

VARIAÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA
MICROFITOBÊNTECA EM UMA PLANÍCIE ENTREMARÉS
SUBTROPICAL, BAÍA DE PARANAGUÁ, PARANÁ-BRASIL

SPATIAL AND SEASONAL MICROPHYTOBENTHOS PRIMARY PRODUCTION
IN A SUBTROPICAL INTERTIDAL FLAT, PARANAGUÁ BAY, PARANÁ-BRASIL

Alessandra Fonseca¹

Nilva Brandini²

Eunice da Costa Machado²

Frederico Pereira Brandini²

RESUMO

A produção primária e a biomassa microfitobêntica foram avaliadas ao longo do gradiente de energia ambiental da planície entremarés da Ilha Rasa da Cotinga, setor euhalino da Baía de Paranaguá, durante quatro marés de quadratura do outono-inverno de 1996 e da primavera-verão de 1996/1997. Os oito experimentos *in situ* foram realizados com uso de câmaras bênticas e a produção primária foi calculada com base na variação do oxigênio dissolvido, em duas câmaras translúcidas e duas opacas. A hipótese nula de que não há diferença significativa entre os períodos amostrados (sazonalidade) e entre o gradiente de energia ambiental da planície entremarés (espacialidade) foi testada utilizando-se ANOVAs uni e bifatorial. A radiação fotossinteticamente ativa - RFA foi considerada para cada sítio amostral. A biomassa foi maior no outono-inverno do que na primavera-verão, enquanto a produção primária e a RFA foram maiores na primavera-verão. Todos os descritores apresentaram um gradiente crescente da região inferior, acima da isóbata de 1 metro, para a região mediana e superior da planície. A importância desta comunidade para o ecossistema estuarino da Baía de Paranaguá foi discutida.

Palavras-chave: biomassa microfitobêntica, radiação fotossinteticamente ativa, Ilha Rasa da Cotinga.

1 Curso de pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Paraná. Caixa Postal 5065. CEP 88040-970, Florianópolis, SC, Brasil. e-mail: alefonse@usp.br

2 Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná. Caixa Postal 50.002. CEP 83255-000, Pontal do Sul, Pontal do Paraná, Paraná, Brasil.
financiamento CNPq

ABSTRACT

The microphytobenthic primary production and biomass were measured on the intertidal flat of the Rasa da Cotinga island, euhaline sector of Paranaguá Bay, during four neap tides of autumn-winter of 1996 and spring-summer of 1996/1997. The eight *in situ* experiments were carried with benthic chamber and the primary production was measured by dissolved oxygen variation in two light and two dark incubations. The null hypothesis about no significant differences among the periods (season) and the environmental gradient (spatial) in the intertidal flat was tested by one and two way ANOVAs. Photosynthetic Active Radiation - PAR was measured at each sampling site. The biomass was higher in the autumn-winter than spring-summer, while the primary production and PAR were higher in the spring-summer. All variables showed an increase gradient from lower region, above 1 meter isobath, to median and upper region of the intertidal flat. The importance of this community in the Paranaguá Bay estuarine system was discussed.

Keywords: microphytobenthic biomass, Photosynthetic Active Radiation, Rasa da Cotinga Island.

INTRODUÇÃO

As planícies entremarés têm papel fundamental na dinâmica de ecossistemas costeiros, contribuem substancialmente para a produtividade primária e servem como ambientes de deposição do material orgânico particulado proveniente do estuário, o qual é diretamente utilizado por invertebrados e mineralizado por processos microbianos (Reise 1985). Em regiões tropicais e subtropicais são colonizadas por marismas, mangues e microfitobentos, que constituem os principais produtores primários deste ecossistema. Diferentemente das plantas vasculares, cujo carbono se torna disponível a outros níveis tróficos pela cadeia detritívora, o carbono microfitobêntico é rapidamente utilizado pelo micro e meiobentos (Underwood & Paterson 1993). Além da biomassa algal clorofilada, o mucopolissacarídeo extracelular produzido pelas diatomáceas contribui com até 20% de todo o carbono microalgal do substrato (Grant *et al.* 1986).

A distribuição do microfitobentos ao longo de um gradiente ambiental é o resultado da complexa interação entre as variáveis ambientais e a competição interespecífica (Underwood & Paterson, 1993; Cibic *et al.* 2007). A biomassa microfitobêntica está diretamente associada à sequência de habitats, às características granulométricas do sedimento, ao hidrodinamismo local e à incidência de luz no sedimento. A sazonalidade de comunidades bênticas de zonas tropicais é fortemente influenciada

pela pluviosidade e pela radiação incidente no sedimento (Alongi 1990). O aumento da drenagem continental em períodos chuvosos causa ressuspensão e erosão do sedimento, desestruturando a comunidade bêntica.

O conhecimento da produtividade primária de um sistema é de grande importância para o entendimento dos processos e das trocas energéticas do ambiente (Grontved 1960). As variações da luz incidente, da disponibilidade de nutrientes e do estado fisiológico algal resultam em diferentes taxas na produção primária microfitobêntica (Cibic *et al.* 2007). Em áreas rasas, a luminosidade que chega à superfície do sedimento é dependente da profundidade local e do material em suspensão na coluna da água. No sedimento, a penetração da luz é rapidamente atenuada, cerca de três ordens de grandeza a mais do que na água (Colijn 1982; McIntire & Cullen 1995). Nestas áreas, a produção do microfitobentos é limitada aos milímetros superiores do sedimento, por conter a maior porcentagem da biomassa produtora e a luminosidade necessária (Longphuir *et al.* 2007).

