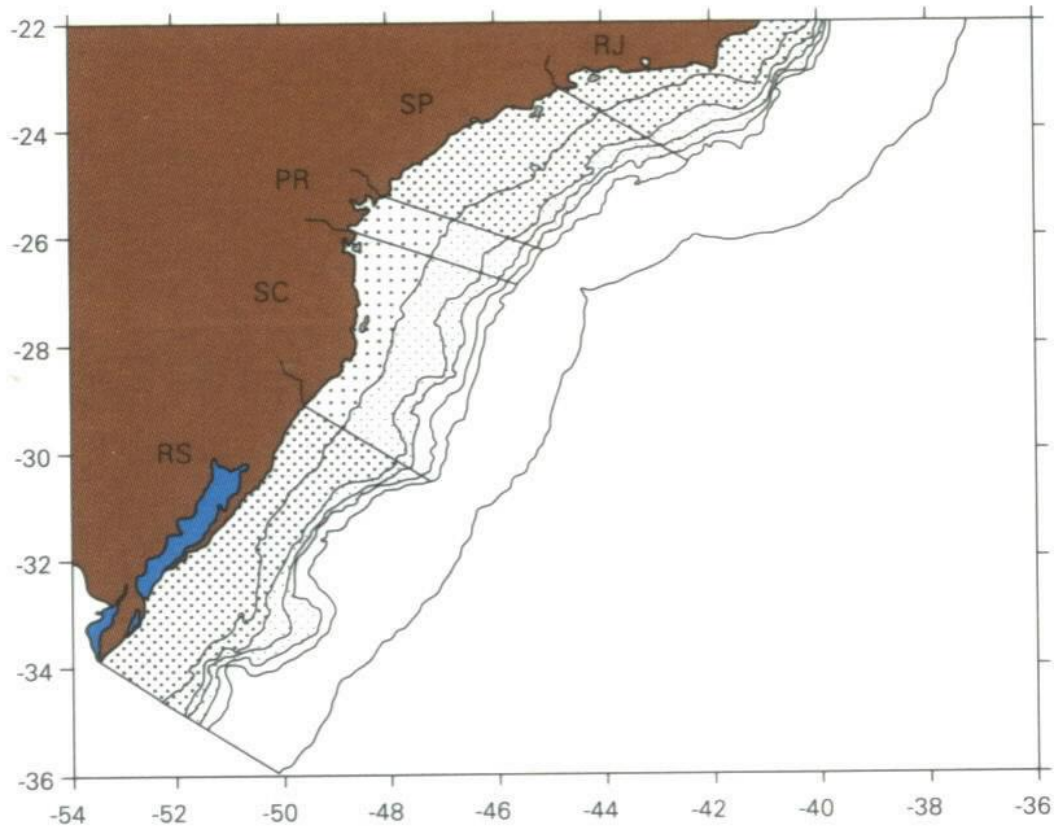


Figura 38 Síntese de informações sazonais e de disponibilidade de dados de fosfato.

Nitrato

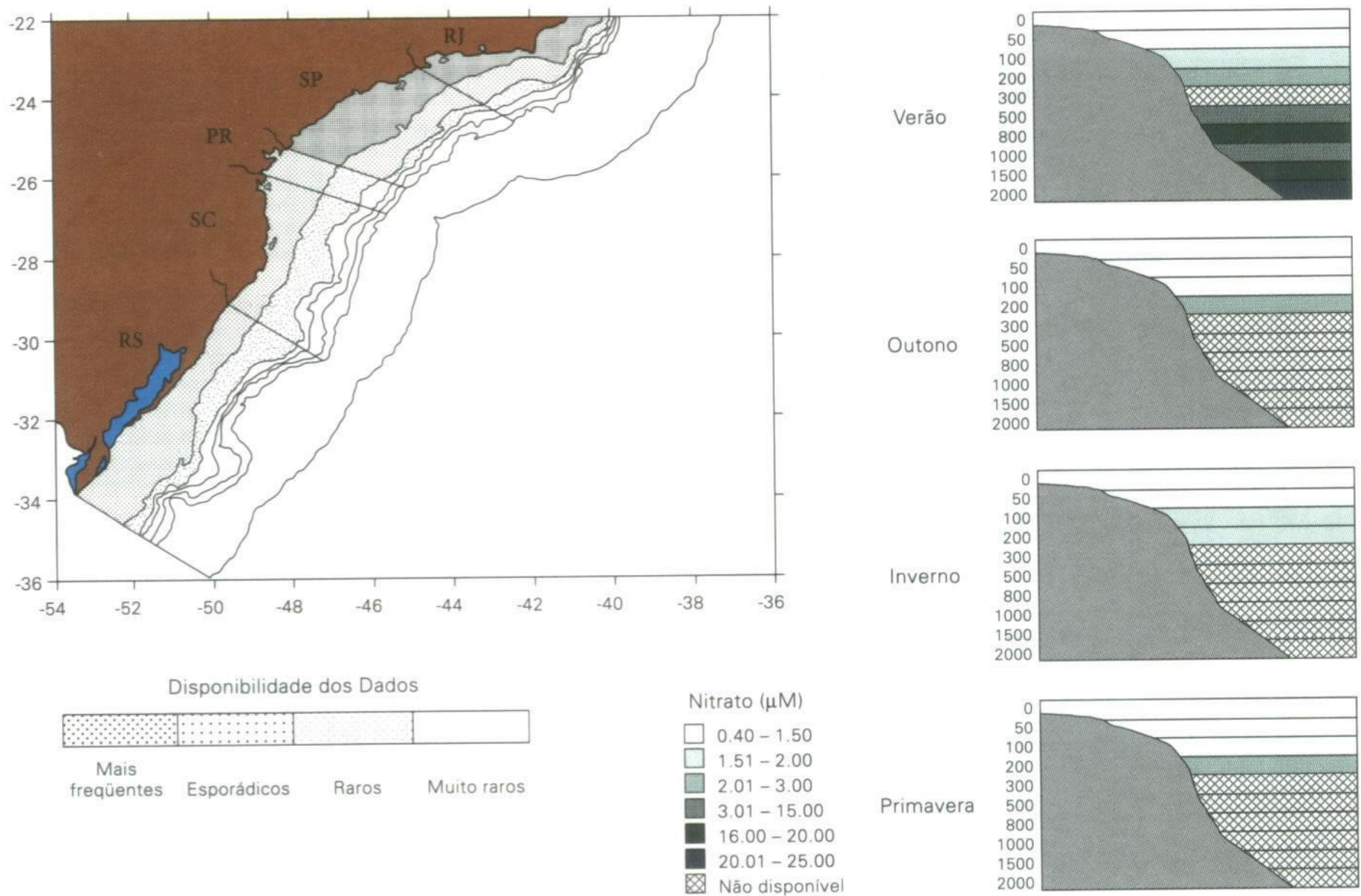


Figura 39 Síntese de informações sazonais e de disponibilidade de dados de nitrato.

