

Influência das Marés sobre o Fitoplâncton no Sistema Estuarino de São Vicente e Santos.¹

Moser, G.A.O.; Giancesella, S.M.F.; Cattena, C. de O.; David, C. J.; Barrera-Alba, J. J.; Saldanha-Corrêa, F. M. P. & Braga, E. S.

Resumo – O presente estudo teve por objetivo avaliar a composição da comunidade fitoplanctônica à luz das variações químicas e físicas na Baía de Santos e estuários de São Vicente e Santos, em diferentes condições de maré. Nos estuários, a instabilidade da coluna de água e a luz atuaram como fatores limitantes para o crescimento do fitoplâncton. A competição e alternância de domínio entre as comunidades de diatomáceas cêntricas e fitoflagelados nanoplanctônicos estiveram relacionadas às adaptações destes organismos às oscilações de luz e nutrientes durante as marés de sizígia e quadratura.

Palavras-chave – comunidades fitoplanctônicas, luz, nutrientes inorgânicos, marés, estuários.

I- INTRODUÇÃO:

Os estuários, baías e mangues representam grande parte das áreas costeiras, tendo enorme importância para a produtividade biológica e para a reprodução dos recursos vivos. Nos estuários, os principais fatores que contribuem para o aumento da produtividade são: sua baixa profundidade (quando comparada aos demais ambientes marinhos costeiros), o que torna possível uma estreita relação entre coluna de água e sedimentos; entrada de nutrientes de origem alóctone e alta disponibilidade de energia auxiliar, proveniente principalmente da variação das marés e gradientes de densidade gerados pela entrada de água do mar [1].

No ambiente pelágico, o fitoplâncton é o principal produtor de matéria orgânica a partir de substratos inorgânicos e representa a base da cadeia trófica. Em ambientes estuarinos, os autótrofos são representados por macrófitas, microfítobentos e comunidades fitoplanctônicas. A importância relativa de cada uma destas comunidades é controlada por fatores físicos, químicos, geomorfológicos e geológicos. À medida que a profundidade da coluna de água aumenta nos estuários, a importância da produtividade primária por parte das comunidades fitoplanctônicas também aumenta [2].

Processos que promovem o desenvolvimento e a manutenção do fitoplâncton na zona eufótica, como a entrada de nutrientes, contribuem diretamente para o aumento local da concentração de organismos. O aumento exagerado da concentração de microalgas indica eutrofização. A eutrofização leva à ocorrência de florações algais, tóxicas ou

não, e a uma deficiência de oxigênio pela morte das algas, que prejudica todo o sistema.

A área da Baía de Santos e estuários adjacentes sofre intensos despejos de efluentes domésticos (via emissários submarinos e estuários), industriais (via estuários e tributários na região da cabeceira do estuário) e de resíduos provenientes da atividade portuária no estuário de Santos, onde se localiza um dos maiores portos da América Latina. Estudos enfocando as relações entre a comunidade fitoplanctônica e as variações nos parâmetros físicos e químicos nesta região são escassos [3]-[5].

O presente estudo teve por objetivo avaliar a comunidade fitoplanctônica frente às variações químicas e físicas no Sistema Estuarino de São Vicente e Santos, e faz parte de um projeto maior de estudo da eutrofização desse sistema.

II- MATERIAIS E MÉTODOS:

As amostragens foram realizadas em três pontos: área sob influência direta do emissário submarino de esgotos na Baía de Santos (E) e entradas dos estuários de Santos (S) e São Vicente (SV), em marés de quadratura e sizígia em duas épocas do ano distintas: Agosto de 1999 (durante o inverno, período mais seco) e em Janeiro de 2000 (verão, período chuvoso e época de alta temporada turística) (Fig. 1).

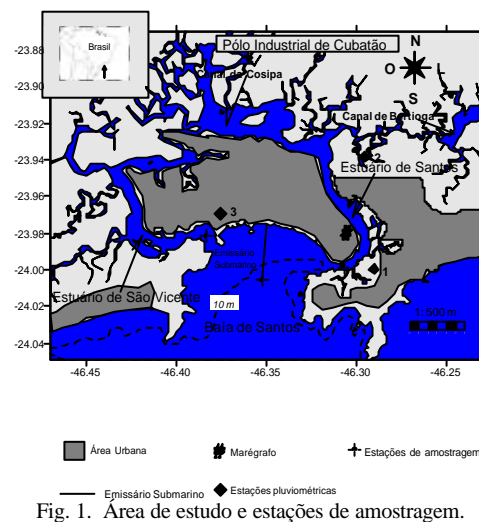


Fig. 1. Área de estudo e estações de amostragem.

