

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**CONTRIBUIÇÃO À GESTÃO AMBIENTAL DA BAÍA DE  
GUAJARÁ (BELÉM – PARÁ – AMAZÔNIA) ATRAVÉS DE  
ESTUDO BATIMÉTRICO E SEDIMENTOLÓGICO**

**ADERSON MANOEL DA SILVA GREGÓRIO**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. RICARDO NORBERTO AYUP-ZOUAIN.**

**BANCA EXAMINADORA:** Prof. Dr. Carlos Hartmann (LOG/FURG)  
Prof. Dr. Iran C. Staliavere Corrêa (CECO/IG/UFRGS)  
Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho (IG/UFPA)

Dissertação de Mestrado apresentada  
como requisito para a obtenção do Título  
de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2008

*Aos membros da família Gregório, é claro.*

## AGRADECIMENTOS

Como todo primata da espécie *Homo sapiens*, eu nunca chegaria a lugar algum se não fosse a ajuda de outros companheiros de mesma taxonomia. E como todo *H. sapiens* que se orgulha de ser agradecido, emocionado escrevi a lista que seguirá. Muitos dizem que esta, talvez, seja a parte mais fácil de se escrever de um trabalho. Será? A dúvida é quem incluir. Ou quem excluir. No entanto, aos que aqui não forem citados, não se preocupem: dificilmente foi mera exclusão. E aos que aqui constam, o meu muito obrigado. *Égua, pequeno, então bora ver logo a tal da lista, tchê:*

- A Deus. Não é necessário colocar muitas palavras aqui. Ele e eu temos uma relação muito discreta. Obrigado, meu pai!

- Ao Fundo Setorial de Óleo e Gás Natural (CT-PETRO) e à FINEP/CNPq pelo suporte financeiro ao projeto PETROMAR/Rede PETRORISCO;

- À PETROBRAS S.A., pelo suporte financeiro aos projetos PIATAM mar I e II e a todas as demais iniciativas decorrentes dos mesmos;

- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de Mestrado;

- Ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

- À UFRGS, pela utilização de sua infra-estrutura, especialmente os restaurantes universitários, a videoteca do DCE e o *campus* do Vale.

- Ao professor Dr. Ricardo Norberto Ayup-Zouain, pela orientação, oportunidade de trabalho, críticas construtivas, *puxões de orelha* e pelas irônicas, divertidas, mas sempre precisas correções ao presente trabalho.

- Ao professor Dr. Carlos Hartmann, pela participação na banca examinadora, pelas críticas e sugestões de melhoria do trabalho;

- Ao professor Dr. Iran Corrêa, pela participação na banca examinadora, pelos comentários construtivos ao trabalho e por sempre estar disposto em ajudar. Agradeço também pelas muitas vezes que divertiu a todos durante as agradáveis recepções na copa do CECO, ocasião pela qual pude conviver e conhecer os demais professores do Centro;

- Ao Sr. Porfírio Gregório, meu pai e à D. Vera Gregório, minha mãe. Meus maiores exemplos de vida. Obrigado por tudo!

- Aos meus irmãos: Angela, Anderson e Ademilton. Pelo pensamento positivo e incentivo existente desde o nosso nascimento. Amo vocês!

- Ao C. Gouvêa de Castro. Por ter atravessado o país para me estender a mão. Muito obrigado.

- À secretaria do Programa de Pós-graduação em Geociências - PPGGeo, nas pessoas de Elen Marten de Lima, Letícia Maria Barbosa e Roberto Pereira (Robertinho). Valeu mesmo, bando de gaúchos!

- Ao Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG. Pela oportunidade de trabalho nos dois anos anteriores à entrada no Mestrado e pelos grandes amigos que fiz por lá (um por um: valeu!);

- Aos estagiários do Programa de Estudos Costeiros – PEC da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia - CCTE/MPEG: Dani, Murilo, Charlie e Sílvio Eduardo. Pela ajuda *imprescindível* nos trabalhos de campo e de laboratório;

- Ao pesquisador do PEC/CCTE/MPEG Msc. Amilcar Carvalho Mendes. Pela amizade, ensinamentos, palavras de apoio, discussões sobre trabalhos, conselhos e pela oportunidade e confiança conferidas ao negão aqui. Salve, salve, Sr. Amilcar!

- Ao professor Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho, pela participação na banca examinadora, pelas críticas e sugestões, pelas oportunidades oferecidas “e a todas as demais iniciativas decorrentes do mesmo”. Além do voto de confiança num tal de *Gregório, A. M. S.*;

- À doutoranda Cléa Araújo da Silva, por me acalmar e me mostrar o caminho correto, quando das minhas crises existenciais e profissionais...

- Ao professor Dr. Luis Alberto D’ávila Fernandes (Coquinho), pela gentileza prestada, pelo voto de confiança, pelas horas de papos sobre o sentido da vida e, claro, pelas correções no meu inglês *the book is on the table*. Da oonde?!

- Ao professor Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber, diretor do CECO, pela amizade, palavras de incentivo, esforço e gentileza para que eu me sentisse o máximo possível em casa (mesmo eu estando ~4.000 km longe dela). Obrigado, padrinho;

- À doutoranda Lisiane Silva Guimarães. Pela sensibilidade e amizade verdadeira, sem perdas e/ou ganhos para ambos os lados. Sabes que nunca esquecerei o que fizeste por mim. Obrigado por tudo, *Lhiyyzzyllenny*;

- À doutoranda Cristine Lenz. Obrigado pelos bons momentos vividos, palavras de incentivo, lágrimas e gargalhadas. Pelo abrigo na casa e no coração. Um imenso MUITO OBRIGADO, *Khryystthyllenny*!

- Aos amigos e companheiros da área de Geologia Marinha do CPGGeo: Felipe Caron, Leonardo Gonçalves (Thundera), Rodrigo Souza (Alemão), Natália Zamoura, Luana Portz, Camila Borges, Carla Mandraccio, Flávia Farina e André Ugri (Bambam);

- Aos mais prezados amigos e amigas que fiz em Porto Alegre: Miriam (Mirivânia), Núscia (Nuscymeyre), Luciane (Gringa), Christian (Cristão), Cris (Cris II), Dayvisson (Dayvinho), Andréia Gross, Alessandra (Léles), Luzia (Lu), Douglas (Dodô), Sandra, Eduardo (Duda), Deise (Dhayzzylady) e Deise (!);

- Ao João Pedro Madruga, pra quem eu sou o *Tchuuadi*. Parceiro preferido no Super Mario e para assistir *Os sem floresta* por inúmeras vezes seguidas;

- À Cristiane Marques Machado. Pela luz que veio contigo *em anexo* naquele “infausto e calamitoso” *11 de março de 2007*, quand j’ai commencé à marcher, chanter et aimer, champignon. O samba tem tido mais graça desde então. Agradeço-te a companhia, a amizade (*sobretudo!*), a cumplicidade, a sinceridade, a confiança e a força que sempre me dás. Acredite: tenho enorme apreço por tua pessoa;

- E no fechamento desse trecho “fácil” de ser escrito da dissertação não poderia faltar aquela frase piegas e mais batida que tomate de feira: “Agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão deste trabalho”.

*“A paciência é a virtude das virtudes.  
Não é sábio quem se desespera. Insensato é quem não se submete”*

Raduan Nassar

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>ii</b>
<b>EPIGRAFE</b>	<b>v</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiv</b>
<b>CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 – SOBRE A GESTÃO AMBIENTAL .....	<b>16</b>
1.2 – SOBRE OS DEPÓSITOS LAMOSOS .....	<b>17</b>
1.3 – CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA, PROPAGAÇÃO DA MARÉ E SEDIMENTOS FINOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL AMAZÔNICA .....	<b>19</b>
1.4 – GEOMORFOLOGIA DA ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA .....	<b>27</b>
1.5 – OBJETIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO 02 – ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>37</b>
2.1 – LOCALIZAÇÃO .....	<b>37</b>
2.2 – ATIVIDADES DE POTENCIAIS RISCOS DE ACIDENTES AMBIENTAIS NA BAÍA DE GUAJARÁ E FOZ DO RIO GUAMÁ .....	<b>37</b>
2.3 – GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL .....	<b>41</b>
2.4 – GEOMORFOLOGIA E VEGETAÇÃO .....	<b>45</b>
2.5 – PARÂMETROS METEOCEANOGRÁFICOS .....	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO 03 – MATERIAS E MÉTODOS</b> .....	<b>51</b>
3.1 – TRABALHOS DE CAMPO .....	<b>51</b>
<b>3.1.1 – Levantamento Batimétrico</b> .....	<b>51</b>
<b>3.1.2 – Sedimentologia e Matéria Orgânica</b> .....	<b>50</b>
3.2 – TRABALHOS DE LABORATÓRIO .....	<b>52</b>
3.3 – PROCESSAMENTO E INTEGRAÇÃO DOS DADOS .....	<b>54</b>
<b>CAPÍTULO 04 – ANÁLISE BATIMÉTRICA E TEXTURAL DO SUBSTRATO DA BAÍA DE GUAJARÁ E FOZ DO RIO GUAMÁ</b> .....	<b>55</b>
4.1 – ANÁLISE BATIMÉTRICA .....	<b>55</b>
<b>4.1.1 – Canais</b> .....	<b>55</b>
<b>4.1.2 – Depósitos sedimentares</b> .....	<b>58</b>
<b>4.1.3 – Evolução morfológica dos canais e dos depósitos sedimentares</b> .....	<b>59</b>

4.2 – ANÁLISE TEXTURAL .....	62
4.2.1 – Método de Folk e Ward (1957) .....	63
4.2.2 – Método de Shepard (1954) .....	66
4.2.3 – Distribuição de Larssonneur (Dias, 1996; Dias e Medeiros, 2005) .....	68
4.2.4 – Diagrama de Pejrup (Pejrup, 1988) .....	71
4.2.5 – Matéria Orgânica .....	73
4.2.6 – Discussões .....	76
<b>CAPÍTULO 05 – MUDDY DEPOSITS OF GUAJARÁ BAY (PARÁ - AMAZON - BRAZIL) .....</b>	<b>80</b>
5.1 ABSTRACT .....	80
5.2 INTRODUCTION .....	81
5.3 STUDY AREA .....	82
5.4 METHODS .....	83
5.5 RESULTS AND DISCUSSIONS .....	84
5.5.1 Bathymetry and sedimentology .....	84
5.5.2 Hydrodynamic and physical-chemistry parameters .....	91
5.5.3 Organic Matter .....	92
5.6 RISK OF ENVIRONMENTAL ACCIDENTS IN GUAJARÁ BAY .....	94
CONCLUSIONS .....	94
ACKNOWLEDGEMENTS .....	95
REFERENCES .....	95
<b>CAPÍTULO 06 – ACIDENTES E POTENCIAS RISCOS AMBIENTAIS NA BAÍA DE GUAJARÁ E FOZ DO RIO GUAMÁ .....</b>	<b>98</b>
6.1 – USO E OCUPAÇÃO DA ORLA DE BELÉM E ÁREAS MARGINAIS INUNDÁVEIS DA BAÍA E GUAJARÁ .....	98
6.2 – PROBLEMÁTICAS SOCIOAMBIENTAIS DA BAÍA DE GUAJARÁ .....	105
<b>CAPÍTULO 07 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>112</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>117</b>

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 01

- Figura 1.1.** Sistema de dispersão e deslocamento da pluma de sedimentos oriundos do rio Amazonas. Mosaico de imagens de radar do satélite JERS-1 (1995) e do NOAA (NOV/1999). (Fonte: Santos, 2006) ..... 21
- Figura 1.2.** Padrões e campos de circulação horários na plataforma Amazônica, durante um ciclo de maré. As linhas cheias correspondem às isolinhas de profundidade, em metros (modificado de Gabioux, 2002) ..... 24
- Figura 1.3.** Compartimentação geomorfológica da Zona Costeira Amazônica. Modelo digital de elevação (SRTM - Shuttle Radar Topography Mission) modificado de Gonçalves (2005). O quadro vermelho destaca a localização da baía de Guajará e foz do rio Guamá, área de estudo do presente trabalho ..... 28
- Figura 1.4.** Compartimentação da costa amapaense sugerida por Silveira e Santos (2003). A) Segmento Progradacional I com detalhe para a acreção no cabo Cassiporé. B) Segmento Retrogradacional I mostrando as zonas de acumulação de curto período. (Fonte: Santos, 2006) ..... 30
- Figura 1.5.** Geomorfologia da zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra, margem oriental da ilha de Marajó (modificado de França, 2003; e França et al., 2007) ..... 32
- Figura 1.6.** Banda 5 de uma imagem TM-Landsat mostrando a geomorfologia da costa nordeste do Pará. A) Setor 1, onde se observam falésias ativas e uma planície costeira mais estreita. B) Setor 2, onde se observam os planaltos costeiros mais recuados, formando falésias inativas. Em direção ao mar, observam-se depósitos do Quaternário, representados principalmente por planícies de maré lamosas vegetadas por florestas de manguezal. Modificado de Souza Filho (2000) ..... 34

### CAPÍTULO 02

- Figura 2.1.** Localização da área de estudo ..... 38
- Figura 2.2.** Mosaico de ortofotos (não georeferenciado) da cidade de Belém, com a localização do Terminal de Outeiro (A), do Terminal Petroquímico de Miramar (B) e do Porto de Belém (A). As linhas vermelhas indicam a localização preferencial dos portos e terminais fluviais de pequeno e médio porte. Ortofotos do ano 2000 (Cohab). Fotos: Projeto Banpetro ..... 39
- Figura 2.3.** Detalhes da orla de Belém (margem direita da baía de Guajará e foz do rio Guamá): A) Desembocadura do canal do Una (Orla Oeste) na baía de Guajará. Este corpo d'água corresponde ao maior receptor de esgoto *in natura* da cidade de Belém. B) Alguns dos portos particulares das indústrias variadas localizadas na margem direita da baía de Guajará (Orla Oeste de Belém). C) Área marginal dos bairros Arsenal e Jurunas, na foz do rio Guamá (Orla Sul). B) Situação de baixamar no "Porto Custódio", um dos muitos portos localizados ao longo da margem sul da cidade de Belém. Observar a pluma de sedimentos lamosos (tons mais escuros) revolvida pelas embarcações, o posto flutuante de combustível e as diversas embarcações aguardando a preamar. Fotos: Projeto Banpetro ..... 41
- Figura 2.4.** Contexto geológico-estrutural da costa amazônica (Santos, 2006) ..... 43
- Figura 2.5.** Mapa Geológico da área de estudo (Modificado de IBGE, 2003) ..... 44
- Figura 2.6.** Coluna estratigráfica esquemática para a região de Belém e adjacências (Modificado de Pinheiro, 1987) ..... 44
- Figura 2.7.** À esquerda, imagem integrada SPC-SAR (*Selective Principal Component - SAR*) da Região Metropolitana de Belém, mostrando as principais unidades de paisagem da área estudada: A) várzea do Rio Guamá; B) Terra Firme; C) áreas urbanas (Gonçalves, 2005). À direita, mapa de unidades de paisagem elaborado a partir da interpretação visual do produto integrado pan/multi do LANDSAT-7 ETM+ (Gonçalves, 2003) ..... 45

