

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PÂMELA EMANUELLY CATTANI

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E SEDIMENTOLÓGICA DO EIXO  
E-W DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ**

Pontal do Paraná

2012

PÂMELA EMANUELLY CATTANI

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E SEDIMENTOLÓGICA DO EIXO  
E-W DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre (MSc.), Área de Concentração: Dinâmica costeira.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour

Pontal do Paraná


2012

*“CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E SEDIMENTOLÓGICA  
DO EIXO E-W DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ”*

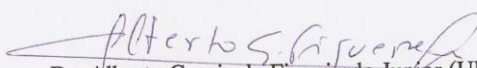
POR

Pâmela Emanuely Cattani

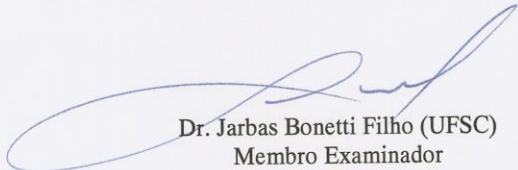
Dissertação nº 92 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Dr. Marcelo Renato Lamour  
Orientador e Presidente



Dr. Alberto Garcia de Figueiredo Junior (UFF)  
Membro Examinador



Dr. Jarbas Bonetti Filho (UFSC)  
Membro Examinador

Pontal do Paraná, 22/03/2012.



Curso de Pós-Graduação em Sistemas  
Costeiros e Oceânicos da UFPR  
Centro de Estudos do Mar - Setor Ciências da Terra - UFPR  
Avn. Beira-mar, s/n.º - Baln. Pontal do Sul - Pontal do Paraná - Paraná - Brasil  
Tel. (41)3511 8644 - Fax (41)3511 8644 - www.cem.ufpr.br/pgsisco - pgsisco@ufpr.br

## TERMO DE APROVAÇÃO

Pâmela Emanuely Cattani

### CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E SEDIMENTOLÓGICA DO EIXO E-W DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de  
Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos, da Universidade Federal do  
Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Dr. Marcelo Renato Lamour  
Orientador e Presidente

Dr. Alberto Garcia de Figueiredo Junior (UFF)  
Membro Examinador

Dr. Jarbas Bonetti Filho (UFSC)  
Membro Examinador

Pontal do Paraná, 22/03/2012.

CATALOGAÇÃO NA FONTE:  
UFPR / SIBI - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar

C368c Cattani, Pâmela Emanuely  
Caracterização geomorfológica e sedimentológica do eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá / Pâmela Emanuely Cattani. – Pontal do Paraná, 2012. 44 f.; 29 cm.

Orientador: Dr. Marcelo Renato Lamour.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Estuário. 2. Sedimentação. 3. Análise Espacial. I. Título. II. Marcelo Renato Lamour. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 551.354

*Aos meus pais, Sidiney e Dilair  
Ao meu marido, Donyan  
E ao meu irmão, Mauricio*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, bênção, força, sabedoria e proteção.

Ao meu Exmo. Orientador de Dissertação e amigo Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour, pela orientação na vida acadêmica, em todos os sentidos. Obrigada pelos sete anos de conversas, discussões e divagações sobre coisas e pessoas, que me fizeram ser muito do que sou hoje. Pelos conselhos e principalmente apoio em todos os momentos.

A CAPES e a Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico por financiarem este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos - UFPR por todo apoio e esforço para que este trabalho fosse concluído.

Aos meus colegas de LOGEO, Diógenes, Juliane, Larissa, Mirella, Mihael, Rafael, Felipe e Kaline pelo apoio, incentivo e ajuda no processamento das análises granulométricas e estatísticas.

Aos integrantes da “Gaiola das Loucas”, Ana, Liana, Lia, Camila, Lourenço, Lorena e Aliny pelos divertidos anos em que fomos companheiros de casa além do incentivo e apoio nos momentos difíceis.

A Dra. Camila Domit, pelas horas no ArcGIS pensando no método, pela amizade, pelos conselhos, conversas, choros e risadas.

Ao Dr. Eduardo Vedor de Paula, por me inserir no mundo do SIG e por ajudar no processamento das análises espaciais.

Aos meus pais, Sidiney Antônio Cattani e Dilair Tissiani Cattani, pelo apoio, carinho, amor e dedicação nestes anos todos, e principalmente por acreditarem e incentivarem os meus sonhos mais malucos. Ao meu irmão Maurício Emanuel Cattani, por toda a cumplicidade e carinho.

Por fim, e de modo muito especial, agradeço a minha nova família, Donyan Greipel (meu marido), por encarar essa nova fase de vida comigo sempre me incentivando com todo amor, respeito, carinho e por compreender o significado deste trabalho.

“Ainda há descobertas a serem feitas,  
mas não serão os computadores que  
nos dirão o que elas significam, para isso,  
nós sempre temos que voltar à rocha”

Arnold H. Bouma

## RESUMO

As baías de Antonina e Paranaguá possuem uma área de  $\approx 258,4 \text{ km}^2$ , aporte fluvial máximo de  $178 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e correntes de maré mais intensa na vazante ( $0,9 \text{ ms}^{-1}$ ) respondendo aos mecanismos de transporte, erosão e deposição diferente de outros estuários. O objetivo foi estabelecer as características da cobertura sedimentar atual e o contexto de sua distribuição no eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá pela integração espacial de parâmetros ambientais (batimetria, declividade, padrões sedimentológicos e velocidades das correntes de maré) de forma a identificar uma dinâmica de preenchimento. Foi utilizada análise estatística multivariada para delimitar padrões sedimentológicos. A área de estudo foi dividida em pixels ( $150 \text{ m}$ ), onde os dados de batimetria, declividade (TIN), velocidade da corrente de maré e padrões sedimentológicos (IDW) foram convertidos para raster, com o posterior cálculo do centróide por pixel. Para integrar as informações georeferenciadas foi utilizada análise espacial *Spatial Join*. Totalizaram 6138 pixels ( $\approx 13,8 \times 10^7 \text{ m}^2$ ), com profundidade média de  $4,3 \text{ m}$  e máximas de  $\approx 20 \text{ m}$ . As áreas com profundidades menores que  $2 \text{ m}$  e declividades menores que  $0,1^\circ$  totalizam 1500 pixels ( $\approx 3,3 \times 10^7 \text{ m}^2$ ), dos quais 847 pixels foram caracterizados como planícies de maré e 653 pixels como desembocaduras fluviais. As profundidades maiores que  $6 \text{ m}$  equivalem a 1771 pixels ( $\approx 3,9 \times 10^7 \text{ m}^2$ ) com declividades variáveis ( $0,5^\circ - 2^\circ$ ) nas margens. A região intermediária as planícies de maré e canais apresentam profundidades entre  $2$  e  $6 \text{ m}$  correspondente a 1887 pixels ( $\approx 4,2 \times 10^7 \text{ m}^2$ ), declividade de  $0,1^\circ$  a  $2^\circ$ . Foram encontrados 3 grupos sedimentológicos distintos, com predomínio do Grupo 1. As áreas de planícies de maré apresentam sedimentos finos, e quando integradas com dados de velocidade de correntes de maré tiveram correlação positiva, exceto nas regiões de desembocadura dos rios, pois os fluxos atuantes são fluviais e os sedimentos arenosos. A margem S do estuário caracterizada como planície de maré apresentou altas concentrações de carbonatos, as quais interferiram no diâmetro médio nas análises estatísticas. As maiores profundidades estão associadas às velocidades de correntes mais intensas, indicando competência do fluxo em carrear sedimentos. Por isso, o padrão de preenchimento do estuário dependente da hidrodinâmica local e não somente do aporte de sedimentos.

## ABSTRACT

The bays of Paranaguá and Antonina have an area of  $\approx 258.4 \text{ km}^2$ , more than 178 river discharge  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$  and more intense tidal currents in the ebb tide ( $0.9 \text{ ms}^{-1}$ ) responding to the transport mechanisms, different erosion and deposition than other estuaries. The aim was to establish the characteristics of the sedimentary cover and the context of current distribution in the EW axis Paranaguá Estuarine Complex by spatial integration of environmental parameters (bathymetry, slope, sedimentary patterns and velocities of tidal currents) to identify a complete dynamic. Multivariate statistical analysis was used to delimit sedimentary patterns. The study area was divided into pixels (150 m), where data on bathymetry, slope (TIN), velocity of tidal current and sediment patterns (IDW) were converted to raster, with the subsequent calculation of the centroid per pixel. To integrate the information was used georeferenced spatial analysis Spatial Join. Totaled 6.138 pixels ( $13.8 \times 10^7 \text{ m}^2$ ), with an average depth of 4.3 m and maximum  $\approx 20$  m. Areas with depths less than 2 m and less than  $0.1^\circ$  slopes totaling 1.500 pixels ( $\approx 3.3 \times 10^7 \text{ m}^2$ ), of which 847 pixels were characterized as tidal flats and river mouths as 653 pixels. The depths greater than 6 m equals 1.771 pixels ( $\approx 3.9 \times 10^7 \text{ m}^2$ ) with variable slope ( $0.5^\circ - 2^\circ$ ) in the margins. The intermediate region of the tidal flats and channels presents between 2 and 6m depths corresponding to 1.887 pixels ( $\approx 4.2 \times 10^7 \text{ m}^2$ ), slope of  $0.1^\circ$  to  $2^\circ$ . There were three distinct sedimentary groups with predominance of group 1. The areas of tidal flats have fine sediments, and when integrated with data speed of tidal currents showed positive correlation, except in regions of the river mouths are acting as the river flows and sandy sediments. The S margin of the estuary characterized as tidal flat showed high concentrations of carbonates, with interference in the statistic analysis of size grain. The greatest depths are associated with current speeds of more intense, indicating the power flow to carry sediments. Therefore, the fill pattern of the estuary depends on the local hydrodynamics and not just the accumulation of sediments.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: A) MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ, COM AS PRINCIPAIS BACIAS HIDROGRÁFICAS E DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. B) MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS BAÍAS DE ANTONINA E PARANAGUÁ, COM AS SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS BATIMÉTRICAS, ÁREAS URBANAS E MANGUEZAIS ASSOCIADOS AS SUAS MARGENS. 17

FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE DIÂMETRO MÉDIO NO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ (FONTE: LAMOUR *et al.*, 2004). 19

FIGURA 3: MAPA DA ÁREA DE ESTUDO COM OS QUADRANTES ESPAÇADOS A CADA 150 m E PONTOS DE SEDIMENTOS DE FUNDO AMOSTRADOS. 22

FIGURA 4: DENDROGRAMA REPRESENTATIVO DO AGRUPAMENTO DAS 318 AMOSTRAS AO LONGO DO EIXO E-W DO CEP EM TRÊS GRUPOS SEDIMENTOLÓGICOS DISTINTOS. 25

FIGURA 5: MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS GRUPOS SEDIMENTOLÓGICOS AO LONGO DAS BAÍAS DE ANTONINA E PARANAGUÁ. 27

FIGURA 6: MAPA BATIMÉTRICO DAS BAÍAS DE ANTONINA E PARANAGUÁ, COM AS ÁREAS RASAS ASSOCIADAS AS MARGENS E AS ÁREAS PROFUNDAS ASSOCIADAS AO EIXO CENTRAL DO ESTUÁRIO. 28

FIGURA 7: MAPA DE DECLIVIDADE DO EIXO E-W DO CEP, INDICANDO A BAIXA DECLIVIDADE AO LONGO DO ESTUÁRIO, COM MAIORES ÂNGULOS ASSOCIADOS AS ÁREAS DE INTERESSE PORTUÁRIO. 29

FIGURA 8: MAPA DAS VELOCIDADES DAS CORRENTES DE MARÉ DO EIXO E-W DO CEP. 30

FIGURA 9: MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS CARACTERIZADAS COMO PLANÍCIES DE MARÉ, DESEMBOCADURAS FLUVIAIS, ZONAS INTERMEDIÁRIAS E CANAIS AO LONGO DO ESTUÁRIO. 31

FIGURA 10: MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DA PORCENTAGEM DE CARBONATOS PARA A ÁREA REFERENTE AO GRUPO SEDIMENTOLÓGICO 3. 35

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	vi
AGRADECIMENTOS.....	vii
EPÍGRAFE.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>16</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
3.1. OBTENÇÃO DOS DADOS.....	21
3.2. ANÁLISE LABORATORIAL.....	22
3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	23
3.4. ANÁLISE ESPACIAL.....	23
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
4.1. CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS.....	25
4.2. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E HIDRODINÂMICA.....	27
<b>5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>38</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>39</b>

**GEOMORPHOLOGICAL AND SEDIMENTOLOGICAL CHARACTERIZATION  
ALONG THE EW AXIS OF PARANAGUÁ ESTUARINE COMPLEX**

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E SEDIMENTOLÓGICA AO  
LONGO DO EIXO E-W DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ**

**Revista pretendida:** Estuarine Coastal and Shelf Science (ECSS), ISSN (0272-7714), Fator de impacto (JCR=2010): 1.887, Qualis CAPES: Estrato A2

Pâmela Emanuely Cattani<sup>1,2\*</sup>; Marcelo Renato Lamour<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Oceanografia Geológica; Centro de Estudos do Mar; Universidade Federal do Paraná. CP 61, CEP 83255-976 Pontal do Paraná, Paraná, Brasil.

