

NUTRIENTES, SÉSTON E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA PLATAFORMA INTERNA DE SÃO SEBASTIÃO- VERÃO DE 1994 E PRIMAVERA DE 1997 *

Sônia Maria Flores GIANESELLA ^{1, 2} e Flávia Marisa Prado SALDANHA-CORRÊA ^{1, 2}

RESUMO

A distribuição de nutrientes inorgânicos, séston e da clorofila-a (Cl-a) na região da plataforma continental interna de São Sebastião foi estudada através de uma rede de estações em meso-escala durante o verão de 1994 e primavera de 1997. No verão, a penetração da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) foi pouco intensa, porém, a disponibilidade de nitrogênio inorgânico e séston orgânico na Água Costeira (AC) foi maior que na primavera, devido à contribuição de material de origem terrestre carreado pelas fortes chuvas que antecederam as coletas. A biomassa fitoplanctônica foi baixa e o fator limitante primário foi a disponibilidade de fósforo, como indicado pelas altas razões N:P e 480/665 no domínio da AC. Na primavera, as concentrações de Cl-a na AC foram até três vezes superiores às do verão, possivelmente favorecidas pela maior penetração de luz na água e pelo maior avanço da ACAS sobre a plataforma, que promoveu um melhor balanceamento nutricional dentro da zona eufótica e o aumento da porcentagem de clorofila ativa. O efeito da Ilha de São Sebastião (ISS) se refletiu na distribuição e composição do séston (alto teor de matéria orgânica), que se acumulou principalmente na região norte da área devido ao padrão de circulação local. A região do eixo central do Canal de São Sebastião, mais profunda, apresentou características similares às da plataforma adjacente, em termos de nutrientes e Cl-a.

Palavras-chave: nitrogênio, fósforo, clorofila-a, ACAS, efeito ilha, São Sebastião

NUTRIENTS, SESTON AND PHYTOPLANKTON BIOMASS IN THE SÃO SEBASTIÃO INNER CONTINENTAL SHELF- SUMMER OF 1994 AND SPRING OF 1997

ABSTRACT

The distribution of inorganic nutrients, seston and Chlorophyll-a (Chl-a) in the São Sebastião inner continental shelf was studied through a mesoscale stations grid in the summer of 1994 and spring of 1997. In the summer the South Atlantic Central Water (SACW) intrusion was weak, but the availability of inorganic nitrogen and seston in the Coastal Water (CW) was higher than during the spring due to the high runoff contribution caused by intense rain before the samplings. Phytoplankton biomass was low and the primary limiting factor for phytoplankton biomass development was probably the phosphorous availability as indicated by the high N:P and 480/665 ratios in CW domain. In the spring, Chl-a concentrations were up to threefold higher than the summer ones, possibly favored by the higher light penetration into the water column and by the of the more intensive SACW presence over the inner shelf that promoted a better nutritional balance in the euphotic zone, increasing the active Chl-a percentual. The effect of the presence of the São Sebastião Island (SSI) was reflected in the seston distribution and composition (organic matter richer), which accumulated in the North side of the area due to the local dominant currents circulation pattern. The main axis of São Sebastião Channel is deeper and shows similar characteristics to the neighboring shelf, in terms of nutrients and Chl-a concentrations.

Key words: nitrogen, phosphorous, chlorophyll-a, SACW, island effect, São Sebastião

Artigo: Recebido em 15/10/2003 – Aprovado em 09/03/2004

¹ Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

² Endereço/Address: Instituto Oceanográfico, Pça do Oceanográfico, 191 - Cidade Universitária - CEP 05508-900 - São Paulo SP
e-mail: soniag@io.usp.br e fsalcorr@usp.br

* Financiamento FAPESP "Projeto Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião (OPISS)- Subprojeto Plâncton"
Processo nº 92/3449-0

INTRODUÇÃO

A plataforma do litoral norte do estado de São Paulo, ao largo de Ubatuba, apresenta características de um ambiente oligotrófico (AIDAR *et al.*, 1993). O modelo conceitual e quantitativo elaborado para esta área (ROCHA *et al.*, 1998), considera o aporte de nutrientes via ACAS (Água Central do Atlântico Sul) como o principal fator determinante da produção nova. A ACAS é uma massa de água sub-superficial, fria e rica em nutrientes, cujos avanços sobre a plataforma são regulados pelos ventos sazonais provenientes de leste e nordeste (CASTRO FILHO *et al.*, 1987). O enriquecimento da camada de mistura pelos nutrientes da ACAS, através de processos turbulentos, e a presença da ACAS na zona eufótica se refletem em curta escala temporal sobre a densidade e composição da comunidade fitoplanctônica (SALDANHA, 1993; SALDANHA-CORRÊA, 1999).

A área da plataforma interna, considerada a faixa litorânea até a isóbata de 50 m (ZEMBRUSKI, 1979), de Ubatuba e de São Sebastião têm em comum o fato de serem dominadas pelas mesmas massas de água (AC e ACAS) e contarem com uma rede de drenagem composta por pequenos cursos de água, que se tornam importantes fontes de séston em períodos de alta pluviosidade (BARCELLOS, 2000). Porém, o litoral de São Sebastião distingue-se do de Ubatuba pela presença da Ilha de São Sebastião (ISS) e do Canal de São Sebastião (CSS), que lhe conferem uma razão maior entre linha de costa por volume de água da plataforma. Além disto, o relevo íngreme e vegetação das encostas da ISS contribuem para um maior aporte de materiais para o mar.

A área costeira de São Sebastião encontra-se sob uma forte pressão antrópica, devido aos múltiplos usos com recreação, atividades portuárias, despejos de emissários submarinos, pesca e cultivo de organismos marinhos, especialmente no CSS. Tais usos constituem perturbações ao ambiente e, portanto, para que estas interferências sejam devidamente monitoradas, é essencial que a dinâmica oceanográfica local seja conhecida.

O presente estudo teve por objetivo caracterizar a região da plataforma interna de São Sebastião em termos de disponibilidade nutricional, abundância e distribuição do fitoplâncton, em duas condições sazonais distintas (verão e primavera), associados às massas de água presentes, no contexto de um amplo projeto temático (Projeto "Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião"), que contempla a

caracterização do sistema oceanográfico da área.

MATERIAL E MÉTODOS

As coletas foram realizadas a bordo do N/Oc. "Prof. W. Besnard" em uma rede em mesoescala composta por 43 estações oceanográficas dispostas em sete seções perpendiculares à costa do litoral de São Sebastião (Lat. 23°35' a 24° 14' S e Long. 44° 58.9' a 45°41,2' W), cobrindo a plataforma interna, e mais 4 estações no eixo principal do CSS (Figura 1). Foram realizados dois cruzeiros: no verão (fevereiro de 1994) e na primavera (setembro de 1997).

