

MAPAS DE PARÂMETROS TEXTURAIS DE SEDIMENTOS DE FUNDO DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ – PR

TEXTURAL PARAMETERS MAPS OF BOTTOM SEDIMENTS ON PARANAGUÁ BAY COMPLEX – PR

Marcelo R. LAMOUR^{1,2}

Carlos R. SOARES¹

João C. CARRILHO¹

RESUMO

Este estudo tem por objetivo verificar a distribuição das características dos sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá, fazendo uma síntese integrada dos dados. As análises foram embasadas em 1.187 amostras coletadas entre os anos de 1988 e 2001. Este Complexo Estuarino é composto por dois eixos principais, denominados baía das Laranjeiras (N-S) e de Paranaguá (L-O). Os resultados obtidos destacam diferenças entre as características dos sedimentos das referidas baías. O diâmetro médio granulométrico da baía das Laranjeiras é maior que na baía de Paranaguá, com grau de seleção semelhante em ambas, exceto a baía de Guaraqueçaba. A distribuição das porcentagens de carbonato biodetrítico (CaCO_3) varia entre 5 e 20%, enquanto que a quantidade de matéria orgânica varia entre 0 e 35% no CEP.

Palavras-chave: sedimentos de fundo, sedimentologia, Paranaguá, Laranjeiras, baía.

ABSTRACT

This study aims to describe the bottom sediments distribution on the Paranaguá Bay Complex, a synthesizing of the available data. Between 1988 and 2001 1.187 samples were obtained, which were used in this analysis. The CEP is composed by two main axis denominated Laranjeiras bay (N-S) and Paranaguá bay (E-W). The main results shown differences between bottom sediments characteristics of both bays, where the mean grain size on Laranjeiras bay is bigger than on Paranaguá bay, and selection coefficient is near to the same in both bays, except on Guaraqueçaba bay. The quantities of carbonate vary between 5 and 20%, and organic matter varies between 0 and 35% on the CEP.

Key-words: bottom sediments, sedimentology, Paranaguá, Laranjeiras, bay.

1 Centro de Estudos do Mar – Universidade Federal do Paraná. E-mail: mlamour@ufpr.br

2 Pós-Graduação em Geologia – Universidade Federal do Paraná. Bolsista Capes.

INTRODUÇÃO

Estuários têm relevante importância em áreas costeiras, não só por seu papel ecológico, mas também pelo intenso uso humano associado, como a implantação de portos e terminais portuários, marinas, municípios costeiros, pólos industriais, variados tipos de aquicultura, potencial recreativo, entre outros aspectos. Tal uso deve-se, principalmente, ao fato de os estuários constituírem áreas abrigadas, não havendo influência direta da elevada ação hidrodinâmica que ocorre em condições de mar aberto.

As características morfológicas e do substrato dos estuários são uma herança das variações do nível relativo do mar durante o Quaternário, das áreas-fonte, dos processos hidrodinâmicos que ocorrem nessas áreas abrigadas, dos processos de interação entre o mar aberto e o estuário e, dependendo do caso, do tectonismo.

A natureza e a distribuição dos sedimentos de fundo nos estuários têm importante papel em diversas áreas, seja para o planejamento de canais de acesso aos portos, terminais portuários, marinas, dragagens e áreas de despejo, seja para comporem o substrato para a biota existente nestas regiões. Este trabalho objetiva descrever as características e a distribuição dos sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá (Estado do Paraná), um dos maiores do Brasil, a partir de dados levantados entre 1988 e 2001, parcialmente publicados, fazendo-se uma síntese dos dados.

ÁREA DE ESTUDO E LEVANTAMENTOS ANTERIORES

O litoral do Estado do Paraná é caracterizado pela pequena extensão linear e pela presença de dois estuários bem desenvolvidos – Guaratuba e Paranaguá. O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) é composto basicamente por dois eixos de orientação: o primeiro, denominado baía de Paranaguá, com 56 km de extensão no eixo leste-oeste; e o segundo, denominado baía das Laranjeiras, com 30 km de extensão no eixo norte-sul (figura 1). Outros segmentos menores interligam-se a esses dois corpos aquosos de maior porte, como as baías de Guaraqueçaba, Antonina, Pinheiros, Itaquí, Benito e rio Medeiros.