Este trabalho tem como hipótese que as taxas de produção primária e a biomassa da comunidade microfitobêntica de uma planície entremarés subtropical variam no espaço e no tempo de acordo com o gradiente de energia ambiental e a incidência de luminosidade, respectivamente.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O complexo estuarino da Baía de Paranaguá ocupa uma área de 612 km² da região costeira subtropical do Brasil (25°03'S, 48°24'W), estende-se por cerca de 50 km continente adentro e apresenta um volume de 1,79 km³ (Bigarella *et al.* 1978). As planícies entremarés e as áreas rasas, localizadas acima da isóbata de 1 metro, somam aproximadamente 132 km² (Noernberg *et al.* 2006) do referido estuário. A porção leste, a jusante, é dominada por águas da plataforma continental adjacente, enquanto que a porção oeste tem maior influência fluvial. O grande aporte de rios ocorre na margem sul e a montante da baía. A vazão média de água doce é de 200 m³/s, alcançando valores mais elevados no período de intensa precipitação (Mantovanelli 1999). A salinidade média varia de 12 a 29 no período chuvoso (primavera-verão) e seco (outono-inverno), respectivamente.

As planícies entremarés são amplas e formadas por manguezais, marismas e bancos não vegetados. A dinâmica destes sistemas é fortemente influenciada pelas marés e correntes de marés, sobrepujando o efeito dos fluxos fluviais adjacentes (Bigarella *et al.* 1978). A maré é do tipo semidiurno com desigualdade diurna. A ampli-

tude de maré aumenta da porção leste para a montante do estuário, onde a variação média está em torno de 2,2 m. A amplitude da maré de quadratura corresponde a 80 % daquela de sizigia (Soares *et al.* 1997). A amplificação da maré pode ser causada por ventos fortes e constantes do quadrante sul, que geralmente ocorrem no inverno (Marone & Camargo 1994).

No setor euhalino da Baía de Paranaguá, o qual sofre a maior influência da água marinha, as planícies entremarés são formadas por areia fina bem selecionada, com baixo teor de matéria orgânica e de água (Netto & Lana 1996). A Ilha Rasa da Cotinga (25°32,14'S e 48°24,23'W) apresenta uma planície entremarés com 500 metros de extensão, a qual foi diferenciada em três áreas de acordo com o grau de hidrodinamismo (Fonseca 1998). A região localizada nos primeiros 100 metros de extensão da planície, medidos a partir do limite do infralitoral, apresenta o maior hidrodinamismo, definido como alto a muito alto. A porção mediana da planície é caracterizada pelo hidrodinamismo alto a moderado, enquanto a região superior se define como um ambiente de energia moderada. Neste gradiente, ocorre um aumento nos teores de matéria orgânica e de água intersticial do sedimento, enquanto a porcentagem de carbonato decai significativamente.

PRODUÇÃO E BIOMASSA MICROFITOBÊNICA

A produção primária e a concentração de biomassa microfitobênica foram quantificadas nas três regiões sob diferentes condições hidrodinâmicas da planície entremarés da Ilha Rasa da Cotinga (Fig.1). Os experimentos ocorreram em uma das marés de quadraturas, período em que a planície se mantém imersa, nos meses de abril, maio, julho, setembro e dezembro de 1996 e nos meses de janeiro, fevereiro e março de 1997.

Em cada região, a produção primária microfitobênica foi estimada por experimentos *in situ* utilizando-se campânulas bênticas de acrílico do tipo *bell-jars*, com volume interno de 1,87 dm³ e área basal de 0,04 m². Duas campânulas translúcidas e duas opacas foram utilizadas para avaliar as taxas de produção e de respiração, respectivamente, em cada uma das regiões da planície. As campânulas eram acondicionadas cuidadosamente sobre o sedimento para evitar a sua ressuspensão e os experimentos iniciavam após ambientação da água interna. Cada campânula dispunha de um agitador manual para a homogeneização da água interna durante o experimento, a qual era efetuada a cada 5 min. com rotação mínima para evitar a ressuspensão do sedimento interno. Utilizou-se o método de Winkler, descrito em Strickland & Parsons (1972), para estimar os valores de oxigênio dissolvido nas águas amostradas no tempo inicial e final a cada experimento.

Os experimentos ocorriam concomitantemente ao longo da planície entremarés, no período da manhã e com um tempo de incubação de, aproximadamente,

60 minutos. A diferença de tempo entre o início dos experimentos em cada uma das regiões da planície era de no máximo 20 minutos.

A radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) incidente no período de incubação e de insolação diária foi avaliada por um sensor BIOSPHERICAL QSR-240, instalado no Centro de Estudos do Mar, próximo ao local dos experimentos. Os dados foram utilizados para construir a curva de luz e estimar as taxas diárias de produção microfitobêntica.

Ao final de cada experimento, 4 amostras de sedimento foram retiradas para quantificar os pigmentos fotossintetizantes do microfitobentos, utilizando-se um amostrador de polietileno preto (de 30 mm de diâmetro e 50 mm de altura), com uma das extremidades vazada para o escoamento da água suprajacente ao sedimento no momento da amostragem. Cada amostra foi mantida em seu amostrador, o qual foi etiquetado e resfriado em caixa térmica até posterior congelamento em laboratório a -15 °C. O centímetro superior do sedimento congelado foi seccionado com lâmina cortante, esta parcela foi sub-amostrada com auxílio do tubo de ensaio (10 mm de diâmetro). As metodologias de extração, análise e quantificação dos pigmentos fotossintetizantes seguiram as recomendações de Plante-Cuny (1978).