As medidas de temperatura e salinidade foram obtidas pelo sub-projeto Oceanografia Física (MIRANDA e CASTRO, dados não publicados) e gentilmente cedidas para subsidiar a interpretação dos demais dados. As amostragens de água para análises de nutrientes, séston e Clorofila-a (Cl-a) foram realizadas em até 9 profundidades (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 50 m ou 2m acima do fundo), de acordo com a profundidade local. O limite da zona eufótica (Zeu), considerado a profundidade onde a radiação solar incidente na superfície é reduzida a 1%, foi estimado com disco de Secchi, aplicando a equação de POOLE e ATKINS (1929). O oxigênio dissolvido (OD) foi determinado pelo método de Winkler (GRASSHOFF *et al.*, 1983) e a saturação de oxigênio dissolvido (SOD) foi calculada de acordo com UNESCO (1973). As amostras para determinação de séston e Cl-a foram concentradas em filtros de fibra de vidro (GF/F-Whatmann), pré-calcinados para o séston, e a água filtrada foi utilizada para determinação dos nutrientes dissolvidos. As concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido total (NIT = nitrato + nitrito + amônia) foram determinadas de acordo com AMINOT e CHAUSSEPIED (1983) e as de fosfato e silicato de acordo com GRASSHOFF *et al.* (1983). Os teores de séston total (ST) e orgânico (SO) foram determinados por gravimetria (APHA, 1985). As concentrações de Cl-a total (Cl-a) e Cl-a ativa foram determinadas em extratos de acetona 90%, de acordo com JEFFREY e HUMPHREY (1975) e LORENZEN (1967), respectivamente. A razão de absorvâncias a 480 e 665 nm foi obtida a partir destes mesmos extratos, sendo utilizada como um indicador do estado nutricional do fitoplâncton (HEATH *et al.*, 1990). Segundo estes autores, considerando-se a variação taxonômica, células em condições de ótimo nutricional em seu meio interno apresentam razões 480/665 entre 0,73 e 1,68 enquanto que razões acima de 2,0 indicam deficiência nutricional.

Os resultados obtidos nos dois cruzeiros são apresentados na forma de distribuição horizontal dos valores médios das variáveis analisadas no domínio das massas de água presentes na plataforma (AC e ACAS), definidas com base

nos seus índices termohalinos propostos por CASTRO FILHO *et al.* (1987). A distribuição das variáveis no CSS é apresentada em destaque, através de perfis batimétricos ao longo das 4 estações de coleta.

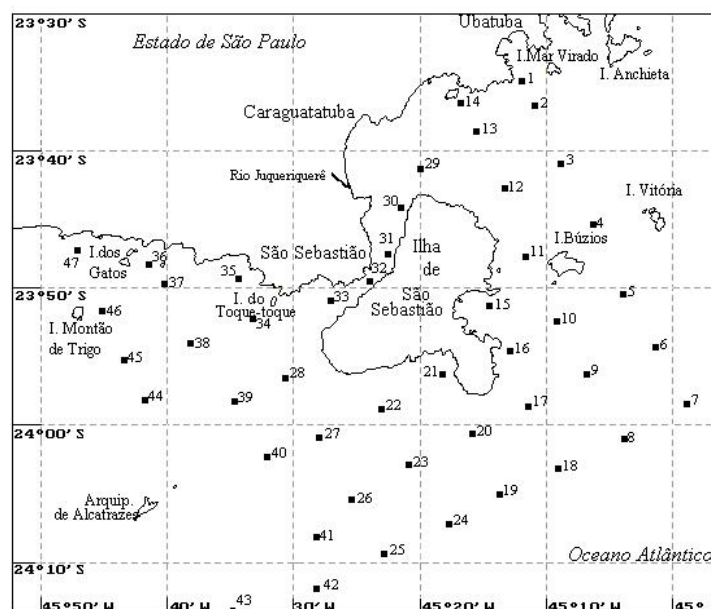


Figura 1. Mapa da área e estações na plataforma interna do litoral de São Sebastião, costa norte do estado de São Paulo, nos cruzeiros realizados no verão de 1994 e na primavera de 1997

RESULTADOS

A. Verão de 1994

A região de estudo apresentou gradientes térmicos tanto verticais como horizontais. As águas superficiais até cerca de 30 metros de profundidade, correspondiam às características da AC, apresentando temperaturas médias acima de 28°C, junto à costa, decrescendo até 24°C nas estações mais ao largo (Figura 2A). Águas mais frias, sob influência da ACAS, foram detectadas abaixo de 30m nas estações mais ao largo (Figura 2B), atingindo o valor mínimo de 16,4°C (Tabela 1). A salinidade na AC apresentou um forte gradiente horizontal, com valores menores nas proximidades da costa (Figura 2C), devido a ocorrência de uma intensa chuva (133 mm) no dia anterior ao início das coletas. Na ACAS, a salinidade apresentou pequena variação (Figura 2D). A profundidade da Zeu variou de 9,8 m (junto à costa) a 50,4 m (nas estações mais ao largo) com um valor médio de 29 m (Figura 2E). O padrão de penetração da luz esteve vinculado à distância da costa e à quantidade de séston presente na água (Figura 2F). A influência do continente e da ISS sobre a concentração média do séston no domínio da AC fica evidente, com

máximos na porção norte do CSS próximo à desembocadura do Rio Juqueriquerê (ao sul da Enseada de Caraguatatuba), cuja pluma transporta sedimento rico em matéria orgânica (BARCELLOS, 2000), e na porção nordeste da ISS, área mais protegida das correntes predominantes do quadrante sul. Os aumentos na concentração de séston foram decorrentes do aumento da fração orgânica (SO), que chegou a representar até 92% do ST.

As águas da AC apresentaram altos valores de SOD enquanto que as águas da ACAS apresentaram subsaturação (Tabela 1). No domínio da AC, o NIT foi mais abundante junto à costa e em direção ao norte (Figura 3A) e na ACAS as concentrações cresceram em direção ao oceano (Figura 3B). A maior parte do NIT foi constituída pelo nitrato, que apresentou mais que o dobro das concentrações de amônia (Tabela 1).

A disponibilidade de fosfato foi baixa na AC (Tabela 1), com um núcleo de concentrações maiores à nordeste da ilha (Figura 3C). Na ACAS, as concentrações de fosfato foram cerca de três vezes maiores que na AC (Figura 3D). Desta maneira, os altos valores da razão N:P na AC indicam uma deficiência de fosfato, frente às altas concentrações