¹ Moser, G. A. O., gleycimoser@hotmail.com; Giancesella, S. M. F., soniag@ceres.io.usp.br; Cattena, C. de O.; David, C. J.; Barrera-Alba, J. J.; Saldanha-Corrêa, F. M. P. & Braga, E. S. Instituto Oceanográfico- USP. Pq do Oceanográfico, 191. Cidade Universitária. Tel. 3091-6551

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), através do Projeto N° 99/02307-7 e pelo Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), através do Projeto N° 141119/1998-5.

As amostras de água foram coletadas na camada eufótica, determinada com base no disco de Secchi [6] (superfície, meio e base), com garrafas de Nansen para a obtenção das seguintes variáveis: temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido (OD). Nas coletas de janeiro, além deste procedimento os dados de temperatura, salinidade e pH foram obtidos através da utilização de um sistema multi-parâmetros de monitoramento da qualidade da água (marca HORIBA, modelo U22), calibrado por métodos analíticos.

Com garrafas do tipo Van Dorn foram coletadas amostras para a determinação de variáveis biológicas e químicas. Em cada estação uma alíquota de 150 mL foi fixada com formol a 0,4 % para a análise qualitativa e quantitativa da comunidade fitoplanctônica. Outras alíquotas foram retiradas e filtradas através de filtros de fibra de vidro GF/F (Whatman®) para determinação de material em suspensão e clorofila. Os filtros foram acondicionados a -20°C. O filtrado foi armazenado em frascos plásticos para determinação de nutrientes. Estes frascos foram armazenados a -20°C, até o momento das análises.

Os dados de pluviometria foram obtidos diariamente em 3 estações do Departamento de Águas e Esgotos do Estado de São Paulo (DAEE) (Fig. 1).

Os registros de variação da maré foram obtidos junto à Companhia de Docas do Estado de São Paulo (CODESP), cujo marégrafo está localizado no Porto de Santos (Fig. 1).

A radiação fotossinteticamente ativa diária foi estimada a partir da radiação total [7]-[8]. O registro de radiação total foi obtido através da utilização de um actinógrafo (marca R-FUESS), instalado em terra.

As análises das variáveis físicas, químicas e biológicas foram realizadas de acordo com os seguintes métodos: Salinidade: determinada em um salinômetro indutivo e determinada de acordo com a escala prática de salinidade [9], para as coletas de agosto/99.

Oxigênio dissolvido (mL/L): método de Winkler [10]. Os cálculos das porcentagens de saturação de oxigênio foram feitos segundo as tabelas oceanográficas internacionais [9].

Nutrientes dissolvidos inorgânicos (µM): o nitrato, nitrito e N-amoniaco foram determinados espectrofotometricamente [11], bem como fosfato e silicato [12].

Material em suspensão orgânico e inorgânico (mg/L): determinados por análise gravimétrica [13].

Clorofila (mg/m³): estimada espectrofotometricamente [14].

Contagem e identificação do nano e microfitoplâncton (células/L): As contagens de fitoplâncton foram realizadas em microscópio invertido, sob aumento de 400 x, em câmaras de sedimentação de 5 mL [15]. Um mínimo de 400 células entre microfitoplâncton (> 20 µm) e nanofitoplâncton (> 2 e < 20 µm) foi contado para cada amostra, de forma a fornecer resultados significativos estatisticamente [16].

Os organismos foram agrupados em classes de tamanho. A identificação qualitativa permitida pelo aumento utilizado seguiu a literatura específica [17]-[20], propiciando a identificação de Diatomáceas, Dinoflagelados e

Cocolitoforídeos, os demais grupos foram reunidos em fitoflagelados.

III- RESULTADOS:

Em agosto, a precipitação foi baixa durante os dias de coleta, alcançando apenas 2 cm durante a amostragem de sizígia (Fig. 2). Em janeiro o máximo observado foi de 60 cm, durante a campanha de quadratura (Fig. 2).