Os cálculos de produção e respiração foram determinados de acordo com Carmouze (1994), utilizando-se de um quociente fotossintético (por átomos) de 1,2 e respiratório de 0,85. A luz incidente no sedimento durante o experimento foi calculada de acordo com Carmouze (*op. cit.*), utilizando-se por base a profundidade do disco de secchi na coluna d'água adjacente à planície entremarés e a profundidade de cada experimento. A taxa de produção primária diária foi extrapolada com base na produção durante o experimento, considerando a radiação integrada do experimento e do dia para cada profundidade.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises de variância bifatorial e unifatorial foram empregadas para testar a hipótese nula de que não há diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os descritores bióticos e abióticos das diferentes regiões da planície entremarés e nos diferentes períodos amostrais. Nesta análise, os dados obtidos nos meses de abril, maio, julho e setembro de 1996 foram definidos como réplicas do período de outono-inverno, enquanto que as amostragens de dezembro de 1996 e de janeiro, fevereiro e março de 1997 caracterizaram a primavera-verão. Para avaliar a similaridade entre os valores de produção primária, de respiração e de biomassa microfitobêntica e da radiação incidente no sedimento nas diferentes áreas ao longo do gradiente de energia ambiental da planície entremarés em estudo, utilizou-se da análise multivariada não paramétrica de escalonamento multidimensional (MDS). Esta análise de ordenamento é apresentada sob a forma gráfica de um "mapa", cuja distância entre dois pontos representa a sua similaridade. O valor de estresse $< 0,1$ corresponde a uma boa ordenação (Clarke 1993).

RESULTADOS

Durante a maré de quadratura, a profundidade da coluna d'água sobre a planície entremarés variou de 0,50 a 1,25 metros na região superior e de 0,80 a 2,50 metros na região inferior, apresentando um gradiente decrescente ao longo do perfil estudado. Esta variação determinou as diferenças na radiação incidente (RFA) sobre o sedimento ao longo da área estudada (Fig. 2). Somada a isto, a sazonalidade da intensidade e do período de insolação resultou em uma maior incidência da RFA nas regiões superior e mediana do entremarés no período de primavera-verão, cujos valores foram em média de $131 \text{ mol fóton cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ e $114 \text{ mol fóton cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, respectivamente. Nestes locais, a radiação foi menor ($p \leq 0,05$) durante o outono-inverno, com valores médios de $55 \text{ mol fóton cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ na área superior e de $44 \text{ mol fóton cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ na região mediana. A radiação que incidiu na área inferior da planície foi similar àquela que atingiu a superfície do sedimento da região mediana e superior no outono-inverno.

A biomassa microfitobêntica, clorofila *a*, encontrada ao longo do perfil foi significativamente maior no período do outono-inverno do que na primavera-verão. As concentrações foram semelhantes entre as regiões superior e mediana da planície, as quais foram superiores as da região inferior (Fig. 3). Ao analisar as regiões e os períodos amostrados, verificou-se que as maiores concentrações de clorofila *a* ocorreram nas regiões superior ($30,53 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$) e mediana ($29,19 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$) da planície no período de outono-inverno, enquanto que as menores concentrações ocorreram na região inferior na amostragem de primavera-verão ($7,47 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$).

A produção primária bruta foi, em média, maior na região superior da planície entremarés, de $1956,3 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ e de $2132,5 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, tanto no outono-inverno quanto na primavera-verão, respectivamente (Fig. 4). Na região mediana, as concentrações foram semelhantes às citadas anteriormente, sendo em média de $1355,7 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ no outono-inverno e de $2259,3 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ na primavera-verão. A produção primária na região inferior da planície foi de $270,10 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ e de $240,17 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ no outono-inverno e primavera-verão, respectivamente, valores menores do que os encontrados nas regiões que recebem maior insolação.

A análise MDS (estresse de 0,06) indicou a semelhança entre a região superior e a mediana da planície, as quais estão representadas à direita do gráfico (Fig. 5). Do lado oposto, destaca-se a região inferior da planície entremarés. A sazonalidade também é visível pela análise de ordenamento, as amostragens do período de outono-inverno estão dispostas na face superior, enquanto as de primavera-verão estão aglomeradas na face inferior do gráfico. Ao sobrepor os valores absolutos da clorofila *a*, da radiação incidente e da produção primária ao MDS, verificam-se as tendências espaciais e sazonais observadas neste estudo.

DISCUSSÃO

A planície entremarés da Ilha Rasa da Cotinga, durante a maré de quadratura, pode ser diferenciada em duas grandes áreas de acordo com a radiação incidente no sedimento, com a biomassa microfitobêntica e com a taxa de produção primária. Uma das áreas é formada pelas regiões superior e mediana da planície, a qual apresenta uma coluna d'água inferior a 1 metro de profundidade e caracteriza-se pela maior luminosidade, maior biomassa e maior taxa de produção primária. A outra área envolve a região inferior da planície, localizada acima da isóbata de 1 metro, que caracteriza-se pelos menores valores observados no presente estudo.

