

Distribuição da Biomassa Fitoplanctônica na Plataforma Interna de São Sebastião (verão/94 e primavera/97)

Sônia Maria Flores Ganesella e Flávia Marisa Prado Saldanha-Corrêa

Resumo? A distribuição da biomassa fitoplanctônica na plataforma interna de São Sebastião foi estudada através de uma rede em mesoescala, durante o verão de 94 e a primavera de 97. No verão, a penetração da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) foi menos intensa, porém a disponibilidade de nitrogênio inorgânico na Água Costeira (AC) foi maior que na primavera devido à contribuição por chuvas. A biomassa fitoplanctônica foi menor no verão e o estado nutricional das células, avaliado através da razão D.O.480/ D.O.665, indicou boas condições na AC, apenas na primavera, e no domínio da ACAS em ambas ocasiões.

Palavras-chave ? Biomassa fitoplanctônica, clorofila-a, nutrientes, razão 480/665, São Sebastião

I. INTRODUÇÃO

No presente estudo, a distribuição da biomassa fitoplanctônica, em termos de concentração de clorofila-a (Cl-a), foi avaliada no verão de 1994 e na primavera de 1997, como objetivo de subsidiar informações a respeito do primeiro nível trófico da rede alimentar desta área, no contexto de um amplo projeto temático (Projeto "Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião"), cujos objetivos principais seriam a caracterização do ecossistema e o entendimento dos fluxos de energia na rede trófica local.

II. MATERIAL E MÉTODOS

As coletas foram realizadas a bordo do N/Oc. "Prof. W. Besnard" através de uma rede em mesoescala composta por 47 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), no domínio da plataforma interna (até a isóbata de 50 m).

S. M. F. Ganesella, soniag@ceres.io.usp.br, F. M. P. Saldanha-Corrêa, fsalcorr@usp.br, Instituto Oceanográfico da USP, Pça do Oceanográfico, 191-Butantã, São Paulo (SP) CEP 05508-900, Tel. +55-11-3091.6551, Fax +55-11-3091.6607.

Trabalho recebido em 28/03/02. Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo através do Projeto No.92/3449-0

As medidas de parâmetros físicos e amostragens de água para análises químicas e biológicas (com garrafas de Van Dorn) foram realizadas em 9 profundidades no máximo (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 50 ou 2m acima do fundo), de acordo com a profundidade local. Para a determinação da concentração de Cl-a foram filtrados 2 l de água em filtros GF/F, que foram armazenados no escuro a -20°C até o momento da extração em acetona 90%. A absorvância do extrato foi determinada por espectrofotometria [1]. A razão de absorvâncias a 480 e 665 nm (razão 480/665) foi determinada a partir destes mesmos extratos, sendo utilizada como um indicador do estado nutricional do fitoplâncton [2].

O nitrogênio inorgânico total (NIT) foi calculado através da soma das concentrações de amônia, nitrato e nitrito, determinadas por métodos espectrofotométricos [3], a partir de amostras de água do mar filtrada. O mesmo foi feito para a determinação do fosfato [4].

Os demais parâmetros físicos: temperatura (termômetros de reversão), profundidade da zona eufótica (disco de Secchi); e químicos: salinidade (salinômetro indutivo), saturação de oxigênio dissolvido [4]-[5], material em suspensão [6], foram obtidos simultaneamente de modo a subsidiar a interpretação dos resultados de Cl-a.

III. RESULTADOS

A. Verão de 1994

No dia anterior ao início das coletas, a região sofreu o impacto de uma precipitação pluviométrica extremamente elevada (133mm, de um total mensal de 200mm). As águas superficiais apresentaram temperaturas acima de 28°C, junto à costa, até 24°C nas estações mais ao largo. Nas águas mais profundas, temperaturas <18°C foram registradas abaixo dos 30m, ao largo da isóbata de 50m, com forte estratificação vertical da coluna de água. A salinidade apresentou valores baixos junto à costa (32,5), aumentando em direção ao fundo e ao largo até 36,0. De acordo com os índices termohalinos fornecidos na literatura [7]-[8] verificou-se que as águas superficiais até cerca de 30 metros encontravam-se sob domínio da Água Costeira (AC), com temperaturas >18°C e salinidades < 35,4. Nas regiões mais profundas, foi observada a presença da Água Central do Atlântico Sul