Bigarella et al. (1970; 1978) executaram um mapeamento dos sedimentos de fundo e dos parâmetros estatísticos granulométricos da baía de Paranaguá e Antonina, a partir de levantamento efetuado na segunda metade da década de 1960. Posteriormente, Odreski (2002) realizou uma comparação entre os dados obtidos por Bigarella (1978) e Soares et al. (1996) para a baía de

Antonina. Entre outros aspectos, constatou-se um aumento acentuado no diâmetro médio e do grau de seleção dos sedimentos, indicando uma variação acentuada nesses parâmetros. Seguindo a mesma linha de pesquisa, Carrilho (2003) coletou e descreveu as características dos sedimentos próximos ao porto de Paranaguá, na porção média da baía de Paranaguá, enquanto que Lamour (2000) estudou os sedimentos da desembocadura da baía. No eixo norte-sul do CEP, Soares & Barcelos (1995) apresentaram resultados de estudos semelhantes para as baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a geração dos mapas de distribuição dos sedimentos de fundo de todo o CEP, foram utilizados resultados de análises de 216 amostras coletadas na baía das Laranjeiras (Soares & Barcelos, 1995), 339 amostras nas baías de Paranaguá e Antonina e área da desembocadura sul (Soares et al., 1996), 51 amostras da área de desembocaduras (Lamour, 2000), 230 amostras nas adjacências do porto de Paranaguá (Carrilho, 2003), e 351 amostras em pequenas áreas distribuídas pelo estuário (LOGEO/CEM/UFPR), somando 1.187 amostras distribuídas aleatoriamente (figura 2). As amostragens estão separadas geograficamente de acordo com os eixos do CEP (Laranjeiras eixo norte-sul; Paranaguá eixo leste-oeste), assim a interpolação entre as amostras de diferentes datas não foi um fator limitante para a interpolação entre os dados.

As amostras foram obtidas por meio de busca-fundo tipo Van-Veen e Petite Ponar, localizadas por meio de um sextante de precisão, para as amostras coletadas na baía das Laranjeiras, e do Sistema de Posicionamento Global (GPS) para as demais. As coordenadas GPS estão referenciadas ao *datum* horizontal WGS-84.

As amostras foram secas a 60° C, com pipetagem quando necessário, visando à determinação das proporções de materiais nas frações silte e argila (menores que 0,062 mm). Terminada a pipetagem, procedeu-se a lavagem do material para a eliminação das frações já analisadas. As amostras foram então colocadas novamente para secagem e postas a peneirar por 15 minutos, sendo separadas as classes granulométricas maiores que silte na escala de Wentworth. Aproximadamente 10 gramas de sedimento foram retirados da amostra original para quantificação de carbonato de cálcio. Nesse processo, o sedimento foi secado em estufa e pesado. Em seguida, adicionou-se ácido clorídrico com 10% de concentração, reagindo por aproximadamente 15 minutos. O ácido foi removido com água quente ($\approx 90^{\circ}\text{C}$) e a amostra submetida à nova seca-