Brotas *et al.* (1995) relacionaram as diferenças espaciais da biomassa microfitobêntica em planícies entremarés com as características do sedimento e a altura de maré. Estes parâmetros estão associados à estabilidade do sedimento, deposição de partículas orgânicas e inorgânicas, qualidade da água intersticial, efeito da dessecação, ressuspensão etc. Além da distribuição espacial da clorofila *a* na Ilha Rasa da Cotinga estar relacionada com a boa condição de luz que chega ao sedimento, pode-se considerar que a hidrodinâmica, as características sedimentológicas e a altura da maré também são fatores importantes. Segundo Underwood & Paterson (1993), a ressuspensão do sedimento ocasionada pela quebra de ondas na baixamar e o pequeno tempo de exposição à luz são as principais causas dos baixos teores de clorofila na porção inferior de planícies entremarés. Fonseca (1998) observou que durante a baixamar de sizígia, a maior energia das ondas é dissipada na região inferior da planície entremarés da Ilha Rasa da Cotinga, conferindo uma maior granulometria e a presença de fragmentos de conchas ao sedimento desta região. Segundo este estudo, as regiões mediana e superior da planície apresentam características de um ambiente sob moderada energia ambiental, com maior porcentagem de matéria orgânica no sedimento e elevadas concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos na água intersticial, fatores que favorecem o incremento da biomassa microalgal.

A variação sazonal da biomassa microfitobêntica não apresentou correlação direta com a da produção microfitobêntica no sistema investigado. As maiores biomassas ocorreram no período de outono-inverno para todas as regiões da planície, enquanto a produção primária foi significativamente maior na primavera-verão. O declínio da biomassa microfitobêntica na primavera-verão é reportado na literatura como resultado do aumento da herbivoria (Blanchard 1997, Wolfstein *et al* 2000), do estresse ocasionado pelo aumento do dessecamento quando a planície encontra-se emersa e dos processos de erosão e ressuspensão do sedimento (de Jonge & Van Beusekman 1995). Apesar destas variáveis não terem sido avaliadas neste estudo, a sazonalidade no incremento do microfitobentos pode estar em parte associada a elas. Entretanto, estas parecem não ter influência nas taxas de produtividade primária da comunidade local. A incidência da radiação fotossinteticamente ativa sobre o sedimento parece ser o fator determinante para a sazonalidade da produção microfito-

bêntica e para a eficiência fotossintética desta comunidade, a qual representa a razão entre o carbono produzido e a biomassa produtora. Em uma laguna subtropical ao sul da Baía de Paranaguá, Lagoa da Conceição, a incidência luminosa sobre o sedimento determinou 33% da variabilidade observada nas taxas de produção primária microfotobêntica (Fonseca 2004). Resultados semelhantes foram observados em ecossistemas subtropicais e temperados (Wolfstein *et al.* 2000; Robson & Webster 2006).

Grontved (1960) encontrou uma produção microalgal bêntica variando ao longo do ano entre 300 e 1500 mgC.m⁻².d⁻¹ nos *Fjords* da Dinamarca; McIntyre & Cullen (1995) estimaram uma produção média de 220 mgC.m⁻².d⁻¹ na Baía de *Corpus Christi* (EUA); Brandini *et al.* (2001) detectaram uma variação de 200 a 1400 mgC.m⁻².d⁻¹ na produção do perifiton na Baía de Paranaguá; Souza (1983) estimou uma variação de 1,0 a 301 mgC.m⁻².h⁻¹ na produção microfotobêntica do Estuário de Santos (Brasil); Na Lagoa da Conceição (Florianópolis, Brasil) esta produção foi em média de 107 a 142 mgC.m⁻².d⁻¹, no inverno e verão, respectivamente (Fonseca, 2004). No presente estudo, a produção microfotobêntica variou de 77 a 3790 mgC.m⁻².d⁻¹, apresentando a média de 1573 mgC.m⁻².d⁻¹. Em comparação a outros estudos, o microfotobentos do setor eusalino da Baía de Paranaguá é altamente produtivo, o que demonstra seu importante papel na síntese de carbono e consequentemente, na teia alimentar deste ecossistema.

O microfotobentos contribuiu com até 64% da produção primária em sedimentos de áreas rasas da Baía de *Corpus Christi* (EUA) e com 11% quando resuspendidos na coluna d'água deste sistema (McIntyre & Cullen 1995). A Baía de Paranaguá é um ambiente dinâmico em seus setores mais externos. Segundo Daniel *et al.* (1997), este pode ser o principal motivo do baixo acúmulo de biomassa e produção fitoplanctônica, quando comparado com outros estuários brasileiros. Brandini & Thamm (1994) estimaram a taxa de produção pelágica nos setores eu- e polihalino da Baía de Paranaguá entre 8 a 145 mgC.m⁻³.h⁻¹ e Daniel *et al.* (1997) encontraram uma variação de 7 a 137 mgC.m⁻³.h⁻¹ no setor eusalino deste estuário. Na Baía de Paranaguá, ao considerar a área ocupada pelas planícies entremarés, a baixa profundidade da coluna d'água nas áreas marginais e a elevada taxa de produção primária microfotobêntica, estimada em 20 tC.dia⁻¹, pode-se concluir que o microfotobentos desempenha importante papel na produtividade do referido estuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alongi, D. 1990. The ecology of tropical soft-bottom benthic ecosystems. **Oceanography Marine Biology Annual Review**, 20: 381-496.
- Noernberg M., Lautert, L.F.C.; Araujo A.D.; Marone, E.; Angelotti, R.; Netto Jr., J.P.B. & Krug, L.A. 2006. Remote sensing and GIS integration for modelling the Paranaguá Estuarine Complex, Brazil. **Journal of Coastal Research**, 39: 1627-1631.