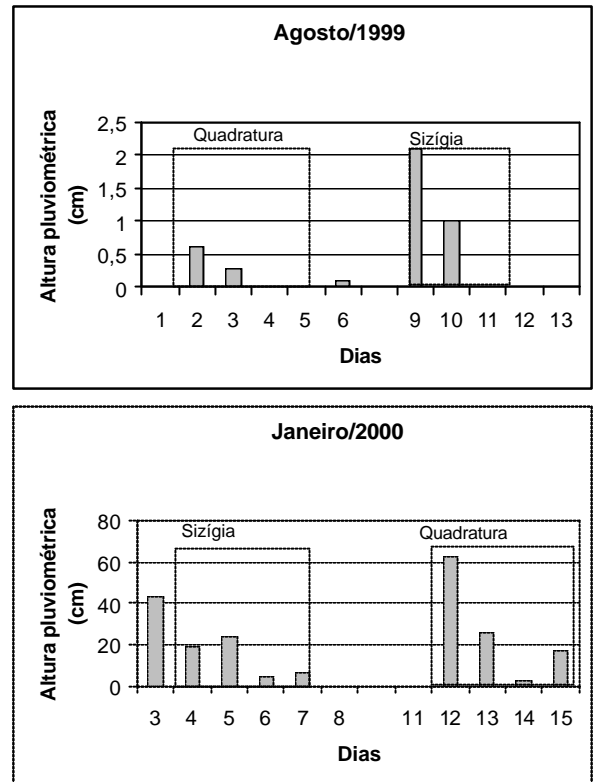


Fig. 2- Altura pluviométrica média (cm) durante as campanhas de agosto/1999 e janeiro/2000. O quadrado indica o período de amostragem na maré de sizígia e a área pontilhada indica o período de amostragem durante a quadratura.

As amplitudes das marés de sizígia estiveram entre 1-1,5 m, enquanto na quadratura, a amplitude foi de cerca de 0,5 m (Fig. 3).

Em geral, as amostragens foram realizadas durante as corridas de marés vazante e enchente (Fig. 3).

Os maiores valores de RFA foram observados nas marés de quadratura. Em agosto, o valor máximo foi de 238,44 µE/m² enquanto em janeiro este foi de 303,24 µE/m². Os máximos de radiação foram obtidos durante as amostragens no estuário de Santos e na Baía de Santos, tanto em agosto quanto em janeiro.

O pH variou entre 7,70 e 8,68. Os maiores valores foram observados em agosto. O estuário de Santos e a Baía de Santos sempre apresentaram os valores mais elevados (Tabelas I e II).

A temperatura situou-se em torno de 20° C em agosto, e em torno de 26° C em janeiro (Tabelas I e II).

A salinidade das águas nas campanhas de agosto e janeiro foram semelhantes (em torno de 31). A estação de São

x 10⁷ células/L), durante uma floração de *Skeletonema spp.* (Fig. 4).

Dentre as diatomáceas cêntricas houve o predomínio de *Skeletonema spp.* (*S. costatum* e *Skeletonema sp.*), seguida pelos gêneros *Chaetoceros* e *Thalassiosira*.

Dentre o microfítolplâncton houve o predomínio de diatomáceas penadas. A maioria dos gêneros observados apresentavam rafe, indicando a origem microfítobentônica destes organismos. Os gêneros mais abundantes foram: *Thalassionema*, *Nitzschia* e *Pleurosigma/Gyrosigma*.