Nitrito Dissolvido

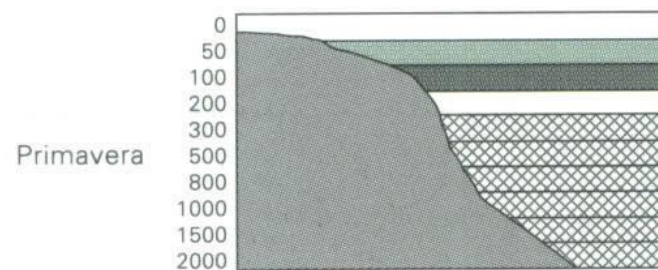
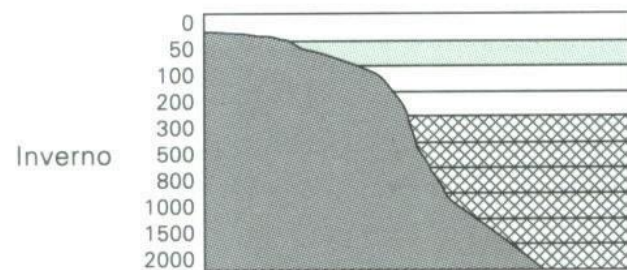
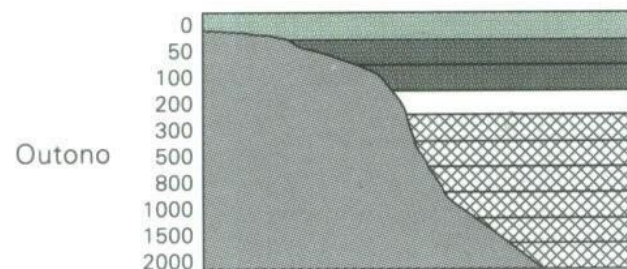
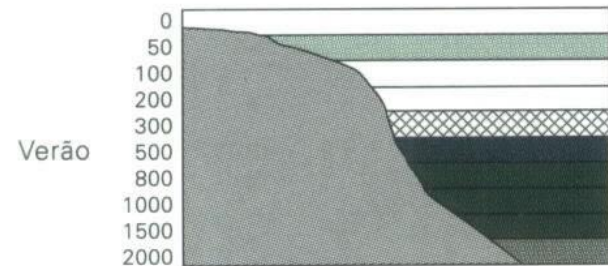
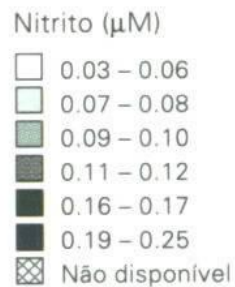
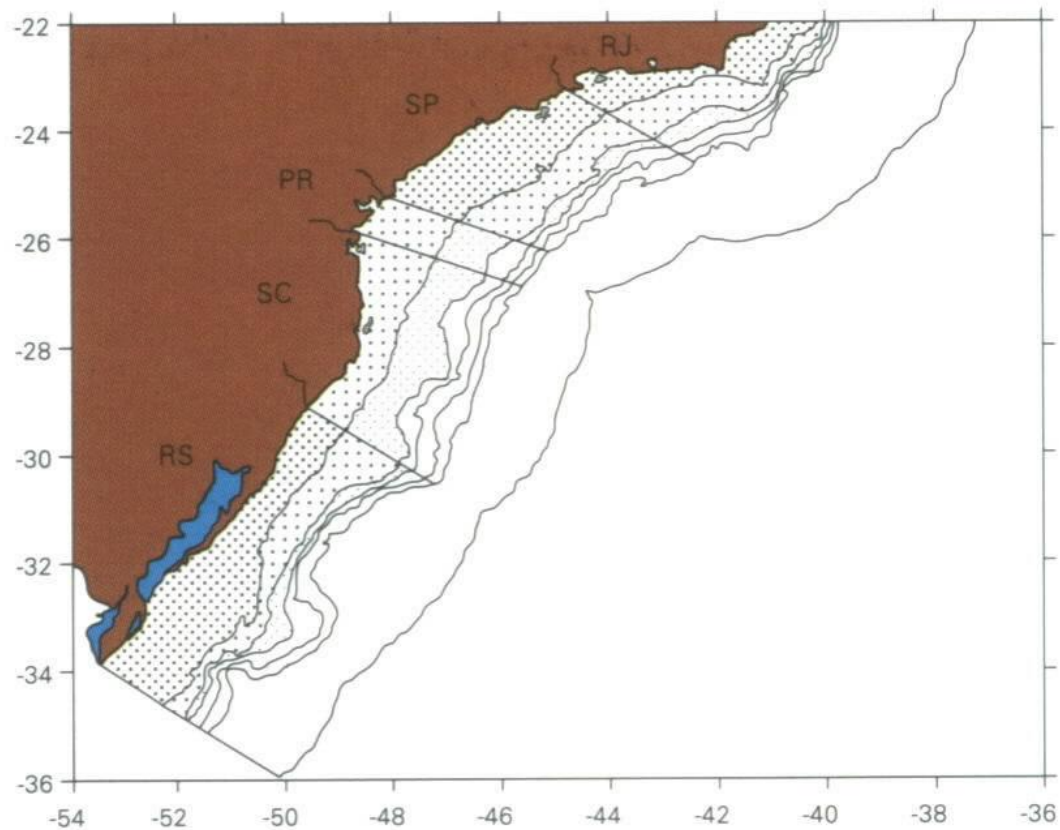


Figura 40 Síntese de informações sazonais e de disponibilidade nitrito.

Fósforo Total

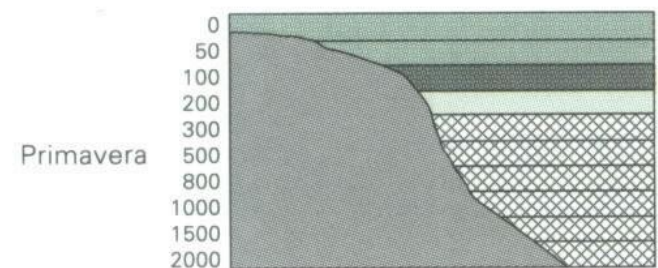
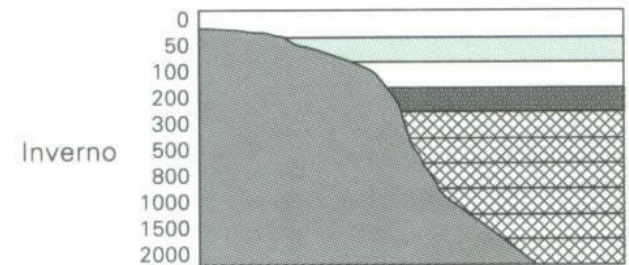
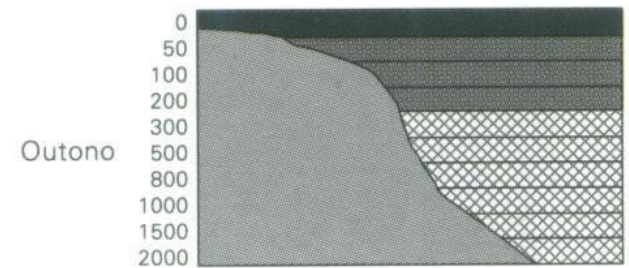
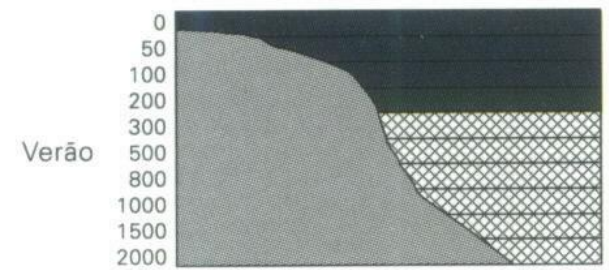
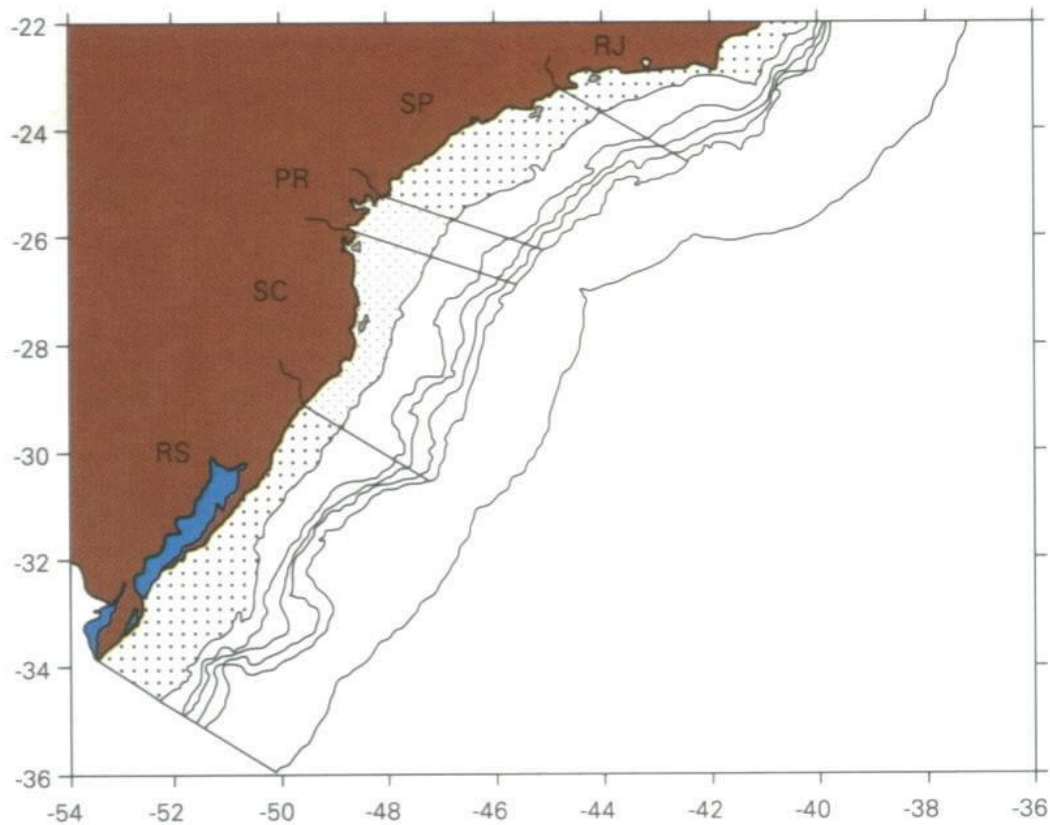


Figura 41 Síntese de informações sazonais e de disponibilidade de fósforo total.