- Bigarella, J. J.; Becker, R. D.; Matos, D. J. & Werner, A. 1978. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná**. Secretaria do Estado do Planejamento do Governo do Paraná/ADEA.
- Blanchard, G. F.; Sauriau, P. G.; Cariou-Le Gall, V. C.; Gouleau, D.; Garet, M. J. & Oliver, F. 1997. Kinetics of tidal resuspension of microbiota: testing the effects of sediment cohesiveness and bioturbation using flume experiments. **Marine Ecology Progress Series**, 151: 17-25.
- Brandini, F.P. & Thamm, C.A. 1994. Variações diárias e sazonais do fitoplâncton e parâmetros ambientais na Baía de Paranaguá. **Nerítica**, 8 (1-2): 55-72.
- Brandini, F.P.; da Silva, E.T.; Pellizzari, F. M.; Fonseca, A. & Fernandes, L.F. 2001. Production and biomass accumulation of periphytic diatoms growing on glass slides during a 1-year cycle in the subtropical estuarine environment (Bay of Paranaguá, southern Brazil). **Marine Biology**, 138: 163-171.
- Brotas, V.; Cabrita, T.; Portugal, A.; Serôdio, J. & Catarino F. 1995. Spatio-temporal distribution of the microphytobenthic biomass in intertidal flats of Tagus Estuary (Portugal). **Hydrobiologia**, 300/301: 93-104.
- Carmouze, J.P. 1994. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. São Paulo, editora Edgard-Blücher, FAPESP.
- Cibic, T.; Blassuto, O.; Falconi, C & Umani, S.F. 2007. Microphytobenthic biomass, species composition and nutrient availability in sublittoral sediments of the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 75: 50-62
- Clarke, K. R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Australian Journal of Ecology**, 18: 117-143.
- Colijn, F. 1982. Light absorption in the water of the Ems-Dollard Estuary and its consequences for the growth of phytoplankton and microphytobenthos. **Netherland Journal of Sea Research**, 15: 196-216.
- Daniel, C.B.; Machado, E.C.; Brandini N & Lorenzi L.. 1997. Interações entre os compartimentos pelágico e bêntico no setor euhalino da Baía de Paranaguá. II. Produção primária fitoplanctônica e parâmetros ambientais. **Anais do VII Congresso Latino-americano de Ciências do Mar**, Santos, Brasil.
- de Jonge, V.N. & Van Beusekman, J.E.E. 1995. Wind- and tide-induced resuspension of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the sem estuary. **Limnology and Oceanography**, 40: 766-778.
- Fonseca, A. 1998. **Composição, distribuição, variação sazonal e produção primária do microfitobentos entremarés na Baía de Paranaguá (Paraná, Brasil)**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Botânica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Fonseca, A. 2004. **Variação sazonal e espacial das características hidroquímicas, dos fluxos de nutrientes e do metabolismo na interface água-sedimento da La-**

- goa da Conceição (SC, Brasil).** Tese de doutorado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Grant, J.; Bathmann, U & Mills, E.L. 1986. The interaction between benthic diatom films and sediment transport. **Estuarine Coastal Shelf Science**, 23: 223-238
- Grontved, J. 1960. On the productivity of microbenthos and phytoplankton in some Danish fjords. **Medd. fra Danm. Fisk. og Hav.**, 3(3): 55-92.
- Longphuir, S.N; Clavier, J.; Grall, J; Chauvaud, L. & outros. 2007. Primary production and spatial distribution of subtidal microphytobenthos in a temperate coastal system, the Bay of Brest, France. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 74:367-380.
- Mantovanelli, A. 1999. **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Marone, E. & Camargo, R. 1994. Marés meteorológicas no litoral do Estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. **Nerítica**, 8(1-2): 73-85.
- McIntyre, H.L. & Cullen, J.J. 1995. Fine scale vertical resolution of chlorophyll and photosynthetic parameters in shallow-water benthos. **Marine Ecology Progress Series**, 122: 227-237.
- Netto, S. A & Lana, P. C. 1996. Benthic macrofauna of *Spartina alterniflora* marshes and nearby unvegetated tidal flats of Paranaguá Bay. **Estuarine Coastal and Shelf Science**. 44, 641-648.
- Plante-Cuny, M.R. 1978. Pigments photosynthétiques et production primaire des fonds meubles néritiques d'une région tropicale (Nosy-Bé, Madagascar). **Trav. Doc. ORSTOM**, 96: 1-35.
- Reise, K. 1985. **Tidal flat ecology: an experimental approach to species interactions.** Springer-Verlag, Berlin, Alemanha.
- Robson, B.J. & Webster, I.T. 2006. Representing the effects of subgrid-scale variations in bathymetry on light and primary production. **Environmental Modelling & Software**, 21: 802-811.
- Soares, C. R., Angulo, R. J. & Lessa, G. C. 1997. **Morfodinâmica de ambientes atuais, evolução da planície durante o Quaternário e problemas de erosão costeira.** Publicação especial do 26º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), Roteiro da excursão ao litoral do Estado do Paraná, Paraná, Brasil.
- Souza, E. C. P. M. 1983. Primary production of the benthic microflora living on intertidal flat in the Santos estuarine system (24°S, 46°W), São Paulo, Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**. 32(2): 177-186.
- Strickland, J. D. H & Parson, T. 1972. **A practical handbook of seawater analysis.** 2(Bulletin, 122) Ottawa, Fisheries Research, Board of Canadian, Canadá.