(ACAS), com temperaturas entre 15,5 e 18° C e salinidade entre 35,5 e 36,0. Esta condição é relativamente freqüente no litoral norte do Estado de São Paulo a partir do início da primavera, quando a ACAS avança sobre a plataforma, podendo atingir o fundo da região mais interna e algumas vezes até mesmo a superfície [8]-[10]. As águas da AC apresentaram-se saturadas em oxigênio dissolvido (média de 98,8? 9,6%), enquanto que as águas da ACAS apresentaram-se subsaturadas (média de 72,4? 9,1%). A profundidade da zona eufótica variou de 9,8 m (junto à costa) a 50,4 m (nas estações mais ao largo) com um valor médio de 29 m para a área total. O padrão de penetração da luz mostrou-se bastante vinculado à distância da costa e à quantidade de material em suspensão presente na água.

Houve boa disponibilidade de NIT em toda a coluna de água em toda a área, especialmente na porção norte e em direção ao fundo (Fig. 1A-B). As concentrações médias de NIT foram de 2,36 (? 1,46) ?M na AC e de 4,59 (? 2,18) ?M na ACAS. O nitrato foi a forma predominante (médias de 3,56 ? 2,16 ?M, na ACAS, e 1,55 ? 1,28 ?M, na AC). As concentrações médias de amônia foram semelhante nas ACAS e AC (0,62 ? 0,42 ?M e 0,71 ? 0,55?M, respectivamente), porém, considerando-se as concentrações de nitrato, a amônia na AC representou uma importante fração do NIT, especialmente na AC.

As concentrações de fosfato foram baixas na AC (média 0,15 ? 0,11 ?M), com núcleo de concentrações ligeiramente mais elevadas a nordeste da ilha. (Fig. 1C). As concentrações mais elevadas (até 0,75 ?M, com média de 0,49 ? 0,13 ?M) foram observadas nas camadas inferiores devido principalmente a influência da ACAS (Fig. 1D).

Os valores médios de clorofila no domínio da AC (0,48 ? 0,41 mg m⁻³) e sob influência da ACAS (0,80 ? 0,23 mg m⁻³) indicam a ocorrência de maior biomassa fitoplânctônica nas camadas mais profundas. Na AC, núcleos de maior biomassa foram detectados na região costeira ao sul e na porção ao norte da ilha (Fig. 1E), enquanto que nas camadas inferiores houve um gradiente crescente em direção à plataforma externa (Fig. 1F). Este fenômeno pode decorrer tanto de um reflexo de processos adaptativos à baixa radiação incidente nas camadas mais profundas, como também de uma resposta de crescimento do fitoplâncton à maior disponibilidade em nutrientes presentes na ACAS.

A mistura vertical pode enriquecer a camada eufótica, com a introdução de nutrientes novos na camada de mistura. Porém, este enriquecimento muitas vezes não é detectado através do aumento das concentrações de nutrientes na água, uma vez que estes podem ser assimilados logo que se tornam disponíveis. Em outras situações, as concentrações de nutrientes podem ser elevadas, mas a ausência de outros elementos não mensurados, tais como ferro e vitaminas, pode estar limitando o desenvolvimento do fitoplâncton. Sendo assim, torna-se necessária a utilização de um indicador do estado nutricional no meio intra-celular. A razão 480/665 tem sido utilizada como um indicador do estado nutricional do