Programa ECOPEL

HIDROQUÍMICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO SUL DO BRASIL: CARACTERIZAÇÃO E VARIABILIDADE SAZONAL

Oc. Márcio Ferreira Lopes (dissertação)

Orientador: Dr. Luis Felipe Hax Niencheski

**“ VARIAÇÃO SAZONAL DE NUTRIENTES
INORGÂNICOS DISSOLVIDOS NA
PLATAFORMA DO RIO GRANDE DO SUL
(31°40’S – 33°40’S) E SUA RELAÇÃO COM AS
MASSAS DE ÁGUA”**

Área de estudio



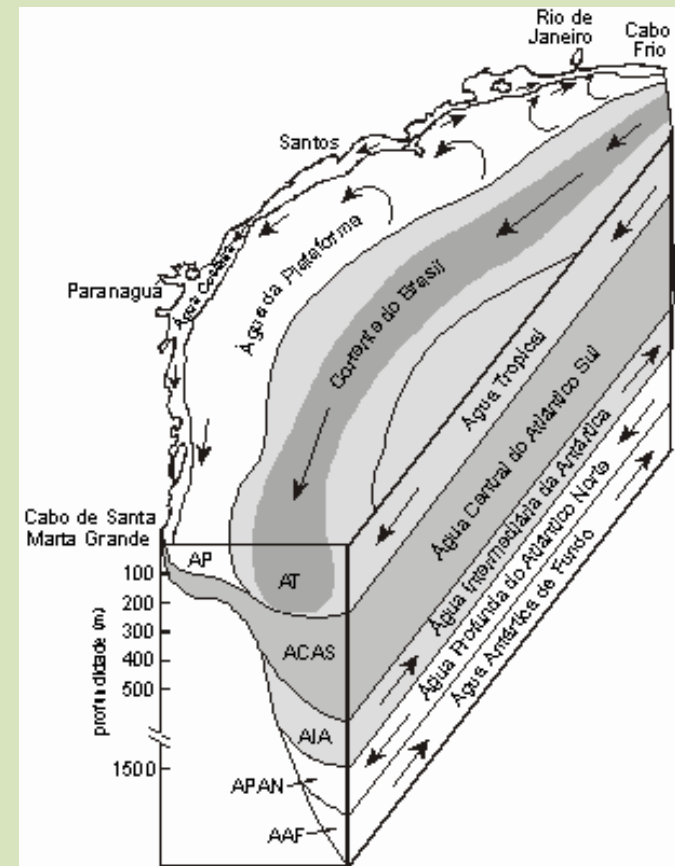
Estudos realizados na plataforma continental do extremo sul do Brasil mostram a presença de quatro massas de água características:

Água Costeira (AC)

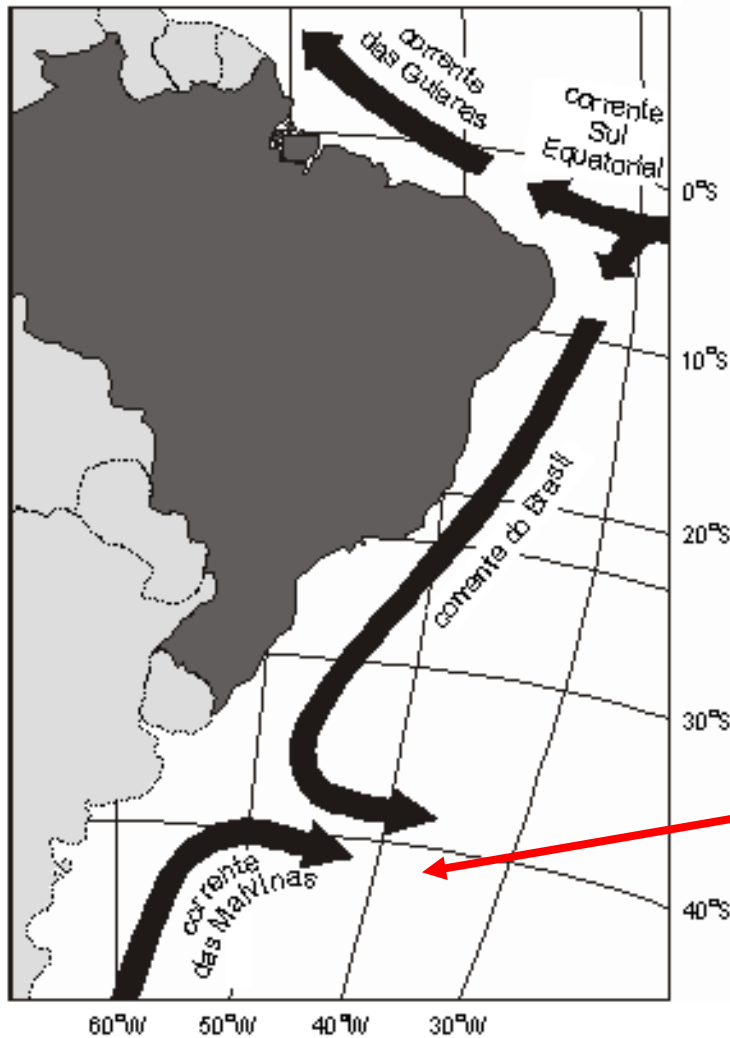
Água Tropical (AT)

Água Subantártica (ASA)

Água Subtropical (AST)



PADRÕES DE CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS DO SUL DO BRASIL



**Convergência
Subtropical
(Malvinas ↔ Brasil)**

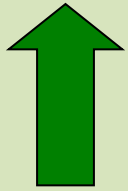
- **MEANDROS (formam vórtices ciclônicos)**
- **BOLSÕES DE NÚCLEOS QUENTES**
- **PROCESSOS DE RESSURGÊNCIAS**

↑ COMPLEXA HIDROGRAFIA

↑ APORTES CONTINENTAIS (Rio da Prata e Lagoa dos Patos)

↑ ALTA PRODUTIVIDADE BIOLÓGICA
(FITOPLÂNCTON, ZOOPLÂNCTON,
CEFALÓPODES, PEIXES, ...)

↑ IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA E ECONÔMICA



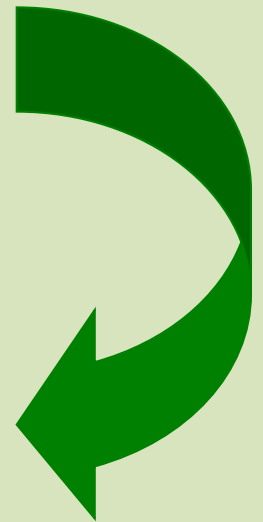
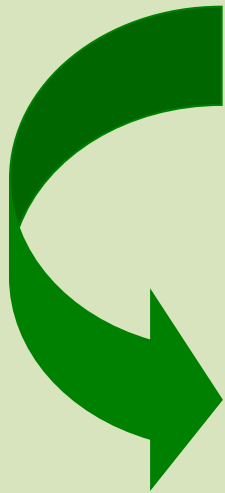
Produção Primária Fitoplanctônica

- ✓ transporte em direção ao norte, das águas de origem subantártica
- ✓ aporte continental
- ✓ Processos de Ressurgência da Água Subtropical (AST= ACAS)

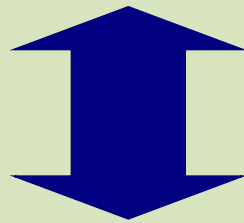
O padrão de distribuição da concentração de *clorofila a* e das taxas de produção primária

apresentam variações sazonais (espacial e temporal)

Diferentes massas de água



Processos meteorológicos de larga escala, como o *El Niño*, que pode causar variações interanuais nas características hidrográficas como resultado das diferenças nas taxas de precipitação pluviométrica



Variando o aporte continental

↑ **Aporte Continental**

↑ **Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos**

(AMÔNIO , NITRITO, NITRATO,
FOSFATO E SILICATO)

[NUTRIENTES]

VARIAM NAS DIFERENTES MASSAS DE ÁGUA, E EM FUNÇÃO:

- ✓ **Aportes continentais (↑)**
- ✓ **Processos de oxidação da matéria orgânica (remineralização interna) (↑)**
- ✓ **Processos de Ressurgência (↑)**
- ✓ **trocas entre a interface sedimento-coluna d'água (↓↑)**
- ✓ **trocas entre a interface oceano-atmosfera (↓↑)**
- ✓ **taxas de assimilação pela biota (↓)**

Água Subtropical - AST (ACAS)

(Caracterizada por apresentar altas [] de nutrientes)

↓ **baixas taxas de assimilação**

↑ **acumulação de nutrientes ao longo do seu deslocamento em altas profundidades (remineralização interna da matéria orgânica)**

Água Sub-tropical (AST) = PROCESSOS DE RESSURGÊNCIA (2 TIPOS) **(Lima & Castello, 1995)**

Ressurgências de AST profunda na região costeira (primavera/verão)

Ressurgências de AST profunda na quebra do talude (inverno/primavera) Mais importante!!!