- Underwood, G.J.C. & Paterson, D.M. 1993. Seasonal changes in diatom biomass, sediment stability and biogenic stabilization in the Severn Estuary. **Journal Marine Biology Association of United Kingdom**, 73: 871-887.
- Wolfstein, K.; Colijn, F. & Doerffer, R. 2000. Seasonal Dynamics of microphytobenthos biomass and photosynthetic characteristics in the northern German Wadden Sea, obtained by the photosynthetic light dispensation system. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 51: 651-662.

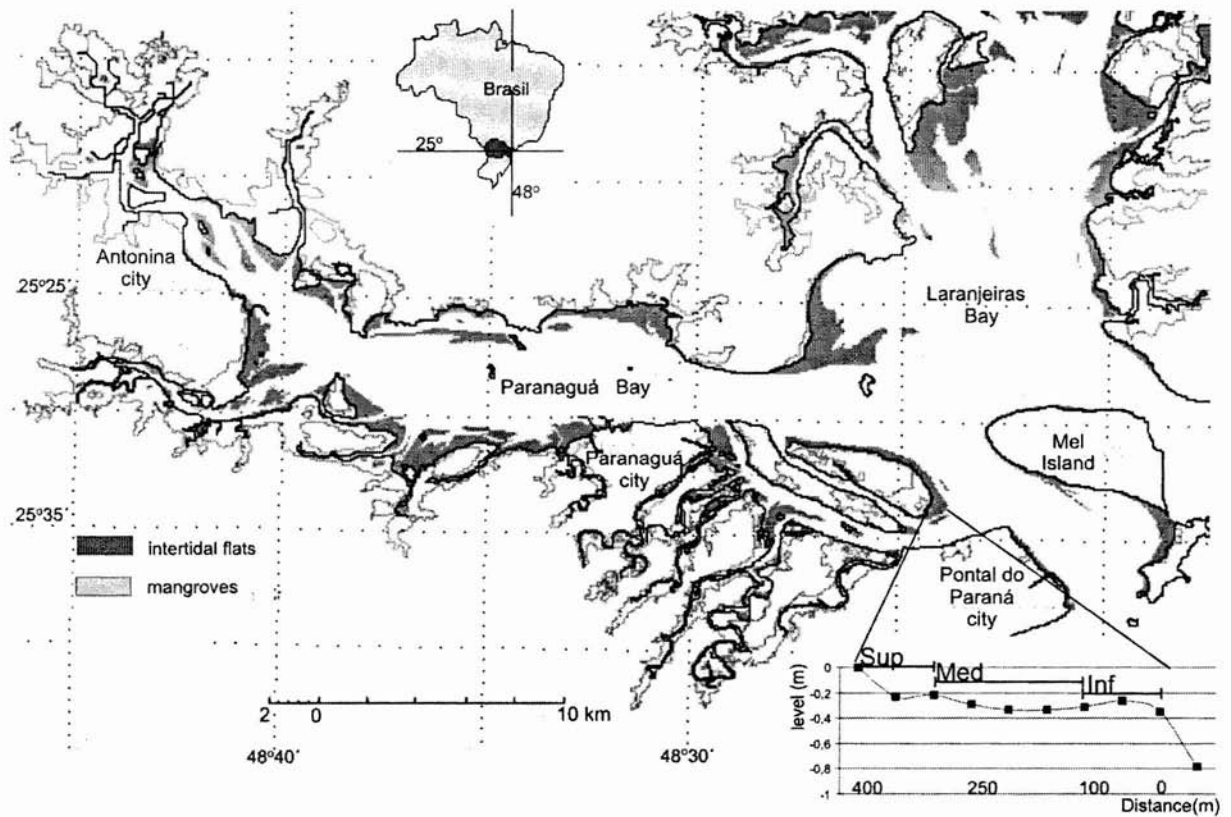


Figura 1. Áreas rasas, em cinza escuro, do complexo estuarino da Baía de Paranaguá. Destaque para o perfil batimétrico e localização da região superior, mediana e inferior da planície entremarés da Ilha Rasa da Cotinga, onde o estudo foi desenvolvido. Mapa modificado de Noernberg *et al.* (2006).

