

# VARIAÇÕES DIÁRIAS E SAZONAIS DO FITOPLÂNCTON E PARÂMETROS AMBIENTAIS NA BAÍA DE PARANAGUÁ

Frederico Pereira BRANDINI\*  
Carola Alexandra Chrystman THAMM

## INTRODUÇÃO

A Baía de Paranaguá (Lat.25°16-34'S; Long.48°17-42'W) é o maior complexo estuarino do litoral paranaense, onde águas da plataforma adjacente se misturam com a drenagem continental, dando um caráter mixohalino aos seus setores mais internos. Variações sazonais das características hidrográficas nos setores internos da baía são normalmente afetadas pelo regime pluviométrico, enquanto que as mudanças ambientais nos setores próximos aos canais de acesso seguem o regime hidrográfico da plataforma adjacente (Brandini *et al.*, 1988; Rebello & Brandini, 1990). As alterações nas características físico-químicas da água em ambos os setores, e suas implicações na biomassa, produção e composição do fitoplâncton, geralmente dominado por diatomáceas, foram pouco estudadas (Brandini, 1985a; Brandini *et al.*, 1988; Rebello & Brandini, 1990).

O presente trabalho tem por objetivo estudar os padrões de variação diária e sazonal da composição, biomassa e características fotossintéticas do fitoplâncton da baía, em relação aos parâmetros físico-químicos, em duas estações fixas representativas da área intermediária, afetada pela drenagem continental, e da área próxima aos canais de acesso, afetada pela circulação da plataforma adjacente.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos no âmbito de um projeto multidisciplinar conduzido pelo Centro de Estudos do Mar entre 1985 e 1986. Foram selecionadas duas estações de coleta, representativas do setor mais externo (estação I) com características ambientais semelhantes às da plataforma adjacente, e do setor interme-

\*Universidade Federal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Av. Beira Mar s/n, Pontal do Sul, Paranaguá, Paraná, CEP 83255-000, Brasil.

diário (estação II), sob influência das águas continentais (Fig.1). Foi feito um total de 22 coletas de água na superfície de ambas as estações, entre novembro de 1985 e dezembro de 1986, para a análise de parâmetros físico-químicos e biológicos. Coletas de 24 horas também foram feitas em ambas as estações em 18 de fevereiro (verão) e 3 de junho (inverno) de 1986, acompanhando o ciclo de maré.

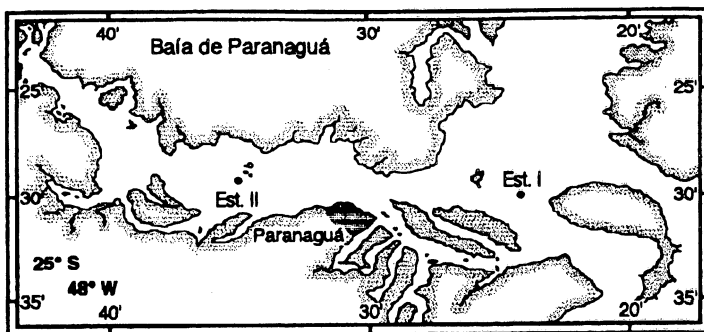


Fig. 1

Mapa da Baía de Paranaguá indicando a posição das estações de coleta.

A temperatura e o pH da água foram determinados imediatamente após a coleta com, respectivamente, termômetro químico padrão e pHmetro. Em seguida, subamostras foram coletadas para a determinação do teor de O<sub>2</sub> dissolvido (fixado a bordo) pela técnica de Winkler, salinidade por argentometria (Harvey) e nutrientes inorgânicos dissolvidos (preservadas com cloreto de mercúrio). Nitrato, nitrito, fosfato e silicato foram analisados pelos métodos descritos por Strickland & Parsons (1972). As amostras para análise de amônia foram fixadas com solução de fenol/álcool etílico imediatamente após as coletas e congeladas até o momento da análise, feita de acordo com Liddicoat *et al.* (1975), com pequenas modificações (foram utilizadas lâmpadas fluorescentes para o desenvolvimento da cor ao invés de radiação ultravioleta).

O seston total foi determinado pela técnica gravimétrica descrita em Strickland & Parsons (1972). Aproximadamente 100 ml de água foram filtrados em filtros de acetato de celulose (Millipore) com 0,45 m de porosidade. Em seguida os filtros foram mantidos a 75°C até peso constante, utilizando-se uma balança Mettler H51AR, com precisão de 5 casas decimais.

As análises de clorofila-*a* foram feitas de acordo com os procedimentos descritos por SCOR-UNESCO W. G.(1966). Aliquotas de 500 ml foram filtradas em filtros Whatman GF/C, os quais foram macerados manualmente em gral de porcelana. Os pigmentos fotossintéticos foram extraídos com acetona 90% e analisados com um espectrofotômetro Micronal B380, utilizando-se cubetas retangulares de 10 mm de passo óptico. As concentrações de clorofila-*a* foram calculadas pela equação de Jeffrey & Humphrey (1975).

Apenas as concentrações de diatomáceas (Pennales e Centrales) foram consideradas, uma vez que representam a maior parte da biomassa fitoplanctônica dentro da baía. As contagens foram feitas pela técnica de Utermöhl (1958), em amostras de água previamente fixadas com lugol, seguindo-se as recomendações de Hasle (1978). Para cada estação, foram sedimentados 10 ou 25 ml de amostra durante 12 horas. A análise foi feita com um microscópio invertido Zeiss (Invertoscope). Os grupos do nanoplâncton ( m) foram enumerados com aumento de 400x, em transectos alternados (meia cuba) e o microplâncton com aumento de 130x em toda a área da cuba (25 ml).

Taxas de fotossíntese na superfície de ambas as estações foram obtidas pela técnica do O<sub>2</sub> dissolvido (Volleinweider, 1969; Teixeira, 1973) em condições meteorológicas estáveis. Seis alíquotas da amostra original foram acondicionadas em frascos de produção, dos quais dois foram imediatamente fixados (Winkler) para a análise do teor inicial do O<sub>2</sub> dissolvido; dois frascos claros e dois escuros foram mantidos em temperatura constante sob iluminação natural por no máximo duas horas. Também foram estudadas as características fotossintéticas do fitoplâncton na estação II, (apenas nos dias sem nuvens) através de medidas de fotossíntese em diferentes intensidades de luz (curva de fotossíntese vs luz), utilizando-se uma incubadora com filtros neutros, que reduziam a luz ambiente para 60, 30, 16 e 1 %. Os filtros eram constituídos por placas de aço inoxidável perfuradas. A temperatura foi mantida constante pela circulação da água de superfície através do incubador.

Os dados pluviométricos foram obtidos no posto de meteorologia do Centro de Estudos do Mar, em Pontal do Sul.