<sup>2</sup>Programa de Pós-graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos – Universidade Federal do Paraná.

Keywords: Estuaries; sedimentation; spatial analysis

Palavras-chaves: Estuários; sedimentação; Análise espacial

\* Corresponding author: [pamelacattani@ufpr.br](mailto:pamelacattani@ufpr.br) ; phone/fax +554135118615

## 1. INTRODUÇÃO

Estuários são originados pela criação de um espaço de deposição (principalmente por processos de erosão fluvial), no qual o rápido preenchimento no tempo geológico se dá pela interação entre os processos hidrodinâmicos (descarga fluvial, ondas e marés). O ambiente resultante é uma consequência da combinação desses processos sobre todo o estuário ou sobre partes específicas, evidenciando mudanças geomorfológicas associadas aos processos de transporte dos sedimentos (BOKUNIEWICZ, 1995; DYER, 1995; PERILLO, 1995; BOYD *et al.*, 2006; PRANDLE, 2009; PERILLO & SYVITSKI, 2010).

Estuários normalmente são definidos como feições de transição entre o continente e o oceano, porém diversos autores apresentaram outras definições, as quais variam com as delimitações estabelecidas para estes ambientes. Essas caracterizações podem depender da quantidade de água doce diluída (PRITCHARD, 1952; CAMERON & PITCHARD, 1963), sedimentação estuarina (DALRYMPLE *et al.*, 1992), além da gênese geológica e os processos regionais (fatores climáticos, sedimentação recente, correntes, ondas e marés; KJERVE, 1987).

A geomorfologia de um estuário é o produto de interações entre os processos naturais (aporte sedimentar e as forças hidrodinâmicas), as atividades antrópicas e as respostas sedimentológicas para tais processos (PERILLO *et al.*, 2005; PRANDLE, 2009; PERILLO & SYVITSKI, 2010). Assim, mudanças na geomorfologia e sedimentologia são contínuas em ambientes estuarinos, e seus efeitos têm características específicas que dependem da sua evolução. Sendo assim, a posição atual e evolução futura de um estuário podem estar relacionadas com as variações do nível relativo do mar, o suprimento de sedimentos e a atividade tectônica (BOYD *et al.*, 2006).

A batimetria é utilizada como parte da análise geomorfológica, pois é um fator importante que afeta a estabilidade das encostas e as taxas de circulação dos fluxos. Mapas batimétricos também podem ser úteis para auxiliar a interpretação dos dados biológicos (JEROSCH *et al.*, 2006), classificação e interpretação dos fundos marinhos. A interpretação dos processos de

preenchimento dos ambientes marinhos decorre de uma caracterização geomorfológica preliminar, que considera cada estuário individualmente, pois respondem aos mecanismos de transporte, erosão e deposição de maneiras diferentes (PERILLO, 1995; BOYD *et al.*, 2006). A capacidade de retenção de sedimentos destes ambientes é dada pelas suas características geomorfológicas e dinâmicas, as quais são uma função do espaço disponível para a sedimentação e da quantidade de sedimentos recebidos no balanço sedimentar (PERILLO & SYVITSKI, 2010)

Os sedimentos que chegam ao estuário através do aporte fluvial, geralmente são uma mistura heterogênea de tamanhos e composição que reflete a disponibilidade das áreas fonte. Como o estuário é uma região de convergência entre dois ambientes bastante energéticos (os rios e a costa adjacente exposta às ondas), o sistema estuarino acaba por ter uma função de amortização da energia desses fluxos tornando-se um ambiente de baixa energia (DYER, 1989; 1995; 1997; WIDDOWS *et al.*, 2000; UNCLES *et al.*, 2006). Sob esta condição, os sedimentos finos (siltes e argilas) podem alcançar mais rapidamente o fundo do estuário e contribuir para a formação dos depósitos de sedimentos, em especial na região de mistura estuarina e margens, enquanto os grossos (areias e grânulos) são depositados nas desembocaduras dos rios em forma de deltas (DYER, 1995; Mc MANUS, 1998; PRANDLE *et al.*, 2006).

Estuários têm sido historicamente, regiões que atraem uma ampla variedade de atividades humanas, pois são considerados locais ideais para o estabelecimento de portos, complexos industriais, e centros urbanos (PRANDLE, 2009; PERILLO *et al.*, 2005). Além disso, as atividades pesqueiras e de recreação e o turismo oferecem importante fonte de sustento para uma parcela significativa da população local.

Neste contexto, o litoral do estado do Paraná apresenta uma extensa planície costeira, que foi formada durante o período Quaternário pelas variações do nível relativo do mar (ANGULO *et al.*, 2009). Dentre as diversas feições costeiras da região, podem ser observados dois corpos estuarinos principais, os quais foram denominados de baía de Guaratuba e de Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP; FIGURA 1). O primeiro apresenta uma área aproximada de 50 km<sup>2</sup> com perfil voltado às atividades de lazer e pesca

artesanal. Por sua vez, o CEP, com área de 612 km<sup>2</sup> (LANA *et al.*, 2001), tem importância econômica pelos portos instalados nas baías de Antonina e Paranaguá (eixo E-W). Dentre outros, o Porto de Paranaguá figura como o principal exportador de grãos da América do Sul. Os atrativos turísticos da região são representados pelas cidades históricas de Paranaguá, Antonina e Morretes, além da Ilha do Mel, um dos principais pontos turísticos do Estado do Paraná. A região apresenta extensas áreas de proteção ambiental, que abrange toda a porção N do CEP, em contramão as principais cidades da região, localizadas na margem oposta.

O CEP apresenta extensas áreas rasas junto a suas margens associadas ao desenvolvimento de manguezais (NOERNBERG & LANA, 2002), com canais naturais situados na sua porção central, os quais passam por obras de dragagens freqüentes com o objetivo da segurança à navegação (LAMOUR & SOARES, 2008). A maior parte do aporte fluvial deste estuário ocorre na sua cabeceira (MANTOVANELLI, 1999; PAULA, 2010). Ocorrem duas desembocaduras que apresentam deltas de maré vazante (ANGULO, 1999), onde ocorrem constantes problemas associados a assoreamento dos canais navegáveis (LAMOUR *et al.*, 2007; CATTANI & LAMOUR; no prelo).

O objetivo deste trabalho foi estabelecer as características da cobertura sedimentar atual e o contexto de sua distribuição no eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá pela integração espacial de parâmetros ambientais (batimetria, declividade, padrões sedimentológicos e velocidades das correntes de maré) de forma a identificar uma dinâmica de preenchimento.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O CEP é um estuário de planície costeira (ANGULO, 1992; LESSA *et al.*, 2000) localizado na porção central do litoral do estado do Paraná (25°30'S/48°30'W). As baías de Antonina e Paranaguá têm uma área total de 258,4 km<sup>2</sup> e um volume aproximado de 1,4 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> (KNOPPERS *et al.*, 1987), onde cerca de 70% da drenagem da Bacia Hidrográfica Atlântica deságua (MANTOVANELLI, 1999).



FIGURA 1: A) MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ, COM AS PRINCIPAIS BACIAS HIDROGRÁFICAS E DELIMITAÇÃO DASS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. B) MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS BAÍAS DE ANTONINA E PARANAGUÁ, COM AS SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS BATIMÉTRICAS, ÁREAS URBANAS E MANGUEZAIS ASSOCIADOS AS SUAS MARGENS.

As bacias hidrográficas que drenam o eixo E-W do CEP têm uma área de 2.078,86 km<sup>2</sup> (PAULA & CUNICO, 2007; FIGURA 1). O maior índice pluviométrico do estado está localizado na área de drenagem do estuário,

variando em torno de 1.500 e 2.000 mm por ano, com uma malha densa de rios. Suas nascentes se localizam em uma zona de declive, enquanto que o baixo curso corre na planície costeira, com um padrão de drenagem que pode ser caracterizado como dendrítico (BIGARELLA *et al.*, 1978).

As principais bacias hidrográficas do eixo E-W do CEP (Nhundiaquara, Cachoeira e Guaraguaçu) drenam 58,1% da área total (FIGURA 3), que descarregam um volume de água de aproximadamente de  $178 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nos meses de verão e de  $47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nos meses de inverno. Assim, influenciando a circulação estuarina local é regida pelas correntes de marés com influência sazonal do aporte fluvial (MANTOVANELLI *et al.*, 2004; PAULA & CUNICO, 2007).

A estimativa da produção de sedimentos nas bacias hidrográficas foi medida por Paula (2010) com valores elevados nas porções de sopé da Serra do Mar, Morros e Colinas, onde verificou-se uma densidade alta de estradas rurais e de uso agropecuário. Com essas características destacaram-se as bacias dos rios do Pinto ( $59,5 \text{ ton} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ ), Marumbi ( $57,7 \text{ ton} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ ), Sagrado ( $54 \text{ ton} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ ), Alto Nhundiaquara ( $52,2 \text{ ton} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ ) e Baixo Nhundiaquara ( $50,8 \text{ ton} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ ), totalizando  $\approx 250 \text{ ton} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$  de sedimentos transportados, com uma porção deste carregada para o interior do estuário.

Estes sedimentos são redistribuídos e depositados pelo eixo E-W do CEP (CATTANI & LAMOUR, no prelo), com tendência de assoreamento principalmente oriunda da sua margem N, com taxas de sedimentação para a região de Antonina de  $5,35 \text{ cm/mês/km}^2$  com redução das profundidades em até 2 m, onde verifica-se a presença da foz das principais redes de drenagem da região. Esta área está compreendida entre as Ilhas dos Gererês e do Teixeira onde diversos autores (MANTOVANELLI *et al.*, 2004; NOERNBERG, 2001; ZEM, 2008) identificaram uma maior influência da Zona de Máxima Turbidez sobre as taxas de assoreamento elevadas de até  $13,45 \text{ cm/mês/km}^2$  (CATTANI & LAMOUR, no prelo).

Segundo Lamour & Soares (2007), as variações no diâmetro médio dos sedimentos de fundo ao longo das Baías de Antonina e Paranaguá indicam que ocorre três tipos distintos de ambientes deposicionais. Na área onde ocorre a

ação marinha os sedimentos variam entre as areias finas a médias (0,125 – 0,500 mm: FIGURA 2) de moderadamente a bem selecionadas. As areias

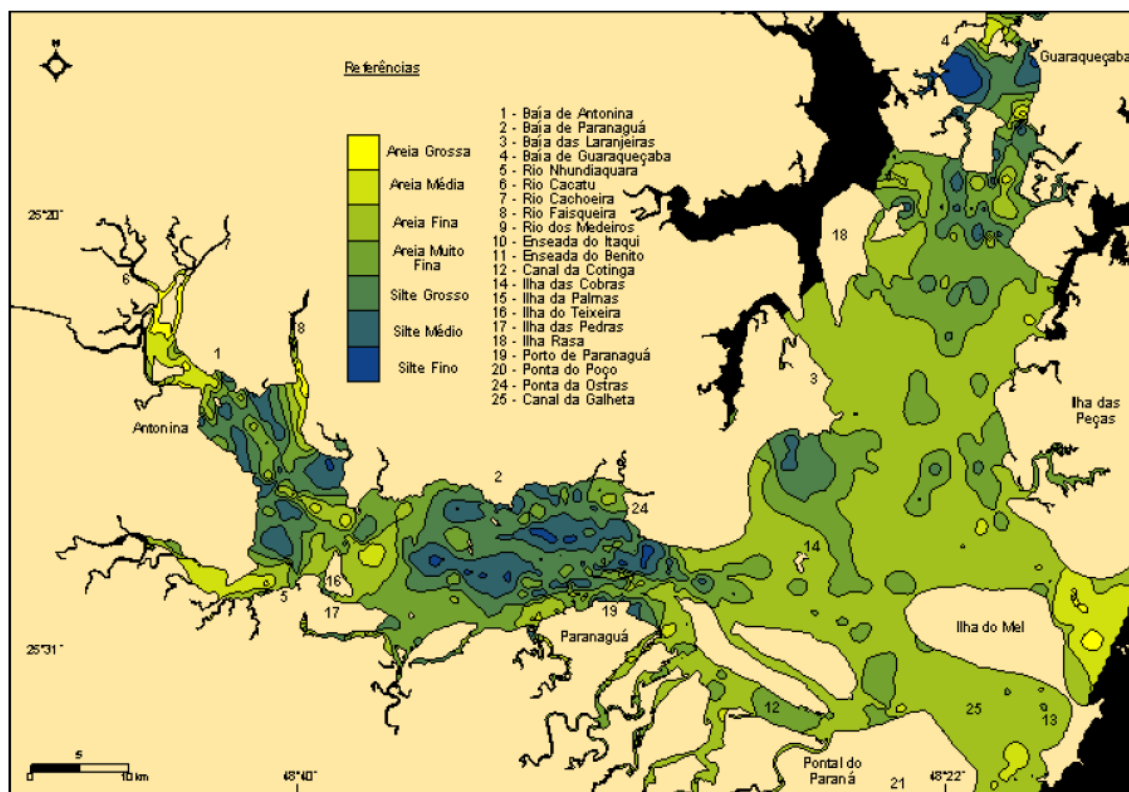


FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE DIÂMETRO MÉDIO NO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ (FONTE: LAMOUR *et al.*, 2004).