AT (Água Tropical)

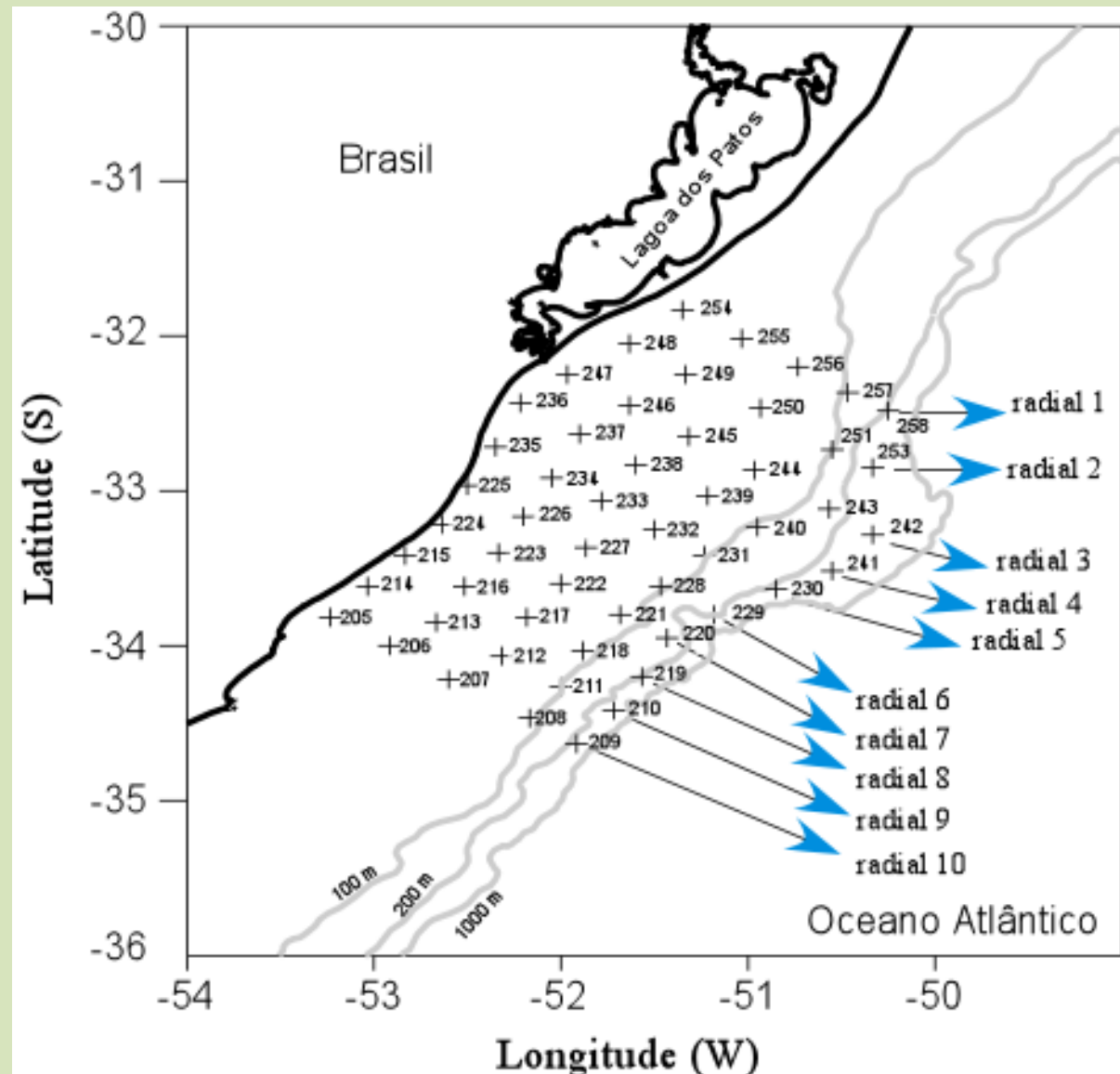
A mais pobre (nutrientes) de todas as massas de água presentes ao longo da plataforma continental do extremo sul do Brasil (**Ciotti, 1990; Fillmann, 1990; Sales Dias, 1994; Del Rosso, 2000**)

O estudo dos parâmetros físico-químicos além de ajudar a explicar variações na produção biológica, podem melhorar a compreensão dos processos de mistura das águas.

Totalizando 53 estações de coleta, numa série de 10 perfis perpendiculares à costa, entre as isóbatas de 15 e 500 m.

✓ A Distância entre as estações foi de aproximadamente 20 milhas náuticas

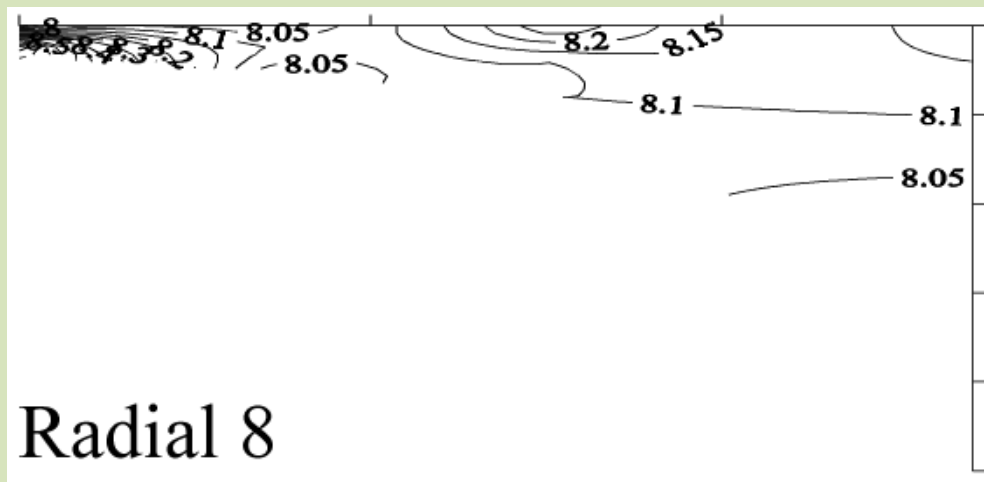
✓ A distância entre os perfis foi de 15 milhas náuticas



Primavera: (\uparrow pH) costa e porção sul

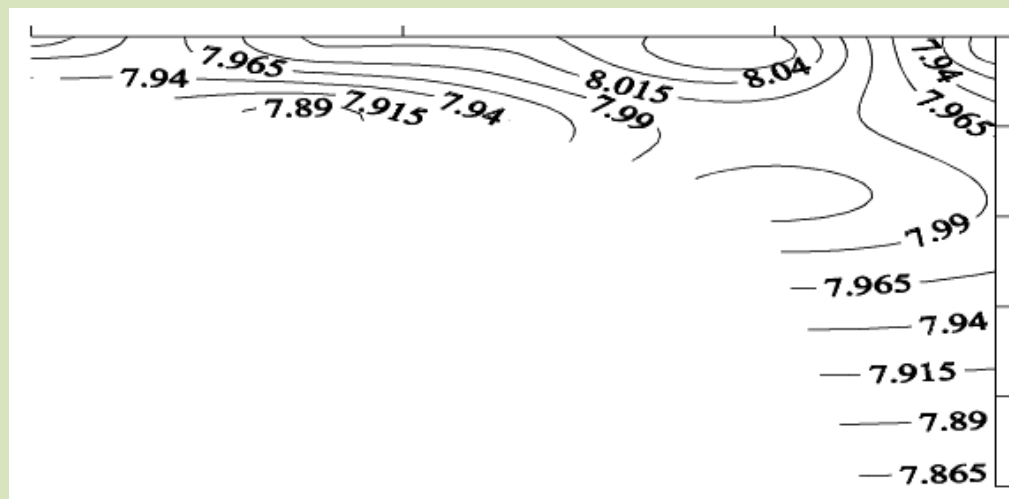
**influência da ASA
(sul) + fotossíntese
(alta nesta época)**