## RESULTADOS

### a) Variação sazonal

#### *Precipitação e parâmetros hidrográficos*

O regime de precipitação foi caracterizado por um período chuvoso entre dezembro de 1985 e abril de 1986, e um período seco entre maio e agosto de 1986 (Fig.2). A precipitação mensal acumulou um máximo de 498,2 mm em fevereiro, e um mínimo de 4,0 mm em junho de 1986.

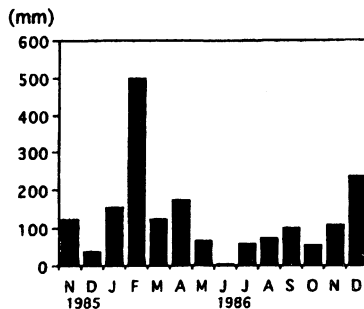


Fig. 2

Regime de chuvas durante o período de amostragem.

A temperatura na superfície variou de 21 a 31°C, com máximos dezembro de 1985 e abril de 1986 (Fig.3). O padrão de variação foi basicamente o mesmo em ambas as estações. Entretanto, sempre ocorreram valores mais elevados na estação II (mais interna), exceto nos meses mais frios, particularmente em maio e julho. Essas diferenças foram mais acentuadas no verão, quando ocorreram temperaturas máximas de até 31°C na estação II.

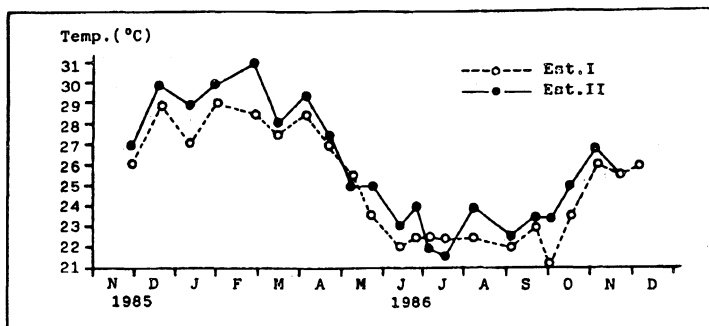


Fig. 3

Variação sazonal da temperatura na superfície das estações I e II.

Em ambas as estações, a variação sazonal da salinidade seguiu um padrão semelhante, com valores mínimos (14,35-est.II) nos períodos de maior precipitação e máximos (32,41-est.I) nos períodos secos (Fig.4). Entretanto, os valores foram sempre superiores na estação I, sob maior influência da água costeira. O teor de oxigênio dissolvido e o pH variaram irregularmente entre 4,42 (est.I) e 7,54 ml/l (est.II) e 7,3 e 8,3, respectivamente (Figs. 5 e 6).

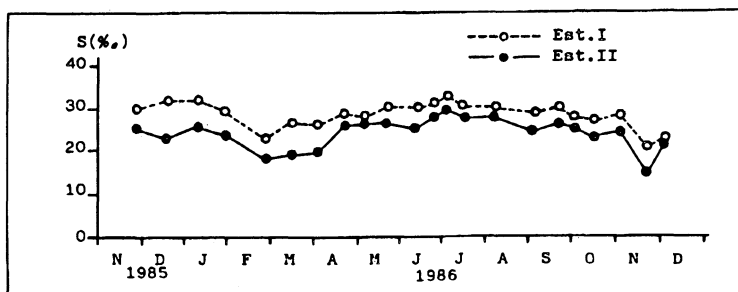


Fig. 4

Variação sazonal da salinidade na superfície das estações I e II.

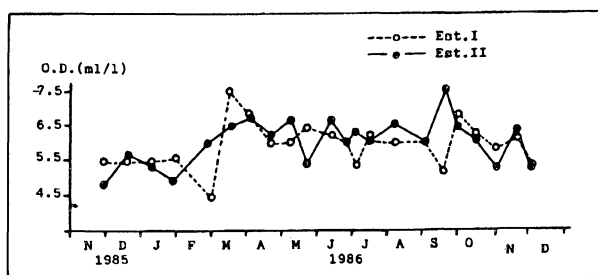


Fig. 5

Variação sazonal do oxigênio dissolvido na superfície das estações I e II.

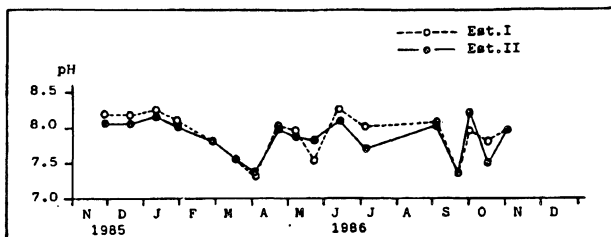


Fig. 6

Variação sazonal do pH na superfície das estações I e II.

A variação do nitrogênio inorgânico total (NIT) foi irregular (Fig.7), com máximos de 7,94 g-at/l (est.II) em março de 1986. Nos períodos de maior precipitação, as concentrações de nitrato e amônio foram semelhantes, enquanto que nos períodos secos do inverno, o nitrato foi a forma dominante do nitrogênio inorgânico dissolvido. As concentrações de nitrato (Fig. 7) nas estações I e II variaram respectivamente de 0,0 a 3,6 e 0,0 a 4,82 g-at/l, e o padrão de variação sazonal foi irregular. A concentração de nitrito foi expressiva apenas nos períodos de maior precipitação durante o verão e em maio, com máximos de 0,90 e 0,60 g-at/l nas estações I e II, respectivamente. Na maior parte do ano as concentrações foram inferiores aos limites detectáveis pela técnica de análise utilizada (Fig. 7). As concentrações de amônio foram comparativamente maiores no verão chuvoso em relação ao inverno seco, com máximos de 3,52 e 4,38 g-at/l nas estações I e II, respectivamente (Fig.7), decrescendo a partir de junho até o final do período estudado. O fosfato na superfície variou de 0,36 a 1,33 g-at/l (est.I) e 0,23 a 1,77 g-at/l (est.II). A estação mais interna apresentou valores mais elevados ao longo do ano, com máximos observados durante o período de maior precipitação (Fig.8). As concentrações de silicato (Fig.9) foram mais elevadas durante os períodos mais chuvosos, com valores máximos de 108,32 g-at/l na estação mais interna e 63,14 g-at/l na estação mais externa. Em janeiro e fevereiro de 1985 houve um decréscimo de silicato na superfície da estação II. Durante o período mais seco entre junho e setembro, as concentrações decresceram para mínimos de 7,17 e 5,46 g-at/l nas estações I e II, respectivamente.