muito finas a finas (0,063 – 0,125 mm) e os siltes finos (0,008 mm) pobremente selecionados, ocorrem na região central do estuário. Na região de cabeceira, o diâmetro médio dos grãos varia entre os siltes a argilas (0,062 – 0,004 mm) que ocorrem principalmente próximos às margens da baía, exceto nas desembocaduras dos rios, onde as areias predominam. O grau de seleção apresenta um caráter de decrescente de jusante para montante (BIGARELLA *et al.*, 1978; LAMOUR *et al.*, 2004; LAMOUR & SOARES, 2007).

Segundo Lessa *et al.* (1998) o eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) apresenta uma segmentação em três setores, pela distribuição das características dos sedimentos de fundo. Na cabeceira do estuário (zona superior meandrante) encontram-se as areias fluviais, no setor intermediário (zona de funil) predominam as lamas (siltes+argilas), e na área de desembocadura encontram-se as areias finas a muito finas bem selecionadas, com características marinhas. Assim, não ocorrendo o aporte de

areias fluviais a partir da cabeceira do estuário para a área de desembocadura (LESSA *et al.*, 1998; ODRSKI, 2002).

O eixo E-W do CEP é classificado como um estuário parcialmente misturado do tipo B (geralmente raso), hipsíncrono com heterogeneidades laterais. A maré apresenta regime semi-diurno, onde ocorrem duas preamares e duas baixa-mares em um dia lunar (24 hs 50 min) com desigualdades diurnas (MARONE *et al.* 1997). A média das alturas das marés de quadratura e de sizígia são, respectivamente, 1,3 e 1,7 m em sua desembocadura, e 2,0 e 2,7 m em sua cabeceira (MARONE & JAMIYANAA, 1997).

As velocidades máximas de correntes de maré à  $\approx 3$  m de profundidade, na porção externa da desembocadura sul do CEP, foram mensuradas em  $0,32 \text{ m.s}^{-1}$  nos períodos de maré enchente e  $0,87 \text{ m.s}^{-1}$  nos de vazante. Na porção interna à desembocadura do estuário ocorrem velocidades de  $0,59 \text{ m.s}^{-1}$  e  $0,97 \text{ m.s}^{-1}$ , respectivamente (MARONE *et al.*, 1997). Já para a superfície de fundo nas adjacências a Ilha dos Gererês (FIGURA 1), as velocidades das correntes de maré mensuradas apresentaram valores máximos de  $0,40 \text{ m.s}^{-1}$  (período chuvoso/verão-quadratura) e mínimo de  $0,10 \text{ m.s}^{-1}$  (período seco/inverno – quadratura) (ZEM, 2008).

O regime de ondas da região costeira é caracterizado por dois trens preferenciais, provenientes das direções  $N74^\circ$  e  $N174^\circ$  (ENE e SSE/SE, respectivamente), com ondas mais altas do quadrante de SE (PORTOBRÁS, 1983). Nos meses de verão as ondas apresentam alturas menores que 0,50 m com períodos de 7 s, o que resulta em uma deriva longitudinal líquida para a direção N (MARONE *et al.* 1995; ANGULO, 1999). O comportamento das ondas no interior do estuário é regido pela influência das áreas rasas que formam o delta de maré vazante localizado nas desembocaduras do CEP, onde as pequenas profundidades tendem a esgotar a sua energia, reduzindo a penetração no estuário em determinados períodos (MARONE *et al.*, 1997; LAMOUR *et al.*, 2007; LAMOUR & SOARES, 2008). As exceções ocorrem em marés meteorológicas, onde as ondas de *swell* se propagam estuário adentro (MARONE *et al.*, 1997).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. OBTENÇÃO DOS DADOS

Neste trabalho foram utilizados conjuntos de dados distintos, composto por dados secundários (Batimetria e Velocidades de correntes de maré) e primários (sedimentos de fundo). Os dados secundários fazem parte do estudo realizado para Plano Local de Desenvolvimento da Maricultura (PLDM; GONÇALVES *et al.*, 2005). Nesta oportunidade, foram efetuadas modelagens matemáticas para dados de batimetria e distribuição das velocidades das correntes de maré, em uma malha de 50 m regulares. Os dados de batimetria utilizados nestas modelagens foram obtidos pela integração das bases digitais das cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) 1820 (BRASIL, 1976), 1822 (BRASIL, 1991) e 1824 (BRASIL, 1995) realizada por Noernberg *et al.* (1997). Os dados hidrodinâmicos foram medidos por Marone *et al.* (1997) ao longo do eixo E-W do CEP, cobrindo a área entre sua desembocadura e cabeceira.

O conjunto de dados dos sedimentos de fundo faz parte do projeto “Caracterização Física do Complexo Estuarino de Paranaguá e análise integrada a informações ecológicas: subsídio para gestão e conservação” financiado pela Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná (2009/2012). Os trabalhos de campo consistiram na aquisição de 318 amostras de sedimentos na área de estudo, as quais estão distribuídas em uma malha com espaçamento eqüidistante de 500 m para a Baía de Antonina e 750 m para a Baía de Paranaguá, sendo que estas distâncias são uma relação entre a área de cada baía e sua respectiva densidade de pontos (FIGURA 3).

Cada uma das amostras coletadas teve em média 500 g de sedimentos, obtidos com uma draga busca-fundo tipo Petite-Ponar. Os sedimentos foram descritos macroscopicamente como complemento às análises granulométricas realizadas em laboratório. As características avaliadas nesta oportunidade foram a homogeneidade da amostra, cor e a ocorrência de carapaças biogênicas, fragmentos vegetais e agregados de lama (silte + argila).

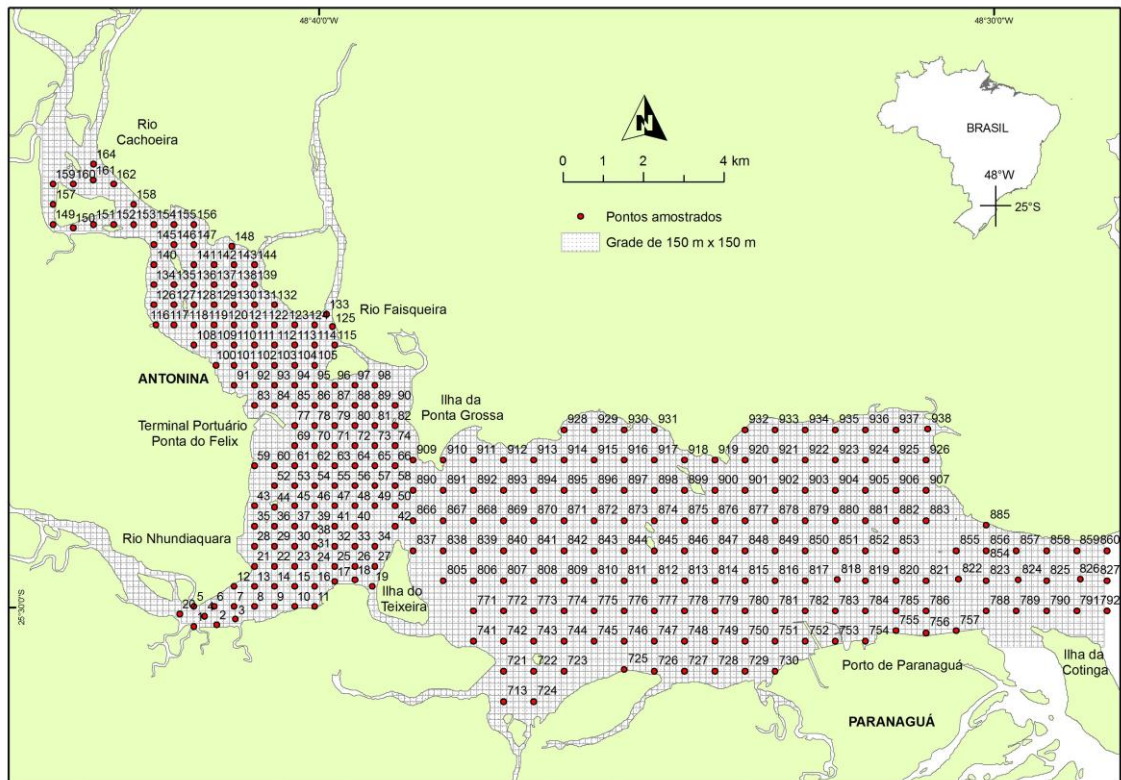


FIGURA 3: MAPA DA ÁREA DE ESTUDO COM OS QUADRANTES ESPAÇADOS A CADA 150 m E PONTOS DE SEDIMENTOS DE FUNDO AMOSTRADOS.

### 3.2. ANÁLISE LABORATORIAL

Os sedimentos coletados tiveram eliminação da matéria orgânica por ataque químico com Peróxido de Hidrogênio ( $H_2O_2$ ), como forma da redução da possibilidade de agregação (floculação) entre as partículas finas. A separação das frações grossas (grânulos e areias) das frações finas (siltes e argilas) foi efetuada com o peneiramento a úmido em malha de 0,062 mm, utilizando 1 litro de água destilada. Os sedimentos que ficaram retidos na malha foram destinados ao processo de peneiramento a seco, enquanto que os que passaram tiveram a destinação ao processo de pipetagem como descrito por Carver (1971). As escalas cronológicas e de profundidades em função da temperatura do material em suspensão, seguiram a Lei de Sedimentação de Stokes (SUGUIO, 1973). Os sedimentos grossos foram peneirados com intervalo de  $\frac{1}{2} \phi$  ( $\phi$ ) por agitação mecânica em Rot-up por 10 minutos.

Em paralelo aos processos de pipetagem e peneiramento foram quantificados os teores de carbonatos e matéria orgânica. Para tanto, as parcelas de sedimentos originais foram submetidas a ataque químico pela

adição de ácido clorídrico (HCl) com concentração de 10% para os carbonatos, e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 30 volumes, para matéria orgânica. A quantificação dos teores foi feita pela comparação dos pesos antes e depois do ataque químico Gross (1971).

### 3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica (diâmetro médio, grau de seleção, assimetria e curtose) foram calculados pelo método descrito por Folk & Ward (1957) com o auxílio do *software Sysgran 3.0* (CAMARGO, 2006). As demais análises estatísticas e representações gráficas dos dados sedimentológicos foram gerados nos *softwares* R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)) e *MultiVariate Statistical Package for Windows* (MVSP) (KOVACH, 2005).

O estabelecimento dos padrões granulométricos, agrupando amostras semelhantes e verificando influências mútuas entre as características granulométricas, foi executado pela aplicação da técnica estatística: Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*; Vieira *et al.*, 2008; Carneiro & Lamour, 2010). Tal abordagem estatísticas teve o intuito principal de agrupar as amostras através das seguintes variáveis: porcentagem de sedimentos finos (Siltes + Argilas) e de grossos (Areias), tamanho médio da partícula, desvio padrão, assimetria, curtose, e teores de carbonatos e de matéria orgânica.

A formação dos grupos amostrais foi descrita pelas oito variáveis, denominados neste trabalho como grupos sedimentológicos, e representados na forma de um dendrograma, com um nível de corte estabelecido através do ajuste espacial dos grupos na área de estudo.