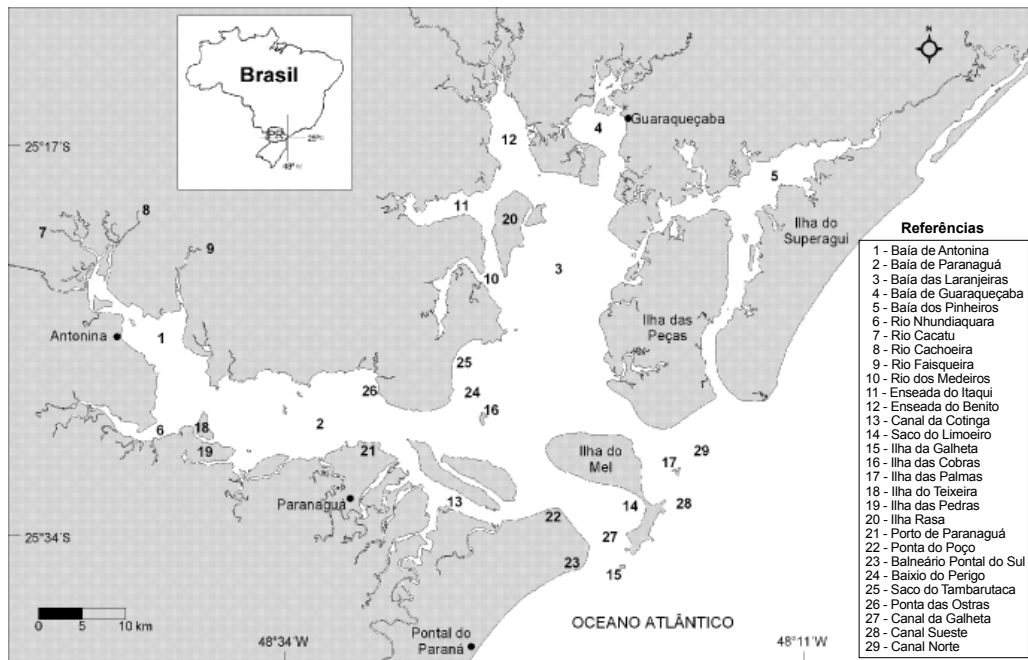


Figura 1: Mapa de localização do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). *Localization map of Paranaguá Estuarine Complex (CEP).*

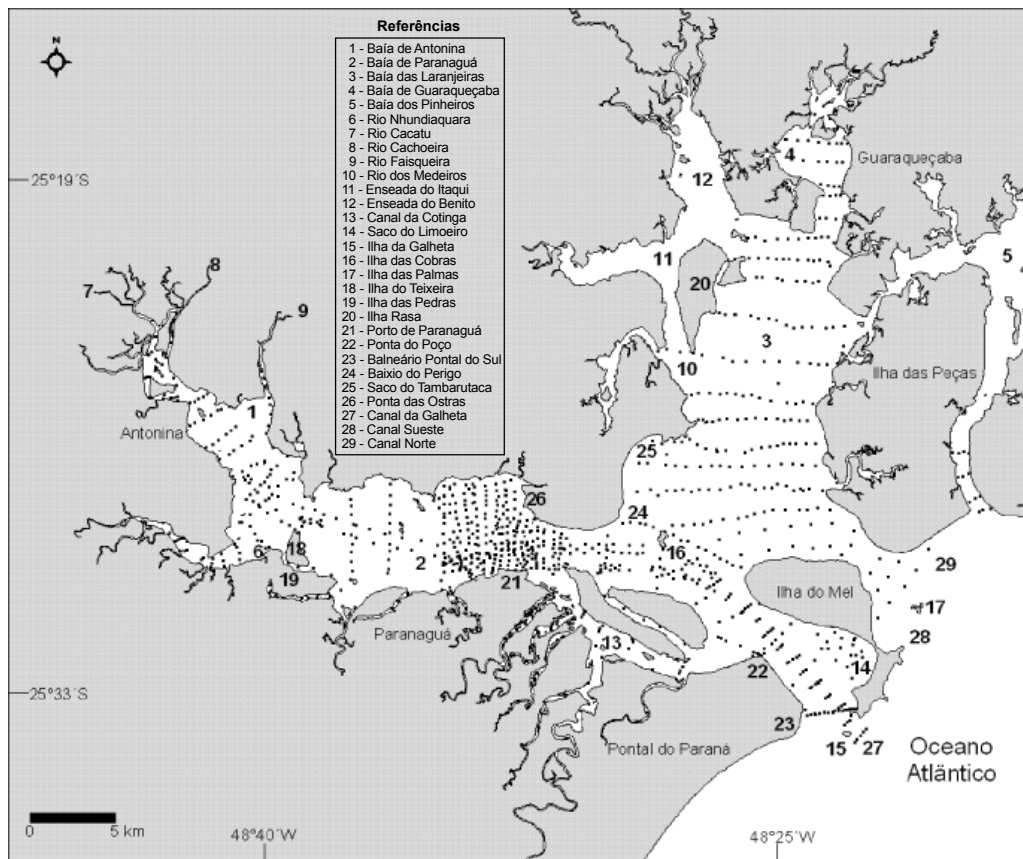


Figura 2: Mapa da distribuição dos pontos de amostragem de sedimentos de fundo no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), nos vários levantamentos considerados. *Distribution map of bottom samples on Paranaguá Estuarine Complex (CEP), in all considered sampling.*

gem. Pesou-se novamente o recipiente, e pela diferença de massas, obteve-se a quantidade média de carbono presente na amostra.