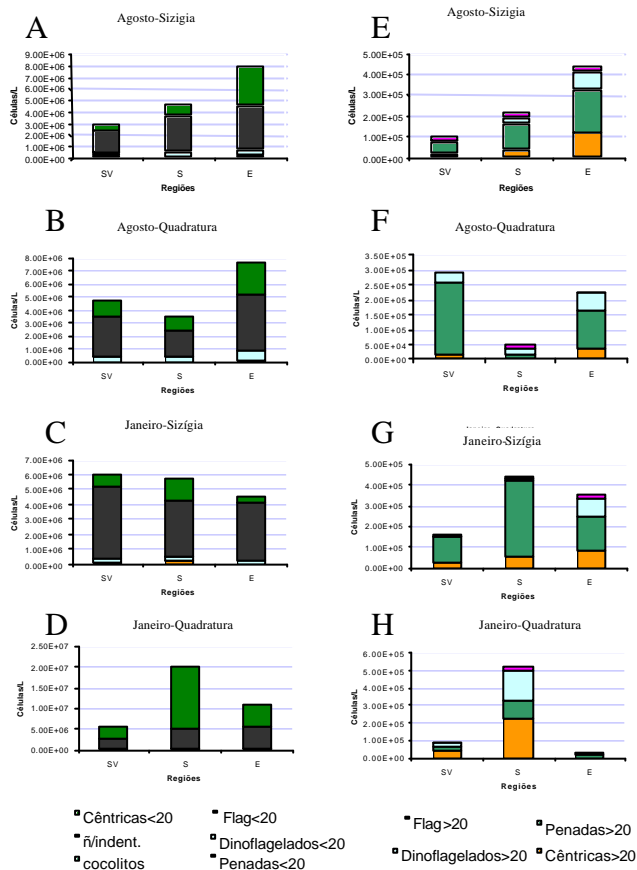


Fig. 4. Valores das concentrações (células/L), integradas na zona eufótica, dos principais grupos de organismos nano e microfítolplânctônicos encontrados nas regiões de São Vicente (SV), Santos (S) e Baía de Santos (E), durante as campanhas de agosto/1999 e janeiro/2000, sizígia e quadratura. Gráficos A, B, C e D representam os grupos de organismos nanoplânctônicos. B, D, F e H representam os grupos de organismos microplânctônicos. Note a diferença de escala entre nano e microfítolplâncton.

IV- DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES:

Em estuários, em geral, a luz é o fator limitante para o crescimento do fitoplâncton [1]. Em ciclos de maré semi-diurnos, e períodos de sizígia e quadratura, é possível observar uma relação entre o fitoplâncton e as oscilações da onda de maré. Estas oscilações alteram a disponibilidade de luz e nutrientes [21]. Na entrada dos estuários de Santos e São Vicente e Baía de Santos, próximo ao emissário submarino de esgotos, as altas concentrações de nutrientes inorgânicos indicam que o crescimento fitoplânctônico não se encontrava limitado por nutrientes. Entretanto, a

profundidade da zona eufótica foi baixa, entre 2 e 5 m e a radiação fotossinteticamente ativa foi máxima durante a quadratura de janeiro, quando ocorreu a floração de *Skeletonema spp.*

As maiores concentrações de biomassa algal, especialmente durante a floração de *Skeletonema spp.*, estiveram relacionadas à quantidade da luz incidente, assim como à maior estabilidade da coluna de água que ocorre durante a maré de quadratura. As chuvas que ocorreram em janeiro também contribuíram para o aumento da biomassa fitoplânctônica na entrada do estuário de Santos, através do aumento da concentração de nutrientes. Contudo, neste período as concentrações de compostos nitrogenados e fosfato foram menores do que nas demais situações amostradas.

O momento da amostragem provavelmente coincidiu com o meio da evolução da floração. A comunidade fitoplânctônica provavelmente foi estimulada pela alta radiação incidente (aproximadamente 303,24 $\mu E/m^2$) e pelas altas concentrações de N-amoniaco (observadas no interior dos estuários e na entrada do estuário de São Vicente, 2 dias antes da amostragem no estuário de Santos) [22]. As fortes chuvas (60 cm) que ocorreram 1 dia antes da amostragem aumentaram a estratificação halina, esta alta estratificação associada à maré de quadratura, período de maior estabilidade da coluna de água, favoreceram a floração no estuário de Santos. Com o aumento da biomassa fitoplânctônica na região (62,3 mg/m^3), a profundidade da camada eufótica e a concentração de N-amoniaco (predomínio de nitrato na ocasião da amostragem) diminuíram. O N-amoniaco é a forma preferencialmente absorvida pelo fitoplâncton. Este fenômeno pode ter favorecido a dominância de *Skeletonema. S. costatum*, uma das espécies de *Skeletonema* observadas na floração, é capaz de utilizar e estocar nitrato a baixas intensidades luminosas [23], quando competindo com outros gêneros abundantes na região, como por exemplo *Chaetoceros* e *Thalassiosira*.