<b>Figura 2.8.</b> Superfície da baía de Guajará (A) e da foz do rio Guamá (B), em situação de estofa de maré preamar de sizígia (notar a falta de ondulações significativas). (C) Situação de vento <i>terral</i> (ventos de sudeste), onde as ondulações geradas erodem a margem da ilha das Onças. Fotos do autor, fevereiro e março de 2006 .....	49
<b>Figura 2.9.</b> Distribuição da precipitação e número de dias chuvoso em Belém do Pará. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet ( <a href="http://www.inmet.gov.br">http://www.inmet.gov.br</a> ) .....	50
<b>CAPÍTULO 03</b>	
<b>Figura 3.1.</b> Localização das estações de amostragem sedimentológica .....	53
<b>CAPÍTULO 04</b>	
<b>Figura 4.1.</b> Carta batimétrica da baía de Guajará e foz do rio Guamá .....	56
<b>Figura 4.2.</b> A) Orla da Universidade Federal do Pará, às margens do rio Guamá, onde são freqüentes os problemas relacionados à erosão. B) Situação de baixa-mar na foz do rio Guamá. Fotos: Projeto Banpetro .....	57
<b>Figura 4.3.</b> Bloco diagrama da baía de Guajará e foz do rio Guamá .....	59
<b>Figura 4.4.</b> Histórico da evolução batimétrica da baía de Guajará e foz do rio Guamá entre os anos de 1843 e 1985 .....	61
<b>Figura 4.5.</b> Parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) calculados para as amostras de sedimentos coletadas na baía de Guajará e foz do rio Guamá .....	64
<b>Figura 4.6.</b> Mapa de distribuição sedimentológica a partir da aplicação do Diagrama de Shepard (Shepard, 1954) .....	67
<b>Figura 4.7.</b> Distribuição de Larsonneur aplicada na baía de Guajará .....	70
<b>Figura 4.8.</b> Bloco diagrama da baía de Guajará e foz do rio Guamá com a localização das estações de coleta. A) Areia média – <i>ALId</i> . Observar a coloração, que indica a presença de Ferro e os “seixos de lama” incrustada nas areias. B) Amostra de lama compacta, coletada no canal Oriental. C) Estação de amostragem localizada na margem direita da baía e D) lama macia ( <i>LLIc</i> ) coletada neste mesmo ponto. E) Lama ( <i>LLIa</i> ) de consistência plástica e com cobertura de areia média a fina. F) Lama ( <i>LLIb</i> ) com cobertura sedimentar recentemente depositada. Fotos do autor, fevereiro de 2006 .....	71
<b>Figura 4.9.</b> Diagrama de Pejrup aplicado nas amostras coletadas na baía de Guajará e rio foz do rio Guamá .....	72
<b>Figura 4.10.</b> Mapa de distribuição do teor de matéria orgânica na baía de Guajará .....	74
<b>Figura 4.11.</b> Mecanismo de deposição dos depósitos lamosos da baía de Guajará. Situação de maré enchente de sizígia: as correntes de enchente que fluem pela direita se encontram com as correntes de final de vazante do canal da ilha das Onças, por onde fluem grande parte da descarga sólida e líquida dos rios Acará e Guamá. Na porção leste (orla de Belém) é criada uma zona de deposição de sedimentos finos .....	77
<b>Figura 4.12.</b> Modelo do transporte de sedimentos no rio de la Plata (modificado de Ayup-Zouian (1986) .....	78
<b>Figura 4.13.</b> A baía de Guajará no contexto fluvial e flúvio-marinho .....	79
<b>CAPÍTULO 05</b>	
<b>Fig. 5.1.</b> Map showing the Amazon River Mouth and study area localization .....	82
<b>Fig. 5.2.</b> Simplified bathymetric map and localization of sample station .....	84
<b>Fig. 5.3.</b> Bathymetric map of the Guajará Bay and mouth of the Guamá River .....	86
<b>Fig. 5.4.</b> Details of geomorphologic province of the Guajará Bay and Guamá River .....	87

<b>Fig. 5.5.</b> Details of muddy deposits of the Guajará Bay .....	<b>89</b>
<b>Fig. 5.6.</b> Details of muddy deposits of the mouth of the Guamá River .....	<b>90</b>
<b>Fig. 5.7.</b> Map of the Lasonneur Distribution Method applied to sediments of the Guajará Bay and the Guamá River .....	<b>91</b>
<b>Fig. 5.8.</b> Distribution of Organic Matter Amount in the Guajará Bay and Guamá River .....	<b>93</b>
 <b>CAPÍTULO 06</b>	
<b>Figura 6.1.</b> Compartimentação da orla do município de Belém .....	<b>100</b>
<b>Figura 6.2.</b> Ocupação da Orla Oeste de Belém do Pará. Situação de baixa-mar. Notar a planície de maré lamosa. A) Orla de Icoaraci. B) Área de <i>baixada</i> – Vila do Paracuri. C) Trapiches de fábricas de beneficiamento de pescado. D) Trapiches construídos sobre planície de maré areno-lamosa. E) Bairro Pratinha, área de ocupação irregular. F) Terminal Petroquímico de Miramar. G) Área de <i>baixada</i> – Vila da Barca. Fotos: Projeto Banpetro .....	<b>102</b>
<b>Figura 6.3.</b> Ocupação das orlas Central e Sul de Belém do Pará. A) Porto de Belém. B) Estação das Docas (esquerda) e Mercado do Ver-o-peso (direita). C) Doca do Ver-o-peso (esquerda) e Complexo Feliz Luzitânia (centro), à época da fotografia ainda em fase de construção. D) Planície de maré lamosa “Banco Sul da Cidade” e canteiro de obras do Mangal das Garças. E e F) Portos, terminais fluviais e trapiches <i>ribeirinhos</i> da Orla Sul de Belém, construídos principalmente em madeira. G) <i>Campus</i> da Universidade Federal do Pará. Fotos: Projeto Banpetro .....	<b>104</b>

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 02

<b>Tabela 2.1.</b> Características da maré na baía de Guajará .....	<b>48</b>
---	-----------

### CAPÍTULO 04

<b>Tabela 4.1.</b> Classificação de Larsonneur para sedimentos siliciclásticos, cujo teor de CaCO <sub>3</sub> é inferior a 30%. Modificada de Dias e Medeiros (2005) .....	<b>69</b>
---	-----------

### CAPÍTULO 05

<b>Table 5.1.</b> Sedimentological characteristics of samples from study area .....	<b>91</b>
---	-----------

## RESUMO

A baía de Guajará é um sistema fluvial altamente influenciado por maré inserido no contexto e na área de influência da foz do rio Amazonas. Na sua margem direita, localiza-se a cidade de Belém (população da região metropolitana: 2,12 milhões de habitantes). A margem esquerda corresponde a um conjunto insular de 39 ilhas. Levantaram-se dados batimétricos e sedimentológicos, visando caracterizar a dinâmica e a textura do substrato e a sua respectiva aplicação na gestão ambiental da baía. Os potenciais impactos e riscos de acidentes ambientais foram avaliados com base nesses dados e nas características do uso e ocupação das margens.

Na área de estudo, observam-se zonas de baixa profundidade (~10 m) e canais bem definidos com profundidade considerável (~25 m). O canal da ilha das Onças, na margem esquerda, corresponde à maior província geomorfológica, além de ser o canal de vazante. Já os canais do Meio e Oriental correspondem aos canais de enchente e localizam-se na margem direita. Há depósitos sedimentares arenosos e areno-lamosos nas zonas norte e sul, respectivamente.

Enquanto a margem esquerda é marcada por processos erosivos, a direita apresenta extensas planícies de maré lamosa e considerável taxa de sedimentação. São constantes as dragagens para manter navegáveis os canais de acesso ao Porto de Belém e ao Terminal Petroquímico de Miramar.

Quanto à sedimentologia, as classificações texturais predominantes foram: *silte* (Phi médio); *silte arenoso* (Shepard); e *Lamas Siliciclásticas* - LL1 (Larsonneur). A aplicação do Diagrama de Pejrup mostrou que 95% das amostras correspondem a ambientes de hidrodinâmica *alta* ou *muito alta*. Na porção sul da baía, os depósitos lamosos resultam da quebra de energia de correntes e decréscimo da competência dos rios Guamá e Acará. Na zona norte, contudo, existem sedimentos arenosos devido a maior influência das correntes de maré oriundas da baía de Marajó.

A orla do município de Belém encontra-se totalmente ocupada, enquanto a ocupação é incipiente na região insular. Os habitantes das ilhas possuem grande dependência dos recursos naturais. Habitações precárias (construídas, em geral, em madeira) são observadas em ambas as margens. Resultam da relação custo/benefício, sendo a adequação necessária às inundações semi-diurnais, pois se localizam sobre a planície de maré lamosa. Na capital, a aglomeração dessas habitações forma favelas.

Nas ilhas, constituem moradias de famílias simples que tiram o sustento do extrativismo vegetal (açai) e animal (pesca, caça e comércio de animais silvestres).

Na Orla Oeste de Belém, as atividades de risco estão ligadas às indústrias de médio/grande porte, enquanto a Orla Sul apresenta problemáticas relacionadas à prostituição, ao comércio ilegal de animais silvestres, ao trabalho informal e ao grande número de portos e terminais fluviais, construídos em madeira e sobre a planície de maré lamosa. A Orla Central, densamente urbanizada, é menos suscetível.

Com sucesso, pôde-se aplicar dados sedimentológicos e batimétricos na gestão ambiental da baía de Guajará. Assim, conclui-se que dados abióticos e socioeconômicos, analisados à luz dos processos ecológicos de média/larga escala, podem gerar diagnósticos específicos e contribuir na geração de planos de mitigação e controle de danos ambientais.

Palavras-chave: Amazônia, lama, meso-maré, estuário.

## ABSTRACT

The Guajará Bay (to southeast of Marajó Island) is a fluvial system with high tidal influence, inserted in the context and influence area of the estuarine complex of Amazonas River Mouth. In the right margin, is located the Belém city (metropolitan population: 2.12 million peoples). The left margin is an islander set composed by 39 islands. Bathymetrical and sedimentological data were collected, aiming to characterize the dynamic and textural of bottom and the application of these data in the environmental management of the Guajará Bay. The risks of environmental accidents were available with aid of the characteristics of use and occupation of flood marginal areas.

In the Guajará Bay, is observed zones with low depth and well defined channels (depth reaches of 25 m). The Onças Island Channel, in the left margin, is the major geomorphologic province and is the ebb channel. The Oriental and do Meio Channel are the flood channel, and is located in the right margin. Have sedimentary sandy and sand-muddy deposits in the north and south zones, respectively.

While in the left margin is observed erosion processes, the right margin is an extensive and continuous tidal mudflat, with considerable sedimentation rate (needing constant dredging to maintain navigable the access channel of Belém city Port and Miramar Petrochemical Terminal).

In relation to sedimentology, the textural classifications were: *silt* (mean grain-size method); *sandy silt* (Shepard method); and *Siliciclastic Mud – LLI* (Larsonneur method). The application of Pejrup diagram shows that 95% of samples come from to environmental with *high* or *so high* hydrodynamic. In the south portion, the muddy deposits are result of the break energy and consequently decrease of Guamá and Acará fluvial competence. Therefore, in the north portion were observed sandy deposits because the major influence of tidal currents from the Marajó Bay.

The border of Belém city show high occupation, in contrast to starter occupation of the insular region. The habitants of the islands of Guajará Bay have considerable dependence of the natural resources. Precarious houses made in general with wood are observed in both margins. This is result of the relation price / usefulness and they are the necessary adaptation for the semi-diurnal flood. Therefore, in Belém city the agglomeration of these houses form shanty-town on the mudflat. In the islands,

are houses of simple families, whose sustenance is the vegetal (açaí) and animal extrativism - fishing, chasing and business of wild animals.

The borders *West* and *South* of Belém city were the most susceptible to environmental damage. The *Central* border, with high urbanization, was low susceptible. While in the *West* border the hazard activities have relation with the industries, in the *South* border the activities have relation with the prostitution, the illegal business of wild animals, the informal work and the large concentration of fluvial ports and terminals, made with wood and on the tidal mudflat.

With success can be applied the application of sedimentological and bathymetrical data in the environmental management of the Guajará Bay. In such way, the conclusion is that abiotics and socioeconomics data, analyzed together to the ecological process of large scale, can to make specify diagnoses and to aid in the generation of plane of diminution and control of environmental damages.

Key words: Amazon, mud, mesotide, estuary.

## CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO

### 1.1 – SOBRE A GESTÃO AMBIENTAL

O estudo dos problemas ambientais torna claro que eles não podem ser entendidos ou tratados de forma isolada. Por serem problemas sistêmicos, estão interligados e são interdependentes. Dessa forma, para se realizar a gestão ambiental, a análise de vários fatores é imprescindível, uma vez que é necessário conhecer o ambiente.

Para se fazer a gestão ambiental é preciso se estabelecer um conjunto de medidas e procedimentos que ajudam a reduzir e controlar os impactos no meio ambiente. Tecnologias para suporte de estudos ambientais muitas vezes são utilizadas para soluções específicas, sendo incapazes de atender a quadros mais gerais. No entanto, as diversas áreas/ciências envolvidas na gestão ambiental devem ser complementares, e não competidoras entre si (Ramos et al., 2004).

Estudos na área de geologia costeira/marinha e oceanografia geológica fornecem dados que, dependendo do cruzamento com outras metodologias e tecnologias, ajudam no monitoramento de alterações dos recursos naturais, bem como na modelagem e na previsão de impactos no ambiente estudado. Nesse sentido, a caracterização física de ambientes costeiros amazônicos inundados semi-diurnamente pode contribuir na proposta de ocupação adequada das áreas marginais, por exemplo, minimizando os danos ao meio ambiente e orientando planejamentos futuros. É o caso da presente dissertação, que apresentará dados sobre a baía de Guajará, em Belém do Pará.

A obtenção das informações necessárias para a avaliação/gestão e monitoramento ambiental, por sua vez, terá mais confiabilidade quanto maior for o grau de conhecimento da área em questão. Dados batimétricos e sedimentológicos podem contribuir de forma específica para essas ações. Como o realizado por Mahon (1979), que elucidou a influência da circulação de água e do transporte de sedimentos na movimentação de carga e funcionamento do porto de Victoria, Austrália. O autor fez uso de dados geológicos, hidrodinâmicos, químicos e sobre a dinâmica dos sedimentos para identificar as potenciais problemáticas ambientais daquela região.

Já Eyre e McConchie (1993), com base em estudo sedimentológico, caracterizaram os sistemas fluviais das áreas North Queensland e Western Australia, na Austrália, comprovando que estes dados são fundamentais para entender a dispersão e aprisionamento de poluentes em sedimentos de rios. Até mesmo na definição de áreas com maior potencial de adsorver contaminantes, levando em conta o tamanho médio do grão.

Mendes et al. (2005b), Miranda (2006), Gregório et al. (2006a,b, 2007) e Gregório (2007) mostraram em seus trabalhos que a dinâmica batimétrica da baía de Guajará é considerável. E que estes dados podem ser aplicados diretamente na gestão do porto de Belém, evitando assim possíveis acidentes com as embarcações de grande calado.

Nascimento e Fenzl (1997) também contribuíram para a gestão ambiental da baía de Guajará através de estudos sobre as concentrações de metais pesados observadas nos sedimentos de fundo. Considerando a geração de mapas de índice de sensibilidade ambiental (ISA), Gonçalves (2005) e Gonçalves e Souza Filho et al. (2005) obtiveram êxito utilizando produtos híbridos (fusão de imagens Radarsat-1 e Landsat-7) no mapeamento dos ISA ao derrame de óleo e derivados de hidrocarbonetos também na baía.

A presente dissertação também visa contribuir para a gestão ambiental da baía de Guajará. Para tal, serão utilizados dados atualizados sobre a sedimentologia e dinâmica batimétrica da área em questão, analisados à luz dos processos ecológicos e das configurações naturais e típicas dos ambientes que compõe a Zona Costeira Amazônica.

## 1.2 – SOBRE OS DEPÓSITOS LAMOSOS

Os depósitos lamosos são observados em costas ao redor do mundo inteiro. Podem estar permanentemente fixos e submersos (Gregório et al., 2006 a, b; Draut et al., 2007, Lee et al., 2007), migrar ocasionalmente para mais próximo do continente (Calliari et al., 2006; Froidefond et al., 2004) ou ocorrerem na forma de costas inteiramente lamosas (Alisson et al., 2000; Mendes, 1994, 2006; Santos, 2006). Costas e depósitos lamosos podem ser encontrados em ambiente como o Alaska (Semi-

ártico), em zonas de clima temperado (Mar Noroeste Europeu) e em ambientes tropicais, como Brasil. Nas zonas tropicais e temperadas, ocorrem principalmente como planícies de maré lamosas, colonizadas por manguezais (Souza Filho, 2005; Mendes, 2005).

O papel desempenhado pelos ambientes lamosos na cadeia ecológica é imensurável: correspondem a zonas com alta produção biológica e “berçário” para muitas espécies. Em relação ao sistema físico, os depósitos de lama atuam como defesas naturais aos avanços do mar, atenuando os efeitos dos trens de onda que chegam à costa. Enquanto as ondas comumente erodem praias arenosas durante tempestades, eventos energéticos em costas formadas por sedimentos lamosos podem, sob certas circunstâncias, resultar em acreção e deposição de sedimentos (Wells e Roberts, 1981; Rine e Ginsburg, 1985).

Draut et al. (2007), após analisarem fotografias aéreas e imagens de satélite dos últimos 17 anos concomitantemente à execução de campanhas de campo com sobrevôos de helicóptero, observaram que há intensa acreção nas planícies de maré lamosas da costa da Lousiana (complexo deltáico do Mississipi, EUA), relacionada diretamente a eventos meteorológicos (frentes frias de inverno e, ocasionalmente, tempestades tropicais).