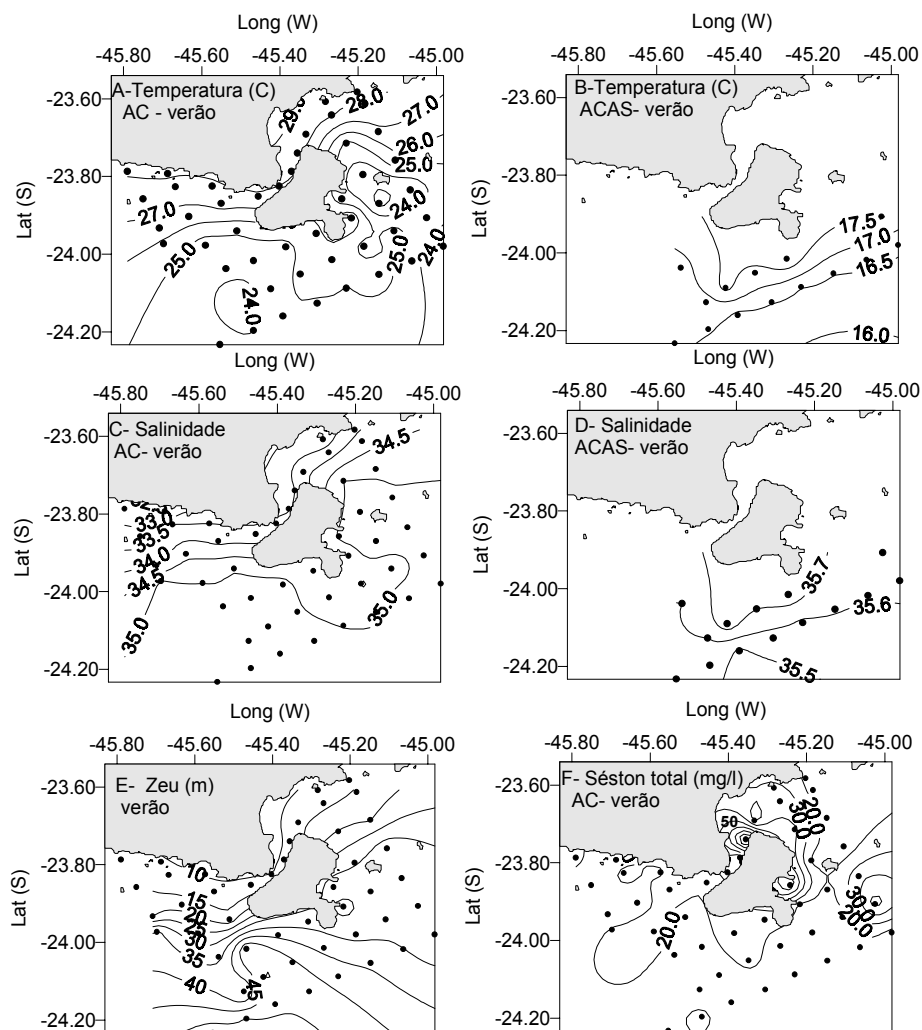


Figura 2. Distribuição horizontal dos valores médios de (A, B) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e (C, D) salinidade, respectivamente na AC e na ACAS, (E) Zeu (m) e (F) concentração média de séston total (mg l^{-1}) na AC, observados na plataforma interna e Canal de São Sebastião, durante o cruzeiro do verão de 1994

de NIT verificadas, o que não ocorreu na ACAS (Tabela 1). O silicato apresentou um gradiente crescente em direção à costa (Figura 3E) e, no domínio da ACAS, as concentrações também foram altas, com valores médios superiores a 3,5 mM.

As concentrações de Cl-a na AC foram aproximadamente a metade das observadas na ACAS (Tabela 1), com uma tendência a valores mais elevados em direção à costa norte e em torno da ISS (Figura 2G). No domínio da ACAS, a tendência foi um aumento da biomassa em direção ao oceano (Figura 3H). A porcentagem da Cl-a ativa em relação à total foi baixa nesta ocasião, com valor médio inferior a 30% (Tabela 1).

A distribuição horizontal dos valores médios da razão 480/665 no domínio na AC (Figura 3I) indica que as condições nutricionais foram desfavoráveis ao

desenvolvimento do fitoplâncton na maior parte da área. Os maiores valores de Cl-a foram verificados nos pontos em que esta razão foi inferior a 2,0, indicando a relação entre bom estado nutricional e incremento de biomassa. Na camada sob influência da ACAS (Figura 3J), as condições nutricionais mostraram-se adequadas ao desenvolvimento do fitoplâncton.

Durante o verão, o CSS foi dominado pela AC com pequena estratificação termohalina (Figuras 4A e 4B). A distribuição dos nutrientes foi mais homogênea, havendo uma tendência ao aumento das concentrações com a profundidade (possivelmente um reflexo da assimilação de nutrientes mais efetiva pelo fitoplâncton em porções mais iluminadas da coluna de água) e em direção à porção norte (Figuras 4C, 4D e 4E). O séston (Figura 4F) foi mais abundante no CSS

do que no restante da plataforma e o SO representou até 90% do ST. A Cl-a apresentou maiores concentrações à meia água, na porção ao norte (Figura 4G), coincidente com regiões de suprimento

nutricional mais adequado, como indicado pelas razões 480/665 (Figura 4H), com valores ligeiramente superiores aos observados na AC sobre a plataforma (Tabela 1).

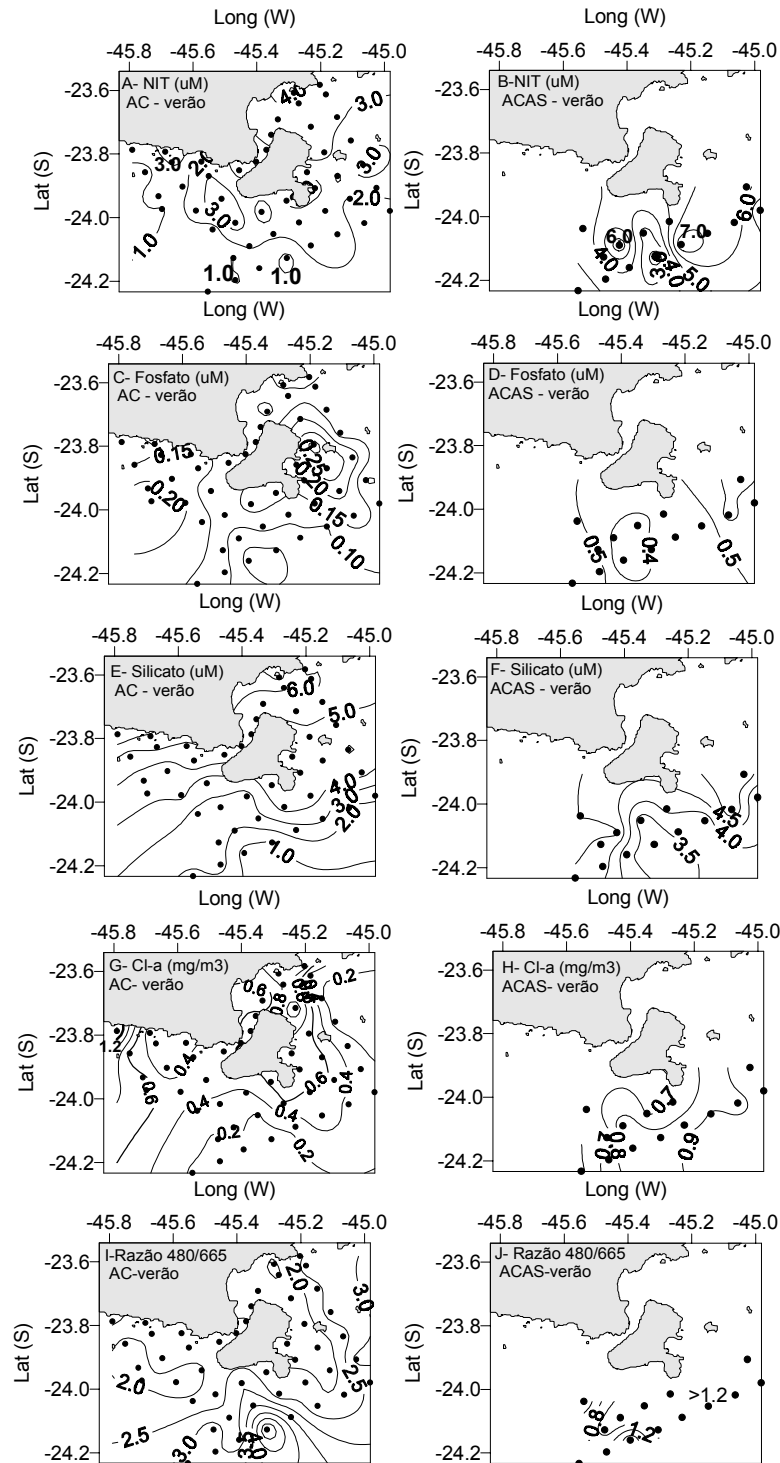


Figura 3. Distribuição horizontal das concentrações médias de nutrientes (μM): (A, B) NIT, (C, D) fosfato, (E, F) silicato; (G, H) Cl-a (mg m^{-3}) e (I, J) razão 480/665, respectivamente nos domínios da AC e ACAS, na plataforma interna e Canal de São Sebastião durante o cruzeiro do verão de 1994