Tanto em agosto quanto em janeiro, as marés de quadratura favoreceram o aumento da comunidade de diatomáceas micro e nanoplânctônicas, as comunidades de fitoflagelados foram favorecidas pelas marés de sizígia (aumento da proporção em relação às diatomáceas cêntricas). Provavelmente esta alternância de predomínio está relacionada às adaptações destes organismos às oscilações de luz e concentração de nutrientes durante as marés de sizígia e quadratura.

Quanto a disponibilidade de luz, quando a mistura vertical é moderada, como observado nas campanhas de quadratura, as mudanças nas condições ambientais ocorrem em uma velocidade menor do que o tempo de adaptação fisiológica do fitoplâncton, possibilitando a adaptação destes organismos as novas condições. Esta estratégia fisiológica constitui um mecanismo regulatório para maximizar a eficiência da utilização da luz disponível [21], favorecendo o desenvolvimento de organismos maiores, com maiores ciclos de vida, como as diatomáceas observadas no presente estudo. Em contraste, quando a mistura vertical é persistente e intensa, como nas campanhas de sizígia, as mudanças nas condições ambientais ocorrem mais rapidamente do que as

adaptações fisiológicas são capazes de acompanhar e a comunidade fitoplanctônica tende a se adaptar à condições intermediárias, entre o máximo e o mínimo de luz disponível. Esta situação favorece o estabelecimento de organismos com menores ciclos de vida, ou seja, capazes de se adaptarem mais rapidamente às mudanças do ambiente, como é o caso dos fitoflagelados.

Quanto à disponibilidade de nutrientes, em períodos de mistura da coluna de água, nas corridas de marés enchente e vazante, ocorre a ressuspensão de sedimentos e conseqüentemente os nutrientes são novamente liberados para a coluna de água, alcançando as camadas superficiais e tornando-se disponíveis para o fitoplâncton. A liberação em pulsos de nutrientes limitantes pode ser um fator crítico para competição entre espécies fitoplanctônicas. Nestes ambientes, a velocidade máxima de absorção é mais importante do que a especificidade ao substrato [23]. Em ambientes estuarinos, o vasto número de células é decorrência da alta concentração de nutrientes, uma vez que não há limitação por este fator. Nestes ambientes, freqüentemente uma ou duas espécies se tornam dominantes [24], como observado neste trabalho, onde em geral houve o predomínio de *Skeletonema spp.* e *Thalassiosira spp.*

Como anteriormente mencionado, a competição e alternância de domínio entre as comunidades de diatomáceas cêntricas e fitoflagelados nanoplanctônicos observadas no presente estudo, provavelmente estão relacionadas à adaptação destes organismos às oscilações de luz e nutrientes durante as marés de sizígia e quadratura e as distintas condições de estabilidade propiciadas pelas duas condições de maré.

A dominância de *Skeletonema costatum* está relacionada ao fato desta se tratar de uma espécie tipicamente oportunista e de regiões costeiras, que apresenta uma resposta rápida de crescimento quando há o aumento dos teores de nutrientes dissolvidos. Estas espécies são selecionadas pela habilidade competitiva e pela maior eficiência na utilização de recursos em ambientes instáveis [23]. Entretanto, estas não se mantêm em densidades máximas por muito tempo, admitindo-se competição por outras espécies [25].