**Apesar das \uparrow aportes
continentais, nesta
estação, as taxas de
fotossíntese foram
bem elevadas**



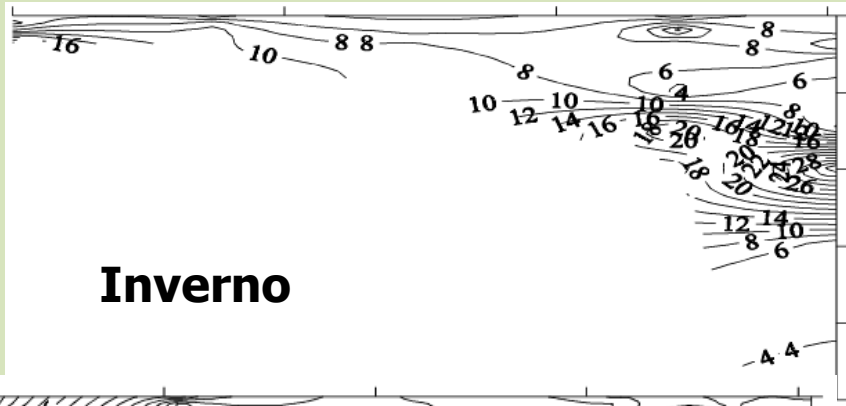
Verão: menores valores

**AST - Camadas
prof. (oxid.mat.org)**



Material em suspensão

Responde: aporte continental e ressuspensão de material do fundo (Fillmann, 1990; Sales Dias, 1994)



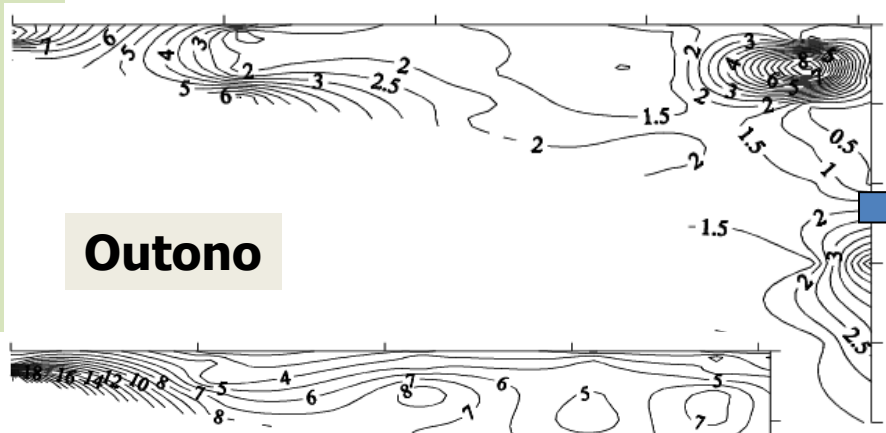
Inverno

**Maiores concentrações
Aporte cont. (área costeira)**

Núcleo MS radial 10

Água de mistura

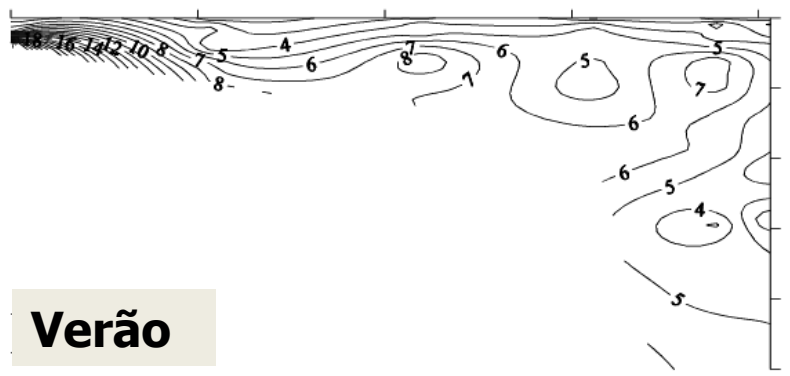
AC + AST



Outono

Baixas concentrações, apesar ↑ pluv.

**Núcleo de alta concentração
Frente de quebra de plataforma
(AC e AT)**



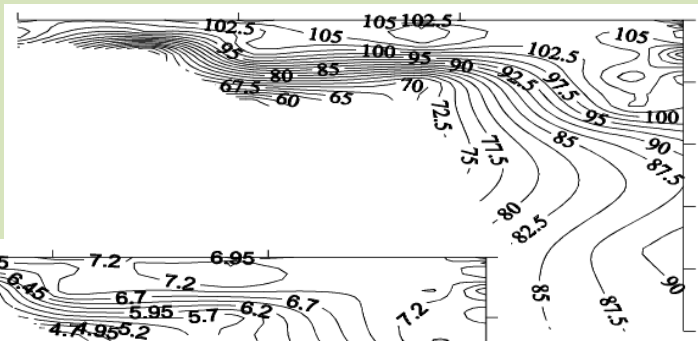
Verão

**Reflete influência do aporte continental,
Menor concentração em áreas oceanicas**

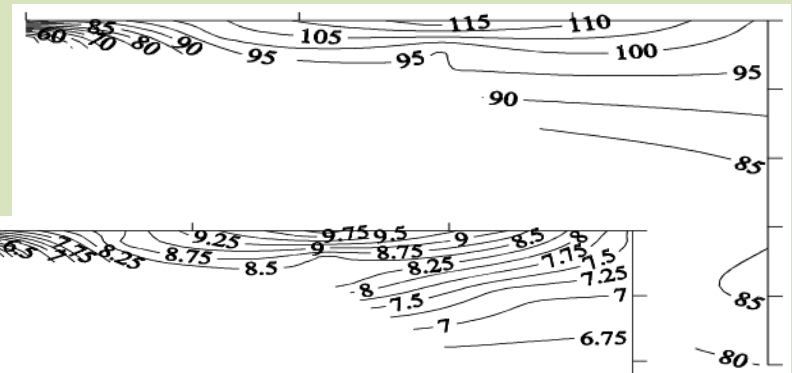
Primavera

[OD] / % sat > primavera do que no verão

Hipótese do Metabolismo Heterotrófico na primavera (cadeia trófica baseada em detritos, MOD e MOP)



verão



primavera

Nitrogênio Inorgânico dissolvido (NID)

A forma predominante foi o nitrato, apresentando as menores concentrações na primavera

O amônio só foi mais elevado na primavera

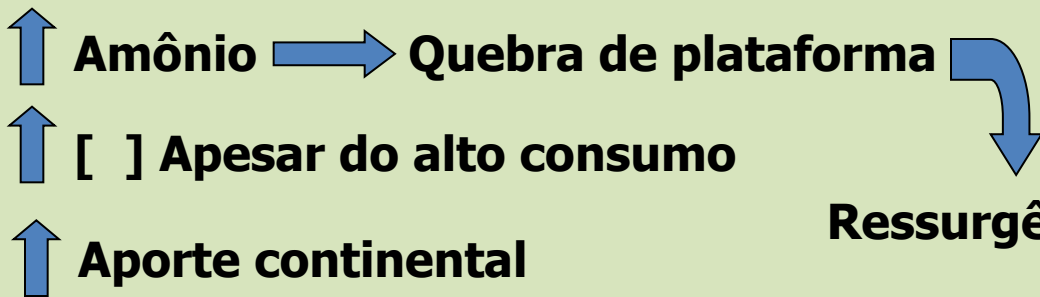
(↑ produção velha ↑ metabolismo heterotrófico)

Evidência de aporte continental fortemente indicado pelas altas concentrações, nas áreas próximas à costa

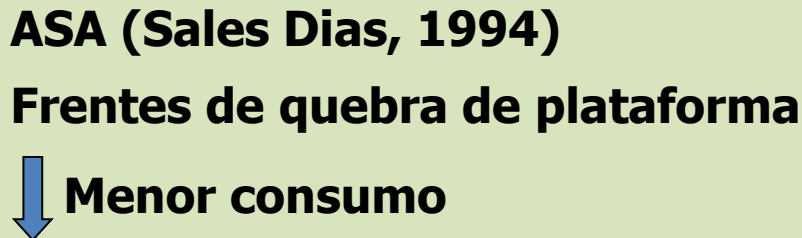


Aumento dos aportes antrópicos, em função do aumento de lançamentos de efluentes domésticos, industriais, portuários, enfim, associados ao drástico crescimento populacional que as regiões costeiras estão sofrendo (Kennish, 1997; Cruzado *et al.*, 2002)