Tabela 1. Valores da média, desvio-padrão, máximo e mínimo de cada variável estudada, observados na AC e na ACAS nos cruzeiros de verão/94 e primavera/97 na plataforma interna e no Canal de São Sebastião

	T (°C)	Sal (Kg/m ³)	Sigma-t (ml/l)	OD (%)	SOD (%)	Nitrato (µM)	Nitrito (µM)	Amônia (µM)	NIT (µM)	Fosfato (µM)	Razão N:P	Silicato (µM)	Cl-a (mg/m ³)	Cl-a at (%)	480/665	Carot (mg/m ³)	ST (mg/l)	SO (mg/l)	
Verão 1994																			
na AC	MÉDIA	25.67	34.65	22.85	4.62	98.79	1.55	0.09	0.71	2.36	0.15	22.86	4.14	0.48	28.08	2.34	0.52	24.36	9.07
	DP	2.87	0.95	1.47	0.38	9.63	1.28	0.13	0.55	1.46	0.11	28.59	1.89	0.41	75.63	1.08	0.36	15.79	14.38
	MÁX	29.39	36.14	25.79	5.72	124.80	7.55	0.91	2.97	8.90	0.64	216.00	9.19	3.37	100.00	9.86	3.14	100.38	77.40
	MIN	18.27	30.84	18.94	2.47	54.40	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.14	0.39	0.00	0.00	0.94	0.00	13.74	1.80
na ACAS	MÉDIA	16.84	35.61	26.01	3.92	72.39	3.56	0.41	0.62	4.59	0.49	9.96	4.30	0.80	15.62	1.51	0.59		
	DP	0.49	0.04	0.10	0.46	9.19	2.16	0.15	0.42	2.18	0.13	5.34	1.05	0.23	83.03	0.06	0.16		
	MÁX	18.01	35.69	26.09	4.91	89.50	8.11	0.61	2.20	9.01	0.75	21.45	6.78	1.54	40.00	1.61	0.83		
	MIN	16.37	35.54	25.80	3.23	61.30	0.05	0.00	0.00	0.91	0.18	2.22	2.54	0.35	0.00	1.47	0.41		
no CSS	MÉDIA	28.11	33.61	21.30	4.59	101.73	1.78	0.10	0.89	2.78	0.13	35.24	5.34	0.59	23.22	1.97	0.62	44.73	21.64
	DP	0.71	0.45	0.55	0.61	13.90	0.69	0.11	0.60	1.19	0.13	46.30	0.84	0.21	8.17	0.43	0.21	42.08	41.96
	MÁX	29.39	34.12	21.95	5.36	120.50	3.23	0.54	2.15	5.04	0.58	216.00	6.77	0.96	45.05	2.83	0.92	200.87	181.81
	MIN	27.30	32.79	20.28	2.47	54.40	0.59	0.02	0.00	0.82	0.00	6.83	3.92	0.21	10.60	1.32	0.15	15.25	2.40
Primavera 1997																			
na AC	MÉDIA	22.00	35.16	24.35	4.81	96.53	0.37	0.06	0.23	0.66	0.22	3.15	5.18	1.21	59.62	1.49	1.02	19.74	2.19
	DP	1.01	0.44	0.57	0.41	9.57	0.68	0.06	0.18	0.74	0.10	3.55	3.33	0.69	19.10	0.31	0.55	10.68	1.47
	MÁX	24.29	35.97	26.44	5.57	109.20	3.64	0.50	0.91	4.00	1.08	33.05	25.57	3.98	132.65	2.50	3.62	101.50	12.00
	MIN	18.10	33.39	22.34	3.11	55.20	0.00	0.01	0.00	0.01	0.05	0.04	0.32	0.30	9.52	0.78	0.27	13.00	0.15
na ACAS	MÉDIA	16.78	35.77	26.15	3.85	70.70	4.55	0.21	0.25	5.01	0.53	8.98	6.32	2.02	54.77	1.32	1.44	22.10	2.24
	DP	0.81	0.23	0.15	0.40	7.16	2.07	0.15	0.19	2.14	0.15	3.25	2.43	1.34	20.81	0.58	0.92	11.69	1.11
	MÁX	18.00	36.46	26.52	5.63	105.00	7.34	0.66	0.96	7.99	0.74	14.23	14.27	7.15	95.77	5.17	5.25	59.67	5.43
	MIN	15.39	35.51	25.86	3.06	56.50	0.00	0.01	0.02	0.16	0.11	0.38	0.59	0.47	10.85	0.48	0.38	12.30	0.61
no CSS	Média	22.80	34.45	23.57	4.81	95.45	0.44	0.08	0.24	0.76	0.34	2.42	5.48	1.80	33.70	1.59	1.69	41.17	5.03
	DP	0.07	0.26	0.21	0.15	9.56	0.61	0.05	0.12	0.65	0.18	2.00	1.66	0.71	14.91	0.19	0.72	19.83	2.31
	Máx	22.97	34.73	23.81	4.95	100.50	1.77	0.19	0.49	2.15	1.08	6.80	10.72	3.24	60.32	1.91	3.62	101.50	12.00
	Min	22.70	33.89	23.10	4.24	55.20	0.00	0.03	0.09	0.14	0.20	0.30	3.18	0.85	9.52	1.35	0.68	16.83	2.22