Na praia do Cassino (Rio Grande/RS) há registro da formação episódica de depósitos lamosos no setor de praia, como descreveram Calliari et al. (2006) e De Boer et al. (2006). Esses sedimentos lamosos são oriundos da descarga da laguna do Patos, cuja remoção é fruto da ação dos ventos de NE e das ressacas de SE. Reed et al. (2006) descrevem um extenso depósito lamoso à frente da praia do Cassino, entre as isóbatas de 6 e 25 metros, e sugerem que esses sedimentos finos também são transportados pelas ondas até a linha de costa, originando os depósitos de lama na praia.

Allison et al. (2000) e Allison e Lee (2004) e encontraram taxas máximas de migração da ordem de 1,4 km/ano para os bancos de lama observados na costa do Amapá-Guiana. Lee et. al. (2007) observaram os padrões progradacionais e/ou erosivos do estreito da Coreia (Coreia do Sul). Os autores relacionaram a topografia baixa da região, o grande aporte fluvial e a atuação das correntes de maré como os principais controladores da deposição de lamas Holocênicas e dispersão de sedimentos em suspensão na região, caracterizada por apresentar um litoral do tipo “rias”.

Deloffre et al., (2007) encontraram valores médios de taxa de sedimentação de 18 cm/ano nas planícies de maré lamosas observadas no estuário

Authie. Nas planícies lamosas do estuário Seine, essa taxa possui valor de 15 cm/ano. Ambos os estuários localizam-se no litoral noroeste da França e estão submetidos a um regime de macromarés semi-diurnas (variação de altura de marés acima de 8 m em ambos os estuários). Apesar da erosão causada pelas ondas, a taxa de sedimentação possui valor de 0,25 cm por ciclo semi-diurno da maré no estuário de Authie. No estuário de Seine, no entanto, as taxas são descontínuas e a deposição de sedimentos lamosos só ocorre em situações de maré de sizígia.

Segundo Gabioux et al. (2005), nas áreas da plataforma continental Amazônica onde há elevadas concentrações de sedimentos finos junto ao substrato ocorre uma redução da dissipação de energia, afetando diretamente a propagação da onda de maré. A costa norte do Brasil é formada quase em sua totalidade por depósitos lamosos, representados principalmente por planícies de maré lamosas vegetadas por manguezais (Souza Filho, 2000, 2005; Mendes, 1994, 2005; Gregório et al., 2006; Santos, 2006). A descarga de água doce e de sedimentos finos oriundos da bacia do rio Amazonas, aliada à Corrente Norte Brasileira e ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical regem os processos meteocanográficos da região. No entanto, os estudos sobre esses depósitos lamosos costeiros são incipientes e restritos às modificações geomorfológicas de curto e médio período.

### 1.3 – CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA, PROPAGAÇÃO DA MARÉ E SEDIMENTOS FINOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL AMAZÔNICA

A vazão somada dos rios Amazonas e Orinoco, respectivamente o primeiro e o terceiro maiores do mundo em volume de água, representa 19,5% da vazão de água doce da Terra (Degens et al., 1991). Acrescentando outros rios menores, esses dois rios trazem uma quantidade considerável de água doce e depositam toneladas de lama no Oceano Atlântico, em uma área relativamente pequena da costa nordeste da América do Sul. Esse fato, considerando os números, não ocorre em nenhuma outra parte do mundo. Do delta do Orinoco, na Venezuela, até Fortaleza, no Brasil, observa-se a lama proveniente destes rios recobrir o fundo da plataforma continental, além de a água do mar apresentar-se com salinidade reduzida e maior turbidez (Haeming, 2006).

Essas condições extremamente alteradas das águas costeiras impedem a sobrevivência de alguns organismos marinhos ou sua dispersão nessa área. Assim,

acredita-se que o enorme volume de água doce e silte depositado nessa região pelos grandes rios formem uma “barreira” no oceano, separando a biota marinha da costa amazônica da biota da costa da Venezuela. Os ecologistas dão a essa barreira o nome de **Barreira Amazônica**, uma vez que o Amazonas contribui com mais água doce e sedimentos que todos os outros rios da região (Haeming, 2006). A Barreira Amazônica, contudo, é muito mais que apenas um impedimento à dispersão. É também um mecanismo que aumenta e preserva a biodiversidade regional.

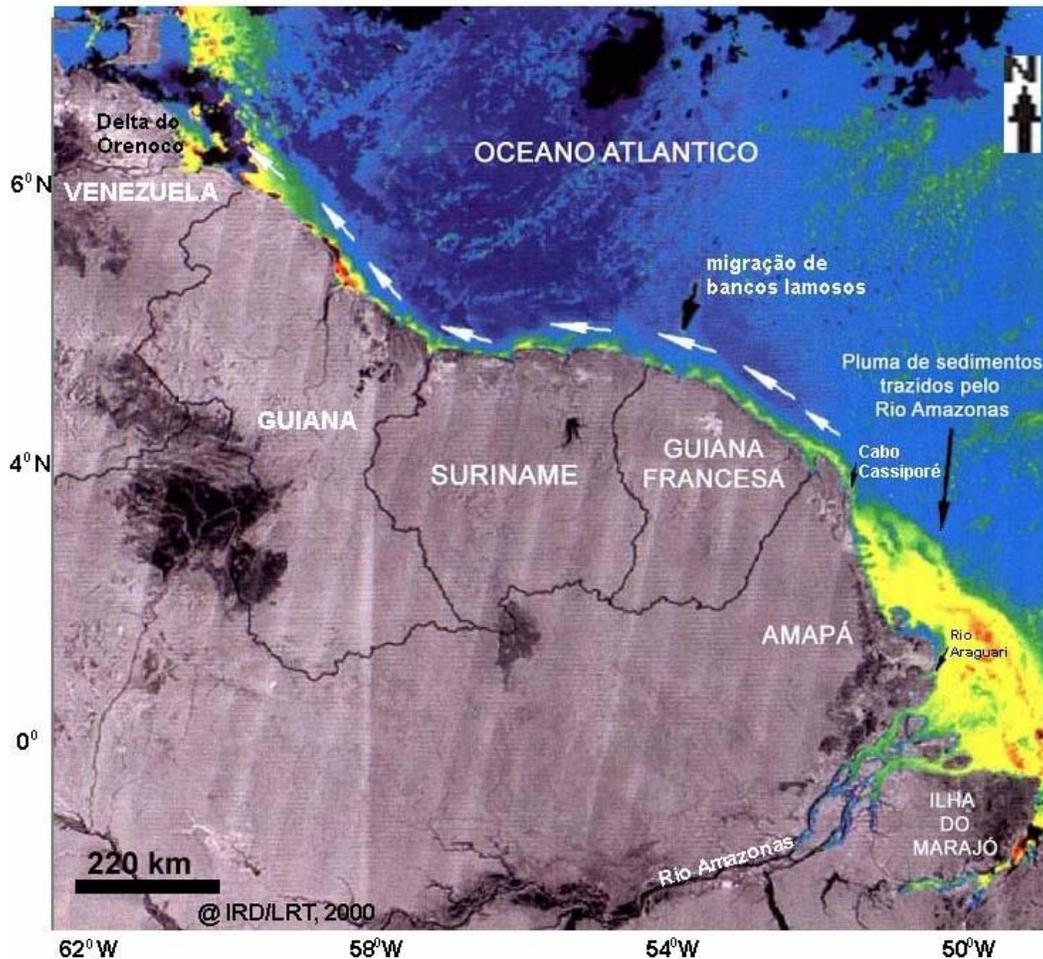
O rio Amazonas despeja no mar quatro vezes mais água doce que o Congo, o segundo maior rio do mundo, e mais de 14 vezes o volume de todo o sistema fluvial formado pelos rios Mississipi, Missouri e Ohio, na América do Norte (Degens et al., 1991). O Amazonas possui mais de 1.000 tributários, sendo sete deles com mais de 1.600 quilômetros de extensão. Considerando, ainda, as bacias hidrográficas dos rios Araguaia-Tocantins, as bacias costeiras do Norte do Brasil e as bacias costeiras do Nordeste Ocidental do Brasil, a área total drenada da bacia Amazônica chega a 8.127.000 km<sup>2</sup> (Souza Filho et al., 2005). Ou seja, a Zona Costeira Amazônica (ZCA) é o destino final de milhões de toneladas de sedimentos, nutrientes e metros cúbicos de água oriundos de uma área equivalente à Austrália (Souza Filho et al., 2005).

Diariamente, o total de sedimentos finos lançados à foz do rio Amazonas fica entre 3 a 3,5 milhões de toneladas métricas (Meade et al., 1985). Isso representa de 1,1 a 1,3 bilhões de toneladas métricas de sedimentos por ano. A maior parte dos sedimentos é depositada na plataforma continental. No entanto, cerca de 20% é levado para oeste pela Corrente das Guianas e pela Corrente Norte Brasileira, distribuindo sedimentos finos ao longo da costa nordeste da América do Sul (Eisma et al., 1991; Froidefond, 2004; Mendes, 1994, 2006).

A enorme descarga fluvial do rio Amazonas gera uma pluma de baixa salinidade e alta turbidez, que se estende por vários quilômetros, no sentido noroeste da plataforma (FIG. 1.1). Lentz e Limeburner (1995) atribuem valores de 3 a 10 m para a espessura, e de 80 a 200 km para a largura dessa pluma. Uma frente salina (encontro da água doce com a água salgada) é formada a aproximadamente 150 km da foz e se estende por outros 400 km ao longo da plataforma, entre as isóbatas de 10 e 20 m.

Devido à grande vazão fluvial (tanto do rio Amazonas quanto dos rios Pará, Acará, Guamá, entre outros), não há ingresso de água do mar na foz do Amazonas, além de ocorrer uma forte diminuição da salinidade na baía de Marajó (foz do rio Pará) e porções mais interiores, como na baía de Guajará (foz dos rios Acará e Guamá). Como

conseqüência disso, observa-se a formação de cunha salina, gradientes horizontais de salinidade e circulação baroclínica sobre a plataforma e zona costeira adjacente à foz dos rios Amazonas e Pará.



**Figura 1.1.** Sistema de dispersão e deslocamento da pluma de sedimentos oriundos do rio Amazonas. Mosaico de imagens de radar do satélite JERS-1 (1995) e do NOAA (NOV/1999). (Fonte: Santos, 2006).

Um fato parecido foi observado por Ayup-Zouain (1986), que equacionou e caracterizou os efeitos da maré dinâmica e salina no estuário do rio de la Plata (Argentina/Uruguai). Apesar de o estuário obedecer a um regime de micro-maré, a salinidade sofre severa influência dos eventos El-niño e La-niña. Durante o primeiro, a maré salina adentra o estuário. Quando da ocorrência de La-niña, no entanto, a salinidade é muito baixa, com valores próximos de 1 psu na região do Atlântico Sul próxima à desembocadura do arroio Chuí.

Já Geyer e Kineke (1995) relacionam a localização e variações da frente salina do rio Amazonas ao ciclo quinzenal (sizíguas e quadraturas) da maré e a variação sazonal da vazão fluvial. A circulação sobre a plataforma tem sido caracterizada como típica de estuários de cunha salina nas marés de quadraturas e típica de estuários bem misturados nas marés de sizíguas (Geyer, 1995). Não obstante, a vazão sólida (sedimentos em suspensão) e líquida origina uma importante fonte de variação de densidade, estratificando a coluna de água e reduzindo o efeito de mistura vertical em grande parte da plataforma (Geyer e Beardsley, 1995).

No Oceano Atlântico Equatorial Norte, a Corrente Norte do Brasil (CNB) é a principal corrente de contorno. É sabido que a CNB apresenta variação sazonal, com pico máximo no inverno austral e mínimo no outono (Fontes, 2000).

Outro fator importante da circulação hidrodinâmica na plataforma Amazônica são os efeitos decorrentes da ação dos ventos alíseos. Esses ventos possuem variação sazonal relacionada diretamente ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Entre março e abril, a ZCIT localiza-se próxima ao Equador, gerando ventos de nordeste. A migração da ZCIT para  $\sim 5^\circ$  N, de agosto a setembro, gera ventos de sudeste (Fontes, 2000). Nesse último caso, segundo Lentz e Limeburner (1995), há um bloqueio do transporte da pluma do Amazonas no sentido noroeste. Ocorre, então, um aumento na sua largura na área adjacente à desembocadura do rio, sendo o volume acumulado liberado quando o sentido dos ventos se reverte.

Densas camadas de lama em suspensão próximas ao fundo (com concentrações da ordem de 10 a 100 g/l e espessura média de 2 m) foram observadas durante o projeto AmasSeds, na plataforma Amazônica. A presença dessas camadas incrementa a viscosidade e densidade do fluido próximo ao leito, reduz a tensão de atrito no fundo ( $\tau^B$ ) e afeta a estrutura vertical do escoamento e a propagação da maré (Gabioux et al., 2005).

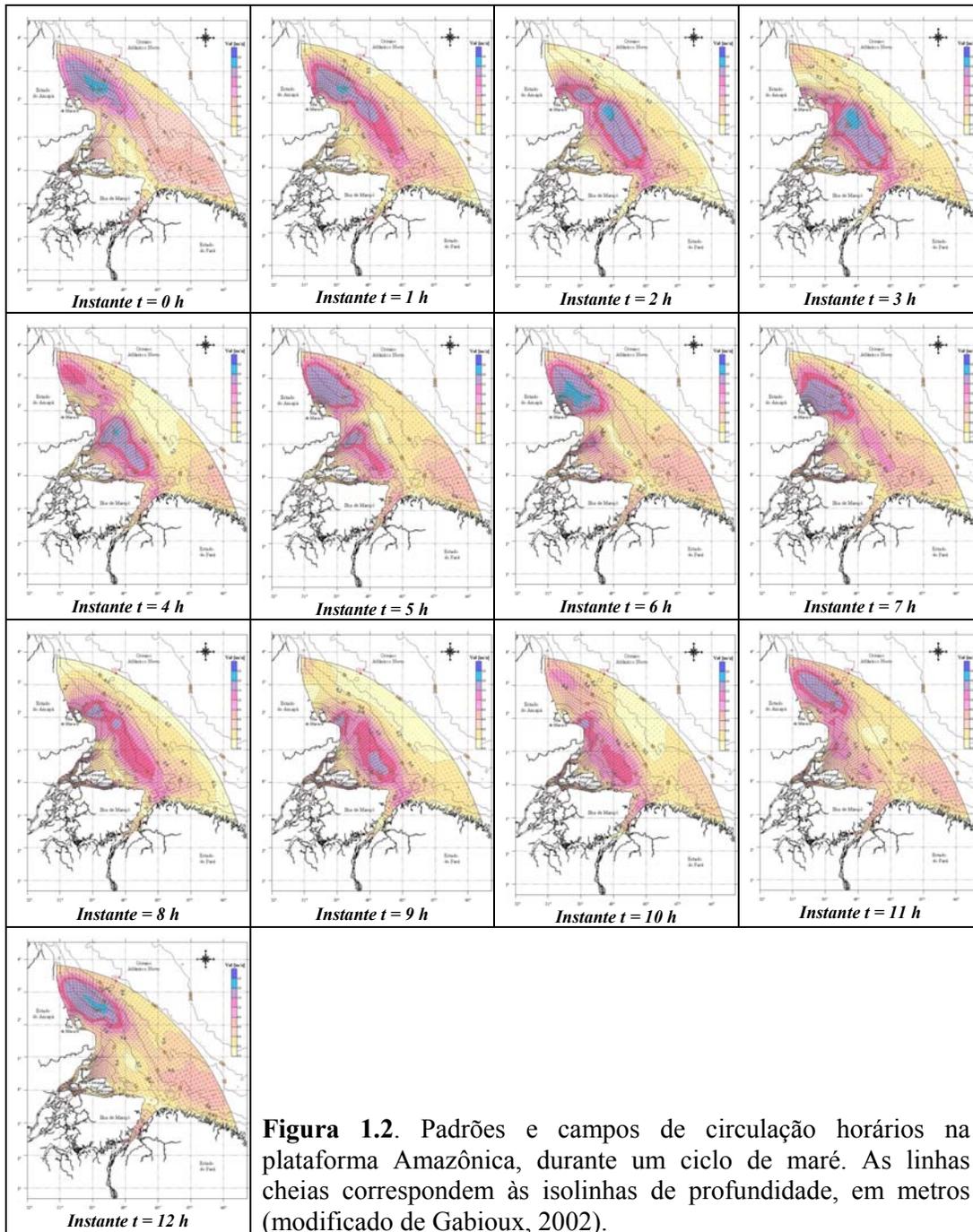
As características do escoamento na foz do rio Amazonas correspondem às de um estuário de macro-maré. Nos locais com camadas de lama em suspensão próximas ao fundo, o escoamento é viscoso numa camada aproximadamente 1 m acima do leito (Vinzon e Mehta, 2001). Devido aos fortes gradientes presentes no perfil vertical de concentração de sedimentos finos (lutoclinas) e às elevadas concentrações de sedimento em suspensão, o escoamento nos primeiros metros acima do leito é predominantemente viscoso, determinando um amortecimento da turbulência e uma diminuição da tensão de atrito no fundo.