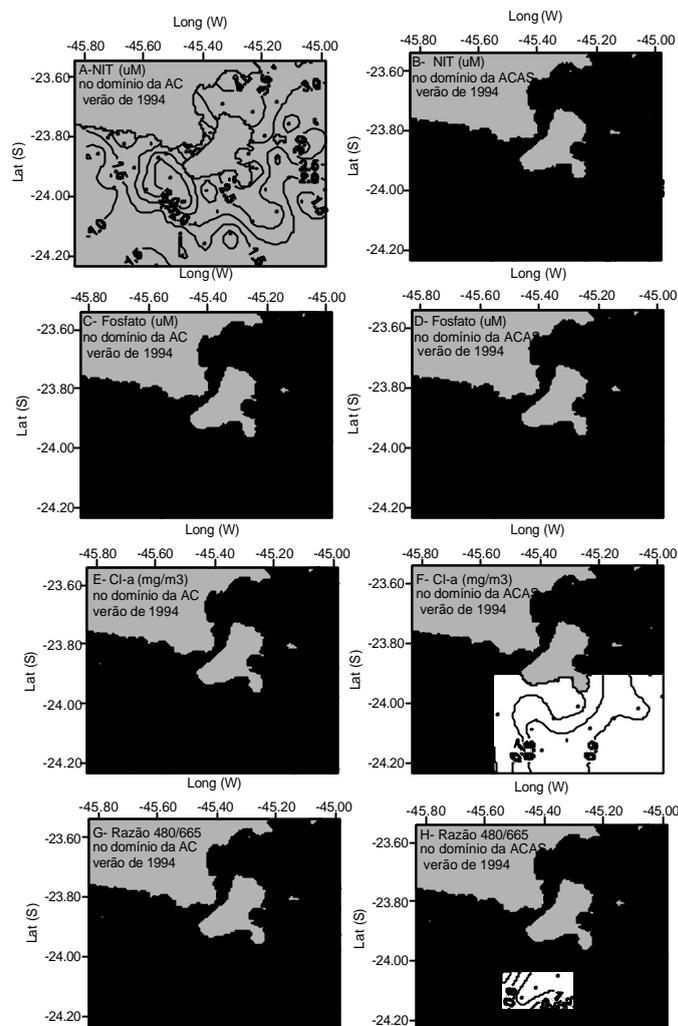


Fig.1. Perfis horizontais da distribuição dos valores médios de: NIT (?M), Fosfato (?M), Cl-a (mg m⁻³) e razão 480/665, na camada superficial sob domínio da AC (Figs A, C, E e G) e na camada inferior, sob influência da ACAS (Figs B, D, F e H), durante o cruzeiro do verão de 1994, na plataforma interna de São Sebastião

fitoplâncton em ambiente natural e em laboratório, posto que esta razão é independente das variações de luz e temperatura [2]. Células com suprimento adequado de N intracelular apresentam razões inferiores a 1,4 e, sob extrema deficiência de N, as razões são superiores a 2,4 [11]. Razões entre 0,73 e 1,68 são esperadas para células em condições de ótimo nutricional, considerando-se a variação taxonômica [2]. A distribuição horizontal dos valores médios da razão 480/665 obtidas no domínio na AC (Fig. 1G) indicam condições nutricionais desfavoráveis ao desenvolvimento do fitoplâncton ao longo de toda a área. Os locais onde foram detectados os máximos de biomassa coincidem com valores 480/665 inferiores a 2,0. Na camada inferior sob influência da ACAS (Fig. 1H), as condições nutricionais mostraram-se adequadas ao desenvolvimento do fitoplâncton (mín. 1,47 e máx. 1,61).

B. Primavera de 1997

A estrutura hidrográfica na primavera foi bem distinta daquela observada no verão: a temperatura média das águas sob domínio da AC esteve cerca de 4° C abaixo das temperaturas verificadas naquele período. Uma termoclina mais conspícua ocorreu logo abaixo dos 15 m, pois a ACAS ocupou as camadas abaixo de 25m de toda a área, com maior intensidade na região ao sul da ilha de São Sebastião [10]. A salinidade apresentou valores mais elevados do que os de verão, com média de 35,18 na AC e 35,79 na ACAS. Foi detectada a presença da Água Tropical (AT), caracterizada por temperaturas < 20° C e salinidades < 36,0 [7-8], como uma intrusão à meia-água (em torno dos 25 m de profundidade) a leste da ISS [10]. Os níveis de saturação de oxigênio dissolvido indicaram águas saturadas na AC (média de 96,5 ± 9,5%) e subsaturadas na ACAS e AT (70,7 ± 7,16% e 76,8 ± 14,4%, respectivamente). A profundidade média da zona eufótica na primavera (25 m) foi semelhante à observada no verão, com um intervalo de variação menor: de 9m, 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 no verão.

A disponibilidade de NIT foi bem inferior no domínio da AC (0,66 ± 0,74 μM) e maior no domínio da ACAS (5,01 ± 2,14 μM), se comparada às médias de verão. A contribuição do nitrato na AC (valor médio de 0,37 ± 0,68 μM), foi cerca de cinco vezes inferior à obtida naquele período. O aporte de nitrato via ACAS fica bem evidente pelo aumento de sua concentração nas camadas inferiores (média de 4,55 ± 2,07 μM), onze vezes maior que a média da AC. A contribuição da amônia também foi bem inferior à observada no verão (valores médios de 0,23 ± 0,18 μM na AC, 0,12 ± 0,10 μM na AT e 0,25 ± 0,19 μM na ACAS). Portanto, durante a primavera, o padrão de distribuição do NIT (Fig. 2A-B) esteve bastante vinculado à distribuição de nitrato, que por sua vez teve forte correlação com a presença da ACAS. Tanto na primavera quanto no verão o nitrito representou menos de 10% do NIT.