### 3.4. ANÁLISE ESPACIAL

Para a integração dos bancos de dados deste estudo foi utilizado o *software* ArcGIS (ESRI), com o qual foi delimitada uma área de abrangência, considerando os limites geográficos das baías de Antonina e Paranaguá. Para tanto foi utilizada a ferramenta *Hawth's Tools* (<http://www.spatial ecology.com/>), que serviu para gerar uma grade regular sobre a área de estudo com espaçamentos predefinidos. O novo espaçamento escolhido para a malha foi

de 150 m (FIGURA 3), considerando de forma subjetiva uma resolução intermediária entre as malhas amostrais dos dados secundário e primários a serem integrados, através do aplicativo *Sampling tools*, o que resultou em 6.138 células (*pixels*) em  $22,5 \times 10^3$  m<sup>2</sup> de área.

A adequação da resolução espacial dos dados secundários de 50 m para 150 m foi efetuada pela extração de centróides que posteriormente tiveram seus valores definidos, gerando assim uma nova tabela de atributos. A partir destes dados foi feita uma interpolação para os dados batimétricos na plataforma de estrutura de grade triangular ou simplesmente TIN (*Triangular Irregular Network*), pelos melhores resultados na representação de relevos. A dependência espacial gerada pelos dados de velocidades das correntes de maré e sedimentos de fundo gerou a necessidade de outro tipo de interpolador que no caso foi o *Inverse Distance Weighted* (IDW). Após este processo de interpolação, os dados foram novamente rasterizados com *pixels* do tamanho regular de 150 m.

A declividade da área de estudo foi obtida através de técnicas de geoprocessamento pela extensão *Spatial Analyst* com a ferramenta de *slope*, onde foi indicado o tamanho de célula de 150 m. A declividade foi através dos dados batimétricos originais, onde foi calculada uma taxa máxima de mudança batimétrica entre dois pontos vizinhos mais próximos.

Após a adequação das malhas, novamente foram extraídos os centróides de cada um dos conjuntos de dados *raster*, originando novas tabelas de atributos (.dbf). Estas planilhas foram integradas em uma única planilha através da ferramenta de *Spatial Join*, a qual foi usada para unificar os conjuntos de dados com relação a um predicado espacial, no caso deste estudo, a grade de *pixels*. Através da qual, os dados integrados foram acessados tanto no *software* de geoprocessamento, quanto exportados em formato .dbf que permitiram a confecção dos mapas. Nos quais, características de cada banco de dados foram selecionadas através da ferramenta *Select by attributes*, a qual indicou os *pixels* equivalentes às informações solicitadas.

A caracterização geomorfológica, com a divisão do ambiente estuarino em três classes distintas sendo estes: canais, áreas rasas e zonas intermediárias. Os canais foram caracterizados como áreas mais profundas que 6 m e com declividades maiores que 0,5°. As áreas rasas no ambiente

estuarino foram caracterizadas com profundidades menores que 2 m e declividades inferiores a  $0,1^\circ$  que são constantemente inundadas pelas alterações no nível das marés. As zonas intermediárias foram classificadas como a região entre as áreas rasas e canais. Posteriormente, esses dados foram integrados aos dados de sedimentos de fundo e velocidade das correntes de maré, caracterizando os ambientes distintos quanto aos grupos sedimentológicos e hidrodinâmica. Por fim, estes resultados foram relacionados com dados de produção de sedimentos nas bacias de drenagem (PAULA, 2010) do estuário e taxas de assoreamento (CATTANI & LAMOUR, no prelo) sugerindo um contexto de sedimentação.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS

O agrupamento das 318 amostras de acordo com suas características sedimentológicas levou à identificação de três grupos distintos, obtidos a partir da utilização do coeficiente de associação de distância euclidiana e da estratégia de agrupamento de Ward (variância mínima; FIGURA 4):

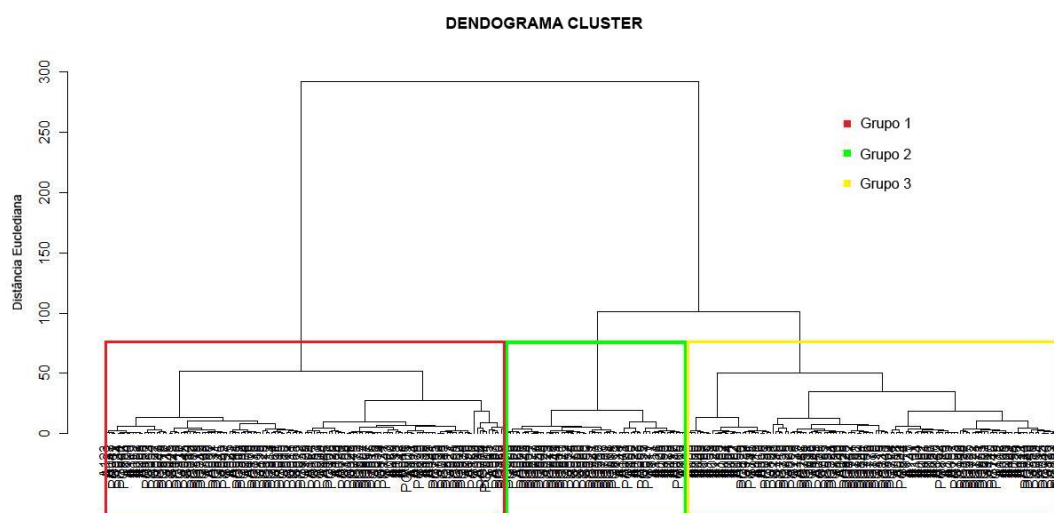


FIGURA 4: DENDROGRAMA REPRESENTATIVO DO AGRUPAMENTO DAS 318 AMOSTRAS AO LONGO DO EIXO E-W DO CEP EM TRÊS GRUPOS SEDIMENTOLÓGICOS DISTINTOS.

**Grupo 1** – Siltes médios (28% das amostras), muito pobremente selecionados (50%), com assimetria muito positiva (100%) e muito platicúrticas (92%). Apresentam teor médio de 8,14% de carbonatos, 10,76% de matéria orgânica, 22,54% de areias e 77,45% de finos. Este grupo corresponde a 2.536 *pixels* que representam uma área de  $5,7 \times 10^7$  m<sup>2</sup> (41,3 %).

**Grupo 2** – Areias muito finas (19%), muito pobremente selecionadas (68%), com grau de assimetria muito positiva (100%) e curvas de curtose muito platicúrticas (78%), com teor médio de carbonatos e matéria orgânica de 6,02% e 6,54%, respectivamente. Ademais, apresentaram valores médios de 36,15% de finos e 63,85% de areias. A área total coberta por este grupo foi de  $2,5 \times 10^7$  m<sup>2</sup>, correspondente a 1.113 *pixels* (18,1%).

**Grupo 3** – Areias finas (24%), pobremente selecionadas (51%), com assimetria muito positiva (100%) e curvas muito platicúrticas (85%). As porcentagens médias de matéria orgânica e carbonatos, com 3,78% e 4,56%, respectivamente, e os teores de finos de 14,30% e 85,7% de areias. Este grupo correspondeu a 2.489 *pixels* e uma área de  $5,6 \times 10^7$  m<sup>2</sup> (40,5%; FIGURA 5).

De um modo geral, os grupos sedimentológicos não apresentaram uma distribuição uniforme ao longo do estuário, com poucas áreas passíveis de delimitar um padrão de distribuição. Neste contexto, o Grupo 1 está associado, principalmente, a margem N do estuário na região da baía de Paranaguá (FIGURA 5), apresentando sedimentos mais finos com matéria orgânica associada. Na baía de Antonina o Grupo 1 foi observado na desembocadura do Rio Faisqueira e próximo a desembocadura do Rio Nhundiaquara.

O Grupo 3 foi mais heterogêneo que os demais em relação ao diâmetro médio, apresentando amostras variando de silte grosso a areia média, porém que são semelhantes nas demais características estatisticamente comparadas. Este grupo ficou associado, principalmente, ao eixo central do estuário, com pouca associação as margens, o que resultou na menor porcentagem de recobrimento do estuário se comparado aos demais padrões. Já o Grupo 3 apresentou grande recobrimento, principalmente associado a margem S e desembocadura da baía de Paranaguá, com sedimentos grossos. Enquanto que na baía de Antonina este padrão foi observado nas desembocaduras dos rios Cachoeira e Nhundiaquara e em frente a cidade de Antonina.

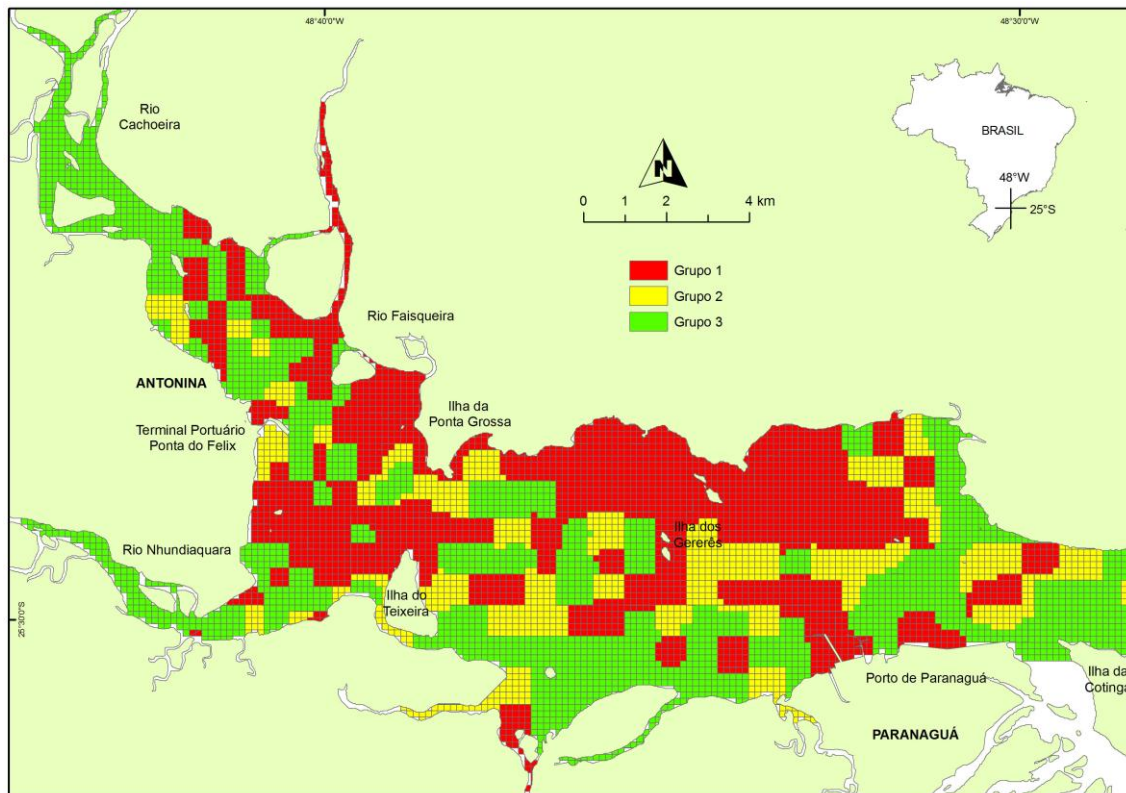


FIGURA 5: MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS PADRÕES SEDIMENTOLÓGICOS AO LONGO DAS BAÍAS DE ANTONINA E PARANAGUÁ.

#### 4.2. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E HIDRODINÂMICA

A profundidade média observada nas baías de Antonina e Paranaguá foi de 4,3 m em uma área total de  $\approx 13,8 \times 10^7 \text{ m}^2$ . As zonas com profundidades de até 2 m apresentaram as áreas mais extensas ao longo do eixo E-W do CEP (FIGURA 6), localizadas nas porções marginais e na região de desembocadura dos rios, totalizando uma área de  $\approx 5,7 \times 10^7 \text{ m}^2$ , correspondente a 2.536 *pixels* (41,3%). Nesta classe de profundidade, desenvolvem-se feições tipicamente estuarinas como extensas planícies de marés e desembocaduras fluviais, ressaltando que se trata de um estuário raso.