Para a obtenção dos parâmetros estatísticos foi utilizado o *software* SysGran 2.4 (Camargo, 1999). A interpolação entre os pontos de amostragem foi feita por meio do *software* Surfer (Golden) pela técnica de Krigagem Linear.

RESULTADOS

Os setores utilizados para a descrição dos resultados foram os limites das baías compreendidas no CEP. A baía de Antonina compreende a foz dos rios Faisqueira, Cachoeira e Nhundiaquara até a ilha do Teixeira. A partir dessa ilha, a baía de Paranaguá estende-se até a ilha das Cobras. No eixo norte-sul, a baía das Laranjeiras compreende a baía de Guaraqueçaba, a qual está em sua porção norte. O setor de desembocaduras compreende as duas conexões do CEP com o oceano Atlântico, onde encontram-se os canais navegáveis ao porto de Paranaguá (Galheta, Sueste e Norte; figura 1).

Diâmetro Médio

A distribuição dos valores do diâmetro médio das amostras do CEP evidencia uma nítida diferenciação entre as baías de Paranaguá e Laranjeiras (tabela 1; figura 3). Em Paranaguá a tendência é que os sedimentos tenham diâmetro médio menor do que os das Laranjeiras, exceto na foz dos rios Faisqueira, Cachoeira e Nhundiaquara (areia muito grossa a grossa). Nas Laranjeiras, o diâmetro médio tende a ser maior, exceto na baía de Guaraqueçaba, onde os sedimentos são mais finos.

Em Antonina ocorre associado às áreas rasas silte grosso a fino, concentrados nas margens da baía. Próximo à margem sudoeste, o diâmetro médio dos sedimentos aumenta para areia grossa a média. Na área próxima à ilha do Teixeira, os sedimentos gradam para

areia grossa a média, tornando-se mais finos na direção do porto de Paranaguá.

Entre a ilha das Pedras e as adjacências do porto de Paranaguá, a tendência é de redução do diâmetro médio, variando entre areia fina e silte médio. Os sedimentos mais finos dessa região estão concentrados em duas grandes áreas dispostas no sentido leste-oeste.

Em Guaraqueçaba, o diâmetro médio varia entre areia muito fina e silte médio, passando à areia grossa próximo à sede do município. Na baía das Laranjeiras, o diâmetro médio variou entre areia média e silte grosso, sendo a principal gradação nas adjacências da ilha Rasa, no sentido da desembocadura do CEP. Na área próxima ao Baixio do Perigo observa-se uma concentração de sedimentos finos com diâmetro médio na classe silte grosso.

Na área da desembocadura sul do CEP predominam areias médias, gradando para areia grossa na entrada do canal principal de vazante. Na desembocadura norte observam-se diâmetros médios entre areia muito grossa e grossa, cujo maior diâmetro médio encontrado está associada ao canal Sueste, entre as ilhas do Mel e das Palmas.

Grau de Seleção

Os valores de grau de seleção no CEP mostram uma predominância de sedimentos pobremente selecionados, excetuando-se a área de desembocadura, onde ocorrem sedimentos mais bem-selecionados. Na baía de Guaraqueçaba ocorrem sedimentos com grau de seleção pior (tabela 2).

Em Paranaguá, na foz dos rios Faisqueira, Cachoeira e Cacatu, os sedimentos apresentam-se moderadamente selecionados. De uma forma geral, Antonina apresenta sedimentos pobremente selecionados, gradando a muito pobremente selecionados, dispostos em concentrações circulares pela área. O mesmo ocorre em Paranaguá, onde o predomínio de sedimentos pobremente selecionados é ainda maior.

Tabela 1: Comparação da distribuição (%) do diâmetro médio nos três setores do Complexo Estuarino de Paranaguá. AG – areia grossa; AM – areia média; AF – areia fina; AMF – areia muito fina; SG – silte grosso; SM – silte médio, e SF – silte fino. *Comparison between mean grain size distributions (%) in each Paranaguá Estuarine Complex compartment. AG - coarse sand; AM - medium sand; AF- fine sand; AMF - very-fine sand; SG - coarse silt; SM - medium silt, and SF - fine silt.*

Locais/Diâmetro Médio (Phi)	AG	AM	AF	AMF	SG	SM	SF
Paranaguá	3,1	6,9	29,0	23,0	15,0	17,2	5,8
Laranjeiras	0,9	5,0	52,3	17,9	12,9	6,5	4,3
Desembocadura	3,8	14,6	75,4	4,6	0,8	0,8	-