Gabioux et al. (2005) verificaram, através de modelagem numérica, que as características gerais da propagação da onda de maré e o padrão de correntes associados na plataforma continental Amazônica podem ser reproduzidos, comparando-se favoravelmente às observações descritas por Beardsley et al. (1995). As simulações numéricas reproduziram como predominantemente estacionário o comportamento da onda de maré a noroeste da desembocadura do rio Amazonas, entre o cabo Norte e o cabo Cassiporé, e como predominantemente progressivo na região central, em frente à desembocadura e adjacências (FIG. 1.2).

Considerando os efeitos da concentração de sedimentos finos (no fundo e em suspensão, com altas concentrações próximas ao leito) sobre a propagação da maré na região, Gabioux et al. (2005) observaram a partir da análise das tensões de atrito de fundo que, quando não incluídos sobre os cálculos, os resultados das amplitudes de maré são muito menores do que as observadas.

De forma semelhante, a consideração da presença de lama consolidada, empregando-se a parametrização clássica de fluxo turbulento para o cálculo da tensão de atrito no fundo e utilizando-se os valores mais baixos de coeficientes de fricção recomendados pela bibliografia, ainda é subestimado as amplitudes da maré observadas (Gabioux et al., 2005). Desta forma, podemos estabelecer, através dos resultados observados pelos autores mencionados, que, nas regiões da plataforma continental Amazônica onde existem sedimentos em suspensão em altas concentrações próximas ao fundo, ocorre uma redução da dissipação de energia, o que afeta significativamente a propagação da onda de maré.

Em ambientes estuarinos com elevadas concentrações de sedimentos finos em suspensão diversos fatores governam a estrutura vertical das suspensões de sedimento coesivo, p.ex. os efeitos da mistura hidrodinâmica originada principalmente pela ação da maré, a velocidade de sedimentação e as propriedades físicas e químicas do fluido e do sedimento. A formação de lutoclinas e de camadas de lama fluida são características destes ambientes (Vinzon e Mehta, 2001; Gabioux et al., 2005). Ross e Mehta (1989) apresentam maiores detalhamentos sobre o perfil vertical de concentrações do sedimento em suspensão.



Geralmente há um amplo intervalo de valores (4 a 5 ordens de magnitude) entre a superfície da água e o leito coesivo e fortes gradientes nas proximidades do fundo, dividindo o escoamento em camadas, sendo a parte superior turbulenta e a inferior predominantemente viscosa, como mostrado por Ross e Mehta (1989).

Diversos autores descrevem as características estuarinas da plataforma Amazônica (Gibbs, 1973; Faas, 1985; Kineke e Sternberg, 1995; Gabioux, 2002, Gabioux et al., 2005). Os autores citam a elevada concentração de sedimentos na foz do rio Amazonas, registrando a presença de uma zona de turbidez máxima e a existência de camadas de lama. A presença desses sedimentos lamosos se deve à elevada carga em suspensão transportada pelo rio Amazonas (Meade et al., 1985) e aos diferentes mecanismos de acumulação destes sedimentos que ocorrem na região da plataforma continental Amazônica.

Kineke et al. (1996) relacionam a formação das camadas de lama na plataforma Amazônica à circulação baroclínica própria do encontro das águas fluviais e marinhas e aos mecanismos de captura de sedimentos nas proximidades da cunha salina. Nessa região, a formação de estratificação salina, em períodos de maré de quadratura ou mistura vertical reduzida, favoreceria a deposição de sedimento na zona frontal e a convergência das correntes nas proximidades do fundo forneceria e capturaria os sedimentos na frente salina.

No entanto, Vinzon e Paiva (2002) apresentam uma hipótese que leva em consideração não apenas a circulação residual apresentada por Kineke et al. (1996), mas também outros processos relevantes durante as marés de sizíguas. No caso, os autores citam os mecanismos associados ao comportamento reológico das suspensões de sedimento (que varia em função da concentração de sedimento em suspensão). O conceito anterior baseia-se na mudança do comportamento reológico das suspensões de sedimento que atuam como fluido pseudoplásticos para baixas concentrações de sedimento e como material dilatante, quando a concentração de sedimentos é alta, ou seja, para concentrações maiores a 300 g/l, a viscosidade do material é diretamente proporcional à taxa de cisalhamento (Faas, 1985).

Na publicação de Gibbs (1973), são apresentados mapas de distribuição dos percentuais de sedimentos fino e grosso em parte da plataforma norte da América do Sul, fruto de análises granulométricas em amostras coletadas desde a desembocadura do rio Amazonas até Venezuela. A maioria das amostras da parte interna da plataforma brasileira caracteriza-se por apresentar percentuais de sedimentos finos (silte e argila) superiores a 60%, ao contrário das amostras coletadas na parte externa, onde os sedimentos finos constituem menos de 10%, complementado por mais de 80% de material grosseiro.

Nittrouer et al. (1983) apresentam três tipos de depósitos sedimentares na plataforma Amazônica: i) os depósitos da plataforma externa, com 90% de areias finas, ii) as lamas da plataforma interna com lamas, com 95% de silte e argila e iii) um corredor estendendo-se na frente da desembocadura do rio Amazonas com lamas e areias interlamadas. Para Kuehl et al. (1982), a deposição e acumulação de sedimentos finos em suspensão transportados pelo rio Amazonas ocorre em um delta subaquático sobre a plataforma interna.

Kineke e Sternberg (1995), baseados nas medições realizadas durante o projeto AmasSeds, atribuem valores de médios entre 2 a 4 m para a espessura das camadas de lama fluida, sendo que essa mesma espessura apresenta um valor máximo de 7,25 m. Ainda segundo os autores, essa camada de lama fluida sempre apresenta-se na região compreendida entre a linha de costa e a isóbata de 40 m ao sul de 4° N. A área coberta possui cerca de  $5,75 \times 10^3 \text{ km}^2$  durante vazante e pico da vazante e aproximadamente  $10 \times 10^3 \text{ km}^2$  nos outros casos. Não se observaram lamas em suspensão durante as amostragens do projeto AmasSeds na porção em frente ao cabo Norte (Kineke e Sternberg, 1995).

Kineke et al. (1996) supõem que a região costeira e as áreas rasas do cabo Norte são áreas de grande mistura, onde o sedimento é constantemente misturado na coluna d'água, impedindo a formação de lutoclinas. Isto pode determinar uma descontinuidade das camadas, separando-as em duas diferentes regiões.

Toda a quantidade de sedimentos é responsável pela extensa e rasa plataforma continental interna a noroeste da foz do rio Amazonas. Os sedimentos trazidos em suspensão (silte e argila), depois de depositados, formam, então, um delta subaquático que se estende até a isóbata de 60 m (Figueiredo et al., 1990; Kuehl, 1982). Kuehl et al. (1996) descrevem uma zona de profundidades baixas (menores que 5 m), composta por depósitos de areia e que se estende por 100 km, desde o Cabo Norte e em direção ao Oceano Atlântico. Acredita-se que essa área seja um obstáculo para a circulação ao longo da costa, separando o escoamento da desembocadura do escoamento na zona oeste da plataforma (Beardsley et al., 1995).

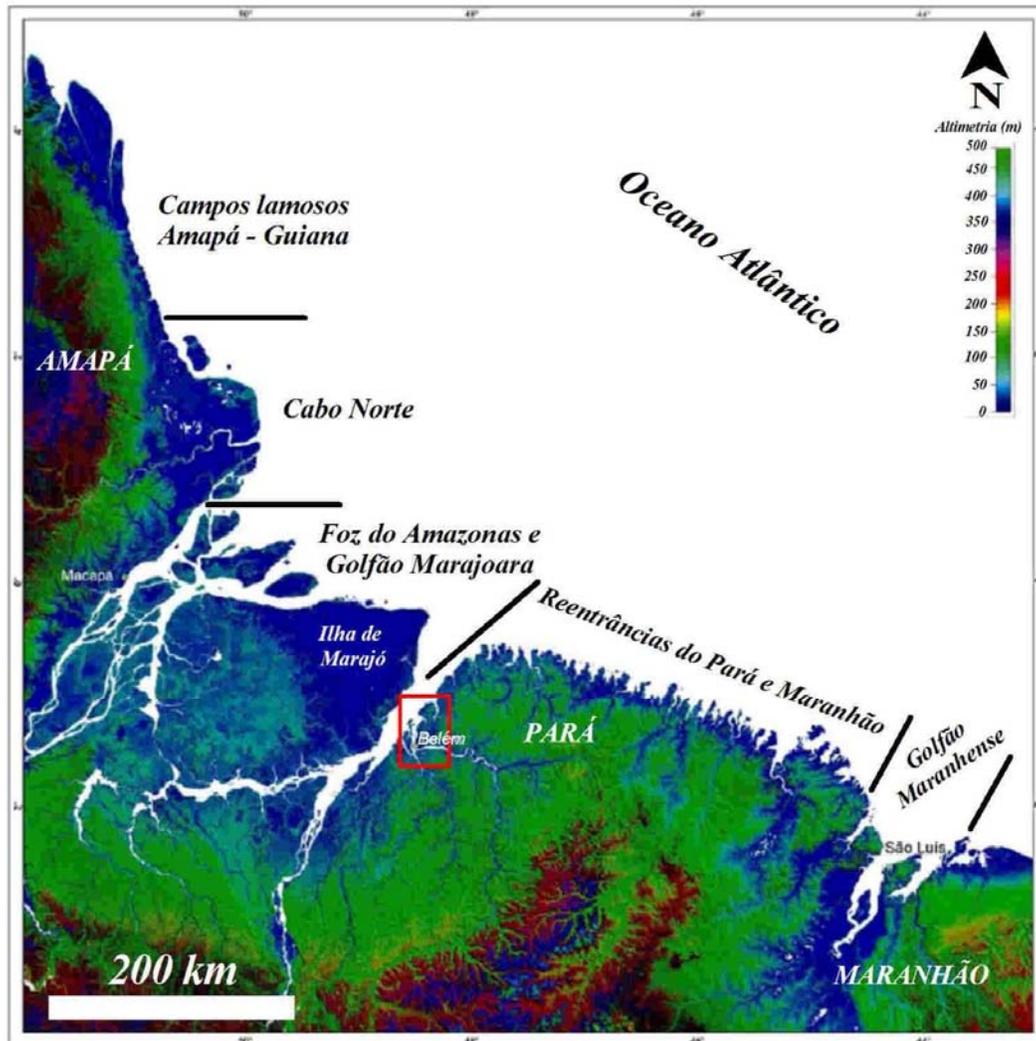
A largura da plataforma continental do Amazonas é variável. Sua extensão mínima é de cerca de 100 km, na porção próxima ao Cabo Cassiporé. A sudeste, na foz do rio Pará, a largura mínima é de 150 km. A largura máxima da plataforma pode chegar a 250 km, na região da desembocadura do rio Amazonas. Como citado anteriormente, a plataforma externa é coberta por areias (Nittrouer et al., 1983).

Figueiredo et al (1990) descreve essas areias como relíquias, ou seja, que se depositaram em um nível do mar inferior ao atual. Não se conhece a fonte desses sedimentos arenosos.

#### 1.4. GEOMORFOLOGIA DA ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA

Considerando a linha de costa, também se observam características bastante peculiares no litoral norte brasileiro. A lama proveniente do rio Amazonas e demais cursos fluviais não apenas recobre a plataforma continental, mas formam depósitos e ambientes deposicionais continentais costeiros. A faixa continental costeira da Amazônia brasileira abrange as costas dos estados do Pará, Amapá e Maranhão. Medida em linha reta, em um mapa 1:2.500.000, a Zona Costeira Amazônica (ZCA) possui 2.250 km de extensão (FIG. 1.3), desde a Ponta do Tubarão, no Maranhão, até o Cabo Orange, no Amapá. A ZCA pode ser subdivida em cinco setores (Souza Filho et al., 2005): os Campos lamosos do Amapá – Guiana; o Cabo Norte; a foz do Amazonas e Golfão Marajoara; as Reentrâncias do Pará e Maranhão; e o Golfão Maranhense.

Ao longo desses mais de dois mil quilômetros, depósitos lamosos são sempre observados. Na porção oriental (***Reentrâncias do Pará e Maranhão***), observam-se dezenas de estuários, planícies de maré arenosas (praias de macromaré) e a maior faixa contínua de manguezais do mundo (Souza Filho, 2005), considerando nessa contagem os manguezais observados nos ***Campos lamosos do Amapá – Guiana*** e no ***Cabo Norte***. Segundo Mendes (2005), o Brasil é o segundo país em área total de manguezais (13.400 km<sup>2</sup>), ficando atrás apenas da Indonésia, que conta com 42.550 km<sup>2</sup>. Considerando a atividade relativamente alta das ondas e das marés na costa Norte (as variações diárias podem alcançar até 8 metros), a existência de uma faixa contínua de sedimentos inconsolidados (clásticos arenosos e/ou lamosos) só vem confirmar as características singulares da ZCA. A descarga considerável dos rios das ***Reentrâncias do Pará e do Maranhão***, aliadas a forte influência da descarga do rio Amazonas, permite que depósitos de sedimentos inconsolidados se formem ao longo deste setor da ZCA e a colonização de manguezais na faixa litorânea e no interior do continente (Allison e Lee, 2004).



**Figura 1.3.** Compartimentação geomorfológica da Zona Costeira Amazônica. Modelo digital de elevação (SRTM - Shuttle Radar Topography Mission) modificado de Gonçalves (2005). O quadro vermelho destaca a localização da baía de Guajará e foz do rio Guamá, área de estudo do presente trabalho.

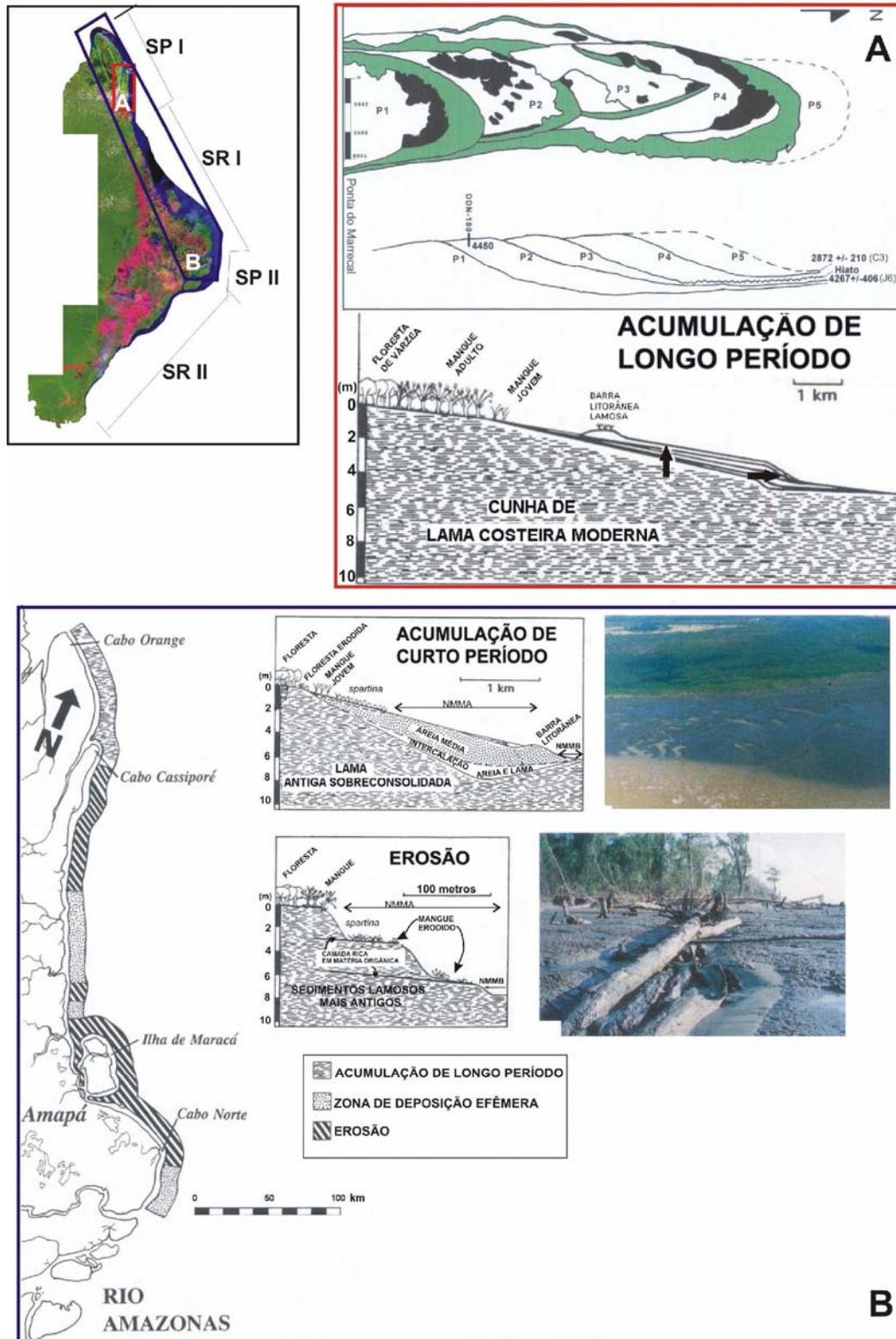
De um modo geral a planície costeira do Amapá, onde se inserem os *Campos lamosos do Amapá – Guiana* e o *Cabo Norte*, é constituída por uma zona de terras alagáveis que ocupam uma área de aproximadamente 18.800 km<sup>2</sup> (Santos, 2006). Encontra-se bordejada por sedimentos da bacia da Foz do Amazonas e pelos sedimentos da Formação Barreiras e Alter do Chão que constituem o Planalto Costeiro. No entanto, na porção norte há contato direto com o embasamento cristalino. Os sistemas de lagos, no Cabo Norte, encontram-se em uma das áreas mais largas da planície costeira amazônica, com aproximadamente 100 km (Silveira, 1998). Nessa mesma região observam-se feições de sistemas deltáicos com enormes cicatrizes perceptíveis em qualquer imagem de satélite (Santos, 2006).