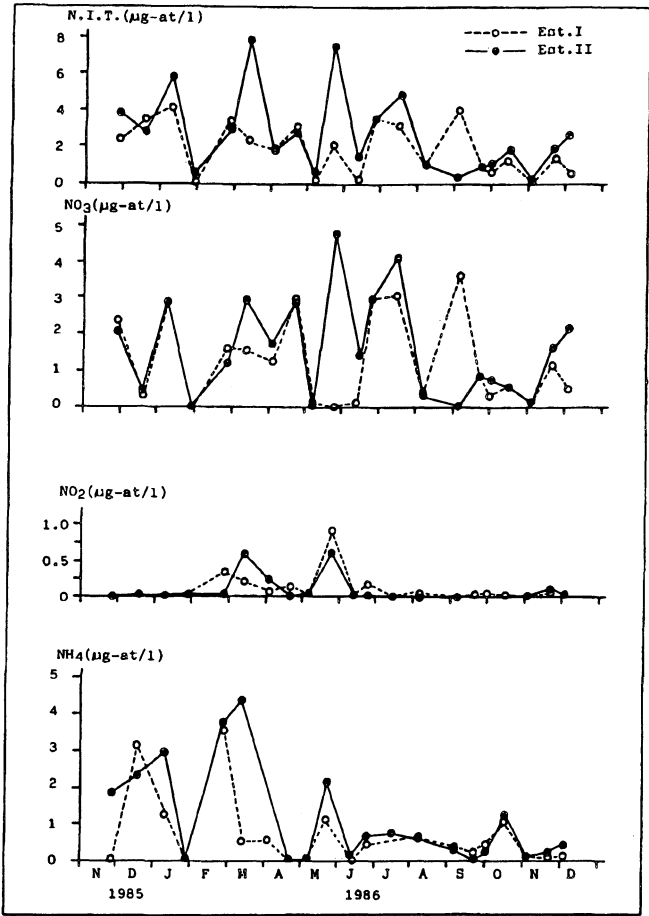


Fig. 7

Variação sazonal da concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido na superfície das estações I e II.

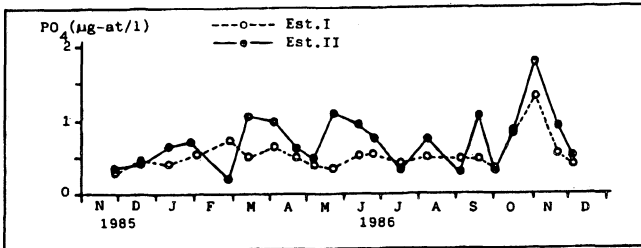


Fig. 8

Variação sazonal da concentração de fosfato na superfície das estações I e II.

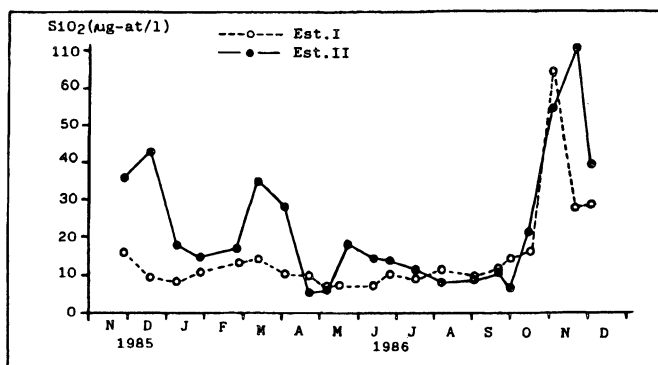


Fig. 9

Variação sazonal da concentração de silicato na superfície das estações I e II.

### Concentração de material particulado e diatomáceas

A concentração de seston variou em função do regime de chuvas. A estação mais interna apresentou valor máximo de 51,96 mg/l em dezembro e mínimo de 3,85 mg/l em abril de 1986. Na estação I, a concentração variou de 4,20 a 33,96 mg/l com mínimo em setembro e máximo em dezembro de 1986 (Fig. 10).

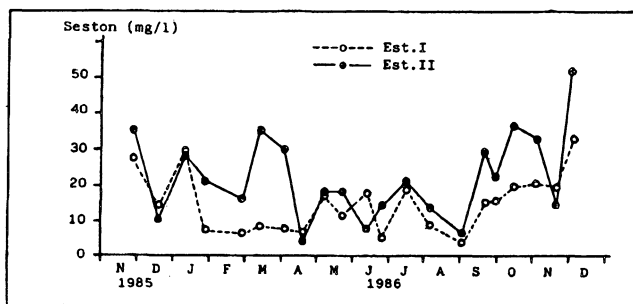


Fig. 10

Variação sazonal do seston na superfície das estações I e II.

A concentração de clorofila-*a* foi maior na estação II durante os meses de maior precipitação (verão), com máximo geralmente acima de 10mg/m<sup>3</sup> (Fig. 11). O valor máximo foi de 13,23 mg/m<sup>3</sup> em dezembro de 1986.

A análise quantitativa do fitoplâncton revelou que o maior número de organismos também ocorreu sempre na estação II (Fig. 12). Em ambas as estações os valores máximos foram encontrados no período do verão com 1.374.560 céls/l na estação II e 467.160 céls/l na estação I. A associação de diatomáceas em ambas as estações foi sempre dominada (90%) por espécies cêntricas, principalmente *Skeletonema costatum*, e os gêneros *Coscinodiscus* e *Chaetoceros*. *Asterionella glacialis* e várias espécies de *Nitzschia* dominaram entre as penadas.

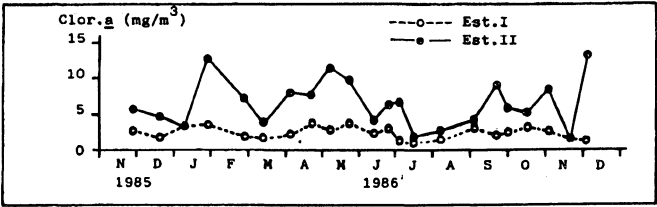


Fig. 11

Variação sazonal da concentração de clorofila-a na superfície das estações I e II.

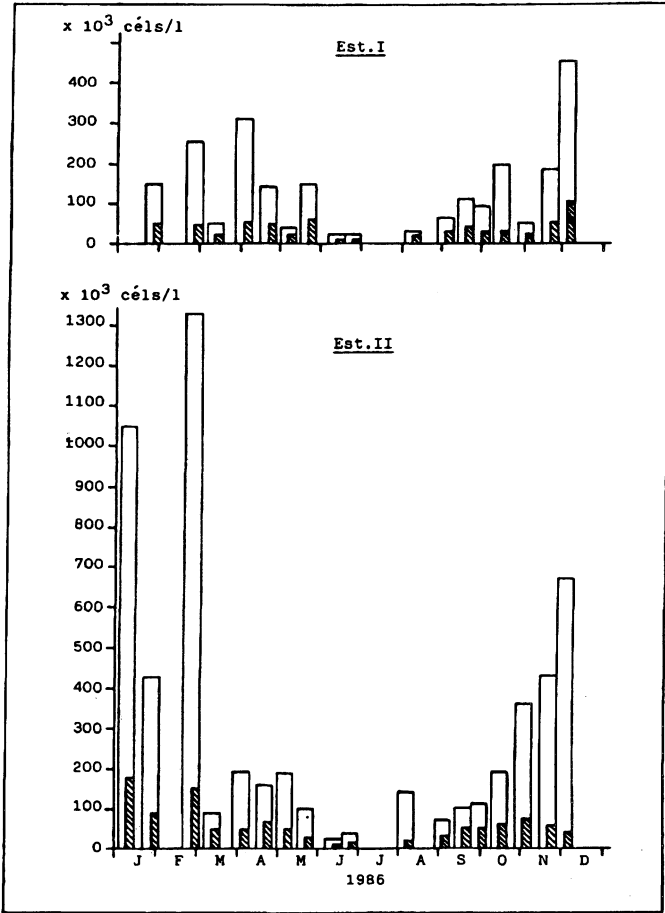


Fig. 12

Variação sazonal da concentração de diatomáceas cêntricas (barras brancas) e penadas (barras hachuradas) na superfície das estações I e II