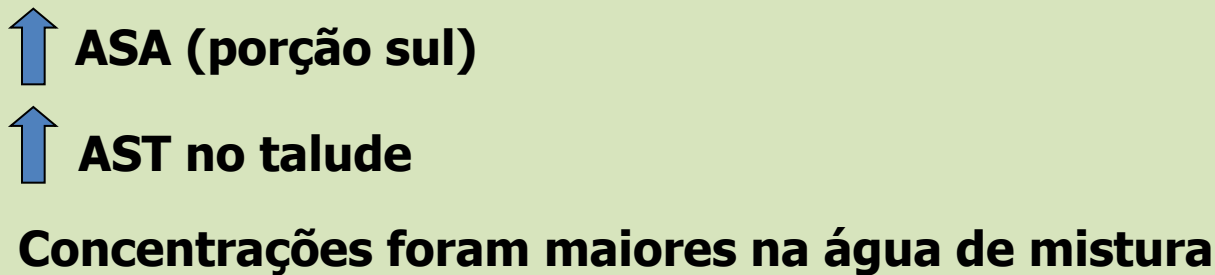
Primavera



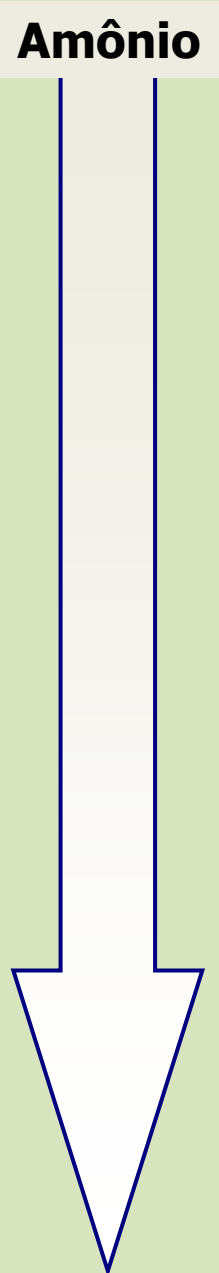
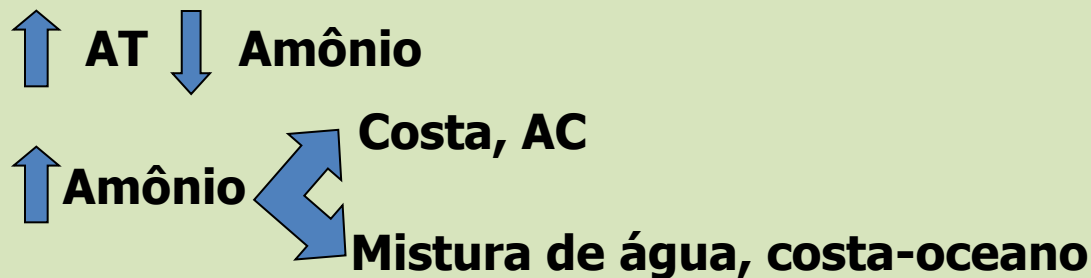
Outono



Inverno



Verão



NITRATO

↑ COSTA

- (APORTE CONTINENTAL)

↑ REGIÕES MAIS PROFUNDA

- Sul (ASA, plataforma)
- Norte (**AST**, abaixo da quebra da plataforma)

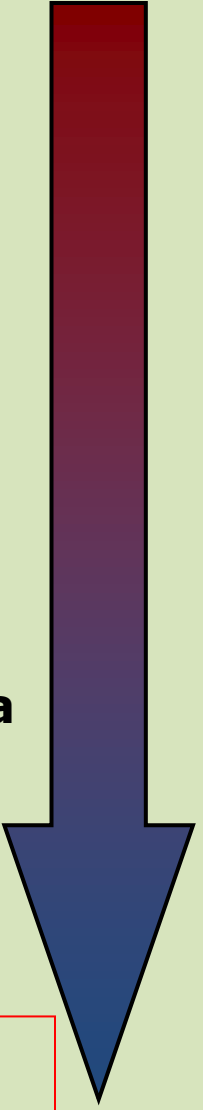
↑ [NO_3^- na AST] : baixa assimilação, Oxid. Mat. Org. e trocas interf. Sedim.-coluna d'água (Fillmann, 1990; Sales Dias, 1994)

Altas taxas de nitrificação abaixo da zona fótica

Baixa luminosidade, baixa competição (Ward, 2000)

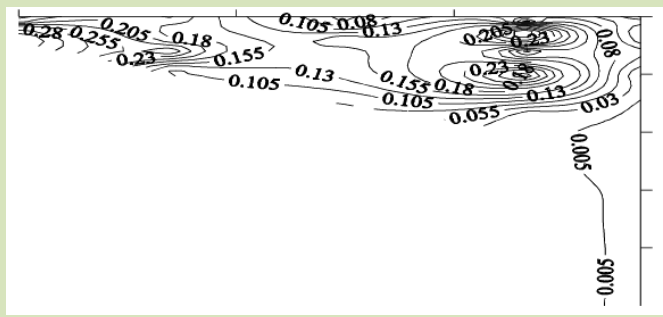
Produção Nova na AST ($\downarrow \text{NH}_4^+$ e $\downarrow \% \text{OD}$)

Nitrito



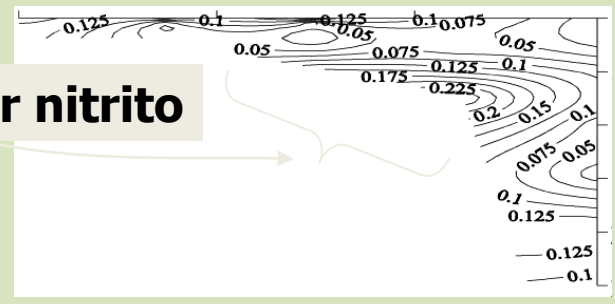
Outono

↑ **AC + ASA**
↑ **Maior descarga Rio da Prata**



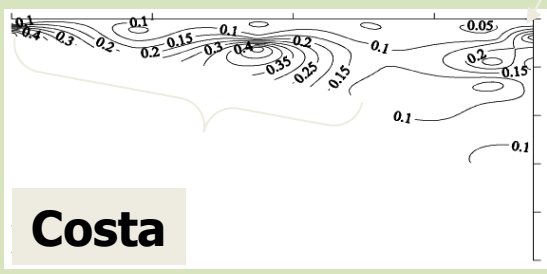
Inverno

↑ **ASA** → **Maior nitrito**



Primavera

norte
↑ **Costa**
sul **Próximo a Lagoa dos Patos**



AT
AC mais influência, AST menor influência

Verão

Menores valores
Menor variação
Evidencia a AT (maior presença)

- Água Costeira (AC)
- Água Tropical (AT)
- Água Subantártica (ASA)
- Água Subtropical (AST)

Fosfato

**Altas concentrações nas zonas próximas à costa e nas águas profundas
(Seguindo o mesmo padrão observado com o NO_3^-)**



Relacionado com a Água Subtropical (AST)

Trocas interface sedim-col. d'água

Processos de desorção ao MS

Oxidação da MO

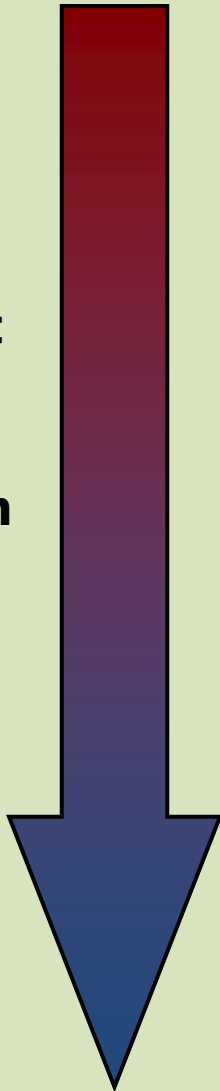
Baixa assimilação

Inv

Out

Prim

Ver



Relação N/P

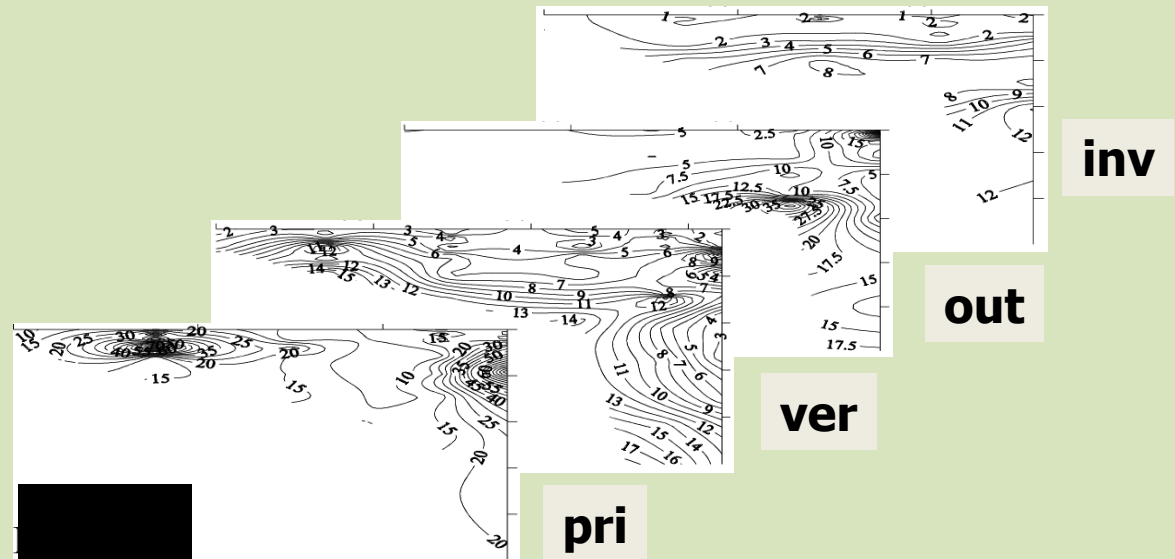
- **Primavera** (Maiores relações próximo a costa)
 - ↑ aportes de N em relação ao P (Zarzur, 2001)
 - ↑ Relações na porção sul (↑ influência do Rio da Prata)