A planície costeira do Amapá já foi estudada por um número razoável de pesquisadores (Mendes, 1994, 2006; Santos, 2006; Silveira, 1998; Silveira e Santos, 2003, entre outros). Os depósitos lamosos são representados por manguezais e extensas planícies de maré lamosas (*mudflat*). Na área compreendida entre o Cabo Norte e a foz do rio Cunaní, se observam extensas dessas planícies seguidas de uma franja de manguezais. Os processos erosivos são bastante intensos nessa região.

Silveira e Santos (2003), considerando os processos diferenciados e a história geológica, observaram que a costa amapaense apresenta, ao mesmo tempo, segmentos acrescionais e erosionais, que se intercalam e dividem a linha de costa atual em quatro porções (FIG. 1.4). As autoras, no entanto, restringem essa classificação ao caráter deposicional ou erosional, uma vez que não existem estudos concretos sobre a variação do nível do mar na costa do Amapá.

A região central da ZCA (a *Foz do rio Amazonas*, a oeste, e o *Golfão Marajoara*, a leste) corresponde a um setor de influência máxima da descarga fluvial do rio Amazonas, principalmente o setor oeste. A foz do rio Amazonas já foi amplamente descrita anteriormente. A margem oriental da ilha de Marajó, adjacente à baía de Marajó (FIG. 1.5), é dominada por um regime de meso e macro-marés, onde as variações máximas podem alcançar 3,6 m em Mosqueiro e 4,7 m, na ilha dos Guarás (França e Souza Filho, 2003; França et al., 2007).

França e Souza Filho (2003), com base na compartimentação morfológica, distinguem dois tipos de costas na zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra, margem oriental da ilha de Marajó. A costa alta de Salvaterra é constituída por sedimentos terciários, que formam o planalto costeiro, e por sedimentos do Quaternário. Observam-se falésias de até 6 m de altura e praias de areias médias a grossas com largura variando entre 33 e 85,7 m. Paleovales (de 200 a 1.500 m de largura) seccionam o planalto costeiro, dentro dos quais se desenvolvem manguezais, nos trechos de influência das marés. As planícies de supramaré com vegetação campestre se desenvolvem nos trechos onde o regime é controlado pela pluviosidade e as marés só alcançam durante as sizígias. A linha de costa é demarcada pela base das falésias e pelos limites externos dos manguezais e dos campos, em contato com os cordões praias.



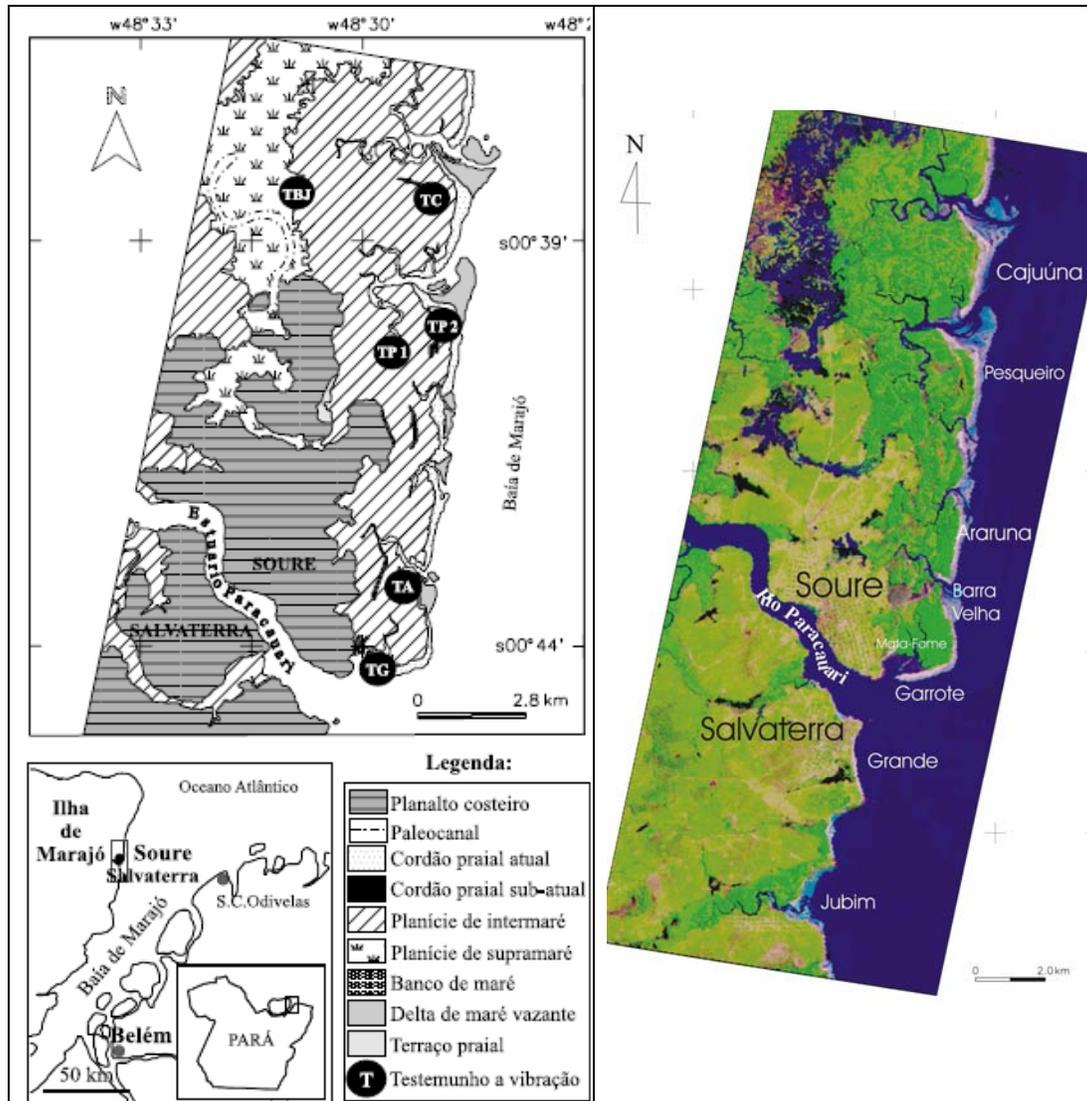
**Figura 1.4.** Compartimentação da costa amapaense sugerida por Silveira e Santos (2003). A) Segmento Progradacional I com detalhe para a acresção no cabo Cassiporé. B) Segmento Retrogradacional I mostrando as zonas de acumulação de curto período. (Fonte: Santos, 2006).

A costa baixa de Soure caracteriza-se pela sua extensa planície costeira em posição longitudinal, com larguras que variam entre 1.500 a 4.400 m, formada por sedimentos quaternários lamosos e arenosos, de origem flúvio-marinha (França e Souza Filho, 2003). Os manguezais se alargam para norte. As praias são mais largas (116,6 a 423,4 m), de gradientes mais suaves e constituídas por areias finas bem selecionadas. A linha de costa é representada pelos limites dos manguezais com os cordões praias (França e Souza Filho, 2003).

Na zona costeira de Soure e Salvaterra, identificam-se duas grandes unidades morfológicas (FIG. 1.5): i) o Planalto Costeiro é coberto por vegetação de matas secundárias e capoeiras e é o local onde se instalou o sítio urbano de Soure e Salvaterra; ii) a Planície Costeira, no entanto, se subdivide em: terraços arenosos, planície lamosa de supramaré coberta por campos inundáveis, planície lamosa de maré vegetada por manguezais, cordões arenosos antigos, cordões arenosos de dunas e praias atuais, canais de maré e deltas de maré vazante (França e Souza Filho, 2003).

França et al. (2007), baseados em dados estratigráficos e descrições de campo, distinguiram cinco associações de *facies* estratigráficas na planície costeira de Soure: *facies* de planície de maré, *facies* de manguezal, *facies* de barra de canal de maré, *facies* de praia e *facies* de duna. A estratigrafia holocênica, da planície costeira de Soure, é representada pelas sucessões progradacional e retrogradacional, tendo sido depositada a sucessão estratigráfica em condições de mar regressivo. Observam-se, nessa sucessão, reflexos de processos controlados pela variação de velocidade das correntes de maré, resultando em depósitos de planície de maré e manguezal.

Na costa sul de Soure, o desenvolvimento da praia-flecha barreira do Garrote fechou uma antiga enseada e proporcionou a formação de um sistema lagunar, onde predominou a sedimentação lamosa e a progradação de manguezais. Na costa oriental do mesmo município, nas zonas de contato entre os manguezais e os sistemas praias, há intensa ação das ondas e correntes de maré da baía de Marajó. Observa-se nesse trecho a migração dos depósitos arenosos praias e/ou de dunas sobre os depósitos lamosos de manguezais, recuo da linha de costa; morte e queda da franja de mangues; formação de terraços lamosos; e deslocamento das principais desembocaduras para norte ou para sul (França e Souza Filho, 2003).



**Figura 1.5.** Geomorfologia da zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra, margem oriental da ilha de Marajó (modificado de França e Souza Filho, 2003; e França et al., 2007).

O setor das *Reentrâncias do Pará e Maranhão* (nordeste do Pará e extremo noroeste do Maranhão) corresponde à porção da ZCA com maior número de ambientes deposicionais. Os sistemas dominantes são os estuários. No entanto, associados a estes sistemas estuarinos, observam-se depósitos de praias, dunas, deltas de maré, *cheniers*, planícies de maré lamosas, planícies de cristas praias e pântanos salinos (Souza Filho, 1995; Souza Filho e El-Robrini, 2000; Silva, 1996; Santos, 1996; Alves, 2001; Gregório et al., 2007).

A região das *Reentrâncias*, com aproximadamente 300 km de extensão, está subdividida em dois setores (FIG. 1.6 A) (Franzinelli, 1992). O Setor 1 limita-se a

oeste pela baía do Marajó, sendo a baía de Pirabas seu limite leste. Esse setor caracteriza-se por apresentar uma planície costeira relativamente curta e falésias ativas do Grupo Barreiras (Franzini, 1992; Silva, 1996). Essas falésias são a borda do planalto costeiro e estão na linha de costa expostas à ação erosiva das marés e das ondas. Dezenas de estuários de macromarés semi-diurnas cortam esses planaltos, e avançam, em média, 70 km continente a dentro. Associados a estes estuários, observam-se planícies de maré lamosas, colonizadas por densas florestas de manguezais (Souza Filho, 2005) e planícies de maré arenosas, formando praias de macromaré.

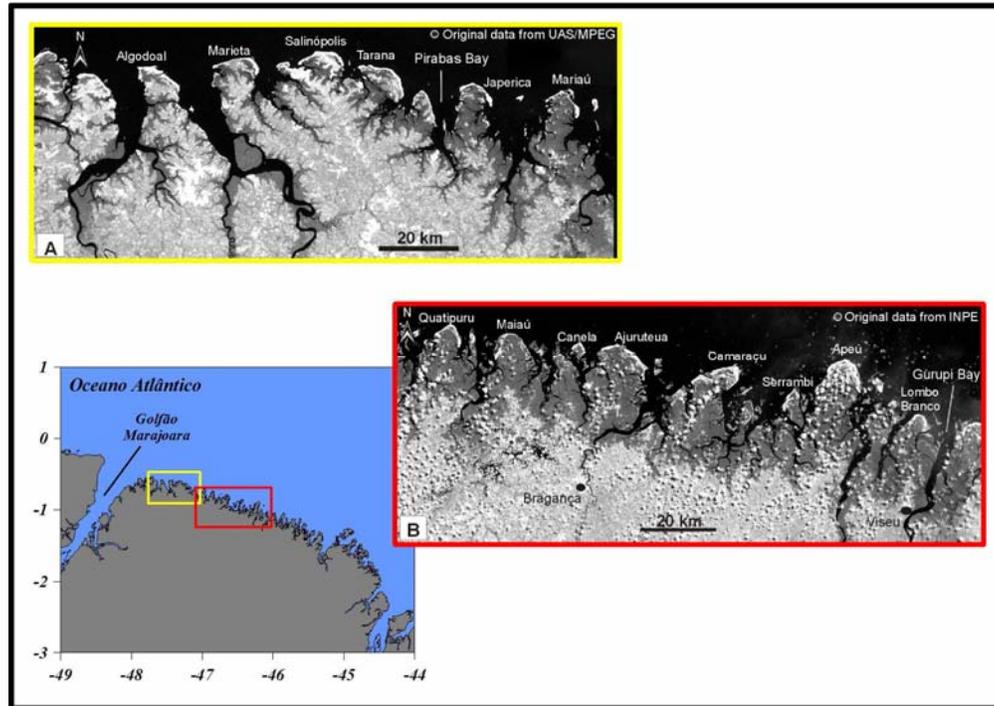
No Setor 2 (FIG. 1.6 B), no entanto, a planície costeira alarga-se, apresentando valores médios de 30 km. Falésias inativas são observadas e estão em contato direto com as planícies de maré lamosas, constituindo o limite interno dos depósitos prográdantes de idade Quaternária. Os estuários também estão influenciados por macromarés semi-diurnas (~6 m) e avançam cerca de 100 km em direção ao continente (Souza Filho e El-Robrini, 2000).

A plataforma do Pará, que se estende da baía do Marajó até a baía de Pirabas, apresenta altos valores gravimétricos, constituindo uma facilmente identificável anomalia de Bouguer e justificando a curta extensão da planície costeira. A Bacia Costeira de Bragança-Viseu, porém, apresenta valores gravimétricos baixos. Essa Bacia se estende da baía de Pirabas até a baía do rio Gurupi na direção noroeste-sudeste e da linha de costa até a zona de fratura continental (Horst de Gurupi) (Souza Filho, 2000).

A compartimentação é facilmente notada em imagens TM (FIG. 1.6). Os ambientes deposicionais (predominantemente manguezais) alargam-se consideravelmente a partir da baía de Pirabas, no sentido leste. O planalto costeiro recua para sul, a faixa costeira é mais larga e, conseqüentemente, a topografia mais baixa, o que torna máxima e potencializa a influência das macromarés semi-diurnas (Souza Filho, 2000).

Segundo Souza Filho (2000), as variações do nível do mar não são as únicas responsáveis pelas modificações e diferenciações entre os setores 1 e 2 da costa nordeste do Pará. No setor 1, sob influência da plataforma do Pará, o relevo é mais alto e depósitos terciários podem ser observados na linha de costa formando falésias ativas. Baseado em dados gravimétricos, esse setor apresenta-se em estabilidade ou emersão. Sob influência da Bacia de Bragança-Viseu localiza-se o Setor 2. O relevo apresenta-se mais baixo e ao longo da linha de costa se observam depósitos do Quaternário. Os dados gravimétricos indicam que esse setor está em processo de submersão e a fonte de

sedimentos é muito mais importante na modificação da faixa costeira deste setor do que a faixa costeira do Setor 1.