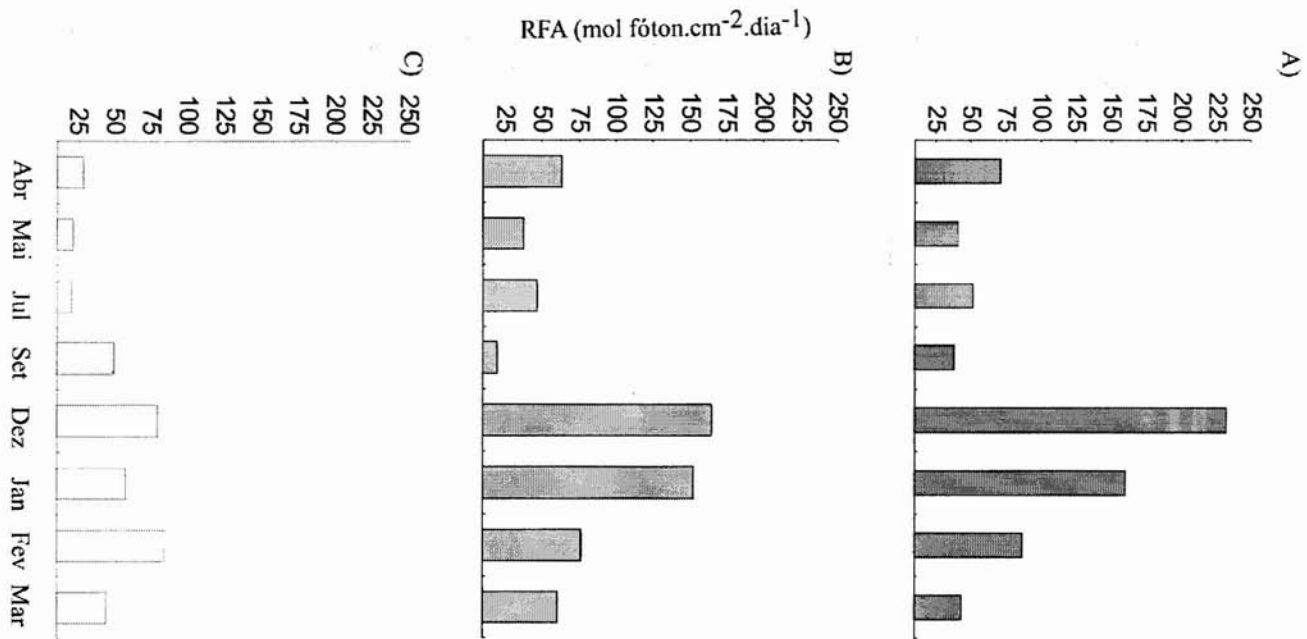


Figura 2. Radiação fotossinteticamente ativa - RFA, em mol fóton.cm⁻².dia⁻¹, incidente na região superior (A), mediana (B) e inferior (C) da planície entremarés da Ilha Rasa da Cotinga, amostragem de outono-inverno de 1996 e primavera-verão de 1996 e 1997.

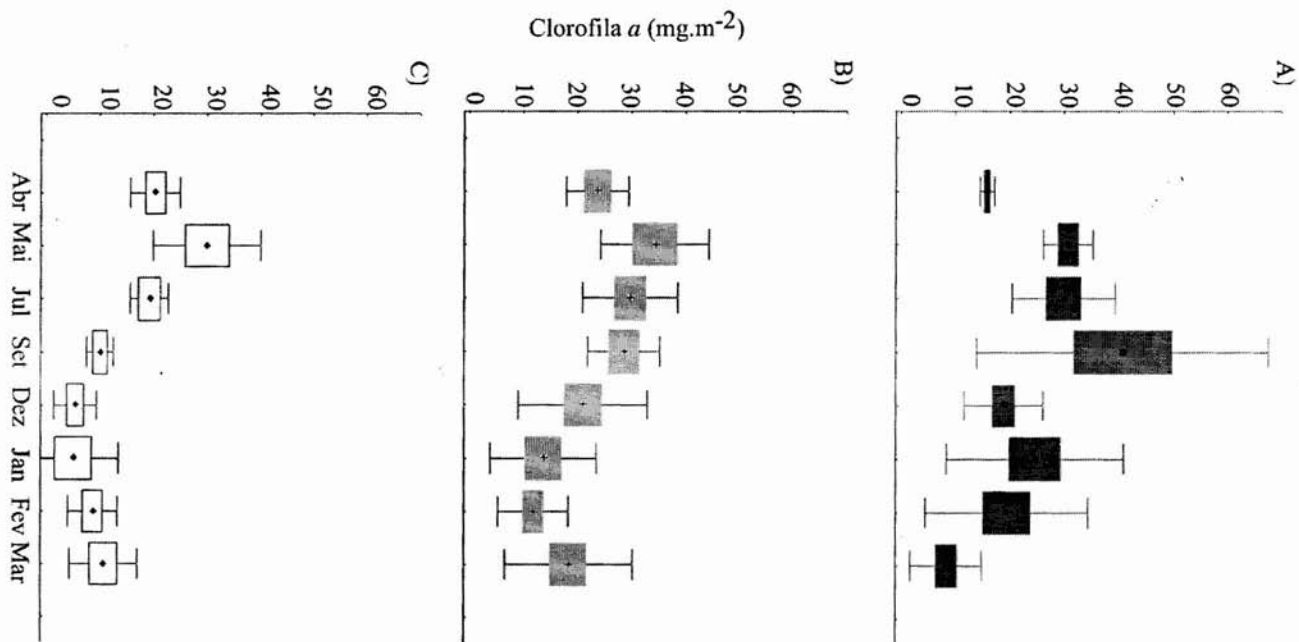


Figura 3. Média, desvio padrão e erro padrão das concentrações de clorofila *a* microfitobêntica, em mg.m⁻², na região superior (A), mediana (B) e inferior (C) da planície entremarés da Ilha Rasa da Cotínga, amostragem de outono-inverno de 1996 e primavera-verão de 1996 e 1997.