### *Taxa de fotossíntese e relação fotossíntese x luz*

As taxas de fotossíntese por unidade de volume e por unidade de clorofila-*a* foram maiores na estação II em todos os experimentos realizados, variando de 0,22 a 1,12 mgO<sub>2</sub>/l/hr (22,2 a 293,1 mgO<sub>2</sub>/mgClor-*a*/hr), em maio e março de 1986, respectivamente (Tabela 1). Taxas médias mais elevadas foram obtidas durante o verão chuvoso, decrescendo durante o inverno seco. Na estação I, o padrão de variação foi irregular e as taxas foram menores, variando entre 0,06 e 0,31 mgO<sub>2</sub>/l/hr (31,4 e 101,6 mgO<sub>2</sub>/mgClor-*a*/hr), em novembro e junho de 1986, respectivamente.

A fotoadaptação do fitoplâncton na superfície foi estudada em apenas 6 ocasiões, somente na estação II, através das curvas de fotossíntese vs luz incidente (em %) indicadas na Fig. 13. Em janeiro e abril, as taxas mínimas de fotossíntese em luz saturante (F<sub>máx</sub>) foram de 0,6 e 0,5 mgO<sub>2</sub>/l/hr, respectivamente, em intensidades de luz equivalentes a 50% da luz incidente. Em março e setembro não houve saturação e o F<sub>máx</sub> foi de 0,9 e 0,6 mgO<sub>2</sub>/l/hr, a 100% de luz incidente. Em junho e outubro, as características foram diferentes dos casos anteriores, com F<sub>máx</sub> entre 0,1 e 0,2 mgO<sub>2</sub>/l/hr em intensidades luminosas abaixo de 50% de luz incidente. A inibição da taxa de fotossíntese não foi observada em nenhum dos experimentos. Em todos os experimentos, a fotossíntese foi negativa ou próxima a zero à 1% de luz incidente, intensidade equivalente à base da zona eufótica. A taxa de respiração da comunidade total não ultrapassou 0,1 mgO<sub>2</sub>/l/hr.

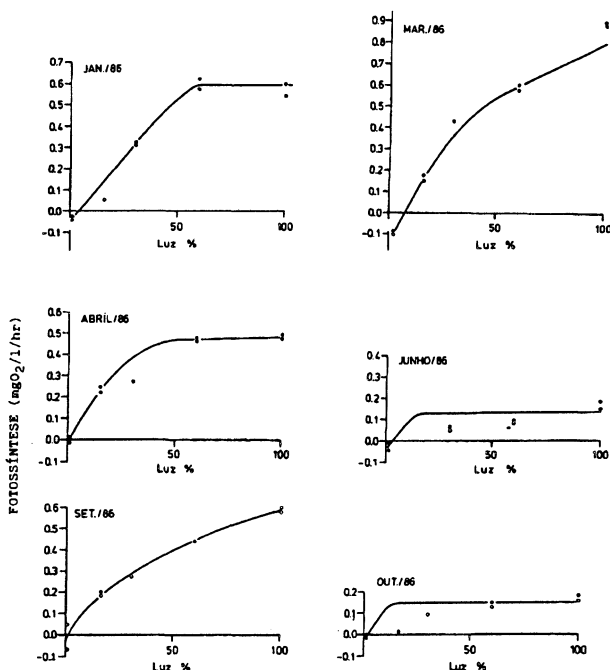


Fig. 13

Curvas de fotossíntese vs luz obtidas na superfície da estação II em diferentes períodos de 1986.

## b) Variação diária (Figs.14 e 15)

18-19 de fevereiro de 1986 (verão)

A temperatura na superfície da estação I variou de 28 a 30.5°C, mais elevada entre 24:00 e 06:00 horas, e quase não variou na estação II, mantendo-se em torno de 28°C. A salinidade variou de 18 a 24 e de 14 a 19 ppm nas estações I e II, respectivamente, com valores menores entre 10:00 e 12:00 horas do dia 19. A amplitude de

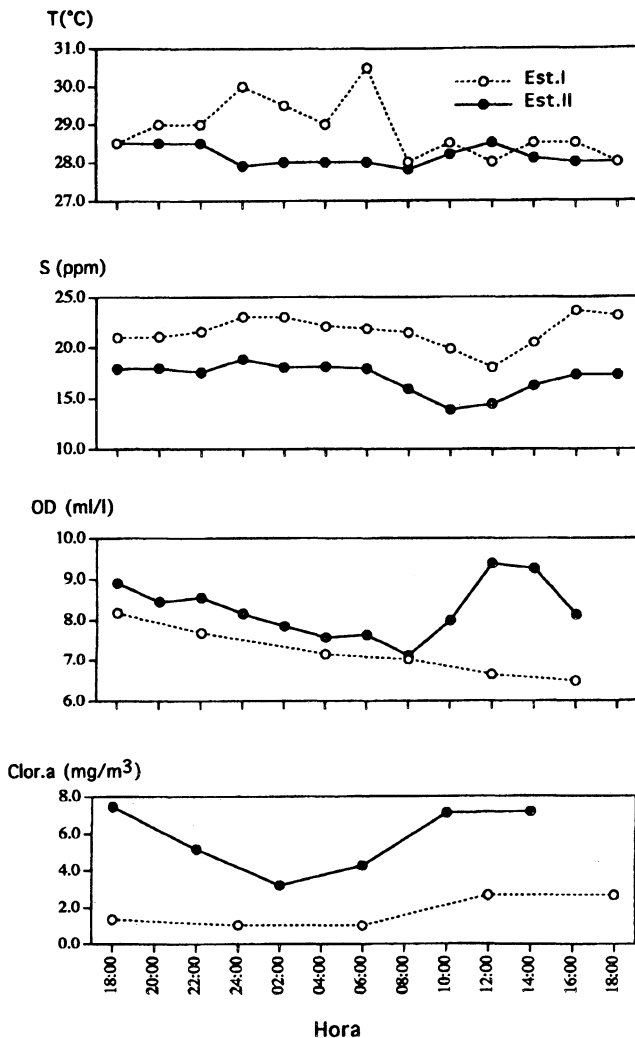


Fig. 14

Variação diária (24 horas) de parâmetros físico-químicos e clorofila-a na superfície das estações I e II, em 18-19 de fevereiro de 1986.

variação diária foi semelhante em ambas as estações. O teor de oxigênio dissolvido na estação I decresceu continuamente durante o ciclo diário. Na estação II, o oxigênio também diminuiu durante o período noturno, mas aumentou nas primeiras horas da manhã (seguindo o padrão de variação da clorofila-*a*) atingindo valores máximos acima de 9 mg/l entre 12 e 14:00 horas. A concentração de clorofila-*a* variou entre 1,0 e 2,6 mg/m<sup>3</sup> na estação I e entre 3,2 e 7,2 mg/m<sup>3</sup> na estação II. O padrão de variação diária foi semelhante em ambas as estações, com valores altos na maré baixa e vice-versa.