Tabela 2: Comparação da distribuição do grau de seleção granulométrica nos três setores do Complexo Estuarino de Paranaguá. MPS – muito pobremente selecionado; PS – pobremente selecionado; MS – moderadamente selecionado; BS – bem-selecionado, e MBS – muito bem-selecionado. *Comparison between sorting distributions (%) in each Paranaguá Estuarine Complex compartment. MPS - very-poorly selected; PS - poorly selected; MS - moderate selected; BS - well selected, and MBS - very-well selected.*

Locais/Grau de Seleção	MPS	PS	MS	BS	MBS
Paranaguá	13,0	64,2	17,0	4,5	1,3
Laranjeiras	30,8	59,6	7,8	1,8	-
Desembocadura	3,2	19,0	30,2	19,8	27,7

Nas Laranjeiras, os sedimentos são pobremente selecionados, exceto pelas concentrações providas de Guaraqueçaba e do Saco do Tambarutaca, onde os sedimentos são muito pobremente selecionados.

Na área das desembocaduras do CEP, o pior grau de seleção está na desembocadura norte, onde ocorrem sedimentos muito pobremente selecionados, e sedimentos bem-selecionados a muito bem-selecionados na desembocadura sul. No Baixo do Perigo e no canal da Cotinga, os sedimentos são moderadamente selecionados.

Teores de Carbonato Biodetrítico

A baía de Antonina apresenta porcentagens de carbonato variando entre 5 e 10%, exceto na foz de seus principais rios, onde há uma redução dessas porcentagens para 5%. Próximo à ilha do Teixeira há um aumento dessas porcentagens, para valores entre 10 e 15%. Em Paranaguá, as concentrações variam entre 5 e 20%.

Nas Laranjeiras, observa-se concentrações de carbonato abaixo de 5%, enquanto que na área de desembocadura este padrão também ocorre, excetuando-se uma área de pequena extensão no Saco do Limoeiro e outra no canal Norte. Próximo à ilha das Cobras encontra-se a maior concentração desta área, com porcentagens acima de 20%.

Teores de Matéria Orgânica

As porcentagens de matéria orgânica na baía de Antonina variam entre 0 e 20%, exceto próximo ao município de Antonina, onde este valor fica acima de 35%. Na porção oriental de Antonina, na foz dos rios Cachoeira e Faisqueira, as porcentagens de matéria orgânica variam entre 0 e 5%. Próximo à ilha do Teixeira, essas porcentagens aumentam para valores entre 10 e 15%, próximo às margens do estuário, enquanto que no centro os valores encontrados aproximam-se de 0%.

Na área próxima à Paranaguá, junto à margem norte da baía, as porcentagens variam entre 10 e 25% reduzindo essas quantidades na área próxima ao cais do porto de Paranaguá para valores próximos a 5%.

Nas Laranjeiras predominam porcentagens entre 0 e 5%, com uma concentração próxima à 10% nas adjacências da baía de Guaraqueçaba.

Na área de desembocadura do CEP, as maiores concentrações estão na desembocadura Norte, onde os valores variam entre 10 e 15%, enquanto na desembocadura Sul os valores variam predominantemente entre 0 e 5%.

Relação de Sedimentos Grossos/Finos

Em Paranaguá ocorrem concentrações de sedimentos finos (silte+argila) próximos a 100%, exceto na foz dos rios Nhundiaquara, Cachoeira e Faisqueira e na área de desembocaduras onde as concentrações de sedimentos grossos (grânulo+areia) são próximas a 100%.

Nas Laranjeiras, a concentração de sedimentos grossos é mais acentuada que na baía de Paranaguá, com valores entre 70 e 90% de uma forma geral. As mais baixas concentrações de sedimentos grossos estão localizadas em Guaraqueçaba, onde se observa valores entre 80 e 100% de sedimentos finos (silte+argila). Na área de desembocadura do CEP, as concentrações de sedimentos grossos atingem valores entre 90 e 100%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral os sedimentos da baía de Paranaguá têm diâmetro médio entre silte fino e areia fina, são pobremente selecionados, com 40 a 60% de sedimentos grossos, contendo de 0 a 20% de carbonato biodetrítico (CaCO_3) e de 0 a 30% de matéria orgânica. Em associação à grande extensão de áreas rasas nas bordas da baía de Antonina, o diâmetro médio dos sedimentos apresenta-se menor que no centro da baía.