As maiores profundidades deste estuário estão localizadas no canal central próximo à Ilha da Cotonga, com cotas entre - 20 m e - 26 m, o que corresponde a apenas 23 *pixels* e uma área de  $\approx 0,05 \times 10^7 \text{ m}^2$  (0,4%; FIGURA 6). As cotas compreendidas entre - 8 m e - 20 m ocorrem ao longo de todo estuário até a baía de Antonina, próximo a margem S e nas proximidades do porto de Paranaguá, totalizando uma área de  $\approx 2,2 \times 10^7 \text{ m}^2$  e 997 *pixels* (16,2%). Na

região da cabeceira do estuário, ocorrem áreas com profundidades de até 6 m, relacionadas com as desembocaduras fluviais que podem condicionar a formação de vias preferenciais descarga do aporte fluvial.

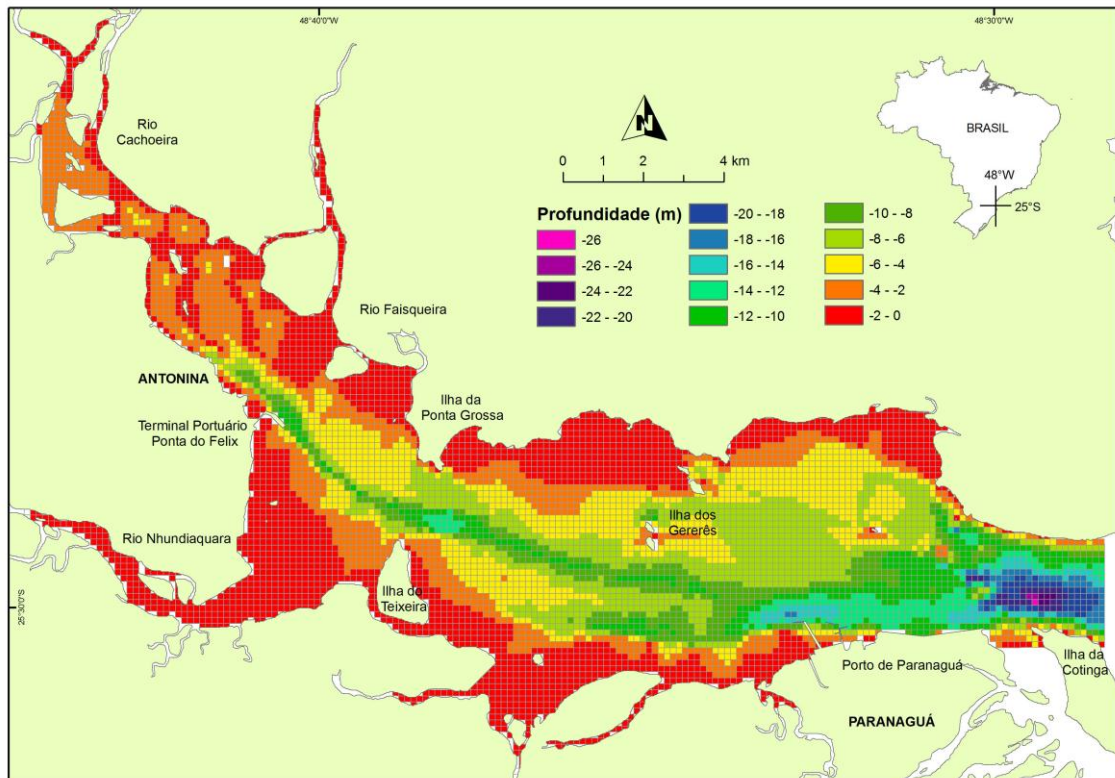


FIGURA 6: MAPA BATIMÉTRICO DAS BAÍAS DE ANTONINA E PARANAGUÁ, COM AS ÁREAS RASAS ASSOCIADAS AS MARGENS E AS ÁREAS PROFUNDAS ASSOCIADAS AO EIXO CENTRAL DO ESTUÁRIO.

As zonas com declividades inferiores a  $0,5^\circ$  totalizaram uma área de  $\approx 11,3 \times 10^7 \text{ m}^2$  e 5.026 *pixels* (81,8%), indicando que este estuário não possui variações abruptas de declividade. Mesmo com a grande quantidade de isolinhas batimétricas, as variações não sendo um padrão marcante, podendo assim ser considerado um estuário com fundo geralmente plano (FIGURA 7).

As declividades apresentaram valores médios de  $0,28^\circ$  com máxima de  $2,4^\circ$  ao largo da Ilha da Cotinga (FIGURA 7). As maiores declividades observadas, entre  $1^\circ$  a  $2,4^\circ$ , estão localizadas principalmente na margem S do estuário, próximo ao cais do porto de Paranaguá, estendendo-se até a região de Antonina, que são associadas as maiores profundidades dos canais, totalizando uma área de  $\approx 0,6 \times 10^7 \text{ m}^2$  e 293 *pixels* (4,7%). No caso da declividade, há um importante condicionante antrópico, visto que ocorreram

sucessivas e periódicas dragagens realizadas, sobretudo no canal navegável e nas bacias de evolução associadas às atividades portuárias.

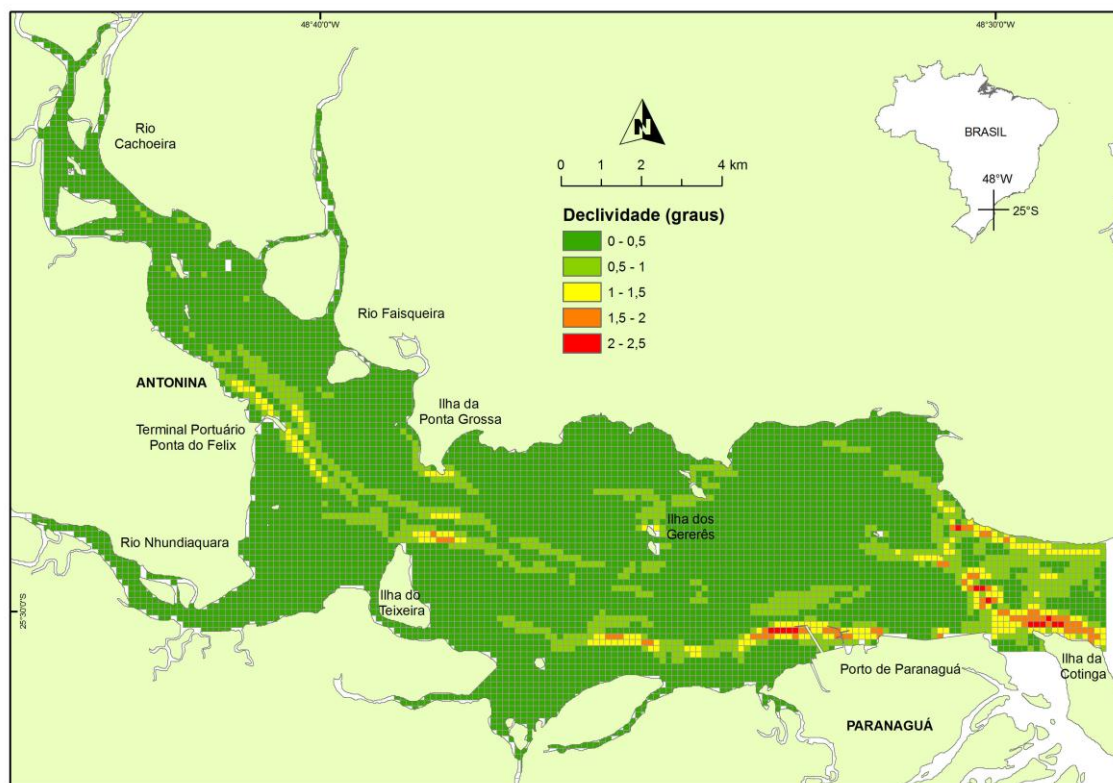


FIGURA 7: MAPA DE DECLIVIDADE DO EIXO E-W DO CEP, INDICANDO A BAIXA DECLIVIDADE AO LONGO DO ESTUÁRIO, COM MAIORES ÂNGULOS ASSOCIADOS ÀS ÁREAS DE INTERESSE PORTUÁRIO.

As velocidades das correntes de maré apresentaram um valor médio de  $0,65 \text{ m.s}^{-1}$  (FIGURA 8). As maiores velocidades variam entre 1 e  $1,8 \text{ m.s}^{-1}$ , localizadas no canal central ao estuário, correspondendo a uma área de  $\approx 2,6 \times 10^7 \text{ m}^2$  e 1164 *pixels* (18,9%). Pode-se também observar altos valores de velocidade das correntes de maré próxima as Ilhas dos Gererês.

As regiões que apresentaram as menores velocidades de correntes de maré de até  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$  estão associadas as margens de todo o estuário. Estas regiões totalizaram uma área de  $\approx 4,8 \times 10^7 \text{ m}^2$  correspondentes a 2.145 *pixels* (34,9%), indicando que estas regiões podem ser propícias a deposição de sedimentos.

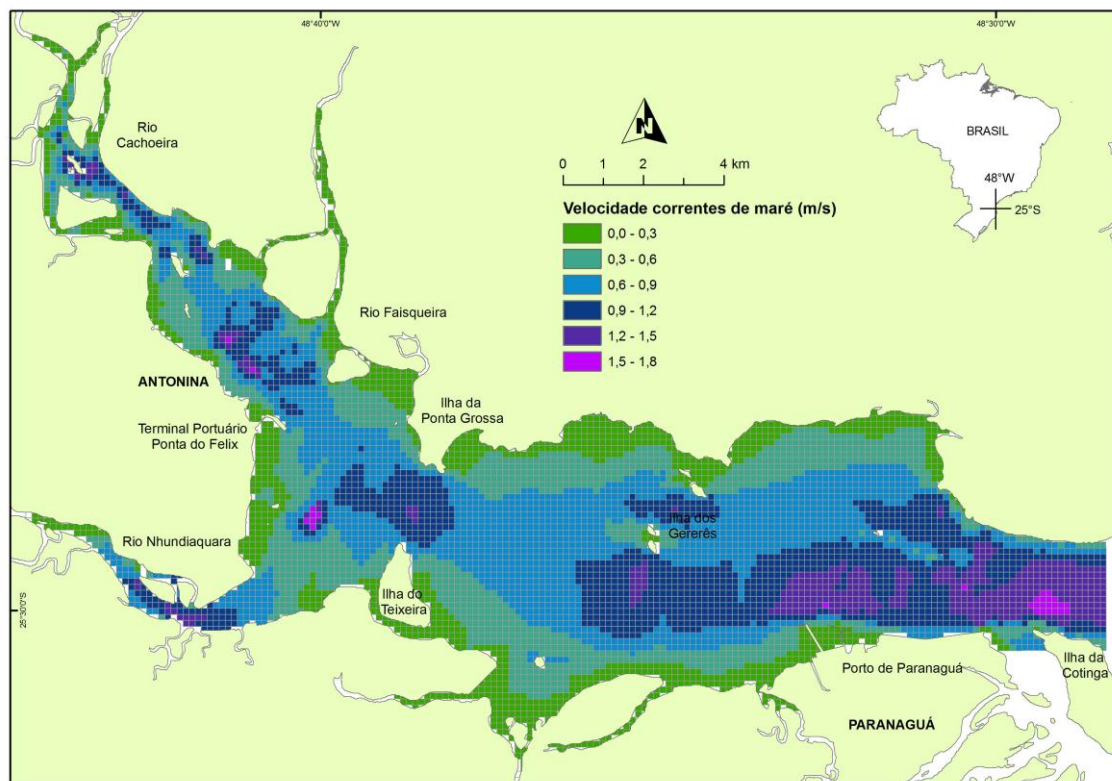


FIGURA 8: MAPA DAS VELOCIDADES DAS CORRENTES DE MARÉ DO EIXO E-W DO CEP.

Quando integrados os conjuntos de dados de batimetria e declividade, as profundidades menores que 2 m apresentaram 1.500 *pixels* (24,4%;  $\approx 3,3 \times 10^7$  m<sup>2</sup>; FIGURA 9) apresentam declividades inferiores a 0,1°. Destes, 847 *pixels* (13,7%) foram caracterizados como áreas de planícies de maré totalizando uma área de  $\approx 1,9 \times 10^7$  m<sup>2</sup>, enquanto que 653 *pixels* (10,6%;  $\approx 1,4 \times 10^7$  m<sup>2</sup>) são caracterizados como desembocaduras fluviais.

As áreas de planícies de maré e desembocaduras fluviais apresentaram valores médios de declividade 0,015° com máximas de até 0,09°, indicando áreas praticamente planas, principalmente na margem S do estuário. A associação entre as regiões de planícies de maré com as velocidades das correntes de maré (médias de 0,29 m.s<sup>-1</sup>) sugere que são áreas propícias a deposição de sedimentos finos, devido a baixa hidrodinâmica. Nas áreas de desembocaduras fluviais os valores de velocidade média das correntes de maré foram de 0,45 m.s<sup>-1</sup>, com valores máximos de até 1,5 m.s<sup>-1</sup> indicando uma maior hidrodinâmica.