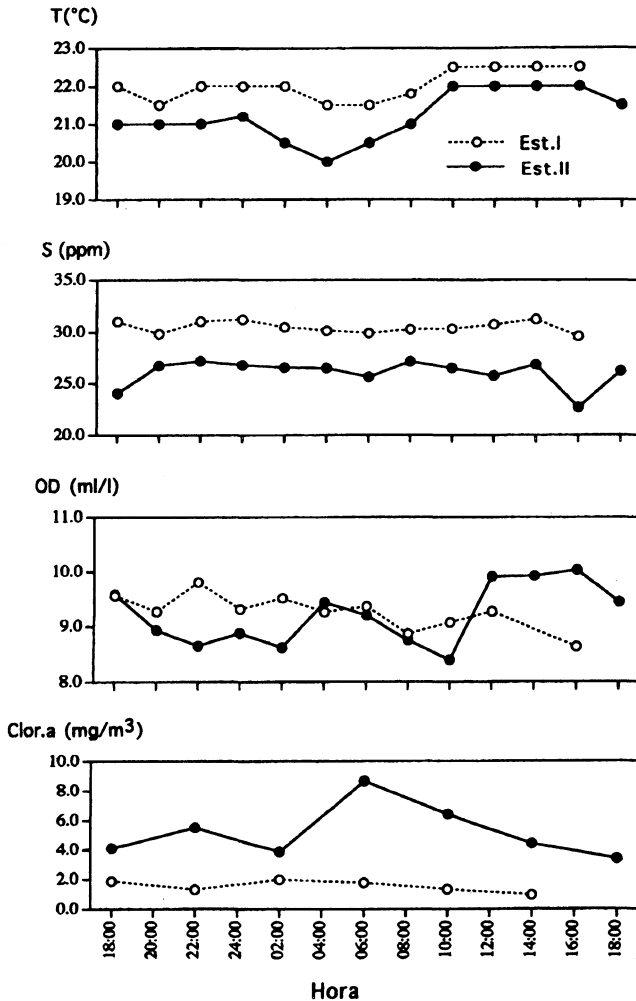


Fig. 15

Variação diária (24 horas) de parâmetros físico-químicos e clorofila-*a* na superfície das estações I e II, em 3-4 de junho de 1986.

### 3- 4 de junho de 1986 (inverno)

A amplitude da variação diária dos parâmetros hidrográficos foi semelhante ao observado no verão. O padrão de variação da temperatura (20 a 21,5°C) foi semelhante em ambas as estações com mínimos observados entre 02:00 e 06:00 horas e máximos entre 10:00 e 16:00 horas. A salinidade foi maior do que no verão, variando pouco entre 29,5 e 31,0 na estação I e entre 24,0 e 27,0 na estação II. O teor de oxigênio dissolvido variou de modo semelhante ao observado no verão, ou seja, decrescendo na estação I durante o ciclo diário mas aumentando na estação II durante o dia, a partir das 10:00 horas do dia 4. O valor mínimo foi de 8,39 mg/l às 10:00 horas, e o máximo foi de 10,03 mg/l às 16:00 horas obtidos na estação II. A concentração de clorofila-*a* na estação I variou pouco, entre 1,0 e 2,0 mg/m<sup>3</sup>. Na estação II a amplitude de variação foi maior, entre 3,4 e 8,7 mg/m<sup>3</sup>.

## DISCUSSÃO

### *Hidrografia*

A variação anual da temperatura na superfície da estação I está diretamente associada às mudanças sazonais na estrutura oceanográfica da plataforma adjacente (Matsuura, 1987; Brandini, 1990). Nos setores intermediários, representados pela estação II, acentuam-se os efeitos da climatologia que aumentam a amplitude de variação da temperatura, salinidade, nutrientes e material particulado, como observado anteriormente (Brandini, 1985a; Brandini *et al.*, 1988).

A concentração de oxigênio dissolvido em um determinado ponto varia em função de um somatório de fatores físico-químicos (salinidade, temperatura da água, etc.) e biológicos (respiração, fotossíntese, etc.), além dos fatores meteorológicos (ventos) e aqueles relacionados com a circulação da água já mencionados. Isso explica a variação irregular em ambas as estações (Fig.5). Níveis de supersaturação são frequentes, principalmente nos períodos mais quentes, quando a biomassa fitoplancônica e a atividade fotossintética são maiores (Brandini, 1985a). Os valores médios observados, não apenas no presente trabalho como também em trabalhos anteriores (Brandini, 1985a; Knoppers *et al.*, 1987; Brandini *et al.*, 1988), confirmam a supersaturação do oxigênio dissolvido na superfície de toda a baía.

A bacia de drenagem ao redor da Baía de Paranaguá contribui com grandes quantidades de ácidos húmicos típicos de ambientes produtores de detrito, provenientes dos manguezais (Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1981) e das restingas. As flutuações do pH observadas na Fig.6 não apresentam um padrão regular provavelmente devido ao efeito conjunto do aporte de ácidos húmicos e água doce, da atividade fotossintética (que eleva o pH) e da temperatura.

A variação irregular da concentração de nitrogênio inorgânico total na superfície de ambas as estações, em qualquer escala temporal, é o resultado do caráter não conservativo do nitrogênio devido principalmente à atividade biológica. Analisando-se separadamente a variação sazonal dos três componentes principais do NIT, verifica-se um padrão regular na variação da concentração de amônia e nitrito, e irregular na variação do nitrato. O nitrato quase sempre domina os estoques de nitrogênio inorgânico

na superfície da baía (Brandini, 1985a; Brandini *et al.*, 1988), com exceção daqueles setores ricos em matéria orgânica onde a contribuição relativa de formas reduzidas (amônio e nitrito) aumenta, principalmente nos meses quentes e de precipitação elevada, quando aumenta o aporte fluvial e a regeneração biológica. A Fig.7D indica concentrações mais elevadas de amônio no início do período chuvoso (janeiro e fevereiro). O acúmulo de amônio altera a dinâmica dos processos regenerativos associados à atividade bacteriana, causando o aumento de nitrito a partir de fevereiro até o final do período chuvoso. Madariaga & Orive (1989) verificaram que as concentrações médias de amônia na Baía de Biscaia (Espanha) foram maiores do que as de nitrato durante o verão, enquanto que no inverno o nitrato foi o composto dominante do nitrogênio inorgânico total. Essa alternância de compostos nitrogenados oxidados e reduzidos na contribuição percentual do NIT, ao longo do ciclo sazonal, assemelha-se ao que foi observado no presente trabalho.