- **Verão** (baixas taxas em relação a Primavera)

AT com baixas [NID]

- **Outono** (baixas relações, seguido do Inverno)

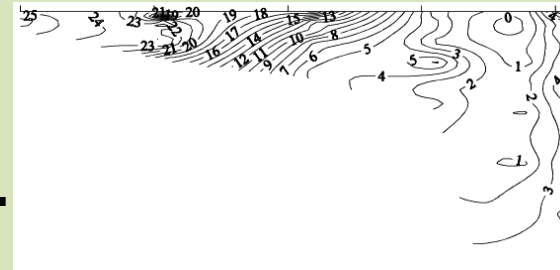
⇒ maior aporte continental (Maiores relações nas radiais 3 e 10)



Silicato mais abundante em água doce (\uparrow [] na AC)

Outono

- Maiores $[\text{SiO}_4^{4-}]$**
- Baixo consumo
- Maior influência aporte cont.

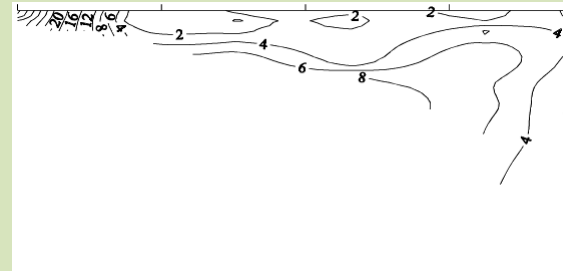


Out

Inv

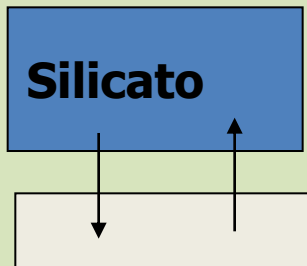
Inverno

- Além do aporte cont.**
- Influência da ASA e AST**



**Prim
(assimil)**

**Ver
(AT)**



Água Costeira (AC)
Água Tropical (AT)
Água Subantártica (ASA)
Água Subtropical (AST)

Concentrações maiores no fundo, interface sedimento coluna d'água relacionado ao ciclo biogeoquímico (mais intenso do que em relação aos outros nutrientes)

Considerações finais

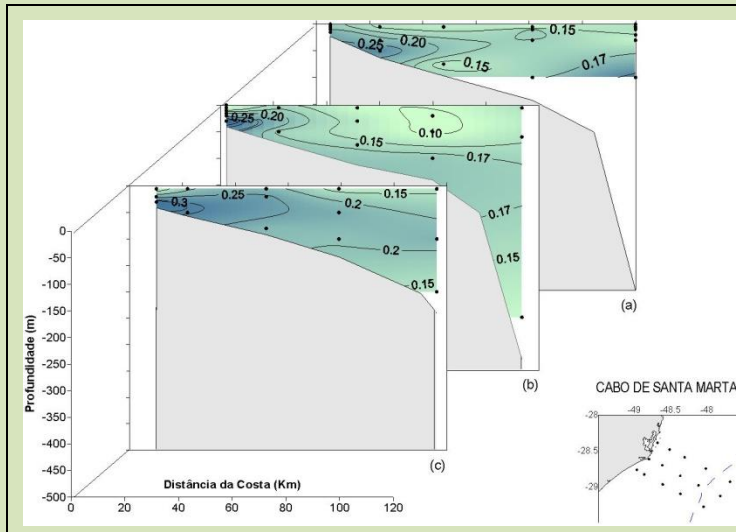
- ✓ Ao caracterizar uma determinada massa de água, utilizando parâmetros químicos, além da temperatura e da salinidade, se faz necessário à utilização de mais de um parâmetro químico, considerando que um mesmo nutriente pode participar em diferentes processos (assimilação, remineralização, aportes continentais, trocas entre a interface sedimento-coluna d'água e processos microbianos).
- ✓ Para a plataforma do extremo sul do Brasil, águas com baixo pH e altas concentrações de nitrato e fosfato podem caracterizar a presença da AST.

✓ A AC (Rio da Prata e Lagoa dos Patos) atua como uma importante fonte de nutrientes para a área de estudo.

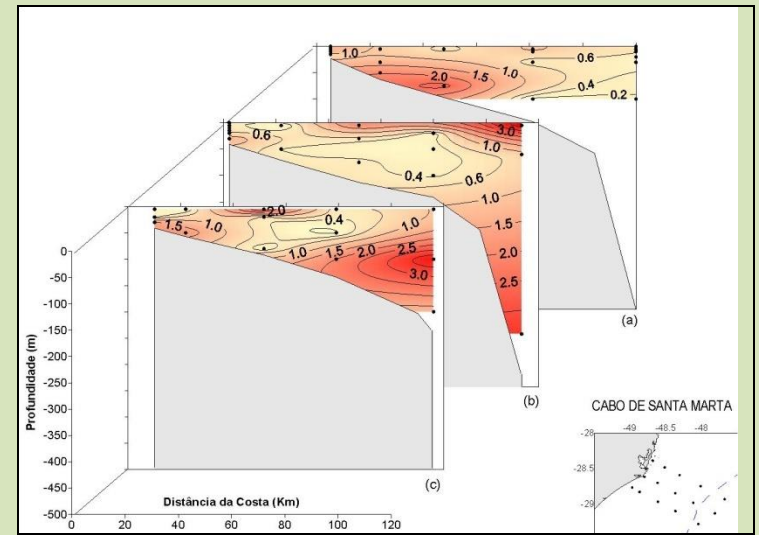
✓ A contribuição da descarga do Rio da Prata, em termos de nutrientes inorgânicos dissolvidos, além de se fazer presente na área de estudo, esta é mais significativa que a da Lagoa dos Patos.

✓ A razão N:P dos aportes da Lagoa dos Patos variam sazonalmente, em função da ação dos diferentes ventos atuantes, através de razões mais elevadas no verão e na primavera (NE), e menores no outono/inverno (SW), corroborando a hipótese da atuação dos ventos de NE e SW na exportação dos NID e do fosfato, respectivamente.

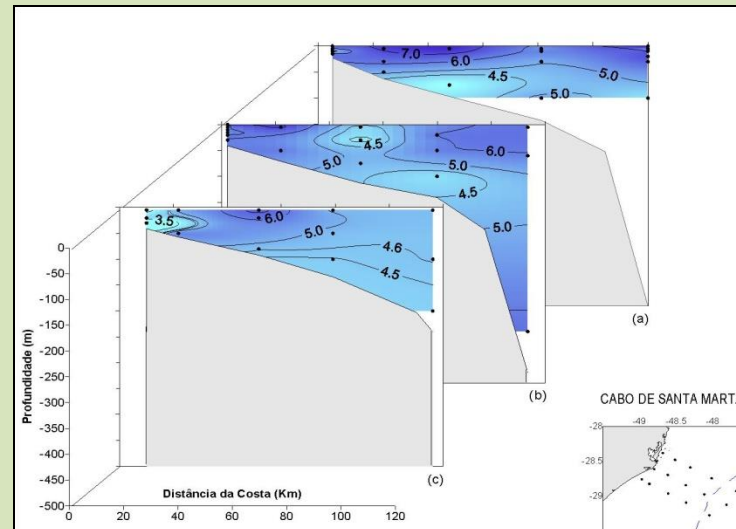
NITRITO



NITRATO

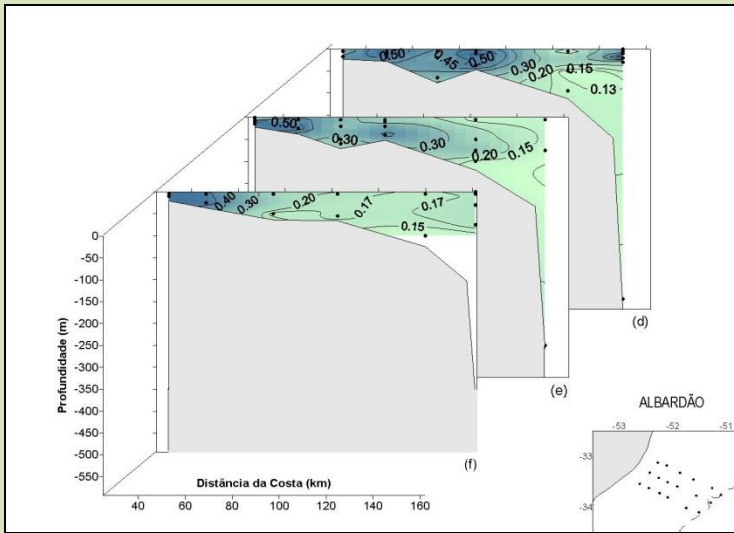


O.D.