**Figura 1.6.** Banda 5 de uma imagem TM-Landsat mostrando a geomorfologia da costa nordeste do Pará. A) Setor 1, onde se observam falésias ativas e uma planície costeira mais estreita. B) Setor 2, onde se observam os planaltos costeiros mais recuados, formando falésias inativas. Em direção ao mar, observam-se depósitos do Quaternário, representados principalmente por planícies de maré lamosas vegetadas por florestas de manguezal. Modificado de Souza Filho (2000).

Souza Filho (2000) destaca, ainda, que a transição entre esses setores é abrupta e facilmente reconhecida nas imagens de satélite. De tal modo, o autor conclui que não se aplica para a costa nordeste do Pará a hipótese descrita para outros setores do litoral brasileiro (Suguio e Martin, 1976<sup>5</sup>; Driscoll e Karner, 1994<sup>6</sup>; Bittencourt et al., 1999<sup>7</sup> *apud* Souza Filho, 2000), de que as diferenciações entre compartimentos os

<sup>5</sup> SUGUIO K. e MARTIN L. Brazilian coastline Quaternary formations - The states of São Paulo and Bahia littoral zone evolution schemes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48 (suplemento), p. 325-334. 1976.

<sup>6</sup> DRISCOLL, N. W. e KARNER, G. D. Flexural deformation due to Amazon fan loading: a feedback mechanism affecting sediment delivery to margins. *Geology*, 22, p. 1015-1018. 1994.

<sup>7</sup> BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L. e USSAMI, N. Flexure as a tectonic control on the large scale geomorphic characteristics of the eastern Brazil coastal zone. *Journal of Coastal Research*, 15, p. 505-519. 1999.

geomorfológicos costeiros têm como causa principal os mecanismos flexurais continentais.

O litoral brasileiro já foi amplamente estudado, até mesmo na Costa Norte, do ponto de vista qualitativo. Considerando ambientes deposicionais compostos por sedimentos finos, os estudos são mais sobre os aspectos biológicos, principalmente. Secundariamente, se observam trabalhos que versam sobre as características químicas e físicas/hidrodinâmicas. Um número razoável de trabalhos sobre geomorfologia e sedimentologia também são vistos. No entanto, a pesquisa ainda é incipiente.

O trabalho de Souza Filho et al. (2005) deixa claro o real quadro da pesquisa científica na costa amazônica. A publicação corresponde a um levantamento bibliográfico dos trabalhos já realizados na ZCA, separados em grupos temáticos: Abiótico, Biótico, Socioeconomia, Arqueologia, Doenças Tropicais e Modelagem e Sensoriamento Remoto. Foram cadastradas em um banco de dados 3.014 referências. Desse total, 65% correspondem à “literatura cinza”, ou seja, publicações e documentos não convencionais e semipublicados, que foram produzidos no âmbito governamental, acadêmico, comercial e industrial. Por conseguinte, tais trabalhos possuem divulgação e acesso restritos. São consideradas publicações de “literatura cinza” Anais de Congressos, Relatórios, Teses e dissertações, Trabalhos e Monografias de Conclusão de Curso.

O Grupo Abiótico, citado no parágrafo anterior, abrange as áreas de conhecimento do meio-físico: geologia, geoquímica, geofísica, meteorologia e oceanografia. Foram contabilizadas 938 publicações, entre “Literatura Cinza” e “Literatura Branca” (livros e periódicos), ou seja, 33% do total de trabalhos cadastrados já realizados na ZCA (Souza Filho et al., 2005).

## 1.5 – OBJETIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O objetivo principal do presente trabalho é contribuir com a gestão ambiental da baía de Guajará e foz do rio Guamá através da análise de dados obtidos em levantamento sedimentológico e batimétrico. Secundariamente, pretende-se identificar os potenciais riscos de acidentes ambientais na área monitorada, além de descrever e caracterizar a morfologia e a textura sedimentar atual do substrato da área de estudo.

Espera-se, ainda, identificar os pontos críticos e de maior ou menor risco ambiental, baseados no uso e ocupação das áreas marginais.

A dissertação está dividida em sete capítulos. No Capítulo 01 são mostradas informações breves sobre gestão ambiental e sobre os depósitos lamosos. Também há uma síntese sobre os estudos dos sedimentos finos provenientes do rio Amazonas. Informações relevantes sobre as características geomorfológicas da Zona Costeira Amazônica também são mostradas neste capítulo.

Por sua vez, o segundo capítulo apresenta a área de estudo: a baía de Guajará e a foz do rio Guamá. São mostradas suas características principais e a justificativa da escolha deste ambiente para o presente estudo, entre outras informações. O capítulo 03 mostra os métodos e materiais empregados para a realização do presente trabalho.

Nos capítulos 04 e 05 mostram-se os resultados obtidos nos trabalhos de campo. O Capítulo 04 versa sobre a evolução geomorfológica e sobre a caracterização textural do substrato. Mais adiante, no Capítulo 05, são mostrados dados sobre os bancos de lama e planícies de maré lamosa observados na baía de Guajará e foz do rio Guamá, além de informações sobre a distribuição dos teores de matéria orgânica (M.O.), físico-química das águas e hidrodinâmica.

No sexto capítulo são feitas observações sobre os riscos e as potencialidades de acidentes ambientais na baía de Guajará. Procurou-se fazer uma contribuição de forma específica para planos de controle, gerenciamento e monitoramento ambiental, através da correlação direta entre características físicas do ambiente e o uso e ocupação das áreas marginais e/ou alagáveis, observadas a partir de imagens de satélite, ortofotos e fotografias aéreas oblíquas.

Por fim, o Capítulo 07 traz as conclusões e recomendações elaboradas à luz dos resultados obtidos. A literatura consultada e citada segue no item **REFERÊNCIAS**.

## CAPÍTULO 02 – ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 – LOCALIZAÇÃO

A desembocadura do rio Amazonas possui cerca de 60.000 km<sup>2</sup> de área total, alojando um grande número de ilhas, destacando-se a ilha de Marajó. O rio Pará (conhecido também como “*o braço direito da foz do rio Amazonas*”) separa a margem sul e leste da ilha de Marajó do estado do Pará. A sudeste desta ilha (na confluência dos rios Pará, Acará e Guamá) forma-se a baía de Guajará. A oeste, o limite é a cidade de Belém (capital do estado do Pará); a leste a baía de Guajará é limitada pelo arquipélago formado pelas ilhas das Onças, da Barra, Jararaquinha, Jararaca, Mirim, Paquetá-Açú, Jutuba, Nova e Cotijuba (FIG. 2.1).

### 2.2 – ATIVIDADES DE POTENCIAIS RISCOS DE ACIDENTES AMBIENTAIS NA BAÍA DE GUAJARÁ E FOZ DO RIO GUAMÁ

A baía de Guajará está submetida a um processo antigo de degradação ambiental. Em suas margens, localiza-se a capital do estado do Pará (Belém) e sua região metropolitana, onde habitam cerca de 2,12 milhões de pessoas (IBGE, 2007). Há intenso tráfego de embarcações dos mais variados portes. Também é comum o transporte e a venda de combustíveis em balsas (postos flutuantes), além do transporte de passageiros e de outras cargas (p.ex. madeira, automóveis, animais e alimentos) para diversas localidades do estado do Pará e da Amazônia. As atividades de maior potencial de impacto ambiental são as relacionadas ao armazenamento e transporte de derivados de hidrocarbonetos nos Terminais Petroquímico de Miramar e no Terminal Portuário do Outeiro, além das atividades do porto de Belém.

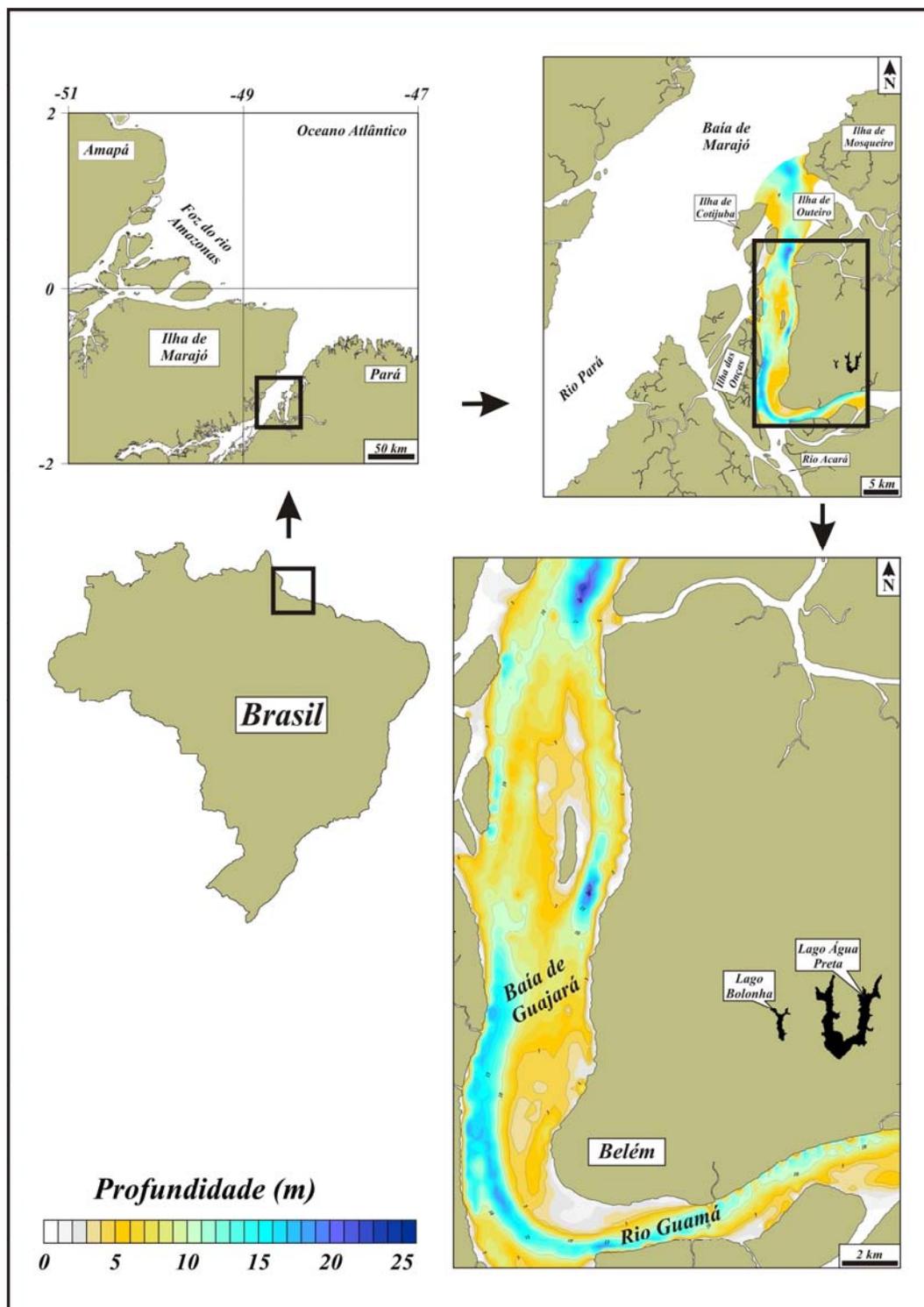
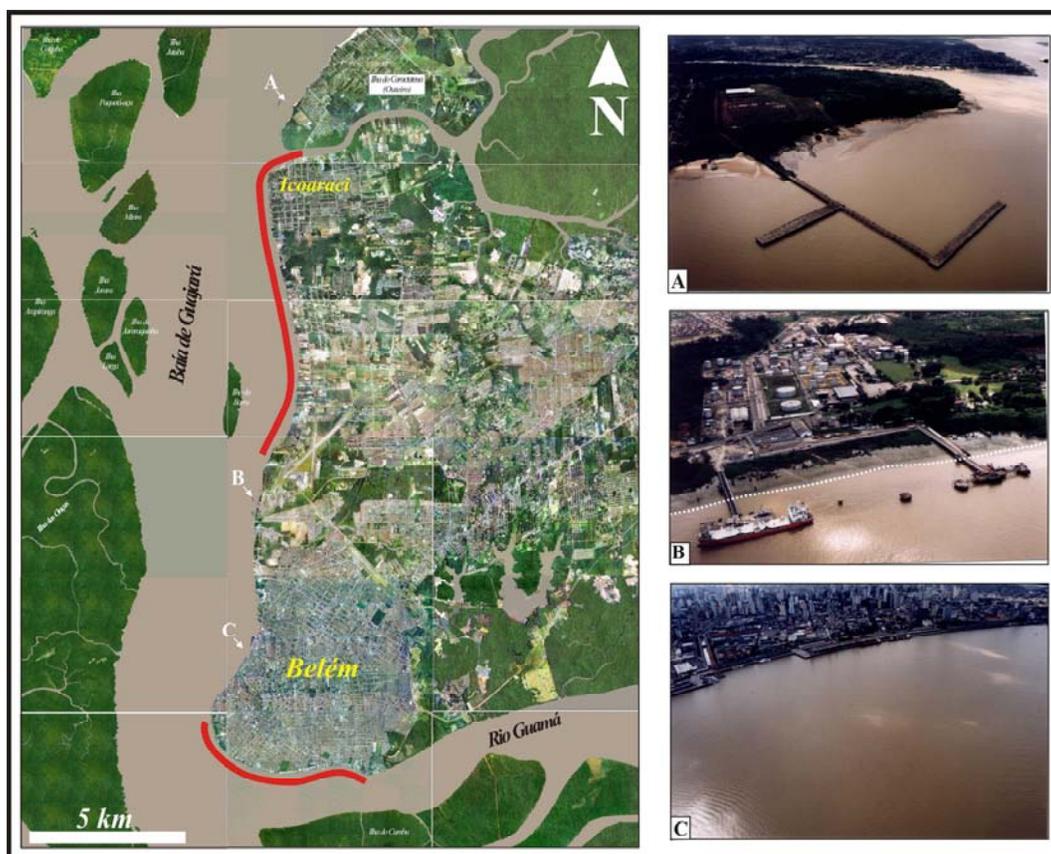


Figura 2.1. Localização da área de estudo.

O Porto de Belém (FIG. 2.2 A) está localizado na margem direita da baía. O acesso hidroviário se dá pelo canal formado entre a ilha do Fortinho e da Barra, o

chamado canal **Oriental**. Possui calado de 7,3 m e a bacia de evolução localiza-se em frente à Doca do Ver-o-Peso, possuindo 500 m de comprimento por 500 m de largura.

O cais acostável do porto mede 1.295 m e dividi-se em três setores: i) Armazéns de cargas gerais e contêineres; ii) armazéns onde operam apenas embarcações de navegação para o interior do estado e para outros municípios amazônicos, movimentando cargas gerais e passageiros; iii) armazéns e silos, onde são movimentados contêineres e trigo a granel, respectivamente. Destacam-se como principais produtos exportados pelo Porto de Belém: madeira, pimenta do reino e silício metálico. Na importação, destaca-se o trigo.



**Figura 2.2.** Mosaico de ortofotos (não georeferenciado) da cidade de Belém, com a localização do Terminal de Outeiro (A), do Terminal Petroquímico de Miramar (B) e do Porto de Belém (A). As linhas vermelhas indicam a localização preferencial dos portos e terminais fluviais de pequeno e médio porte. Ortofotos do ano 2000 (Cohab). Fotos: Projeto Banpetro.

O Terminal Petroquímico de Miramar também se localiza na margem direita da baía de Guajará (FIG. 2.2 B). É composto de dois píeres e dedica-se *exclusivamente* a movimentação de granéis líquidos (álcool e combustíveis derivados de

hidrocarbonetos), recebendo os produtos de navios marítimos para distribuição local (Belém e vizinhanças), e reembarque desses mesmos produtos em balsas-tanques, para distribuição regional. O Terminal Petroquímico de Miramar também presta serviços de abastecimento de navios (*bunker*).