Brandini *et al.*, (1988) discutiram a complexidade do comportamento do fósforo inorgânico durante os processos de diluição da água do mar pela drenagem continental ao longo do eixo principal da baía. Além do consumo pelo fitoplâncton, esses autores sugerem que as flutuações temporais do fósforo estão associadas aos (i) processos de circulação e ressuspensão pela maré, (ii) variação na drenagem continental em função do regime de chuvas e (iii) processos físico-químicos. A descarga doméstica da cidade de Paranaguá contribui significativamente para o aumento do fósforo nos setores medianos da baía (Knoppers *et al.*, 1987). Brandini *et al.* (1988) também sugerem que a principal fonte de fósforo inorgânico é o sedimento das áreas internas da baía, e Rebello & Brandini (1990) verificaram que a contribuição das áreas urbanas tem um efeito localizado. Em ambientes estuarinos, os mecanismos físico-químicos responsáveis pela adsorção do fósforo inorgânico no material particulado em suspensão, e sua conseqüente retirada da zona eufótica por sedimentação, foram discutidos em detalhes por Parks (1975) e Liss (1976). Os mesmos mecanismos são sugeridos para as seções medianas da Baía de Paranaguá. Essas áreas intermediárias, representadas pela estação II, estão evidentemente mais sujeitas à ação de todos esses fatores no que se refere à variação sazonal do fosfato. Tanto as concentrações de fosfato quanto a sua variabilidade são quase sempre maiores nos setores mais internos da baía. Nas áreas representadas pela estação I, as concentrações de fosfato flutuam menos e são semelhantes aos valores médios registrados anteriormente nas regiões costeiras adjacentes (Brandini *et al.*, 1989; Brandini, 1990).

De um modo geral, a demanda de sílica pelas diatomáceas parece ser pequena em relação ao aporte para o ambiente pelágico da baía e, conseqüentemente, o excedente comporta-se conservativamente durante os processos de mistura (Knoppers *et al.*, 1987; Brandini *et al.*, 1988). Entretanto, houve uma demanda considerável na estação II, em janeiro e fevereiro de 1985, quando as concentrações de diatomáceas foram comparativamente maiores do que nos outros períodos (vide Fig.12). Apesar do consumo biológico nesse período, o padrão de variação sazonal do silicato (Fig.9) mostrou uma relação positiva com o regime pluviométrico, principalmente na estação II, aumentando nos períodos de maior precipitação. Como no caso do fosfato, as concentrações médias

do setor mais externo foram semelhantes aos valores observados na plataforma por Brandini *et al.* (1989) e Brandini (1990).

A concentração de seston orgânico na Baía de Paranaguá, principalmente constituído por detritos provenientes dos manguezais e restingas, está diretamente associada ao regime de chuvas como já observado em trabalhos anteriores feitos na baía (Knoppers & Optiz, 1984; Brandini *et al.*, 1988; Rebello & Brandini, 1990) e em ecossistemas semelhantes (Tundisi *et al.*, 1978).

As variações diárias provavelmente não interferem na análise dos padrões de variação sazonal obtidos, pelo menos nos setores externos representados pela estação I. Sassi (1991) demonstrou que no estuário do Rio Paraíba do Norte a variação anual de dados hidrográficos obtidos na maré baixa não é significativamente diferente da variação dos dados obtidos em maré alta. Na estação II, localizada no setor estuarino propriamente dito, a variabilidade e a amplitude de variação dos resultados foram comparativamente maiores em relação à estação I (com exceção da temperatura), tanto em escala diária quanto sazonal, e devem estar associadas aos ciclos de maré, aporte fluvial (indiretamente ao regime pluviométrico) e fatores biológicos.

#### *Composição, biomassa e fotossíntese do fitoplâncton*

O fitoplâncton da Baía de Paranaguá é geralmente dominado por diatomáceas (Moreira-Filho *et al.*, 1975; Moreira-Filho & Valente-Moreira, 1984; Oliveira, 1984). *Skeletonema costatum* foi a espécie numericamente dominante durante o verão chuvoso, como observado em trabalhos anteriores feitos na baía (Brandini, 1985b) e em outras regiões da costa sudeste brasileira (Kutner, 1974; Brandini, 1982). Os gêneros *Coscinodiscus* e *Chaetoceros* apresentaram um padrão de variação sazonal irregular. No grupo das Pennales, a variação sazonal reflete basicamente o comportamento da espécie dominante, *Thalassionema nitzschioides*, que assim como no caso das Centrales, apresenta uma relação positiva com o regime pluviométrico. Nesse grupo estão incluídas principalmente espécies bentônicas dos gêneros *Navicula*, *Cocconeis* e *Diploneis*, cuja ocorrência irregular em amostras de fitoplâncton deveu-se provavelmente à ressuspensão do fundo na maré enchente e à climatologia.

As relações entre salinidade, nutrientes e biomassa fitoplancônica na costa brasileira foram poucas vezes discutidas (Brandini, 1982). A salinidade parece ser um dos principais fatores que favorecem o desenvolvimento de diatomáceas em ambientes estuarinos. De acordo com Ricard (1984), elas se desenvolvem melhor nos setores estuarinos com salinidade entre 10 a 15 ppm. Na Baía de Paranaguá as maiores concentrações de clorofila-*a*, normalmente associadas a "blooms" de diatomáceas, são quase sempre observadas nos setores medianos (Brandini, 1985a; Brandini *et al.*, 1988) com salinidades entre 15 e 25 ppm. No entanto, ainda resta esclarecer se o aumento das diatomáceas nos períodos chuvosos está mais relacionado com o decréscimo da salinidade na baía ou com o aumento da concentração de nutrientes, como resultado da drenagem continental.

Nos setores mais internos, com salinidades mais baixas (Brandini, 1985a; Brandini *et al.*, 1988), o nitrogênio inorgânico ocorre em concentrações comparativamente mais elevadas do que os valores observados na plataforma adjacente (Brandini *et al.*, 1989; Brandini, 1990) sob a forma de nitrato e amônia. Entretanto, a alta turbidez

desses setores diminui a zona eufótica limitando o crescimento fitoplancetônico. Nos setores mais externos (estação I) o decréscimo da turbidez aumenta a zona eufótica, mas o desenvolvimento do fitoplâncton pode ser limitado por concentrações mais baixas do nitrogênio inorgânico e salinidades mais elevadas.