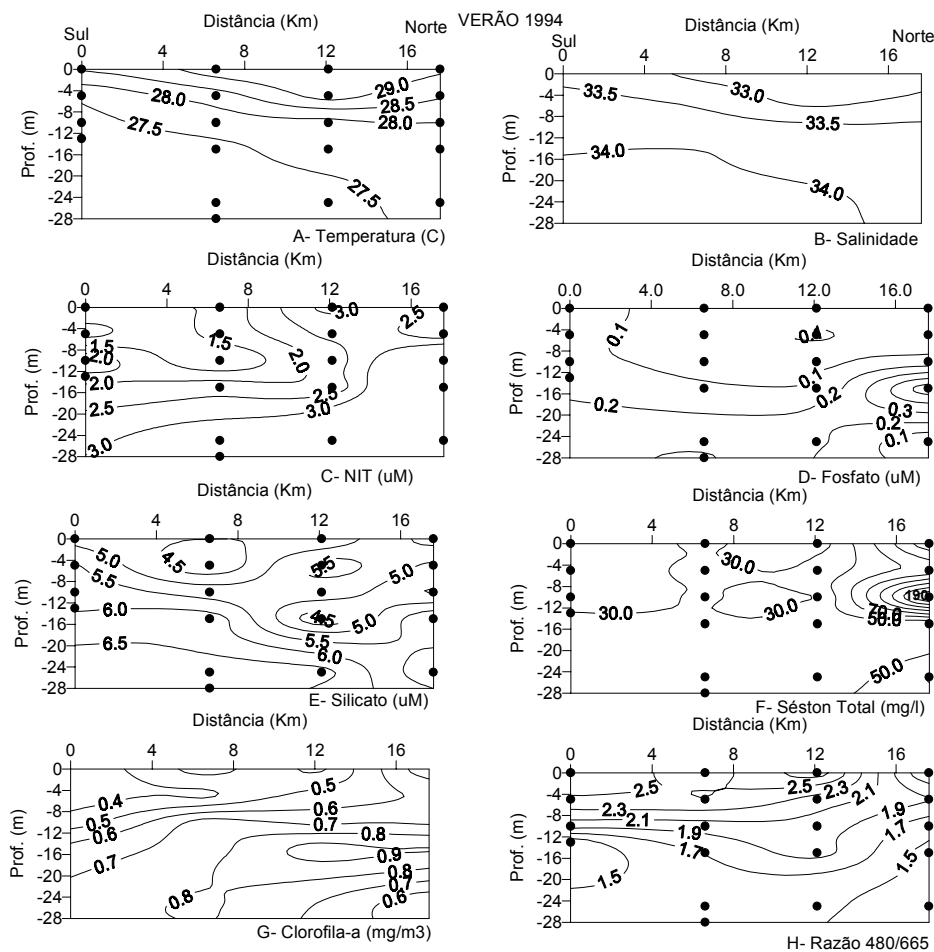


Figura 4. Perfis verticais da distribuição de (A) temperatura (°C), (B) salinidade, (C) NIT (µM), (D) fósforo (µM), (E) silicato (µM), (F) séston total (mg l⁻¹), (G) Cl-a (mg m⁻³) e (H) razão 480/665, ao longo do Canal de São Sebastião durante o cruzeiro do verão de 1994

B. Primavera de 1997

Durante o cruzeiro de primavera, a temperatura média das águas sob domínio da AC esteve cerca de 4°C abaixo da temperatura do verão, com um gradiente horizontal também mais suave (Figura 5A). Porém, a estratificação vertical foi maior, com uma termoclina conspícua logo abaixo de 15 m. Esta estrutura deveu-se a uma intrusão mais intensa da ACAS, que ocupou as camadas mais profundas de quase toda a área, especialmente na região ao sul da ISS (Figura 5B). A salinidade apresentou-se mais elevada do que no verão, principalmente no domínio da AC, já que não houve chuva na ocasião da coleta e a contribuição de água de drenagem continental não foi significativa (Figuras 5C e 5D). A

profundidade média da Zeu variou de 9 m, junto à porção norte da costa, até 40m nas estações mais externas. Porém, nas estações mais costeiras, especialmente na porção sul, a penetração de luz na água foi cerca de duas vezes maior que a do verão (Figura 5E). Portanto, a proximidade da costa não foi um fator determinante para a variabilidade da Zeu nesta ocasião, o que confirma uma menor influência da drenagem continental neste período, como corroborado pela distribuição de ST (Figura 5F), cujas concentrações na AC foram mais baixas que as do verão (Tabela 1). O SO correspondeu em média a 10% do ST indicando também uma contribuição menor de detrito orgânico terrestre em relação ao verão.

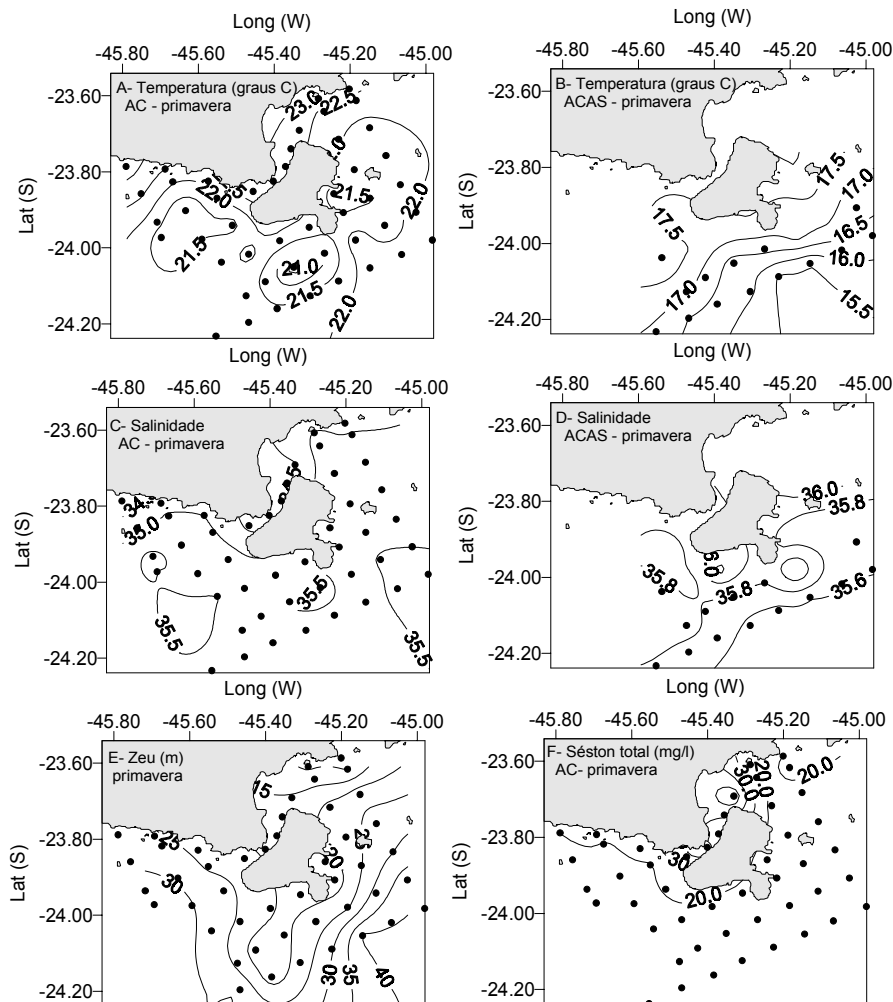


Figura 5. Distribuição horizontal dos valores médios de (A, B) temperatura (°C) e (C, D) salinidade na AC e na ACAS respectivamente, (E) Zeu (m) e (F) concentração média de séston total (mg l^{-1}) no domínio da AC, observados na plataforma interna e Canal de São Sebastião durante o cruzeiro da primavera de 1997

A disponibilidade de NIT no domínio da AC foi inferior à do verão e cerca de uma ordem de grandeza inferior à observada na ACAS, com contribuições equivalentes de nitrato e amônia. Um núcleo de NIT ocorreu a sudeste da ISS (Figura 6A). Na ACAS, as concentrações de NIT foram elevadas e o nitrato correspondeu em média a 89% do NIT (Figura 6B). As concentrações médias de fosfato na AC foram pouco superiores às do verão, com uma distribuição mais homogênea (Figura 6C). Em função

da maior penetração da ACAS sobre a plataforma, a camada de fundo também apresentou maior disponibilidade em fosfato (Figura 6D). A razão N:P média na AC foi de 3,15, indicando a deficiência de nitrogênio em relação ao fosfato total disponível. Em apenas um ponto isolado (na estação 8 a 0 e 5m de profundidade) foram verificados valores superiores à razão de Redfield, com um máximo de 33,05 (Tabela 1), devido a um aumento de nitrato de origem não identificada.