A concentração de fosfato em águas superficiais foi cerca de duas vezes mais elevada na primavera do que no verão, com um valor médio de 0,22 (± 0,10) μM, sendo o Canal de São Sebastião (CSS) a porção mais rica (Fig. 2C). Com a maior penetração da ACAS sobre a plataforma, a camada de fundo também apresentou maior disponibilidade em fosfato (Fig. 2D), com uma concentração média de 0,53 (± 0,15) μM.

A biomassa fitoplanctônica esteve bem mais elevada na primavera. Na AC, a biomassa média foi de 1,27 (± 0,43) mg Cl-a m⁻³ (Fig. 2E). A região próxima à costa norte da área e no entorno da Ilha de São Sebastião, incluindo o CSS, apresentou os valores mais elevados (máximo de 3,98 mg Cl-a m⁻³). A camada de fundo, sob influência da ACAS, apresentou biomassa média maior (2,15 ± 1,34 mg Cl-a m⁻³) indicando a influência positiva da entrada da ACAS para o desenvolvimento do fitoplâncton em profundidades onde ainda há disponibilidade de luz (Fig. 2F). A porção sob influência da AT apresentou os valores médios mais baixos

de biomassa (1,01 ± 0,43 mg Cl-a m⁻³), mas, ainda assim, estes foram superiores aos observados no verão.

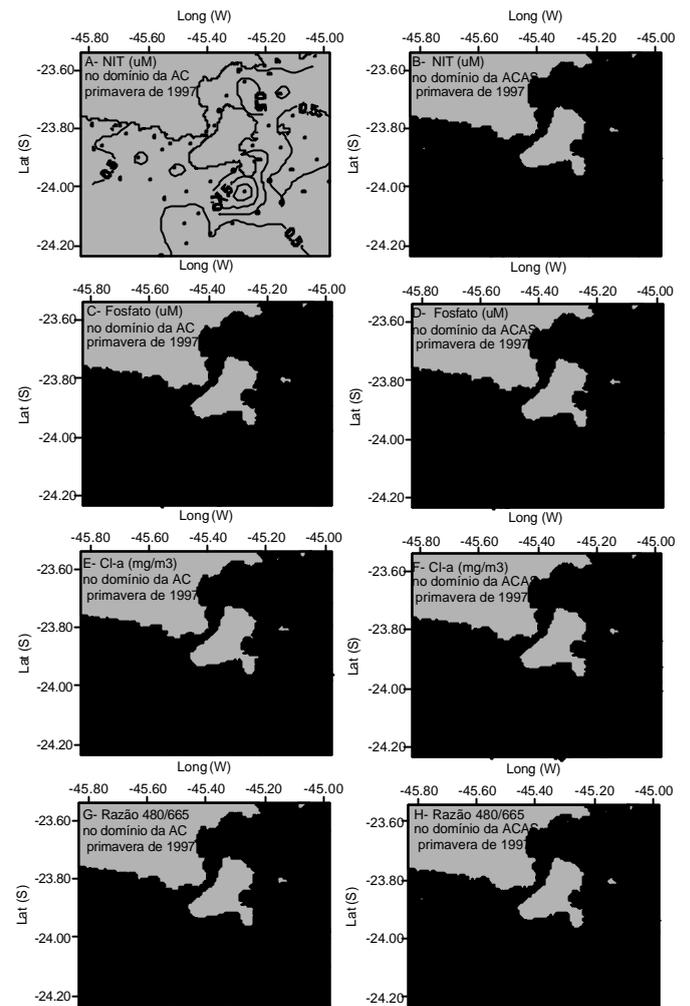


Fig. 2. Perfis horizontais da distribuição dos valores médios de: NIT (μM), Fosfato (μM), Cl-a (mg m⁻³) e razão 480/665 na camada superficial sob domínio da AC (Figs A, C, E e G) e na camada inferior, sob influência da ACAS (Figs B, D, F e H), durante o cruzeiro da primavera de 1997, na plataforma interna de São Sebastião.