Pelo Convênio de Descentralização nº 013/2002, a União transferiu para a Companhia Docas do Pará (CDP) a administração e exploração do Terminal Portuário Privativo que pertencia à empresa SOTAVE, localizada na Ilha de Caratateua (Outeiro). O Terminal Portuário de Outeiro também se localiza na margem direita da baía de Guajará (FIG. 2.2 C), a cerca de 20 km do cais do Porto de Belém e 15 km do Terminal de Miramar em linha reta. Possui área de 425.000 m<sup>2</sup> e dois píeres ligados a terra por uma ponte de acesso, sendo o píer 1, mais próximo da margem, destinado à navegação fluvial (barcaças) e o píer 2, externo, às operações de navios marítimos. Em 2003 foram realizadas quatro operações experimentais, quando foram movimentados cerca de 22.000 m<sup>3</sup> de madeira proporcionando uma folga ao porto de Belém equivalente a 1.800 carretas e caminhões. Atualmente, empresas como a Votorantim Cimentos, CIKEL S/A, Moinhos Cruzeiro do Sul e a Petrobras, manifestaram interesse na implantação de terminais e plantas especializadas.

Considerando os riscos relacionados aos efluentes industriais/urbanos, ao longo da margem direita da baía e da foz do rio Guamá alternam-se desembocaduras de cursos d'água poluídos por dejetos urbanos (FIG 2.3 A), além de indústrias de beneficiamento de pescado, portos para embarque e desembarque de madeira, materias de construção e passageiros, além de pequenos estaleiros (FIG 2.3 B). As indústrias de maior porte localizam-se no setor este-noroeste da baía: uma cervejaria; uma fábrica de cimento e uma fábrica de telhas de amianto; além da Base Naval de Val-de-Cães (Marinha de Guerra do Brasil). No Capítulo 06 são mostrados maiores detalhes sobre o uso e ocupação da orla de Belém.

Os efluentes urbanos da cidade de Belém chegam até a baía de Guajará por meio de pequenos rios, igarapés e furos (FIG. 2.3 C), que antigamente drenavam toda a área continental da cidade. Atualmente, todos esses rios encontram-se contaminados, sendo muitos deles tidos para a população como verdadeiros canais de esgoto à céu aberto. Os cursos principais são os chamados canais do Una, da Tamandaré, da Quintino e da Doca (Reduto), todos antigos igarapés e furos. O ainda não totalmente poluído igarapé do Tucunduba fecha a lista dos mais expressivos cursos

d'água carreadores dos efluentes urbanos *in natura* para a baía de Guajará e foz do rio Guamá.



**Figura 2.3.** Detalhes da orla de Belém (margem direita da baía de Guajará e foz do rio Guamá): A) Desembocadura do canal do Una (Orla Oeste) na baía de Guajará. Este corpo d'água corresponde ao maior receptor de esgoto *in natura* da cidade de Belém. B) Alguns dos portos particulares das indústrias variadas localizadas na margem direita da baía de Guajará (Orla Oeste de Belém). C) Área marginal dos bairros Arsenal e Jurunas, na foz do rio Guamá (Orla Sul). D) Situação de baixa-mar no “Porto Custódio”, um dos muitos portos localizados ao longo da margem sul da cidade de Belém. Observar a pluma de sedimentos lamosos (tons mais escuros) revolvida pelas embarcações, o posto flutuante de combustível e as diversas embarcações aguardando a preamar. Fotos: Projeto Amílcar Mendes, 2001.

### 2.3 – GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

A planície costeira amazônica tem contato com três conjuntos litológicos principais (FIG. 2.4): i) as rochas do embasamento datam do Pré-Cambriano (Complexo Maracaçumé, Formação Santa Luzia, Grupo Gurupí, Granito Cantão e Formação Piriá), aflorando em boa parte da costa nordeste do Pará. ii) Os sedimentos terciários (Formação Pirabas e Formação Barreiras) e quaternários (Formação Pós-Barreiras e

sedimentos atuais). iii) E os depósitos das bacias sedimentares da foz do Amazonas (Santos, 2006).

A evolução da planície costeira amazônica está ligada à Orogenia Andina, iniciada no Oligoceno Superior (30 milhões de anos AP) e com pico no Plioceno (5,3 milhões de anos AP) (Potter, 1997). O resultado de toda a evolução geológica, e da marcante contribuição do sistema amazônico, reflete-se no relevo plano, onde um pequeno aumento no nível de água pode resultar na imersão da costa, em função das cheias dos rios, associados à ação da maré astronômica, ou mesmo da meteorológica (Santos, 2006).

O Terciário Superior é representado pela sedimentação fossilífera carbonática da Formação Pirabas e sedimentos do Grupo Barreiras. A Formação Pirabas constituiu-se por rochas carbonáticas depositadas na transgressão marinha do Mioceno Inferior (Ferreira e Francisco, 1988). O Grupo Barreiras corresponde a depósitos continentais sobrepondo rochas do embasamento cristalino, sedimentos cretáceos e terciários marinhos, sendo constituído por argilas, silte e areia, podendo apresentar leitos de areias e conglomerados. Podem ser observados arenitos ferruginosos denominados *Grês do Pará, in situ*, e níveis de microconglomerados quartzosos formados nas camadas altas do Grupo Barreiras em que posteriormente houve migração do ferro para a superfície do solo (Araí et al., 1988).

A geologia da baía de Guajará é representada principalmente pela Formação Barreiras, pelos depósitos aluvionares siliciclásticos e pela sedimentação areno-argilosa da unidade Pós-Barreiras (FIG. 2.5). Detalhadamente, a Formação Barreiras, rocha fonte principal para dos sedimentos da baía e foz do rio Guamá, têm sedimentos de frações areno-argilosa com cores geralmente amareladas e com tons avermelhados nas porções inferiores (Sá, 1969).

Com base em dados geotectônicos de furos de sondagem realizados pela CDP na região portuária e metropolitana de Belém, Pinheiro (1987) sugeriu a coluna estratigráfica ilustrada na FIG. 2.6.

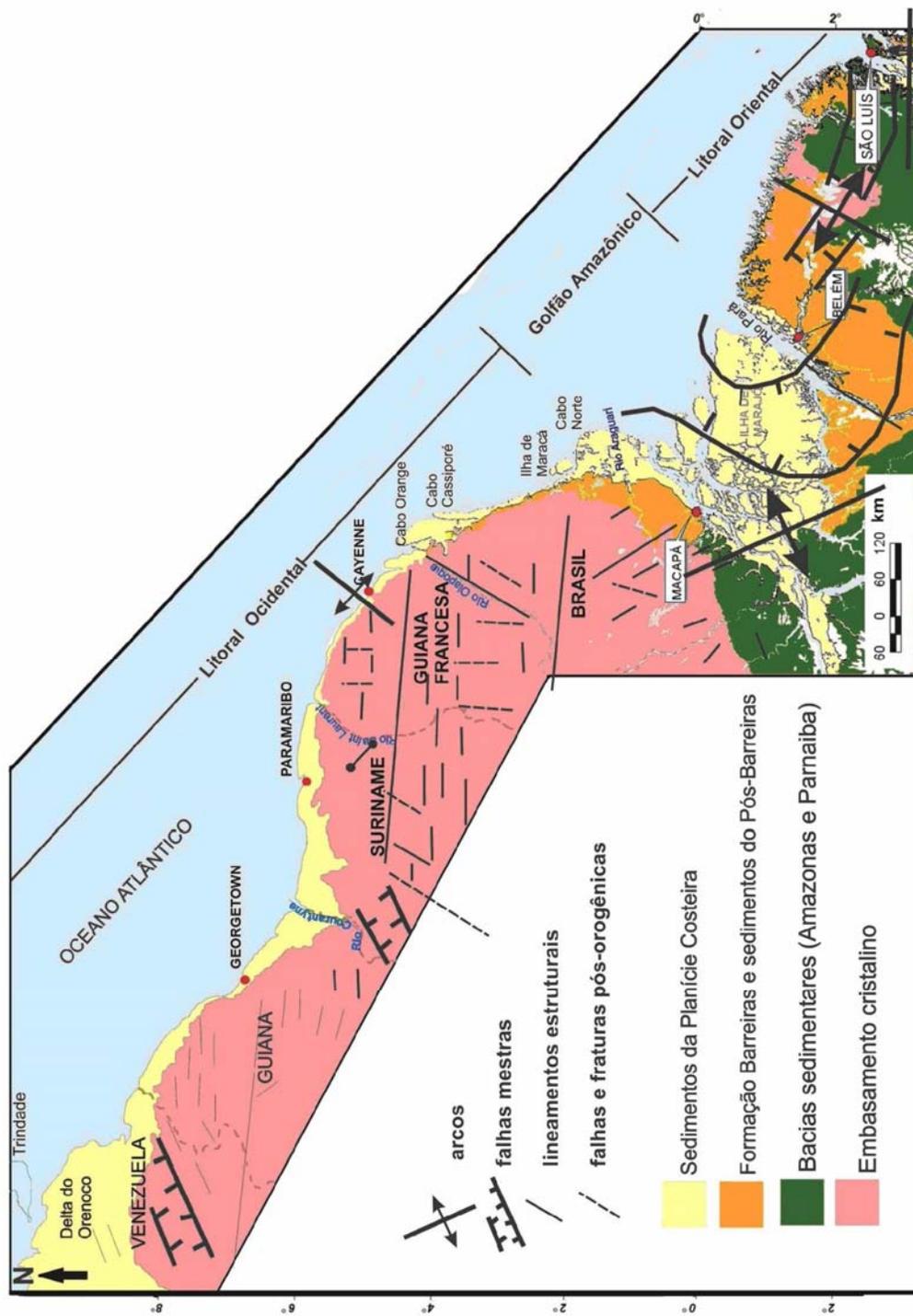


Figura 2.4. Contexto geológico-estrutural da costa amazônica (Santos, 2006).

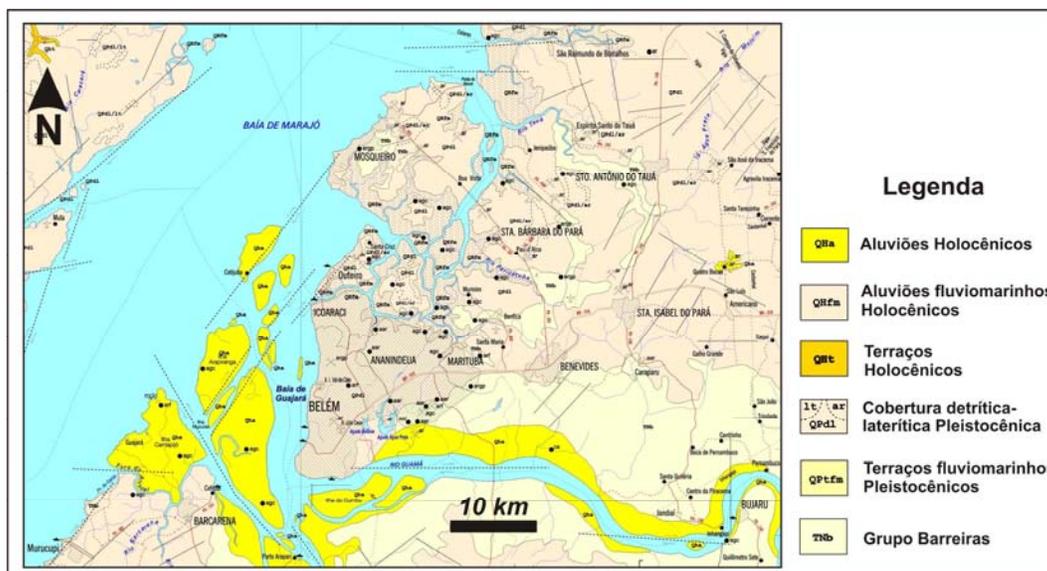


Figura 2.5. Mapa Geológico da área de estudo (Modificado de IBGE, 2003).

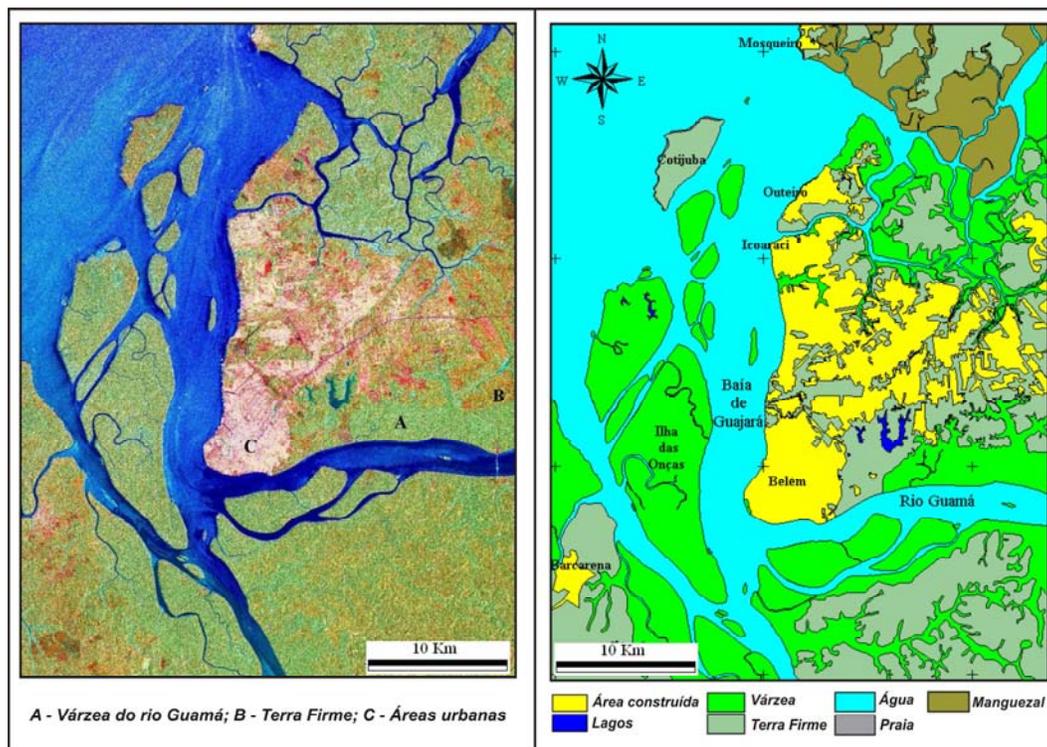
UNIDADE	IDADE	DESCRIÇÃO	PROF.
FORMAÇÃO BARREIRAS	Holoceno Superior ao recente	Argilas siltosas e areias quartzosas com matéria orgânica	0 a
	Holoceno Médio ao Inferior		
	Pleistoceno	16.000 a 2.5 M.A.	Siltos, argilas, areias finas a médias com siltos. Siltos argilosos com grânulos e blocos de arenito ferruginoso.
	Terciário Superior	Siltos argilosos com níveis de arenito ferruginoso, argila cinza clara com areias avermelhadas variadas e lateritas.	0 a 100 - 150 m
FORMAÇÃO PIRABAS	Oligo-mioceno	Areia argilosa cinza escura, grossa a muito grossa, subangular com grãos arredondados a subarredondados. Macro e microfósseis: foraminíferos, briozoários, moluscos, corais, fragmentos de ossos, entre outros.	Entre 76 - 100 e 100 - 120 m

Figura 2.6. Coluna estratigráfica esquemática para a região de Belém e adjacências (Modificado de Pinheiro, 1987).

## 2.4 – GEOMORFOLOGIA E VEGETAÇÃO

Na área de estudo são diferenciadas três regiões geomorfológicas: Região de Terra Firme; Região da Várzea; e Região das Áreas Urbanas, em ordem decrescente de área. A geomorfologia local foi amplamente configurada pela atuação das marés, através do seu fluxo e refluxo diário.

Em relação à vegetação, as margens flúvio-estuarinas da baía de Guajará e do rio Guamá são condicionadas aos fatores geomorfológicos. O que se observa (FIG. 2.7) correspondem à i) vegetação de várzea, típica de áreas inundáveis, sob controle periódico das marés; ii) vegetação de floresta densa associada aos terrenos mais elevados ditos de terra firme; iii) florestas secundárias, associadas às áreas desmatadas, ocupando uma apreciável distribuição na região (Pinheiro, 1987).



**Figura 2.7.** À esquerda, imagem integrada SPC-SAR (*Selective Principal Component - SAR*) da Região Metropolitana de Belém, mostrando as principais unidades de paisagem da área estudada: A) várzea do Rio Guamá; B) Terra Firme; C) áreas urbanas (Gonçalves, 2005). À direita, mapa de unidades de paisagem elaborado a partir da interpretação visual do produto integrado pan/multi do LANDSAT-7 ETM+ (Gonçalves, 2003).

As Várzeas correspondem a 60% da área de estudo e seu desenvolvimento está diretamente relacionado aos processos de colmatação natural causada pelas marés. As inundações diárias, ocasionadas pela elevação da maré, pela água das chuvas ou por ambas, depositam uma sucessão de argilas ricas em matéria orgânica (Gonçalves, 2005).