Nos setores intermediários, representados pela estação II, a densidade celular tende a ser maior, uma vez que o fitoplâncton é mais favorecido pelo efeito conjunto de condições suficientemente adequadas de salinidade, espessura da zona eufótica e concentração de nutrientes, e menos pelo efeito exclusivo de apenas um desses fatores, mesmo que em condições ideais.

As taxas de fotossíntese obtidas são insuficientes para uma análise precisa da dinâmica temporal da produtividade do fitoplâncton na Baía de Paranaguá. As taxas mais elevadas observadas na estação II, em comparação com a estação I, devem-se à maior biomassa fitoplancetônica nos setores mais internos que normalmente revelam o maior potencial de produção na superfície. Entretanto, a eficiência fotossintética pode ser maior nos setores externos, como ocorreu nos dias 22 de maio, 26 de junho e 16 de outubro de 1986 (vide Tabela I). Brandini & Aruga (1983) obtiveram taxas de fotossíntese na superfície da Baía de Tóquio variando entre 0,1 e 3 mgO<sub>2</sub>/l/hr. Esses valores são em média três vezes superiores aos obtidos na Baía de Paranaguá, devido à eutrofização antropogênica. As taxas de fotossíntese por unidade de clorofila-*a*, obtidas no presente trabalho (22,1-293,1 mgO<sub>2</sub>/mgClor.*a*/hr, est.II), variaram dentro de intervalos semelhantes aos obtidos nas áreas internas da Baía de Tóquio (9,5-80 mgO<sub>2</sub>/mgClor.*a*/hr).

#### *Considerações gerais*

Apesar da drenagem continental, a Baía de Paranaguá é dominada pela água costeira adjacente, e todos os eventos hidrográficos da plataforma afetam a dinâmica temporal dos nutrientes e do fitoplâncton em seu interior. De acordo com Scott (1979), uma série de trabalhos realizados na costa sueste da Austrália, cuja posição geográfica no Giro Subtropical do Oceano Pacífico corresponde à região sueste do Brasil em relação ao Giro Subtropical do Atlântico Sul, comprovam os efeitos do regime hidrográfico da plataforma sobre a dinâmica espaço-temporal dos nutrientes e do fitoplâncton nas áreas costeiras. Por exemplo, as intrusões da ACAS sobre a plataforma enriquecem a zona eufótica das regiões costeiras, provocando aumentos da biomassa fitoplancetônica, como observado em trabalhos recentes feitos na região sueste (Matsuura, 1987; Brandini *et al.*, 1989; Brandini, 1990). Estas intrusões afetam a estrutura da comunidade fitoplancetônica da Baía de Paranaguá, juntamente com o regime climático.

Em escala sazonal, o efeito conjunto das condições meteorológicas com o regime hidrográfico da plataforma foram os responsáveis pelos padrões de variação temporal da salinidade e da biomassa fitoplancetônica observados em ambas as estações. O regime de chuvas também regula os padrões de variação sazonal de nutrientes e clorofila-*a*, principalmente nas áreas internas da baía. O comportamento sazonal dos nutrientes em ambas as estações foi semelhante, revelando a ocorrência defasada e sequencial dos picos de abundância de amônia, nitrito e nitrato. A irregularidade dos padrões de variação diária dos nutrientes está associada ao consumo biológico, regeneração

bacteriana e aos "inputs" contínuos via aporte fluvial e ressuspensão do fundo durante os ciclos da maré.

## AGRADECIMENTOS

À Comissão Interministerial para os Recursos do Mar - CIRM, pelo apoio financeiro ao projeto interdisciplinar, no âmbito do qual este trabalho foi conduzido. À Coordenação de Apoio à Pesquisa e Ensino Superior - CAPES, pela concessão da Bolsa de Mestrado para Carola A. C. Thamm, através do Departamento de Botânica do Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná.

## ABSTRACT

The seasonal dynamics of surface phytoplankton in relation to the environmental parameters were studied at two routine stations during daily and yearly cycles in the Bay of Paranaguá, Paraná State (Brazil). Surface water samples were collected from November 1985 to December 1986, for measuring basic physico-chemical parameters (temperature, salinity and nutrients), seston, chlorophyll *a*, phytoplankton density and composition. Photosynthetic rates were measured with the oxygen technique, and photosynthesis vs. irradiance relationships were analyzed at both stations. A well defined pattern of rainfall regime was observed during the study period, affecting the seasonal trends of seston, silicate and diatom densities. Ammonium was more abundant during summertime with high pluviosity whilst nitrate dominated the pool of inorganic nitrogen during the dry periods. The phytoplankton at both stations were made up mainly by neritic diatoms dominated by *Skeletonema costatum* during summer. Benthic and freshwater species were frequent but always in lower densities. Seasonal changes of nutrients and phytoplankton biomass were discussed in relation to precipitation and the hydrographic regime in the adjacent shelf.

Key Words: phytoplankton, chlorophyll-*a*, nutrients, seasonal variation, daily variation, Paranaguá Bay, Southern Brazil.

## RESUMO

Foram estudadas a composição, biomassa e a fotossíntese do fitoplâncton e alguns parâmetros físico-químicos na superfície de duas estações fixas na Baía de Paranaguá (PR, Brasil), em escalas diária e sazonal. A Est.I localiza-se no setor mais externo da baía, dominado por águas da região costeira adjacente, e a Est.II localiza-se no setor mediano, com características estuarinas. Seston, silicato e concentração de diatomáceas na superfície de ambas as estações apresentaram um padrão de variação sazonal associado à pluviosidade, aumentando nos períodos de maior precipitação. A concentração de clorofila-*a* na superfície variou de 1,32 a 3,82 e de 1,54 a 13,23 mg/m<sup>3</sup> nas estações I e II, respectivamente. A taxa de fotossíntese na superfície, obtida pela técnica do O<sub>2</sub>, foi maior na estação II, variando de 0,22 a 1,12 mgO<sub>2</sub>/l/hr. Variações na fotoadaptação da população fitoplanctônica foram observadas através de curvas FxL, obtidas na superfície da estação II em diferentes períodos sazonais. Em ambas as estações o fitoplâncton foi dominado por *Skeletonema costatum* durante o verão. As densidades máximas foram observadas na estação II (máx. 1374 x 10<sup>3</sup> céls/l). Espécies epífitas, epipélicas e de água doce também foram freqüentes mas em pequenas concentrações. As mudanças temporais na biomassa fitoplanctônica e na concentração de nutrientes em escala sazonal são discutidas em relação ao regime pluviométrico e aos processos hidrográficos na plataforma adjacente.