Os valores da razão 480/665, 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 indicam uma propensão à limitação por nitrogênio (Fig. 2G-H).

IV. DISCUSSÃO

As diferenças nas concentrações de NIT observadas entre o verão e a primavera no domínio da AC, certamente se devem ao aporte significativo de nitrato e de amônia em decorrência da intensa chuva que antecedeu as coletas de verão. Cerca de 20 a 50% da carga costeira de nitrogênio pode ser atribuída à deposição atmosférica [12]. Braga [13] verificou em uma enseada de Ubatuba (SP) que o aporte de nutrientes (N, P) pelas águas de chuva atinge proporções bastante

significativas, enriquecendo a camada de mistura. Este aporte pode ocorrer diretamente na forma de amônia dissolvida, bem como pelo transporte de material orgânico por drenagem continental para a região costeira que, ao se degradar posteriormente, produz amônia. Deve-se também considerar os processos de fixação de N atmosférico que são favorecidos por descargas elétricas, comuns durante as tempestades, e também pelo carreamento de gases atmosféricos pela água das chuvas diretamente para o oceano.

As diferenças observadas na disponibilidade de nutrientes nas camadas de fundo devem-se principalmente à intensidade de penetração da ACAS, rica em nutrientes [14], na plataforma interna. Como na primavera a ACAS atingiu profundidades até 25m, já na zona eufótica, seu efeito eutrofizante refletiu-se tanto pelo aumento da disponibilidade nutricional nas camadas inferiores, mas também pelo aumento da biomassa fitoplanctônica contida nesta água, que ao atingir a zona eufótica encontra condições favoráveis para desenvolver-se rapidamente [15].

Apesar da alta disponibilidade de nutrientes na AC durante o verão, a biomassa fitoplanctônica foi muito inferior a da primavera. Tal observação está de acordo com as informações fornecidas pelas razões 480/665 no verão, que indicaram condições nutricionais (intracelulares) bastante inadequadas ao desenvolvimento das células, ao contrário do observado na primavera. Assim, fica claro que a avaliação da condição nutricional, mais do que a avaliação da disponibilidade de nutrientes dissolvidos na água, ou mesmo da razão N:P no ambiente, fornece dados mais explicativos sobre a distribuição da biomassa fitoplanctônica. Na camadas de fundo, sob influência da ACAS, a razão 480/665 indicou condições favoráveis ao desenvolvimento do fitoplâncton tanto no verão como na primavera e a diferença na concentração da biomassa entre estes períodos está vinculada a intensidade de penetração da ACAS na zona eufótica, já que a luz parece ser o limitante principal ao desenvolvimento das populações algais que se encontram junto ao fundo. Comparando os valores médios de biomassa observados neste trabalho, como os obtidos ao longo de quatro verões consecutivos em uma rede de mesoescala (similar executada em São Sebastião) na região costeira de Ubatuba [14], apresentados na Tabela I, verifica-se que a concentração de Cl-a na primavera/97, no domínio da AC, foi significativamente superior aos valores observados durante o verão, tanto na região de São Sebastião como de Ubatuba.

TABELA I

VALORES MÉDIOS DE BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA (mg Cl-a m⁻³) OBSERVADOS NOS DOMÍNIOS DA AC E ACAS, EM SÃO SEBASTIÃO E EM QUATRO VERÕES CONSECUTIVOS NA REGIÃO COSTEIRA DE UBATUBA (SEGUNDO [14]).

Local	Época	AC	ACAS
São Sebastião	verão/94	0,48	0,80
São Sebastião	primavera/97	1,21	2,02
Ubatuba	verão/88	0,46	2,77
Ubatuba	verão/87	0,82	0,67
Ubatuba	verão/86	0,31	1,12
Ubatuba	verão/85	0,31	1,09

Mesmo sob condições de penetração pouco intensa da ACAS, conforme verificado no verão de 1994, a média observada na AC em São Sebastião foi igual ou superior às observadas durante três dos verões em Ubatuba indicando que a ACAS, ainda que seja o principal agente fertilizador das águas da camada de mistura [14], não constitui a única fonte de aporte de nutrientes novos para o sistema da plataforma interna de São Sebastião. Pelas características da linha de costa desta área, a entrada de nutrientes via drenagem continental ou insular são extremamente importantes, a despeito da inexistência de cursos d'água de grande porte nesta faixa de litoral. Como por ocasião das duas coletas realizadas neste trabalho foi registrada a ocorrência de chuvas (mais intensas no verão), a entrada de nutrientes por precipitação atmosférica e drenagem continental deve ser levada em consideração, bem como seus reflexos sobre a biomassa do fitoplâncton.