Os sedimentos grossos estão concentrados nas desembocaduras dos grandes rios da baía de Paranaguá, como resultado do intenso processo de erosão das bacias hidrográficas da Serra do Mar.

Na baía das Laranjeiras, o diâmetro médio dos sedimentos variou entre silte médio e areia fina, de muito pobremente a pobremente selecionados, com 20 a 100% de sedimentos grossos, quantidades abaixo de 5% de carbonato biotritico (CaCO_3) e de 0 a 15% de matéria orgânica. Na desembocadura da baía de Guaraqueçaba, observa-se um aumento do diâmetro médio na desembocadura desta baía com posterior redução do diâmetro médio para a baía das Laranjeiras.

Em uma extensa área conhecida como baixio do Perigo os sedimentos apresentam diâmetro médio, variando entre silte médio e grosso, porém os limites desta ocorrência não acompanham os limites do baixio, como ocorre nas margens da baía de Paranaguá.

Na desembocadura Sul, predominam areias finas a médias, moderadamente à bem-selecionados, com menos de 5% de CaCO_3 , enquanto que na desem-

bocadura Norte ocorrem areias finas a grossas, pobremente selecionados, com 10 a 15% de CaCO_3 , e praticamente não ocorrem sedimentos finos. Teores inferiores de 5% de matéria orgânica foram verificados em ambas as desembocaduras. A desembocadura Sul tem sido freqüentemente dragada para a manutenção das condições de navegação do canal da Galheta, o que direciona o fluxo de correntes de maré, gerando um maior grau de seleção das areias finas ali observadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Petrobras, Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA) e Universidade Federal do Paraná (UFPR) pelo apoio financeiro e logístico, a Alfredo D. de Araújo, pelas amostras do Saco do Limoeiro, a Cláudio B. Silva, Célia E. Riesemberg, Alberto G. Neto e Guilherme C. Lessa pelas amostras da baía de Paranaguá, e a Rafaela C. Zem, Sirlei G. de Oliveira e Márcia S. Bernini pelo processamento das amostras em laboratório.

REFERÊNCIAS

- BIGARELLA J.J.; ALESSI, A.H.; BECHER, R.D.; DUARTE, G.M. 1970. Natureza dos Sedimentos de Fundo das Baías de Paranaguá e Antonina. Curitiba. *Rev. Inst. de Biologia e Pesquisas Tecnológicas*, 15:30-33.
- BIGARELLA J.J.; BECKER R.D.; MATOS D.J.; WERNER A. 1978. A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná. Curitiba, Secretaria de Estado do Planejamento, Governo do Paraná. 248 p.
- CAMARGO M.G. 1999. SysGran 2.4. Pontal do Paraná, Paraná. Conjunto de programas 1 disquete 5 1/4".
- CARRILHO J.C. 2003. *Dinâmica Sedimentar do Fundo Estuarino Adjacente ao Porto de Paranaguá -PR*. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Dissertação de Mestrado, 89 p.
- LAMOUR M.R. 2000. *Dinâmica sedimentar de Canal da Galheta, via de acesso ao porto de Paranaguá - PR*. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 100 p.
- MARONE E. 2003. Carta de Correntes e Tábuas de Maré. LFM/CEM (inédito).
- ODRESKI L.L.R. 2002. *Evolução Sedimentar e Batimétrica da Baía de Antonina-PR*. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 79 p.
- SOARES C.R. 1990. *Natureza dos Sedimentos de Fundo das Baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba – Complexo Estuarino de Paranaguá-PR*. Setor de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Dissertação de Mestrado, 187 p.
- SOARES C.R. & BARCELOS J.H. 1995. Considerações sobre os Sedimentos de Fundo da Baía das Laranjeiras e de Guaraqueçaba – Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá (Paraná, Brasil). *Bol. Parana. Geocienc.*, 43:41-60.
- SOARES C.R.; LESSA G.C.; NETO A.G.; RISENBERG C.E.; SILVA C.B. 1996. Caracterização da distribuição dos sedimentos de fundo das baías de Paranaguá e Antonina, Estado do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, SBG, Salvador. *Anais...*, SBG, Salvador 3:390-393.

Recebido em 17 set. 2004

Aceito em 13 dez. 2004