Palavras-chave: fitoplâncton, biomassa, fotossíntese, nutrientes, variação diária, variação sazonal, Baía de Paranaguá.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRANDINI, F. P. 1982. Variação nictimeral de alguns fatores ecológicos na região de Cananéia. *Arq Biol Tecnol* 25(3/4):313-327.
- \_\_\_\_\_. 1985a. Seasonal Succession of the Phytoplankton in the Bay of Paranaguá (Paraná State-Brazil). *Rev Brasil Biol* 45(4):687-694.
- \_\_\_\_\_. 1985b. Ecological Studies in the Bay of Paranagua.I. Horizontal distributions and seasonal dynamics of the phytoplankton. *Bolm Inst oceanogr S Paulo* 33(2):139-147.
- \_\_\_\_\_. 1990. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off Southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). *Hydrobiologia* 196 (2):111-148.
- \_\_\_\_\_. & ARUGA, Y. 1983. Phytoplankton biomass and photosynthesis in relation to the environmental conditions in Tokyo Bay. *Jap J Phycol* 31(3):129-147.
- \_\_\_\_\_.; THAMM, C. A. H. & VENTURA, I. 1988. Ecological studies in the Bay of Paranagua.III. Seasonal and spatial variations of nutrients and chlorophyll-a. *Neritica* 3(1):1-30.
- \_\_\_\_\_.; MORAES, C. L. B. & THAMM, C. A. C. 1989. shelf break upwelling, subsurface maxima of chlorophyll and nitrite, and vertical distribution of a subtropical nano-microplankton community off southeastern Brazil. In: F. P. Brandini (ed), *Memórias do III Encontro Brasileiro de Plâncton*, Curitiba, Paraná, p.47-55.
- CINTRÓN, G. & SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 1981. Proposta para estudo dos recursos de marismas e manguezais. *Relat int Inst oceanogr S Paulo* 10:1-13.
- HASLE, G. R.(ed). 1978 *Phytoplankton Manual*, UNESCO, p.191-196.
- JEFFREY, S.M. & HUMPHREY, G. F. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c* and *c2* in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem Physiol Pflanz* 167:191-194.
- KNOPPERS, B. A. & OPTIZ, S.S. 1984. An annual cycle of particulate organic matter in mangrove waters, Laranjeiras Bay, Southern Brazil. *Arq Biol Tecnol* 27(1):79-93.
- \_\_\_\_\_.; BRANDINI, F. P. & THAMM, C. A. C. 1987. Ecological studies in the Bay of Paranaguá. II. Some physical and chemical characteristics. *Neritica* 2(1):1-36.
- KUTNER, M. B. 1974. Seasonal variation and phytoplankton distribution in Cananéia region, Brazil. *Publ n. 361 Inst Oceanogr da USP*, 17 p.
- LIDDICOT, M. I., TIBBITTS, S. & BUTTER, E. I. 1975. The determination of ammonia in seawater. *Limnol Oceanogr* 20,131-213.
- LISS, P.S. 1976. Conservative and non-conservative behavior of dissolved constituents during estuarine mixing. In: J. D. Burton (ed), *Estuarine Chemistry*, Academic Press, London, p.93-127.
- MADARIAGA, I. & ORIVE, E. 1989. Spatio-temporal variations of size-fractionated primary production in the Gernika estuary. *J Exp Mar Biol Ecol* 127:273-288.
- MATSUURA, Y. 1987. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Ciência e Cultura* 38:1439-1450.
- MOREIRA-FILHO, H. & VALENTE-MOREIRA, I. M. 1984. Catálogo das diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas do Estado do Paraná, Brasil. *Acta Biol Par* 13(1-4):3-49.
- \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. & CECY, I. 1975. Diatomáceas da Baía de Paranaguá. *Bol Mus Bot Munic*, Curitiba, 20:1-23.
- OLIVEIRA, R. J. M. 1984. Contribuição ao conhecimento das diatomáceas (Bacillariophyceae) no plâncton estuarino do Rio Itiberê, Município de Paranaguá, Estado do Paraná, Brasil. Tese de Mestrado, Depto de Botânica, Setor de Ciências Biológicas, UFPR, 435p.
- PARKS, G. A. 1975. Adsorption in the marine environment. In: J. P. Riley and G. Skirrow (eds), *Chemical Oceanography*, vol.1 (2nd ed.), Academic Press, London, New York, San Francisco, p.241-308.
- REBELLO, J. & BRANDINI, F. P. 1990. Variação temporal de parâmetros hidrográficos e material particulado em suspensão em dois pontos fixos da Baía de Paranaguá, Paraná (junho/87-fevereiro/88). *Neritica* 5(1):95-111.
- RICARD, M. 1984. Primary production in mangrove lagoon waters. In: F. D. Por (ed), *Hydrobiology of the Mangal. The ecosystem of the mangrove forests*, The Haugue, Dr. W. Junk Publ., p.163-177.

- SASSI, R. 1991. Phytoplankton and environmental factors in the Paraíba do Norte River Estuary, northeastern Brazil: composition, distribution and quantitative remarks. *Bolm Inst oceanogr S Paulo* 39:93-115.
- SCOR-UNESCO. W. G. 1966. *Determination of photosynthetic pigments*, UNESCO Monogr Oceanogr Methodol 1:9-18.
- SCOTT, B. D. 1979. Seasonal variations of phytoplankton production in an estuary in relation to coastal water movements. *Aust J Mar Freshwater Res* 30:449-461.
- STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. 1968. *A practical handbook of sea water analysis*. Bull Fish Res Bd, Canada 167, 341 p.
- TEIXEIRA, C. 1973. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. *Bolm Inst oceanogr S Paulo* 22:59-92.
- TUNDISI, J. G.; TEIXEIRA, C.; TUNDISI, T. M.; KUTNER, M. B. B. & KINOSHITA, L. 1978. Plankton studies in a mangrove environment. IX. Comparative investigations with coastal oligotrophic waters. *Rev Brasil Biol* 39(2):301-320.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt int Vertheor angew Limonol* 9:1-38.
- VOLLEINWEIDER, R 1969. *A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments*, 2nd ed. IBP Handbook No.12. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Melbourne, 225 p.

Tabela 1. Taxas de fotossíntese (mgO<sub>2</sub>/l/hora) obtidas na superfície das estações I e II, Baía de Paranaguá.

| DATA     | Est. I | Est. II |
|----------|--------|---------|
| 27.11.85 | 0,06   | 0,37    |
| 17.12.85 | -      | 0,33    |
| 28.01.86 | 0,16   | 0,69    |
| 19.02.86 | -      | 0,87    |
| 13.03.86 | 0,15   | 1,12    |
| 23.04.86 | 0,14   | 0,51    |
| 22.05.86 | 0,12   | 0,22    |
| 04.06.86 | -      | 0,23    |
| 25.06.86 | 0,31   | 0,34    |
| 03.09.86 | -      | 0,30    |
| 01.10.86 | 0,21   | 0,46    |
| 16.10.86 | 0,25   | -       |