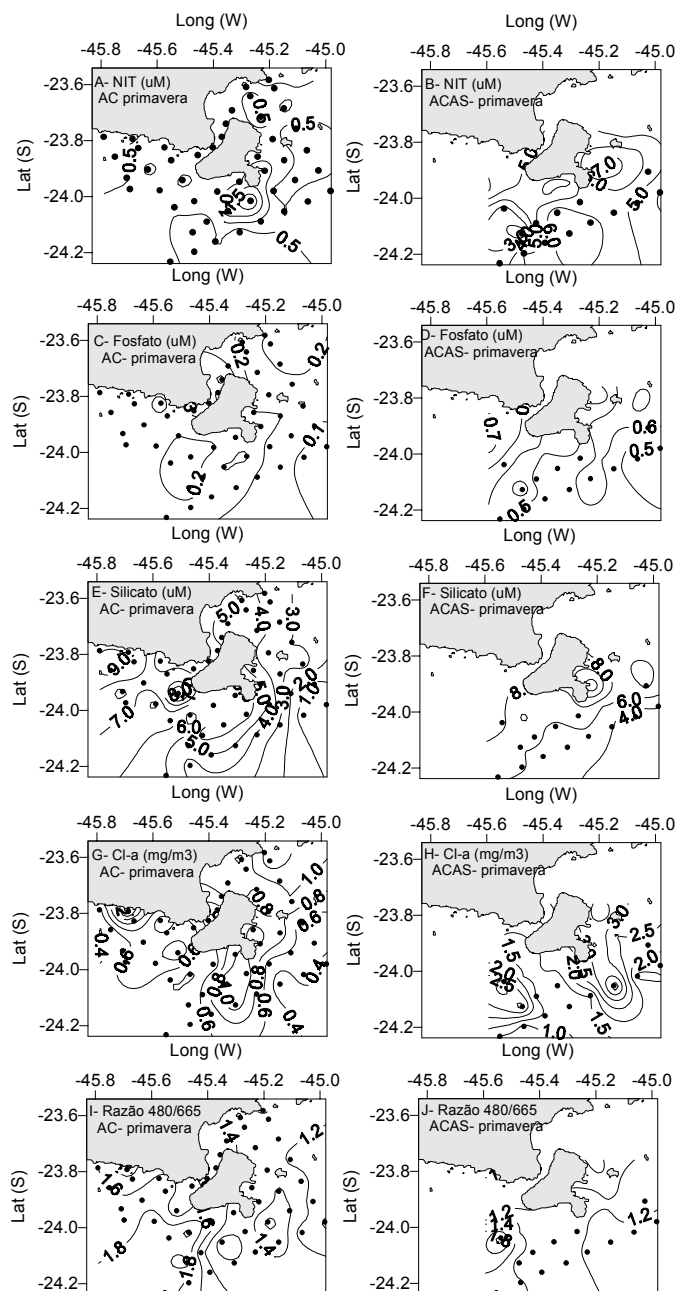


Figura 6. Distribuição horizontal das concentrações médias de nutrientes (μM): (A, B) NIT, (C, D) fosfato, (E, F) silicato; (G, H) Cl-a (mg m^{-3}) e (I, J) razão 480/665, respectivamente nos domínios da AC e ACAS, na plataforma interna e Canal de São Sebastião durante o cruzeiro da primavera de 1997

A distribuição de silicato na AC apresentou padrão semelhante ao verão, porém com concentrações elevadas na porção costeira sul, coincidindo com a ocorrência de águas de menos salinas (Figura 6E). Estas observações sugerem uma contribuição de drenagem continental, porém de origem remota, dados os baixos valores de ST e Zeu profunda. Na ACAS, as maiores concentrações são encontradas próximas à ISS, provavelmente devido à interação da frente desta massa de água com o fundo, ressuspensando sedimentos ricos em silicato (Figura 6F).

Os valores médios de biomassa fitoplanctônica, tanto na AC como na ACAS, foram superiores aos observados no verão (Tabela 1). Na AC, a região costeira ao norte e aquela em torno da ISS, apresentaram os valores mais elevados (Figura 6G). As maiores concentrações de Cl-a verificadas na ACAS indicam sua influência positiva para o desenvolvimento do fitoplâncton ainda que em camadas mais profundas da Zeu (Figura 6H). A Cl-a ativa representou em média 59% do total,

mais que o do dobro do valor observado no verão e os valores da razão 480/665 também apontaram condições nutricionais adequadas ao crescimento do fitoplâncton ao longo de toda a coluna de água, com exceção da porção sul mais ao largo, cujos valores acima de 1,8 indicaram uma propensão à limitação, provavelmente por nitrogênio (Figuras 6I e 6J).

A coluna de água ao longo do CSS apresentou-se termicamente homogênea com um leve gradiente halino (Figuras 7A e 7B). A distribuição dos nutrientes também foi pouco variável (Figuras 7C, 7D e 7E), enquanto que concentrações de ST e de Cl-a (Figuras 7F e 7G) aumentaram em direção ao fundo. A biomassa fitoplanctônica durante a primavera apresentou mais que o dobro dos valores observados no verão, de modo semelhante ao verificado para toda a área da plataforma interna. As razões 480/665 indicaram condições adequadas ao desenvolvimento do fitoplâncton em praticamente toda a extensão do CSS (Figura 7H).