As regiões caracterizadas como profundas (maiores que 6 m) correspondem a 1.771 *pixels* (27,8%) totalizando uma área de  $3,9 \times 10^7$  m<sup>2</sup> na

porção central ao longo do eixo E-W do CEP, tendendo a margem sul do estuário. Destes, 1.166 *pixels* (19%) possuem declividade maior que  $0,5^\circ$ . Nos limites do canal principal a superfície de fundo normalmente é plana com maiores variações de declividade junto as margens, principalmente na baía de Paranaguá, sendo que a média de declividade para esta região foi de  $0,64^\circ$  e máxima de  $2,4^\circ$ .

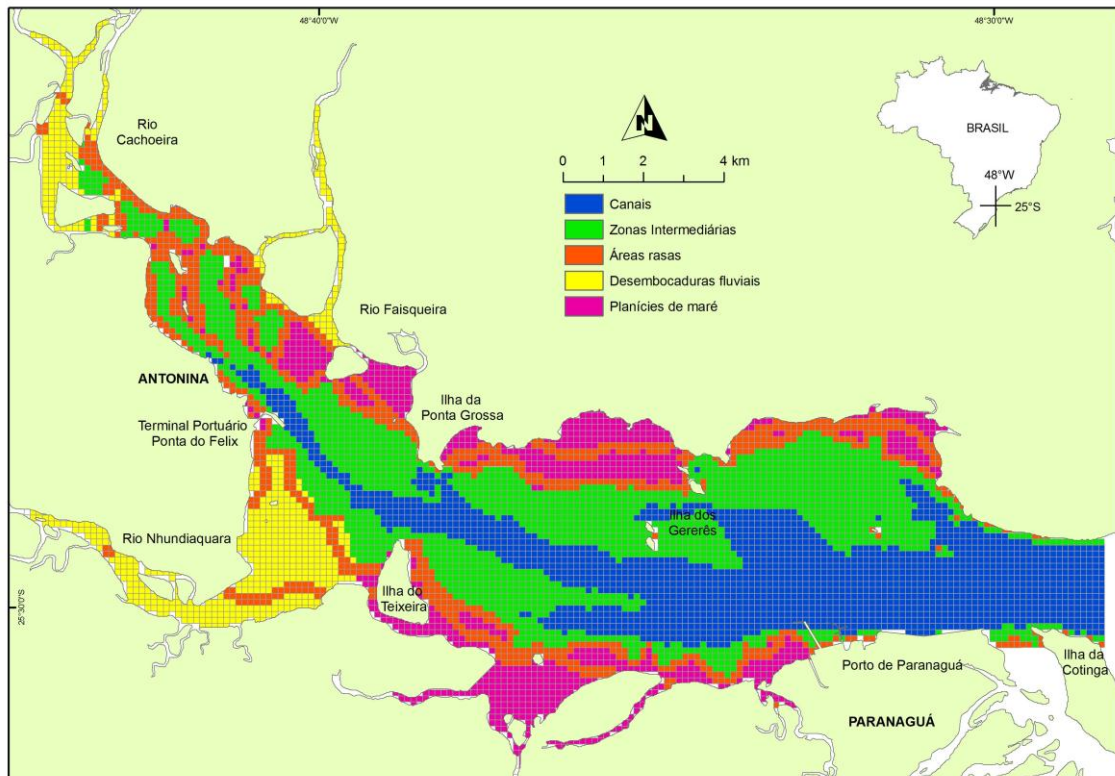


FIGURA 9: MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS CARACTERIZADAS COMO PLANÍCIES DE MARÉ, DESEMBOCADURAS FLUVIAIS, ZONAS INTERMEDIÁRIAS E CANAIS AO LONGO DO ESTUÁRIO.

As regiões que apresentaram velocidades de correntes de maré superiores que  $1 \text{ m.s}^{-1}$ , estão associadas a regiões mais profundas do estuário, principalmente nas imediações do porto de Paranaguá, totalizando 1.165 *pixels* ( $\approx 2,6 \times 10^7 \text{ m}^2$ ; 18,9%). Destes, 106 *pixels* ( $\approx 2,3 \times 10^6 \text{ m}^2$ ) estão associados a regiões com profundidades menores que 2 m, principalmente nas desembocaduras fluviais, na foz dos rios Nhundiaquara e Cachoeira (FIGURA 8). Nos canais a média das velocidades de correntes de maré foi de  $1 \text{ m.s}^{-1}$ , com valores máximos de  $1,74 \text{ m.s}^{-1}$ , na região próxima a Ilha da Cotinga, indicando uma maior hidrodinâmica nesta região.

Na região intermediária as áreas rasas (planícies de maré e desembocaduras fluviais) e os canais apresentam profundidades entre 2 e 6 m correspondendo a 1.887 pixels e uma área de  $\approx 4,2 \times 10^7 \text{ m}^2$  (30,7%). A declividade nesta região não segue um padrão, variando entre  $0,1^\circ$  e  $2^\circ$ , com média de  $0,3^\circ$ , sendo que os menores valores de declividades estão associados à margem N do estuário. Neste compartimento os valores das velocidades das correntes de maré não ultrapassam  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$  com média de  $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ .

Esses grupos diferentes permitiram identificar ambientes distintos de sedimentação, relacionados principalmente com a profundidade e com a circulação hidrodinâmica no estuário, sendo que a caracterização sedimentológica para as planícies de maré do eixo E-W do CEP apresentou dois Grupos principais. O Grupo 1 apresentou 414 pixels (48,8%), principalmente na sua margem N e 312 pixels (36,8%) do Grupo 3 na margem S do estuário, associado principalmente a presença de carbonatos, aumentando o diâmetro médio da amostra. O Grupo 2 corresponde a 121 pixels (14,8%) não apresenta uma distribuição uniforme.

As regiões de desembocaduras fluviais apresentaram predominância do Grupo 3, sendo 387 pixels (59,2%) associado as desembocaduras do rios Nhundiaquara e Cachoeira (FIGURA 1). O Grupo 2 correspondeu as menores áreas com  $0,04 \times 10^7 \text{ m}^2$  (33 pixels; 3,3%) e se encontra associado ao rio Nhundiaquara, enquanto que o Grupo 1 corresponde a 244 pixels (37,4%) e esta associado a desembocadura do rio Faisqueira, localizado na margem N do estuário.

Os canais apresentaram predomínio do Grupo 3 com 533 pixels (45,7%) totalizando uma área de  $1,2 \times 10^7 \text{ m}^2$ , distribuído ao longo de todo o estuário. Os Grupos 1 e 2, correspondem a 382 pixels (32,7%) e 250 pixels (21,4%), respectivamente, e não apresentaram uma distribuição uniforme ao longo do CEP. Deve-se observar que nesta caracterização sedimentológica também sobre influência do condicionante antrópico, com dragagens realizadas nas áreas de interesse portuário.

Os grupos sedimentológicos presentes na região intermediária não apresentaram uma distribuição homogênea pelo estuário, sem tendo sido detectado o predomínio de um único Grupo. Sendo assim, o Grupo 1

correspondeu a 838 pixels (44,3%), Grupo 2 a 409 pixels (21,6%) associados a região indicada como a zona de máxima turbidez presente na porção central do estuário. O Grupo 3 com 640 pixels (33,9%) está localizado próximo a desembocadura dos rios Cachoeira e Faisqueira que deságuam na baía, em momentos de maior vazão, podem depositar cargas de sedimentos mais grossos, devido à perda de competência ao ingressar no estuário.

## 5. DISCUSSÃO

Diversos autores (SILVA, 2002; LAMOUR *et al.*, 2004; CORRÊA, 2005; DIAS, 2005; VIEIRA *et al.*, 2008; CARNEIRO & LAMOUR, 2011) que realizaram estudos de caracterização dos sedimentos de fundo em estuários, observaram semelhanças na disposição das suas zonas de deposição. Estes estudos indicaram que as áreas mais profundas e que possuem uma maior ação hidrodinâmica possuem sedimentos mais grossos (areias) e bem selecionados. Enquanto que as zonas a montante e mais rasas, com baixa hidrodinâmica, caracterizam-se pela deposição de sedimentos finos (siltes e argilas), marcados pela seleção ruim e com teores elevados de matéria orgânica.

Além disso, estes autores concluíram que os sedimentos muito pobremente selecionados sugerem a atuação de diferentes processos de sedimentação, com influência de fatores como períodos de maior vazão dos cursos de água, amplitude de marés e velocidade das correntes de maré. Nesse trabalho, os quatro padrões sedimentares identificados seguiram o mesmo comportamento, já que os sedimentos finos, muito pobremente selecionados e com teores altos de matéria orgânica, estão associados as áreas rasas com hidrodinâmica mais baixa, associados as planícies de maré. No mesmo sentido, os sedimentos mais grossos estão associados às áreas mais profundas com as maiores velocidades das correntes de maré. Este padrão também foi predominantemente observado nas áreas de desembocadura dos cursos fluviais com sedimentos muito pobremente selecionados, indicando alto fluxo devido às descargas fluviais e a heterogeneidade dos sedimentos de aporte terrígeno.

Com as análises estatísticas multivariadas foi possível o estabelecimento de três grupos diferentes, com sedimentos finos no grupo 1 com maior dominância na margem N. O grupo 2 é heterogêneo e tende a ser transicional entre os demais padrões, apresentando sedimentos que variam tanto de silte grosso a areia média. O grupo 3 com sedimentos arenosos, porém com algumas amostras bimodais e polimodais devido a presença de fragmentos de carapaças. Os carbonatos não foram eliminados das amostras para as análises granulométricas, já que fazem parte da parcela sedimentar sujeita a hidrodinâmica local. Assim estes grupos sedimentológicos foram refinados pela associação entre as características macroscópicas das amostras de sedimentos e os resultados das análises estatísticas, detectando assim possíveis imprecisões de interpretação dos resultados.

Algumas das amostras estão localizadas em regiões caracterizadas como planícies de maré, no caso do CEP, principalmente na margem S, neste caso os fragmentos de carapaças biogênicas apresentaram um papel importante na caracterização dos padrões sedimentológicos, devido a presença de carbonatos associados aos sedimentos finos. Segundo Amos *et al.* (1998) Sutherland *et al.* (1998) e Widdows (1998), a estabilização e desestabilização dos sedimentos coesivos depende da interação entre os processos físicos e biológicos.

Buynevich & FritzGerard (2003) encontraram depósitos de fragmentos de conchas em áreas entre marés em um estuário, os quais foram usados como indicadores de deposição dos sedimentos nas regiões estuarinas. Interpretando que os carbonatos correspondem a hidrodinâmica local no ambiente, as amostras de sedimentos de fundo das áreas de planícies de maré do CEP que foram caracterizadas com Grupo 3, apresentaram porcentagens altas de carbonatos. Estes carbonatos afetaram diretamente no engrossamento do diâmetro médio e podem ser observados na Figura 10, com a indicação das porcentagens de carbonatos nas áreas rasas.

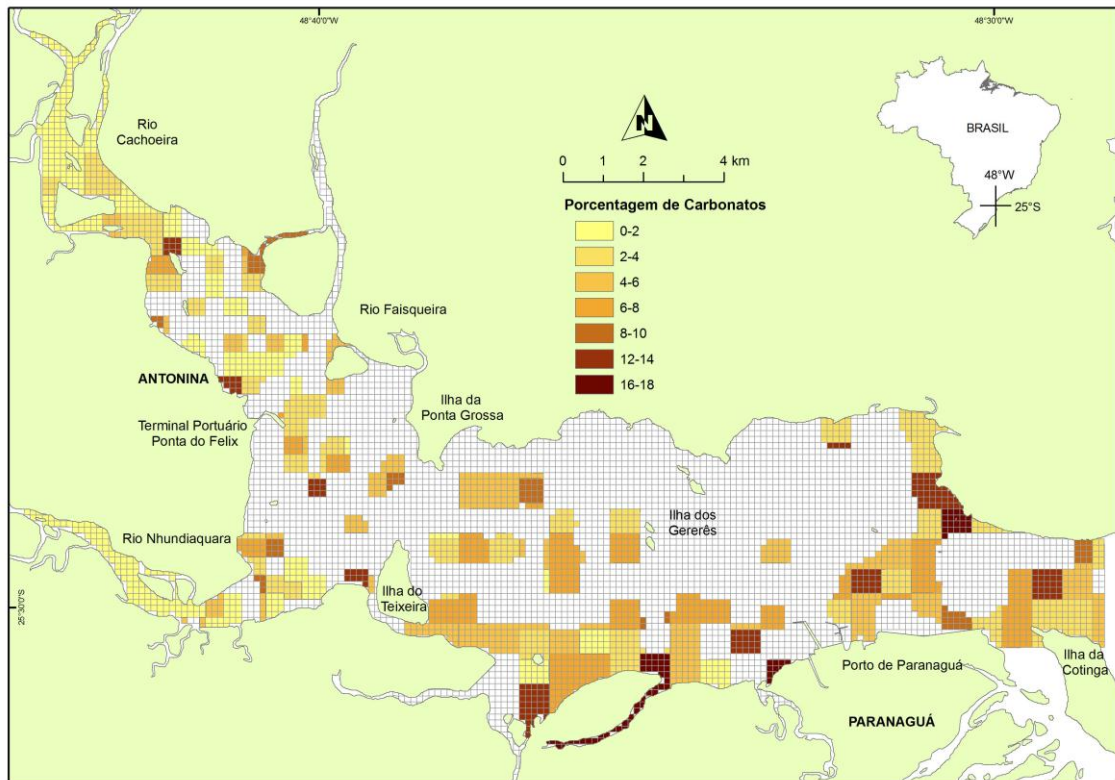


FIGURA 10: MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DA PORCENTAGEM DE CARBONATOS PARA A ÁREA REFERENTE AO GRUPO SEDIMENTOLÓGICO 3.