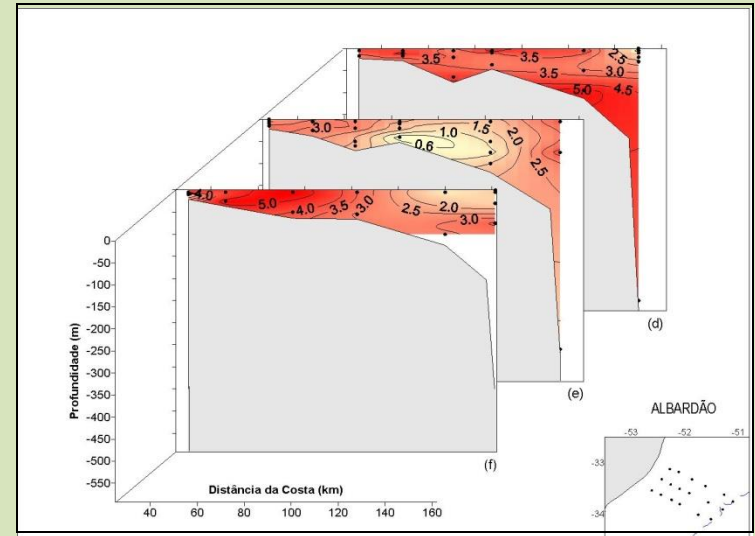


Cabo de Santa Marta -
complexo lagunar ao
sul de SC

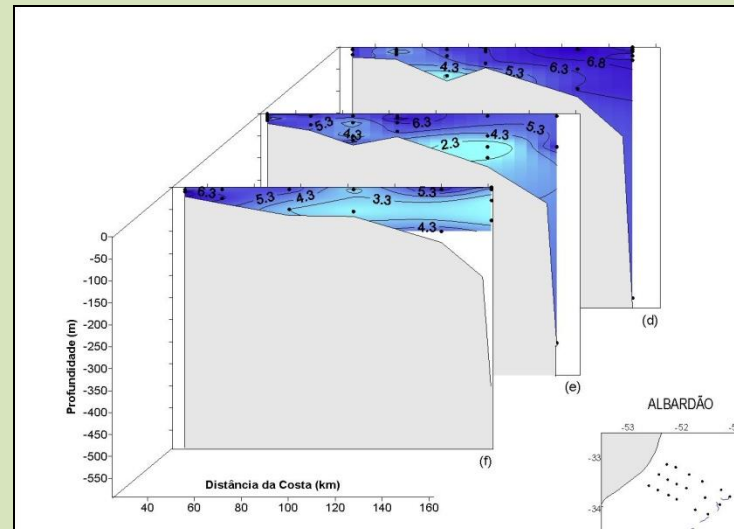
NITRITO



NITRATO

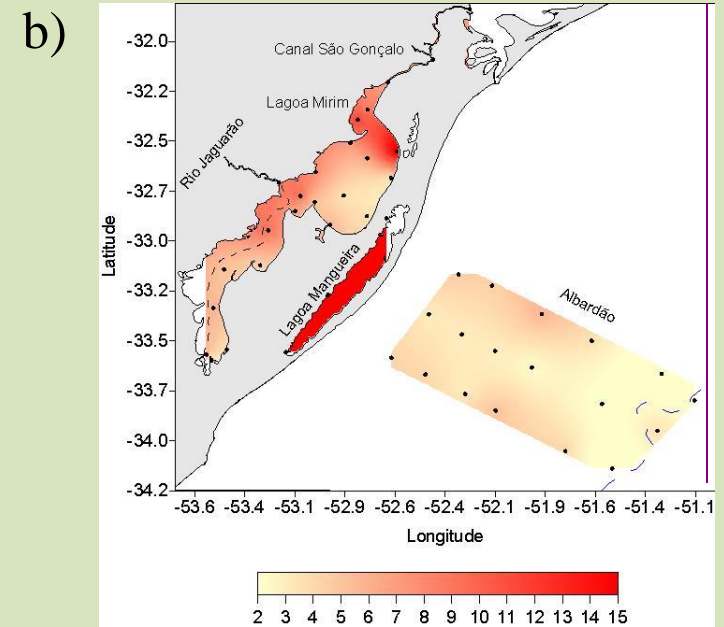
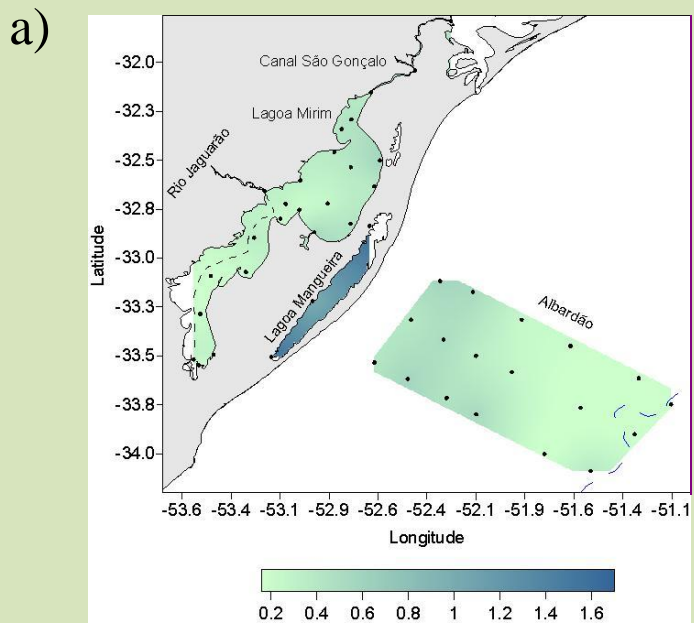


O.D.

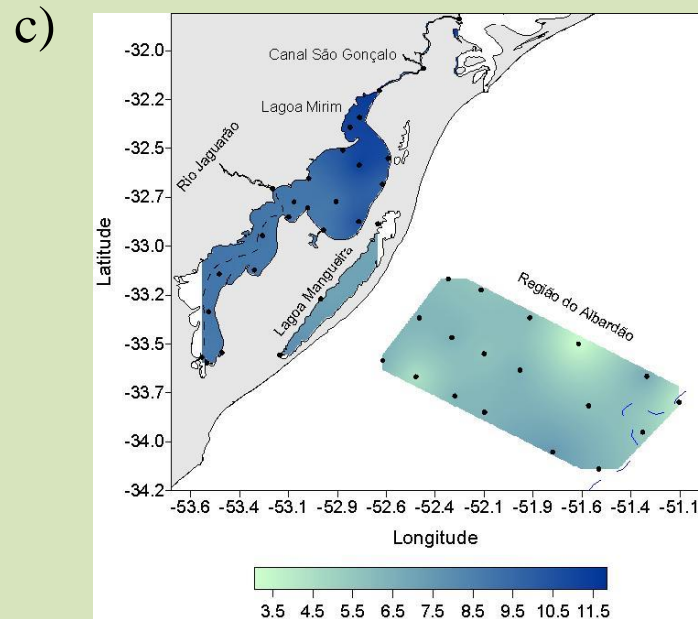


No inverno, a intrusão da Água Subantártica de Plataforma na região do Albardão aumenta consideravelmente as concentrações de nutrientes na região.

Albardão – ao sul do RS em frente da Lagoa Mangueira.



A parcela de água subterrânea deve ser definitivamente incluída no balanço de massas da região, uma vez que apresenta um potencial produtivo de 7 a 32 vezes maior quando comparado às outras regiões onde a estimativa foi realizada.



- a) Nitrito
- b) Nitrato
- c) O.D.

Bibliografia

- Libes, S. M. 2009. Introduction of the Marine Biogeochemistry. Second Edition, Elsevier, California, USA, 909p.
- Liu, K-K; Atkinson, L.; Quinones & Talaue-Mcmanus, L. (Eds.) 2010. Carbon and fluxes in continental margins. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 741 p.
- Pilson, M. E. Q. 2013. An Introduction to the Chemistry of the Sea. Cambridge University Press, UK, 524 p.