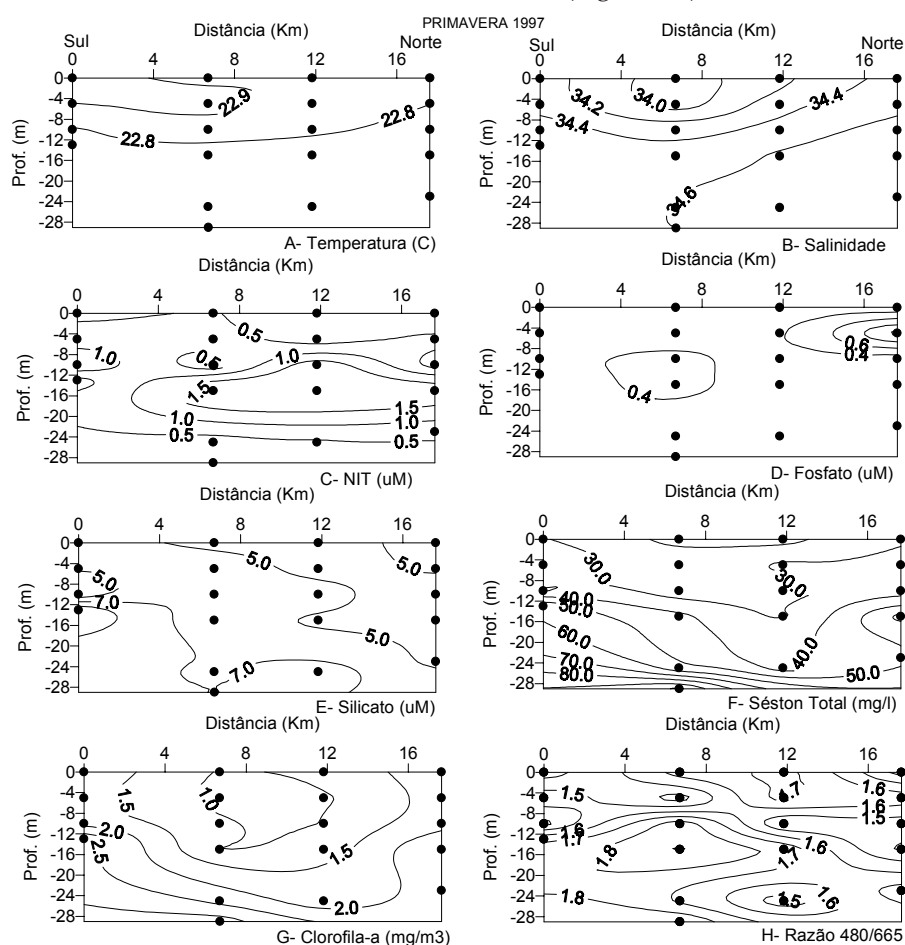


Figura 7. Perfis verticais da distribuição de (A) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (B) salinidade, (C) NIT (μM), (D) fosfato (μM), (E) silicato (μM), (F) séston total (mg l^{-1}), (G) Cl-a (mg m^{-3}) e (H) razão 480/665, ao longo do Canal de São Sebastião durante o cruzeiro da primavera de 1997

DISCUSSÃO

A principal característica oceanográfica da plataforma norte do litoral do estado de São Paulo é a presença sazonal da ACAS que atinge o domínio interno no verão e recua para junto do talude no inverno (CASTRO FILHO *et al.*, 1987). Esta intrusão favorece o enriquecimento da Zeu com nutrientes novos que permitem o desenvolvimento de biomassa do fitoplâncton e, em última instância, o aumento da população de animais pelágicos e bentônicos (PIRES-VANIN *et al.*, 1993). Na ausência da ACAS, a decomposição de matéria orgânica dissolvida e particulada na camada de mistura, através da alça microbiana, é a principal fonte de nutrientes para o desenvolvimento do fitoplâncton na zona eufótica (AIDAR *et al.*, 1993).

No litoral de São Sebastião, o padrão de circulação no entorno da ISS promove um efeito de “sombra da

ilha” na região ao norte da mesma, favorecendo a retenção de material particulado rico em matéria orgânica (BARCELLOS, 2000), conforme observado especialmente no verão. Este material constitui um substrato para ação de bactérias que liberam nutrientes, especialmente na forma de amônio (GIANESELLA *et al.*, 1996).

Os resultados obtidos no presente estudo permitem afirmar que a área de São Sebastião recebe maior carga alóctone de nitrogênio que a área de Ubatuba, especialmente em períodos de maior pluviosidade. O valor médio de NIT obtido para a AC no verão em São Sebastião é duas vezes maior que as médias obtidas ao longo de cinco anos de estudos em Ubatuba (AIDAR *et al.*, 1993), enquanto que a média da primavera encontrou-se na faixa de variação observada em Ubatuba (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de nitrogênio inorgânico total (NIT) e biomassa fitoplanctônica (Cl-a) observados nos domínios da AC e ACAS, no presente estudo, em São Sebastião (SS), e em quatro verões consecutivos na região costeira de Ubatuba, segundo AIDAR *et al.* (1993)

Local e período	AC		ACAS	
	NIT (μM)	Cl-a (mg m^{-3})	NIT (μM)	Cl-a (mg m^{-3})
SS verão/94	2,36	0,48	4,59	0,80
SS primavera/97	0,66	1,21	5,01	2,02
Ubatuba verão/88	0,45	0,46	6,17	2,77
Ubatuba verão/87	1,03	0,82	6,1	0,67
Ubatuba verão/86	0,87	0,31	8,32	1,12
Ubatuba verão/85	0,98	0,31	7,45	1,09

A maior disponibilidade de NIT na camada de mistura no verão em São Sebastião esteve associada a um forte desequilíbrio na razão N:P, o que resultou em uma baixa biomassa fitoplanctônica. Este desequilíbrio nutricional pode ser decorrente da maior liberação de nitrogênio no processo de decomposição do séston orgânico em comparação à liberação de fosfato, fato comprovado por GARCÍA-RUIZ *et al.* (1999) que verificaram que a ação bacteriana sobre o séston libera quantidades significativas de nitrogênio enquanto a razão C:P permanece quase inalterada. A liberação de fósforo seria mediada por ação de flagelados que, ao predarem as bactérias, promoveriam a liberação de fosfato para o meio. As baixas concentrações de Cl-a observadas no verão indicam a baixa densidade da população fitoplanctônica. Considerando que a densidade dos fitoflagelados está geralmente correlacionada à densidade do fitoplâncton total, as baixas concentrações de fosfato

seriam um reflexo desta condição. Os altos valores razão 480/665, verificados no verão também são indicadores do desequilíbrio nutricional no meio intracelular, relacionados à carência de fosfato.

A disponibilidade de fosfato na ACAS foi maior, sugerindo que o aporte de nutrientes novos para a camada de mistura via ACAS não estava sendo efetivo neste período. De fato, se a ACAS invade a zona eufótica, pode desencadear um processo de aumento de biomassa fitoplanctônica a partir do desenvolvimento de sua biomassa autóctone numa escala de horas a poucos dias (SALDANHA, 1993). Porém, para que haja uma introdução efetiva de nutrientes da ACAS na camada de mistura é necessário que haja mistura turbulenta entre as massas de água, já que os processos de difusão molecular entre massas de água com gradientes de densidade muito intensos tendem a ser lentos. Assim, a simples presença da ACAS sobre a plataforma não

é um indicador direto de que a camada de mistura esteja sendo fertilizada (SALDANHA-CORRÊA, 1999). Desta maneira, as fontes alóctones de nutrientes para a camada de mistura não relacionadas à ACAS demonstraram ter uma contribuição importante para o aporte de nutrientes novos na região da plataforma interna de São Sebastião.

Como a concentração média de fosfato na AC na primavera foi cerca do dobro da observada no verão, as razões N:P foram mais balanceadas e, em virtude disto, a biomassa fitoplanctônica foi maior, bem como a porcentagem de Cl-a ativa, indicando a melhor condição fisiológica do fitoplâncton nesta ocasião. Além disto a Zeu foi mais profunda, favorecendo o maior desenvolvimento do fitoplâncton. O silicato na AC apresentou valores mais elevados na área costeira ao sul da ISS, sugerindo uma influência de águas de origem remota para a camada de mistura, possivelmente provenientes da região de Santos-Bertioga.