A geomorfologia de estuários rasos consiste em uma complexa rede de canais e áreas rasas, sendo que nos canais correntes de maré intensas são observadas (na ordem de até  $1 \text{ m.s}^{-1}$ ) com competência para carrear sedimentos. Além de que vários tipos de feições geomorfológicas podem existir devido as interações entre as forçantes hidrodinâmicas que atuam neste ambiente (YANG *et al.*, 2008)

As baixas velocidades de correntes criam condições de deposição de sedimentos em áreas rasas nos ambientes estuarinos, como as planícies de maré (DYER, 1995). Sendo assim, as áreas caracterizadas como planícies de maré para as baías de Antonina e Paranaguá, quando integradas com dados de velocidade de correntes de maré apresentaram uma relação positiva, principalmente para a margem N da Baía de Paranaguá. Esta região apresentou baixas profundidades, praticamente planas e sedimentos finos. Pois as áreas com regime hidrodinâmico menor, localizadas nas áreas rasas do estuário, possuem maiores taxas de ocorrência de sedimentos finos. No entanto, os cursos de fluviais que deságuam nas baías, em momentos de maior vazão, depositam sedimentos mais grossos, devido à perda de

competência de transporte sedimentar por parte do fluxo, ao ingressar no estuário (SUGUIO 1980). Nessa condição, fica retida também parte dos grãos grossos nas planícies de maré, caracterizando esses grãos como mal selecionados.

Na região da Baía de Antonina, foi verificada uma tendência geral de assoreamento a sua partir da margem N, onde verifica-se a foz das principais redes de drenagem da região. Odreski *et al.* (2003) evidenciou possíveis mudanças nos padrões de sedimentação desta área pela transposição de duas dessas bacias de drenagem. Este fato pode ter modificado de forma significativa as taxas de sedimentação para este setor, as quais foram altas segundo Cattani & Lamour, no prelo. O potencial de produção de sedimentos nas bacias de drenagem na cabeceira do estuário totaliza  $\approx 250 \text{ ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ , sendo esses redistribuídos e depositados nos cursos fluviais, pela região da baía de Antonina e na sua zona de mistura na baía de Paranaguá (PAULA, 2010; CATTANI & LAMOUR, no prelo).

As maiores profundidades estão associadas às áreas com as velocidades de correntes mais intensas, indicando competência do fluxo em carrear sedimentos em ambientes estuarinos (DYER, 1995; UNCLES, 2006). Neste caso, os resultados encontrados de regiões profundas para as baías de Antonina e Paranaguá, estão associados a mudanças na geometria do estuário, onde ocorre um estreitamento entre as margens, próximo a Ilha da Cotinga e entre as Ilhas do Teixeira e Ponta Grossa, onde o fluxo das correntes de maré é intensificado (MARONE *et al.*, 1997) permitindo o carreamento dos sedimentos com diâmetro médio maior.

As maiores declividades estão associadas ao canal navegável e as bacias de evolução dos portos, devido às escavações por obras de dragagens, onde as margens apresentam uma maior inclinação. Sendo assim, o aprofundamento dos canais e das bacias de evolução geralmente diminui a interação da onda de maré com o fundo, incrementando a incursão da maré estuário acima, podendo assim resultar no aumento da amplificação da maré em áreas rasas e, conseqüentemente, no decréscimo da variação da altura da onda de maré ao longo do estuário. No caso da Baía de Paranaguá o aprofundamento do canal de acesso aos portos no interior do estuário em 1998 pode ter modificado as características da maré na região (ZEM, 2008), de

modo que as alturas de maré observadas atualmente não condizem mais com as relatadas por Marone e Jamiyanaa (1997).

Sendo assim, na região onde diversos autores (MANTOVANELLI *et al.*, 2004; NOERNBERG, 2001) identificaram maior influência da ZMT o Grupo 1 predominou. Nesta área Cattani & Lamour (no prelo) identificaram taxas de sedimentação altas, a partir da margem N do trecho compreendido entre as Ilhas dos Gererês e do Teixeira. A qual apresenta grande concentração de material particulado em suspensão (ZEM, 2008) aliado ao processo de floculação induzido pela mudança da salinidade, o que segundo Dyer (1995) resulta na rápida deposição dos sedimentos finos (siltes + argilas).

Mesmo que esta região apresente altas velocidades de correntes de maré, os sedimentos apresentaram um padrão fino, pobremente selecionado com teores elevados de matéria orgânica. Segundo Widdows *et al.* (2000) as regiões com sedimentos finos são biologicamente produtivas, e as interações entre os sedimentos e a biota influenciam na erosão e/ou estabilização do fundo em ambientes estuarinos. As influências físicas predominantes na estabilização dos sedimentos de finos são o grau de consolidação e distribuição de tamanho de grãos que compõem o fundo (JEPSEN *et al.*, 1997; ROBERTS *et al.*, 1998). Pois, mesmo em laboratório quando os sedimentos são pobremente selecionados, mostram que a tensão crítica para iniciar o seu transporte começa a agir como um fundo coeso (PANAGIOTOPOULOS *et al.*, 1997; TORFS *et al.*, 2001).

Segundo Perillo (1995), a tendência de preenchimento em longo prazo de estuários de planície costeira se dá pelo aporte fluvial, com migração das planícies de maré em direção ao centro dos canais. Entretanto, as variações em curto prazo (ciclos anuais) das taxas de sedimentação, podem revelar períodos de erosão em ambientes normalmente sujeitos a deposição e padrões de migração das Zonas de Máxima Turbidez, o que permitem a deposição de sedimentos finos em diferentes partes do estuário (McMANUS, 1998).

Sendo assim, as tendências de preenchimento para o estuário a partir da margem N para a região central do estuário estão associadas às áreas com as velocidades de correntes mais intensas e maiores profundidades, indicando competência do fluxo em carrear sedimentos em ambientes estuarinos (CATTANI & LAMOUR, no prelo). Os locais expostos a maior movimentação

das correntes de maré não permitem a decantação das partículas finas em suspensão, desta maneira, as plumas de sedimentos ou são exportadas para fora do estuário, ou acabam por serem depositadas em áreas de menor hidrodinâmica, nas planícies de marés. Deste modo, nas áreas com intensa hidrodinâmica, ocorre apenas a deposição dos grãos mais grossos, com conseqüente melhor seleção granulométrica. Já nas áreas com menor hidrodinâmica, ocorre à deposição de pacotes sedimentares de diferentes texturas, sendo que estas áreas estão sujeitas a um pior grau de seleção.

Neste caso, os sedimentos que advém da margem S e causam assoreamento pela margem N estão relacionados com as mudanças na geometria do estuário, mais especificamente entre as Ilhas do Teixeira e Ponta Grossa, onde o fluxo das correntes de maré é intensificado permitindo o carreamento dos sedimentos. Por isso, é possível identificar um padrão de preenchimento do estuário dependente da hidrodinâmica local e não só do aporte de sedimentos na cabeceira do estuário (CATTANI & LAMOUR, no prelo)

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados obtidos demonstram a importância da integração de dados sedimentológicos com os parâmetros ambientais como meio de compreender a dinâmica deposicional de ambientes estuarinos complexos de importante produção biológica, onde se concentram as principais atividades portuárias do país, como o caso do CEP. Através desta integração foi possível identificar ambientes distintos de deposição no estuário. Os sedimentos mais grossos estão associados às áreas mais profundas com maior velocidade das correntes de maré. Este padrão também foi predominantemente observado nas áreas de desembocadura dos cursos fluviais com sedimentos muito pobremente selecionados, indicando alto fluxo devido às descargas fluviais e a heterogeneidade dos sedimentos de aporte terrígeno (Grupo 3). Enquanto que as zonas a montante do estuário e mais rasas, com baixa hidrodinâmica, caracterizam-se pela deposição de sedimentos finos (siltes e argilas), marcados pela seleção ruim e com teores elevados de matéria orgânica (Grupo 1). Porém, ainda não é possível indicar de forma precisa o contexto de

sedimentação ao longo do estuário, necessitando estudos de base sobre transporte de sedimentos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMOS, C.L., BRYLINSKY, M., SUTHERLAND, T.F., O'BRIEN, D., LEE, S., CRAMP, A. The stability of a mudflat in the Humber estuary, South Yorkshire, U.K. In: BLACK, K.S., PATERSON, D.M., CRAMP, A. (Eds.), *Sedimentary Processes in the Intertidal Zone*. Special Publications, Vol. 139. **Geological Society**, London, pp. 25-43. 1998

ANGULO, R.J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. 334 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

ANGULO, R. J. Morphological Characterization of the Tidal Deltas on the Coast of the State of Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 1999.

Angulo, R. J, Lessa, G. C., & Souza, M. C. D. The Holocene Barrier Systems of Paranaguá and Northern Santa Catarina Coasts , Southern Brazil. *The Holocene*. 2009

BIGARELLA, J. J. et al. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná: um problema de segurança ambiental e nacional**. Curitiba: Governo do Paraná/SEPL/ADEA. 249 p. 1978.

BOKUNIEWICZ, H. Sedimentary systems of Coastal-plain Estuaries. In PERILLO, G.M.E. (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of Estuaries**. The Netherlands: Elsevier Science B.V. p 49-67. 1995.

BOYD, R., DALRYMPLE, R.W., ZAITLIN, B.A. Estuarine and incised-valley facies models. IN: POSAMENTIER, H. W. & WALKER, R. G. **Facies Models Revisited**. 532p. 2006.

BRASIL. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Carta Náutica 1820. Proximidade da Barra de Paranaguá. 2. ed. Rio de Janeiro. 1 mapa: color.; 819,2 x 1025,8 mm. Escala 1:90.000. 1976.

BRASIL. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Carta Náutica 1822. Porto de Paranaguá a Ilha do Mel. 3. ed., Rio de Janeiro. 1 mapa: color.; 998,7 x 635,3 mm. Escala 1:24.992. 1991.

BRASIL. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Carta Náutica 1824. Da Barra de Paranaguá a Antonina. Rio de Janeiro. 1 mapa: color.; 1108,7 x 757 mm. Escala 1:50.000. 1995.

BUYNEVICH, I. ., & FITZGERALD, D. Textural and compositional characterization of recent sediments along a paraglacial estuarine coastline,

Maine, USA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 56(1), 139-153. doi:10.1016/S0272-7714(02)00143-9. 2003.

CAMARGO, M. G. de. *SysGran*: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 36, n. 2, 2006. p. 371-378, 2006.

CAMERON, W.M.; PRITCHARD, D.W. Estuaries. In: HILL, M.N.(ed.). **The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas**. New York: Interscience, p. 306-324, 1963.

CARNEIRO, J. C. & LAMOUR, M. R. Identification of relicts sediments in the Superagüi Channel (Paraná, Brazil): preliminary results. **18th International Sedimentological Congress** - Mendoza, Argentina, 2010.

CARRILHO, J. C. **Dinâmica sedimentar do fundo adjacente ao Porto de Paranaguá**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2003.

CARVER, R. E., Settling analysis. In: **Procedures in sedimentary petrology**. Wiley -Interscience, New York, p.427-452, 1971.