As informações apresentadas na Tabela I para a ACAS em Ubatuba correspondem ao que os autores [14] chamaram de ACAS II, ou seja, a ACAS localizada na base da zona eufótica condição na qual seus nutrientes ainda não foram intensamente assimilados pelo fitoplâncton. Estes valores de biomassa mostram uma grande variabilidade, que foi atribuída à variação interanual da intensidade de penetração desta massa de água sobre a plataforma, com as maiores concentrações verificadas geralmente em locais onde a zona eufótica foi mais profunda [14]. Os resultados obtidos para as águas sob influência da ACAS neste trabalho corroboram estas conclusões.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que a região da plataforma interna de São Sebastião apresenta condições mais mesotróficas que a área de Ubatuba. Certamente os aportes de nutrientes novos ao sistema via drenagem continental e insular, além dos eventos de fertilização da camada de mistura através da penetração da ACAS pelo fundo, são os principais responsáveis por esta característica da área.

REFERÊNCIAS

- [1] S.W. Jeffrey, and G.F. Humphrey, "New espectrofotometric equations for determining chlorophylls a,b, c and c₂ in higher plants, algal and natural phytoplankton", *Biochem. Physiol. Pflanzen (BPP) Bd.*, vol. 167S, pp. 191-194, 1975.
- [2] M.R. Heath, K. Richardson, and T. Kiorboe, "Optical assessment of phytoplankton nutrient depletion", *J. Plank. Res.*, vol 12 (2), pp. 381-396, 1990
- [3] A. Aminot and M. Chaussepied, *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*, Brest: C.N.E.X.O. , 1983, 395p.
- [4] K. Grasshoff, T.M. Ehrhardt, and K. Kremling, *Methods of seawater analysis* 2nd ed., Basel: Verlag Chemie, 1983, 419p.
- [5] UNESCO, "International oceanographic tables. Table of oxygen", National Institut of Oceanography of Great Britain and UNESCO. vol. 2, 1973.
- [6] APHA (American Public Health Association), *Standard methods for the examination of water and waste water* 16th ed. Washington: APHA, 1985, 1288p.
- [7] L.B. de Miranda, "Forma da correlação T-S de massas de água das regiões costeiras e oceânica entre Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil". *Bolm. Inst. Oceanogr.*, vol. 33(2), pp.105-119, 1985
- [8] Castro Filho, L.B. de Miranda, and S.Y. Miyao, "Condições hidrográficas na plataforma continental de Ubatuba: variações sazonais e em média escala", *Bolm Inst. oceanogr.*, vol. 35 (2), pp.135-151, 1987.

- [9] Y. Matsuura, "Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC)", *Ciênc. Cult.*, vol. 38(8), pp.1439-1450, 1986.
- [10] B.M. Castro, "Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo", Tese de livre-docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 248p., 1996.
- [11] R.A. Watson, and P.L. Osborne, "An algal pigment ratio as an indicator of the nitrogen supply to phytoplankton in three Norfolk broads", *freshwater Biol.*, vol.9, pp.585-594, 1979.
- [12] J. Paerl, "Coastal eutrophication in relation to the atmospheric nitrogen deposition: current perspectives", *Ophelia*, vol. 41, pp. 237-259, 1995.
- [13] E.S. Braga, "Seasonal variation of atmospheric and terrestrial nutrients and their influence on primary production in an oligotrophic coastal system-southeastern Brazil", *Revta bras. Oceanogr.*, vol. 47(1), pp. 47-57, 1999.
- [14] E. Aidar, S.A. Gaeta, S.M.F. Giancesella-Galvão, M.B.B. Kutner, and C. Teixeira, "Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP", *Publicação esp.Inst. oceanogr.*, vol. 10, pp. 9-43, 1993.
- [15] F.M.P. Saldanha, *Simulação da mistura vertical de massas de água da região costeira de Ubatuba (SP): efeitos sobre a produção primária e biomassa fitoplanctônica*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, S Paulo., vol. 1e2, 250 p., 1993.