Em termos de Cl-a no domínio da AC, os valores médios obtidos no verão/94 em São Sebastião e nos verões de Ubatuba são similares, porém inferiores ao observado na primavera/97 (Tabela 2). Embora o conjunto de dados disponível seja insuficiente para se fazer uma afirmação definitiva, pode-se supor que a maior biomassa fitoplanctônica verificada na primavera possa constituir uma feição recorrente, pelo fato da cobertura de nuvens ser menor na primavera do que no verão, bem como a ocorrência de frentes frias e chuvas, que geram maior turbidez na água. Desta maneira a penetração de luz na água pode ser, em média, maior na primavera que no verão, favorecendo o desenvolvimento do fitoplâncton ao longo da coluna de água. No caso da ACAS, a abundância da biomassa fitoplanctônica presente neste domínio depende da posição em que esta água se encontra na zona eufótica, pois estando sob suprimento adequado de luz, o fitoplâncton da ACAS pode atingir altos valores de biomassa com intenso consumo de nutrientes (SALDANHA, 1993). Estes seriam os casos da primavera/97 e verão/88 apresentados na Tabela 2, nos quais a ACAS atingiu camadas mais rasas da coluna de água.

O CSS é uma área com características dinâmicas diversificadas: a área do eixo central difere das áreas marginais, bem como a porção sul apresenta características distintas da porção norte (CASTRO FILHO, 1996). O canal constitui-se em um ambiente de extrema importância econômica que está sendo submetido a diversos impactos antropogênicos há

várias décadas. Existem evidências de efeitos localizados do aporte de nutrientes por esgotos domésticos (SALDANHA-CORRÊA e GIANESELLA, 2003) e/ou poluição por óleo (WEBER e BÍCEGO, 1991). Contudo, as fortes correntes que se observam no interior do canal (CASTRO FILHO, 1996) promovem a rápida dispersão da maioria destes contaminantes, especialmente na região do eixo central. No presente estudo, onde foram avaliadas as condições oceanográficas apenas em estações localizadas no eixo central do CSS, pode-se afirmar que as concentrações de nutrientes nas águas do canal, dominadas pela AC em ambas ocasiões, não diferiram daquelas observadas na plataforma adjacente, compondo um sistema integrado. Porém, as concentrações médias de Cl-a observadas no CSS foram ligeiramente mais elevadas do que as da plataforma continental nos dois períodos analisados. Os dados disponíveis são insuficientes para afirmar se há ou não uma distinção entre plataforma e canal em termos de abundância de biomassa fitoplanctônica. É certo que no interior do CSS, especialmente próximo às margens, e em áreas de menor dinâmica, a ocorrência de florações de algas é favorecida, especialmente em pontos onde há despejo de esgotos. Se estas fontes forem consideradas, a área do CSS deve apresentar maior densidade fitoplanctônica do que a plataforma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDAR, E.; GAETA, S. A.; GIANESELLA-GALVÃO, S.M.F.; KUTNER, M. B. B. e TEIXEIRA, C. 1993 Ecosistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. *Publção esp. Inst. Oceanogr.*, S Paulo, 10:9-43.
- AMINOT, A. e CHAUSSEPIED, M. 1983 *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Brest, C.N.E.X.O. 395p.
- APHA (American Public Health Association) 1985 *Standard methods for the examination of water and wastewater.* 16th ed. Washington, APHA, 1288 p.
- BARCELLOS, R.L. 2000 *Processo sedimentar atual e a distribuição da matéria orgânica sedimentar (CNS) do Canal de São Sebastião, SP e plataforma continental adjacente.* 187p. (Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, USP).

- CASTRO FILHO, B.M. 1996 *Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo*. 248p. (Tese de livre-docência. Instituto Oceanográfico, USP).
- CASTRO FILHO, B.M.; MIRANDA, L.B. e MIYAO, S.Y. 1987 Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 35(2):135-151.
- GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F.; SALDANHA-CORRÊA, F.M.P.; MESQUITA, H.S.L. e AIDAR, E. 1996 Primary Nitrite Maximum and Inorganic Nitrogen Changes in a Coastal Water System. *An. Acad. bras. Ci.*, 68 (Supl. 1): 117-127.
- GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, T.M. e KREMLING, K. 1983 *Methods of seawater analysis*. 2nd ed. Basel, Verlag Chemie. 419p.
- GARCÍA-RUIZ, R.; LUCENA, J. e NIELL, F.X. 1999 Do bacteria regenerate phosphorus while decomposing seston? *Mar. Freshw. Res.*, 50:459-466.
- HEATH, M.R.; RICHARDSON, K. e KIORBOE, T. 1990 Optical assessment of phytoplankton nutrient depletion. *J. Plankton. Res.*, 12 (2): 381-396.
- JEFFREY, S.W. e HUMPHREY, G. F. 1975 New espectrofotometric equations for determining chlorophylls a,b, c and C₂ in higher plants, algal and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Planzen (BPP)* Bd.,167 S: 191-194.
- LORENZEN, C. 1967 Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, 12:343-346.
- PIRES-VANIN, A.M.S.; ROSSI-WONGTSHOWSKI, C.L.D.B.; AIDAR, E.; MESQUITA, H.S.L.; SOARES, L.S.H.; KATSURAGAWA, M. e MATSUURA, Y. 1993 Estrutura e função do ecossistema de plataforma continental do Atlântico Sul brasileiro: síntese dos resultados. *Publção esp. Inst. Oceanogr.*, 10: 217-231.
- POOLE, H.H. e ATKINS, W.R.G. 1929 Photo-eletric measurements of submarine illumination throughout the year. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 16:297-324.
- ROCHA, G.R.A.; GASALLA, M.A.; ROSSI-WONGTSHOWSKI, C.L.D.B.; SOARES, L.S.H.; PIRES-VANIN, A.M.S.; MUTO, E.Y.; CERGOLE, M.C.; AIDAR, E.; MESQUITA, H.S.L.; GIANESELLA-GALVÃO, S.M.F.; VEGA-PÉREZ, L.A. e JARRE-TEICHMANN, A. 1998 Quantitative model of trophic interactions in the Ubatuba shelf system (Southeast Brazil). *Naga*, 21(4):26-32.
- SALDANHA, F.M.P. 1993 *Simulação da mistura vertical de massas de água da região costeira de Ubatuba (SP): efeitos sobre a produção primária e biomassa fitoplanctônica*. 250p. (Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, USP).
- SALDANHA-CORRÊA, F.M.P. 1999 *Aspectos da variação vertical e temporal da produção primária e biomassa fitoplanctônica, em uma estação fixa na região costeira de São Sebastião (SP)*. 99p + tabs e figs. (Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, USP).
- SALDANHA-CORRÊA, F. M. P. e GIANESELLA, S. M. F. 2003 Avaliação do fitoplâncton nas águas adjacentes ao difusor do emissário de esgotos do Saco da Capela, Ilha Bela (SP), em Janeiro e Julho de 2002. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS AMBIENTAIS E SAÚDE- MEIO AMBIENTE E SAÚDE. Anais... em CD-rom. Santos, Núcleo de Pesquisas Ambientais da Baixada Santista. p.13 a 17.
- UNESCO 1973 *International oceanographic tables. Table of oxygen*. National Institute of Oceanography of Great Britain and UNESCO. Vol 2.
- WEBER, R. R. e BÍCEGO, M.C. 1991 Survey of petroleum aromatic hydrocarbons in the São Sebastião Channel, SP, Brazil, November 1985 to August, 1986. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 39 (2): 117-121.
- ZEMBRUSCKI, S.G. 1979 Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. In: Projeto REMAC. Reconhecimento global da margem continental brasileira. Rio de Janeiro, PETROBÁS/CENPES/DINTEP. 7: 129-177.