REFERÊNCIAS

- [1]. L. A. O. Proença, 1994. *Phytoplankton biomass organic matter sedimentation and nutrient remineralization in a macrotidal estuary, Southampton water*. Dissertation submitted to the faculty of Science for the degree of Doctor of Philosophy. University of Southampton, 1994, 179 pp.
- [2]. D. L. Correl. "Estuarine Productivity". *BioScience*, 28: (10) 646-650, 1978.
- [3]. S. M. F. Gíanesella-Galvão. *Produção primária da Baía de Santos, Estado de São Paulo. Aspectos sobre a eficiência fotossintética num ambiente marinho poluído*. Dissertação apresentada ao Departamento de Oceanografia Biológica do Instituto Oceanográfico da USP. 1978, 53 pp., figuras e tabelas.
- [4]. S. M. F. Gíanesella-Galvão. "Standing-stock and potential production of phytoplankton in the bay of Santos, Brazil". *Bolm. Inst. oceanogr.* 1982, 31: (2) 85-94.
- [5]. E. Aidar, T. C. S. Sigaud-Kutner, G. A. O. Moser e C. O. Cattena. "Determinação do potencial trófico de águas costeiras sob influência de emissários submarinos no litoral do estado de São Paulo (Brasil), através de bioensaios com *Phaeodactylum tricorutum*". *VIII COLACMAR. Universidade Nacional de Trujillo*. 1999, pp 852-854.
- [6]. H.H. Poole e W. R. G. Atkins. "Photo-Electric measurements of submarine illumination throughout the year". *J. Mar. Biol.* 16: 297-324, 1929.
- [7]. C. J. Dawes. "Abiotic factors", in *Marine Botany*, Eds. John Wiley & Sons, inc.: New York. 1997, pp. 480.
- [8]. J. T. O. Kirk. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems* 2nd ed. New York: Ed. Cambridge University Press. 1994, 509 pp.
- [9]. UNESCO. *International oceanographic tables*, vol 2. Paris, National Institute of Oceanography of Great Britain. 1981, pp 141.
- [10]. J.D.H. Strickland, e T.R. Parsons. *A practical handbook of seawater analysis*. Bull. Fish. Res. Bd Can. 1968, 167: 1-311.
- [11]. A. Aminot, M. Chaussepied., *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*, Brest, C.N.E.X.O., 1983, pp 376.
- [12]. K. Grasshoff, M. Ehrhardt, e K. Kremling. *Methods of seawater analysis*. 2nd. Revised and extended ed. Wienhien Verlag Chemie, 1983, pp 419.
- [13]. APHA (American Public Health Association, inc.). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th ed., Washington, D.C. 1985, pp 144.
- [14]. S. W. Jeffrey e G. F. Humphrey. "New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton". *Biochem. Physiol. Pflanzen (BPP) Bol.* 167, 191-194, 1975.
- [15]. H. Utermöhl. "Neue wege in der quantitativen Erfassung des planktons". *Verh. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.*, 5: (2) 567-596, 1931.
- [16]. J. W. G. Lund, C. Kipling, E. D. Le Gren. "The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting". *Hydrobiologia*, 1958, 11: 143-170.
- [17]. E. E. Cupp. "Marine plankton diatoms of the West Coast of North America". *Bull. Scripps. Inst. Oceanogr.*, 5(1): 1-237, 1943.
- [18]. J. C. Gallagher. Cell enlargement in *Skeletonema costatum* (Bacillariophyceae). *J. Phycol.*, 1983, 19: 539-542.
- [19]. F. E. Round, Crawford, R. M. e Mann, D. G. *The Diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge, 1990, pp. 747.
- [20]. C. R. Thomas. *Identifying Marine Phytoplankton*, Eds. Academic Press, New York, 1997, pp. 858.
- [21]. S. Demers, L. Legendre, J. C. Therriault. "Phytoplankton responses to vertical tidal mixing". *Lecture notes on coastal and estuarine studies*. Vol. 17, 1-39, 1986.
- [22]. G. A. O. Moser, C. de O. Cattena, S. M. F. Gíanesella, E. de S. Braga e E. Aidar. "Potencial De Crescimento Algal (PCA) Utilizado Como Um Indicador De Estágios De Eutrofização Em Dois Estuários Tropicais Eutrofizados". *IX COLACMAR- Congresso Latino Americano sobre Ciências do Mar-Colômbia*. CD do IX COLACMA, 2001.
- [23]. R. Martínez. "Transient nitrate uptake and assimilation in *Skeletonema costatum* cultures subject to nitrate starvation under low irradiance". *Journal of Plankton Research*. 1991, 13(3): 499-512.
- [24]. E. M. Hulburt. "The Diversity of Phytoplanktonic Populations in Oceanic, Coastal, and Estuarine Regions". *Journal of Marine Research*, 1963, 21 (2):81-93.
- [25]. S. M. Susine. "Abundância e distribuição do fitoplâncton na Baixada Santista", in *Relatório da Sabesp, projeto LOESS*. Eds. Fundação para estudos aquáticos (FUNDESPA). 1998, pp 450.