CATTANI & LAMOUR. **Considerations regarding the sedimentation rates along the Paranaguá Estuarine Complex: a Bathymetric approach**. no prelo.

CORRÊA, I. C. S. Aplicação do diagrama de Perjup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da baía de Marajó-PA. **Pesquisas em Geociências**, 32(2): 109-118. 2005.

DALRYMPLE, R.W., ZAITLIN, B.A., BOYD, R. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications, **J. Sed. Petrology** 62, 1130–1146. 1992.

DIAS, G. T. M. & Medeiros, M. F.. Cartas sedimentológicas da baía da Ilha Grande. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10, 2005, Guarapari. **Anais...** Guarapari: ABEQUA. 1 CD-ROM. 2005.

DYER, K.R. Sediment processes in estuaries: future research requirements. *Journal of Geophysical Research*, Columbia, v.94, n. 14, 327-339, 1989.

DYER, K.R. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G.M.E. (ed.). **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries**. Developments in Sedimentology, n. 53. Elsevier, p. 423-449, 1995.

DYER, K.R. *Estuaries: A Physical Introduction*. 2 ed., Chichester, John Wiley & Sons, 195 p., 1997.

FOLK, R.L. & WARD, W.C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27:3-26, 1957.

GONÇALVES, J. E.; PAULA, E. V.; OLIVEIRA, A. C.; NOCKO, H. R.; REKSIDLER, R. Modelagem Hidrodinâmica e de Transporte de Sedimentos na Baía de Antonina. Antonina: ADEMADAN. **Relatório Técnico Terminais Portuários Ponta do Felix**. 43 p. 2005.

GROSS, M. G. **Carbon determination**. In: Carver, R. E. (Ed.). *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley Interscience, New York, p. 49-94. 1971.

JEROSCH, K.; SCHLÜTER, M.; PESCH, R. Spatial analysis of marine categorical information using indicator kriging applied to georeferenced video mosaics of the deep-sea Håkon Mosby Mud Volcano. **Ecological Informatics**. v 1, Is 4, p. 391-406. 2006.

KJERFVE, B. Measurement and analysis of water current, temperature, salinity, and density. In: Estuarine **Hydrography and Sedimentation**. Dyer, K. R. (ed.). Cambridge, Cambridge University Press. p.186-226, 1979.

KNOPPERS, B. A.; BRANDINI, F. P; THAMM C. A. 1987. Ecological studies in the bay of Paranaguá. II. Some physical and chemical characteristics. **Nerítica**, Curitiba, v. 2, p.1-36, 1987.

KOVACH, W. L. MVSP - A MultiVariate Statistical Package for Windows, ver. 3.1. Kovach **Computing Services**, Pentraeth, Wales, U.K. 2005.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C. R.; CARRILHO, J. C. Mapas de parâmetros texturais de sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, Pontal do Sul, Editora UFPR, v. 55, p. 77-82, 2004.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C.R. Variação das características granulométricas dos sedimentos de fundo do canal navegável aos Portos da Baía de Paranaguá. In: BOLDRINI, E.B; SOARES, C.R; PAULA, E.V. (Org). **Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental**. Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/SEMA/Governo do Estado do Paraná. p 244-252. 2007.

LAMOUR, M. R., & SOARES, C. R. A “Barra de Paranaguá” e a Evolução Batimétrica do delta de maré vazante na Desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (PR). In E. B. Boldrini, C. R. Soares, & E. V. D. Paula (Eds.), **Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente**. (pp. 69-87). Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/Secretaria de Ciência e tecnologia para Inclusão social. 2008.

LAMOUR, M. R., ANGULO, R. J., & SOARES, C. R. Bathymetrical Evolution of Critical Shoaling Sectors on Galheta Channel , Navigable Access to Paranagua Bay , Brazil. **Journal of Coastal Research**, 23(1), 49-58. doi:10.2112/03-0063.1. 2007

LANA, P. C.; MARONE, E; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (Ed.).

**Coastal Marine Ecosystems of Latin America.** Berlin, Springer, p. 132-145. 2001.

LESSA, G.C.; MEYERS, S.R.; MARONE, E. Holocene Stratigraphy in the Paranaguá bay estuary, southern Brazil. **Journal of Sedimentary Research.** V.68 n 6. p. 1060-1076. 1998.

LESSA G., ANGULO R. J., GIANNINI P. C. F., ARAÚJO A.D. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. **Marine Geology,** **165:**87-108. 2000.

MANTOVANELLI, A. **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem.** Curitiba, 152 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 1999.

MANTOVANELLI, A.; MARONE, E.; DA SILVA, E.T.; LAUTERTA, L.F.; KLINGENFUSS, M.S.; PRATA, JR., V.P.; NOERNBERG, M.A.; KNOPPERS, B.A.; ANGULO, R.J. Combined tidal velocity and duration asymmetries as a determinant of water transport and residual flow in Paranaguá Bay estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** n. 59 Elsevier. 523-537p., 2004.

MARONE, E; GUIMARÃES, M.R.F.; CAMARGO, R.; PRATA JUNIO, V. P.; KLINGEFUSS, M. S. Caracterização física das condições oceanográficas, meteorológicas e costeiras das zonas estuarinas da Baía de Paranaguá. In: CONGRESSO LATINO – AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 6., Mar del Plata, Argentina. **Resumos.** p. 129. 1995.

MARONE, E.; JAMIYANAA, D. Tidal characteristics and a numerical model for the M2 tide at the Estuarine Complex of Paranaguá Bay, Paraná, Brazil. **Nerítica,** Curitiba, v.11, p. 95-107, 1997.

MARONE, E.; MANTOVANELLI, A.; NOERNBERG, M.A.; KLINGENFUSS, M.S.; LAUTERT, L.F.C.; PRATA JUNIOR, V.P.. **Caracterização física do complexo estuarino da Baía de Paranaguá.** Relatório consolidado do convênio APPA/CEM. Pontal do Sul: UFPR, 1997.

MCMANUS, J. Temporal and Spatial Variations in Estuarine Sedimentation. **Estuaries,** 21(4), 622-634. 1998.

NOERNBERG, M.A. **Processos Morfodinâmicos no complexo Estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil: Um estudo a Partir de Dados *in situ* e LANDSAT – TM.** Tese (doutorado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

NOERNBERG, M. A. & LANA, P. C. A sensibilidade de manguezais e marismas a impactos por óleo: fato ou mito? Uma ferramenta para a avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo. **Geografares** (Vitória), Vitória, v. 3, p. 109-122, 2002.

NOERNBERG, M. A. LAUTERT, L. F. de C.; ARAUJO, A. D. de; ODRESKY, L. L. Base de dados digital do litoral paranaense em Sistema de Informações Geográficas. **Nerítica**, Curitiba, v.11, p.191-195, 1997.

ODRESKI, L. L. R. **Evolução sedimentar e batimétrica da baía de Antonina - PR**. Curitiba, Universidade federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Dissertação de Mestrado, 79p., 2002.

ODRESKI, L. L. R., SOARES, C. R., ANGULO, R. J., & ZEM, R. C. Taxas de Assoreamento e a Influência Antrópica no controle da sedimentação da Baía de Antonina – Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, (53), 7-12. 2003.

PANAGIOTOPOULOS, I., VOULGARIS, G., & COLLINS, M. B. The influence of clay on the threshold of movement of fine sandy beds. **Coastal Engineering**, 32(1), 19-43. doi:10.1016/S0378-3839(97)00013-6. 1997.

PAULA, E.V. **Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR uma abordagem geopedológica**. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 155. 2010.

PAULA, E. V. de; CUNICO, C. O assoreamento das baías de Antonina e de Paranaguá e a gestão de suas bacias hidrográficas. In: BOLDRINI, E. B.; SOARES, C.R.; PAULA, E.V. de. **Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental**. Antonina: Governo do Estado do Paraná, SEMA/PR, ADEMADAM, UNIBEM, p.154-168, 2007.

PAULA, E. V. D., & CUNICO, C. O assoreamento das baías de Antonina e de Paranaguá e a gestão de suas bacias hidrográficas. In E. B. Boldrini, C. R. Soares, & E. V. D. Paula (Eds.), **Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental**. (pp. 154-168). Antonina: Governo do Estado do Paraná, SEMA/PR, ADEMADAM, UNIBEM. 2007.

PERILLO, G. M. E., PÉREZ, D. E., PICCOLO, M. C., PALMA, E. D., & CUADRADO, D. G. Geomorphologic and physical characteristics of a human impacted estuary: Quequén Grande River Estuary, Argentina. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 62(1-2), 301-312. doi:DOI: 10.1016/j.ecss.2004.09.018. 2005.

PERILLO, G.M.E. Geomorphology and sedimentology of Estuaries: na introduction. In PERILLO, G.M.E (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of Estuaries**. The Netherlands: Elsevier Science B.V. p 1-16. 1995.

PERILLO, G.M.E. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. In PERILLO, G.M.E. (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of Estuaries**. The Netherlands: Elsevier Science B.V. p 17-47. 1995.

PERILLO, G.M.E & SYVITSKI, J.P.M. Mechanisms of sediment retention in estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v.87, p. 175-176. 2010.

PORTOBRÁS. Relatório de apresentação das medições meteorológicas observadas em Pontal do Sul, Paranaguá – PR, período set. 1982 a dez. 1986. Rio de Janeiro : INPH. 189 p. 1983.

PRANDLE, D. **Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology**. University of Wales. Cambrigde. New York. 248 p., 2009.

PRANDLE, D., LANE, A., & MANNING, A. J. New typologies for estuarine morphology. **Geomorphology**, 81(3-4), 309-315. doi:DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.04.017. 2006.

PRITCHARD, D.W. Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay Estuarine System. **Journal of Marine Research**, New Haven, v.11, n.1a, p. 106-123,1952.

ROBERTS, R.G., GALBRAITH, R.F., YOSHIDA H., LASLETT, G.M., OLLEY J.M. Distinguishing dose populations in sediment mixtures: a test of single-grain optical dating procedures using mixtures of laboratory-dosed quartz **Radiation Measurements**. 32 pp. 459–465. 2000.

SILVA, L. F. **Identificação de subambientes na baía Sul (SC) com base na análise de variáveis oceanográfico sedimentares**. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Dissertação de Mestrado. 2002.

SOARES, C.R.; NOERNBERG, M.A. A presença de lama fluída e navegabilidade no canal de acesso à região portuária de Antonina (PR). In: BOLDRINI, E. B.; SOARES, C.R.; PAULA, E.V. de. **Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental**. Antonina: Governo do Estado do Paraná, SEMA/PR, ADEMADAM, UNIBEM, p. 192-203, 2007.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blucher LTDA : 317p., 1973.

SUGUIO, K. **Rocha sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica**. São Paulo: Edgard Blucher. 1980.

SUTHERLAND, T.F., AMOS, C.L., GRANT, J., The effect of buoyant biofilms on the erodibility of sublittoral sediments of a temperate microtidal estuary. **Limnology and Oceanography** 43, 225-235. 1998.

TORFS, H., JIANG, J., & MEHTA, A. J. Assessment of the erodibility of fine/coarse sediment mixtures. In W. H. McAnally & A. J. Mehta (Eds.), **Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes** (Vol. 3, pp. 109-123). Elsevier. doi:10.1016/S1568-2692(00)80116-3. 2000.

UNCLES, R. J., STEPHENS, J.A., LAW, D.J. Turbidity maximum in the macrotidal, highly turbid Humber Estuary, UK: flocs, fluid mud, stationary suspensions and tidal bores. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Amsterdam, v.67, p.30-52, 2006.

VIEIRA, C. V.; FILHO HORN, N. O.; BONETTI, C. V. D. H. C.; BONETTI, J. Caracterização morfosedimentar e setorização do Complexo Estuarino da Babitonga/ SC. **Boletim Paranense de Geociências**, n. 62-63. P. 85-105. Editora UFPR, 2008.

WIDDOWS, J., BROWN, S., BRINSLEY, M. D., SALKELD, P. N., & ELLIOTT, M. Temporal changes in intertidal sediment erodability: influence of biological and climatic factors. **Continental Shelf Research**, 20, 1275-1289. 2000.

YANG, S. L., LI, H., YSEBAERT, T., BOUMA, T. J., ZHANG, W. X., WANG, Y. Y., LI, P. Spatial and temporal variations in sediment grain size in tidal wetlands, Yangtze Delta: On the role of physical and biotic controls. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 77(4), 657-671. doi:10.1016/j.ecss.2007.10.024. 2008.

ZEM, R.C. **Hidrodinâmica e fluxo de Material Particulado em Suspensão na região estuarina da Baía de Paranaguá-PR**. 155 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.