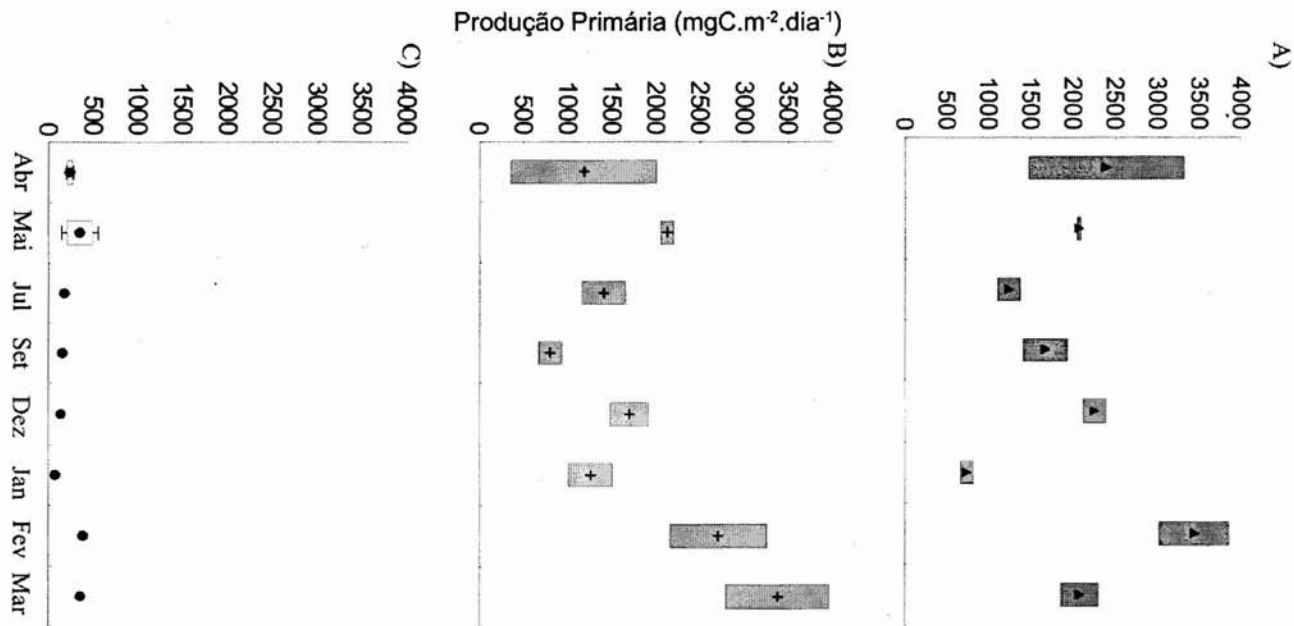


Figura 4. Média, desvio padrão e erro padrão das taxas de produção primária microfitobêntica, em $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$, na região superior (A), mediana (B) e inferior (C) da planície entremarés da Ilha Rasa da Cotinha, amostragem de outono-inverno de 1996 e primavera-verão de 1996 e 1997.

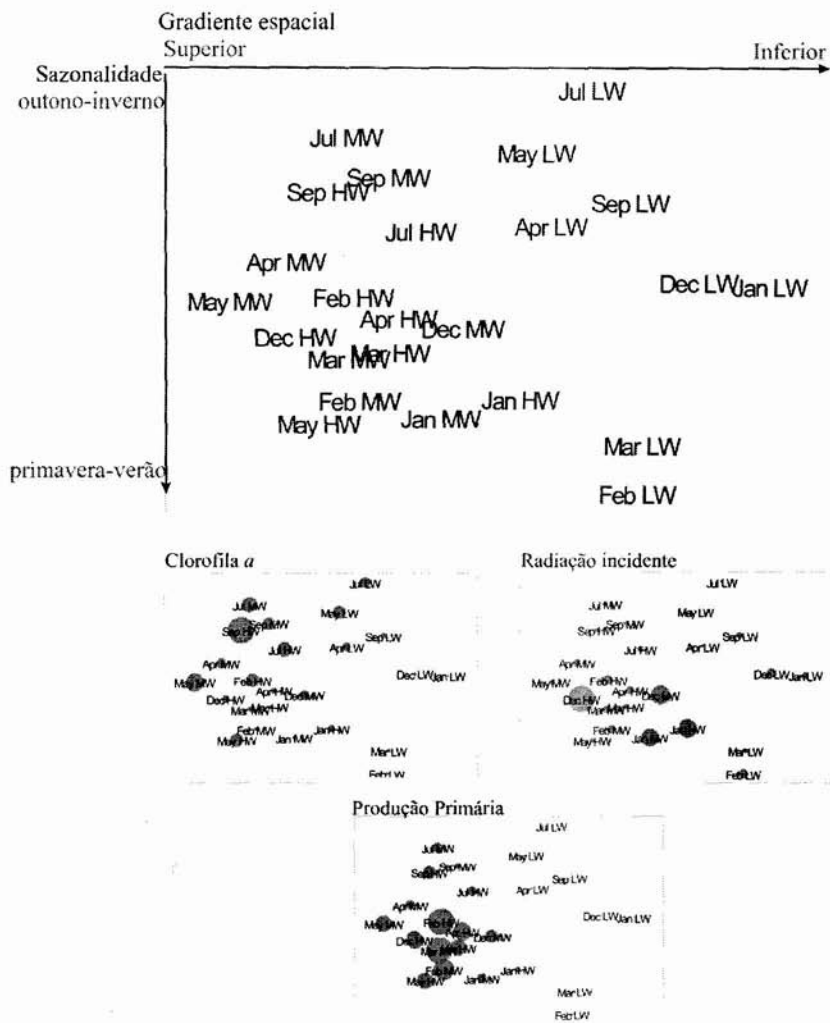


Figura 5. Mapa da análise de escalonamento multidimensional - MDS dos dados de RFA, biomassa, produção microfítobêntica e mineralização das regiões superior (HW), mediana (MW) e inferior (LW) nos diferentes meses amostrados de 1996 e 1997. Sobreposição dos valores absolutos da clorofila α ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$), da radiação incidente ($\text{mol}\cdot\text{fóton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) e da produção primária ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$).