A Região da Terra Firme, no entanto, corresponde às áreas de ocorrência do Pediplano Neo-Pleistocênico, representado na área pela unidade geomorfológica do Planalto Rebaixado da Amazônia. Esta unidade é esculpida em litologias plio-pleistocênicas do Grupo Barreiras, em geral lateritizadas, e em coberturas detríticas alúvio-colúviais neo-pleistocênicas (Plano, 1995<sup>8</sup> *apud* Gonçalves, 2005).

## 2.5 – PARÂMETROS METEOCEANOGRÁFICOS

A maré é semi-diurna, com variação de altura entre 2,3 m (quadratura) e 3,8 m (sizígia) (DHN, 2008). Em virtude do volume de carga do sistema fluvial, não se observa a influência da salinidade nas águas de baía e da foz do rio Guamá. No entanto, observa-se o efeito da maré dinâmica a montante do rio Guamá – como Pororoca, observada na foz do rio Capim (~150 km a leste da baía de Guajará). A salinidade não ultrapassa 1 no período *menos chuvoso* e é praticamente nula no período *chuvoso*, época cuja descarga fluvial dos rios é máxima. A baía de Guajará corresponde a um estuário primário, de domínio fluvial e do tipo “rio com maré” (Perillo, 1995). Nas chamadas “*águas de março*”, período de equinócio, a variação na altura de maré facilmente alcança 4 m, inundando parte da cidade de Belém por pelo menos três ciclos semi-diurnais de maré.

Durante a enchente, as correntes de maré fluem, em geral, para sul na baía de Guajará e para leste na foz do rio Guamá. As velocidades máximas das correntes de enchente são de 1,35 m/s em marés de sizígia e 0,95 m/s em marés de quadratura (Pinheiro, 1987). Em contraste, as correntes de maré vazante fluem para norte e possuem velocidades máximas de aproximadamente 1,74 m/s em marés de sizígia e

---

<sup>8</sup> PLANO Diretor de Mineração em Áreas Urbanas: Região Metropolitana de Belém. Belém: Governo do Estado do Pará/IBGE, 157 p. 1995.

0,83 m/s em marés de quadratura (Pinheiro, 1987). A TAB. 01 mostra informações sobre as constantes harmônicas da maré da baía de Guajará.

A subida do nível d'água dura cinco horas. Ao contrário da vazante, que leva oito horas para completar o ciclo totalmente. Essa desigualdade é função do efeito dinâmico da maré, que represa o escoamento em direção ao mar durante a vazante. Em situações de maré de sizígia, as velocidades médias máximas observam-se a 1 m da superfície e a cerca de três horas após a estofa de baixa-mar, e três horas e meia após a estofa de preamar. Nas cartas náuticas da DHN, os canais de enchente correspondem ao *Canal Oriental* e *Canal do Meio*. Enquanto o canal de vazante é chamado de *Canal da ilha das Onças*.

É comum em marés de sizígia na baía de Guajará correntes de enchente já instaladas no *Canal Oriental* encontrarem o fluxo contrário das correntes de vazante, que fluem livremente pelos canais *do Meio* e *da ilha das Onças*. Na zona central da baía ocorre, então, uma bifurcação no sentido das correntes. Uma componente busca o sentido do fluxo de vazante, enquanto a outra acompanha o fluxo para montante. O resultado disso é a criação de uma zona de “amortecimento” ou dissipação da energia das correntes de maré e/ou superfícies (Pinheiro, 1987). Essa zona corresponde à área de deposição da carga sedimentar dos rios Guamá e Acará, no setor sul da baía. Nos capítulos *04 e 05* há uma descrição mais detalhada desse setor.

A baía de Guajará corresponde a um sistema fluvial (recebe grandes contribuições dos rios Guamá, Acará e, secundariamente, Pará). A salinidade não ultrapassa 1 no período *menos chuvoso* e é praticamente nula no período *chuvoso*, época cuja descarga fluvial dos rios é máxima.

Na ocasião de ventos fracos, a superfície da água da baía de Guajará apresenta-se calma. O mesmo comportamento pode ser observado nas chuvas fortes do período *chuvoso*, nas marés de quadratura e no estofa das marés de sizígia, seja preamar ou baixa-mar (Pinheiro, 1987). Considerando o eixo longitudinal da baía, observa-se que o vento *terral* (ventos de sudeste) gera as maiores ondulações, uma vez que esse possui a baía inteira livre de obstáculos. Desta maneira, os efeitos erosivos causados pelas ondas (com altura significativa de até 1 m) causam maiores estragos nas ilhas da margem oeste da baía de Guajará (FIG. 2.8 C). Os depósitos lamosos e a orla da cidade de Belém ficam preservados do ataque erosivo das ondas.

A situação de vento *terral* aliada à vazante gera ondulações superiores a 1 m. Nesse caso, uma corrente superficial que flui para norte-noroeste passa a atuar, dificultando manobras de embarcações de médio e pequeno porte (Pinheiro, 1987).

Ventos de norte-nordeste causam ondulações também superiores a 1 m. Essas ondulações costumam percorrer a baía de Guajará em quase sua totalidade, uma vez que há concordância entre a direção do vento e o eixo longitudinal da área de estudo.

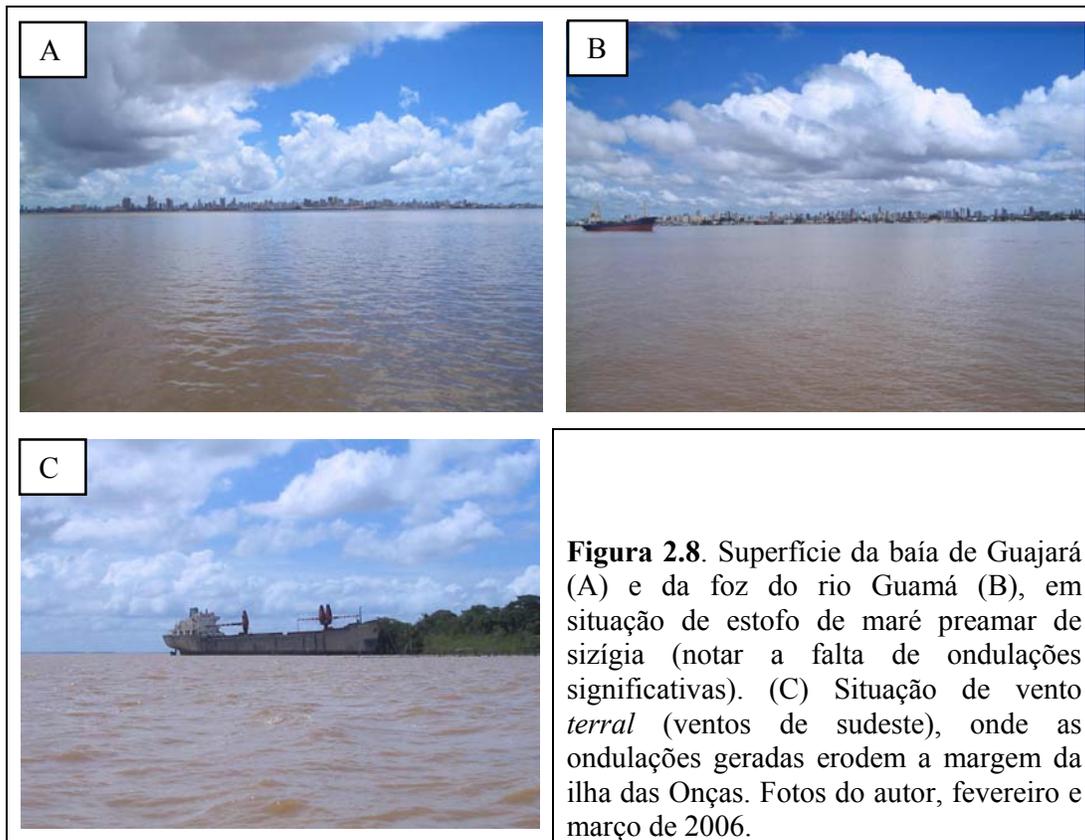
**Tabela 2.1.** Características da maré na baía de Guajará.

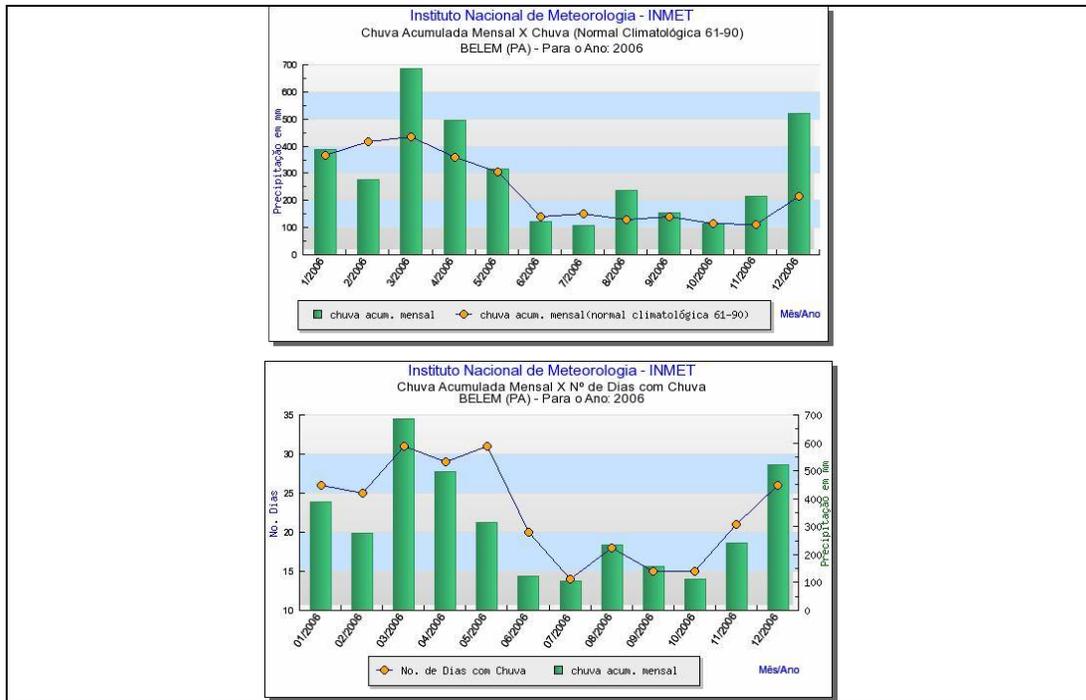
<i>Nome da estação</i>	Belém (Porto) – PA				
<i>Localização</i>	Na quina norte do cais do porto				
<i>Org. Responsável</i>	DHN				
<i>Análise harmônica</i>	Método Tidal Liverpool Institute				
<i>Classificação</i>	Maré semidiurna				
<b>MARÉS DE SIZÍGIA</b>			<b>MARÉ DE QUADRATURA</b>		
Média das Preamares	331 cm		Média das Preamares	264 cm	
Média das Baixa-mares	31 cm		Média das Baixa-mares	98 cm	
<b>CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS</b>					
Componentes	Semi-amplitude (H) (cm)	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) (cm)	Fase (g) graus (°)
<i>Sa</i>	3,6	321	<i>MU<sub>2</sub></i>	5,9	051
<i>Ssa</i>	6,7	006	<i>N<sub>2</sub></i>	22,3	319
<i>Mm</i>	4,2	015	<i>NU<sub>2</sub></i>	4,8	296
<i>Mf</i>	2,6	068	<i>M<sub>2</sub></i>	116,3	334
<i>MTM</i>	-	-	<i>L<sub>2</sub></i>	6,5	330
<i>Msf</i>	8,3	039	<i>T<sub>2</sub></i>	2,6	347
<i>Q<sub>1</sub></i>	1,4	295	<i>S<sub>2</sub></i>	33,3	012
<i>O<sub>1</sub></i>	9,0	293	<i>K<sub>2</sub></i>	9,1	011
<i>M<sub>1</sub></i>	0,9	146	<i>MO<sub>3</sub></i>	4,4	175
<i>P<sub>1</sub></i>	2,4	325	<i>M<sub>3</sub></i>	1,3	181
<i>K<sub>1</sub></i>	9,5	317	<i>MK<sub>3</sub></i>	3,8	205
<i>J<sub>1</sub></i>	0,1	198	<i>MN<sub>4</sub></i>	5,1	237
<i>OO<sub>1</sub></i>	0,3	040	<i>M<sub>4</sub></i>	12,2	253
<i>MNS<sub>2</sub></i>	0,6	089	<i>SN<sub>4</sub></i>	0,8	268
<i>2N<sub>2</sub></i>	4,3	285	<i>MS<sub>4</sub></i>	7,6	279

Fonte: Modificado de Fundação de Estudos do Mar - FEMAR.

Na região em estudo, as amplitudes térmicas diárias são bem maiores que as mensais e anuais: durante o dia ficam em torno de 30° C, enquanto na madrugada, baixam para 23-24° C. Não existem períodos de estiagem bem definidos, além de não existir uma distribuição uniforme das chuvas ao longo do ano. Ocorre diminuição nos índices pluviométricos a partir do mês de junho. Em meados de novembro o índice volta a crescer (FIG. 2.9).

A diferença entre o período *chuvoso* e *menos chuvoso* é que no primeiro a média é de 23 dias mensais de chuva, enquanto no segundo essa média cai para 13 dias mensais. Segundo a classificação de Köppen, o clima de região é classificado como “Afi”: quente e úmido, sem inverno, com baixas amplitudes térmicas e sem estação térmica seca bem definida. A umidade relativa média é de 82%, favorecendo a formação de convecção, que ocorrem geralmente após a insolação máxima, durante a tarde ou princípio da noite (Inmet, 2007).





**Figura 2.9.** Distribuição da precipitação e número de dias chuvoso em Belém do Pará. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet (<http://www.inmet.gov.br>).

## **CAPÍTULO 03 – MATERIAS E MÉTODOS**

### **3.1 – TRABALHOS DE CAMPO**

#### **3.1.1 – Levantamento Batimétrico**

O levantamento ecobatimétrico foi realizado no período de 16 a 27 de dezembro de 2002, abrangendo uma área de 142 km<sup>2</sup> (FIG. 3.1). A malha de amostragem (definida com base uma imagem LANDSAT5 – TM de 2001) foi composta de oitenta linhas transversais à baía de Guajará e rio Guamá (com espaço de 500 metros entre elas). Foram executadas, ainda, três linhas longitudinais paralelas entre si, perfazendo um total de 3730 pontos de coleta.

Foi utilizada uma embarcação típica amazônica, com 1,5 m de calado, a uma velocidade média de 5 nós. Utilizou-se uma ecossonda da marca HYDROTRAC e um DGPS TRIMBLE. Os dados de profundidade e posição foram registrados automaticamente a cada 100 metros de deslocamento da embarcação.

Ao início de cada operação, o equipamento foi calibrado. O “zero” da profundidade medida foi de 0,50 m. Sendo assim, as profundidades registradas oscilaram de acordo com a altura e o tempo da maré. Desta forma, todas as profundidades foram reduzidas a um datum constante onde o zero relativo aproxima-se do zero absoluto estabelecido para o nível de águas de baixa-mar.

As alturas das marés foram coletadas a cada 15 minutos em uma régua hidrográfica instalada no píer do Serviço de Sinalização Náutica do Norte - SSN-4 durante todo o tempo em que o levantamento estava sendo executado. Os dados coletados nesta régua foram utilizados para correção da maré, de tal maneira que a carta batimétrica fosse apresentada em condição de baixa-mar de sizígia.

#### **3.1.2 – Sedimentologia e Matéria Orgânica**

Com base na carta batimétrica, foi criada uma malha de amostragem sedimentológica. As amostras foram distribuídas ao longo da área coberta pelo

levantamento ecobatimétrico (FIG. 3.1). Foram planejados 128 pontos, dos quais 123 foram amostrados com uma draga do tipo Petersen. As estações de coleta foram programadas de acordo com as isolinhas de profundidade.

As coletas ocorreram entre 09 e 14 de fevereiro de 2006. Cerca de 1 kg de sedimento foi coletado em cada ponto. Devidamente condicionados em sacos plásticos e etiquetados, foram transportados para a Coordenação de Ciência da Terra e Ecologia – CCTE do Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG, onde permaneceram congelados até o início do pré-processamento, no Laboratório de Análises Sedimentológicas do CCTE / MPEG.

A coleta das amostras para análise do teor de matéria orgânica ocorreu antes do acondicionamento nos sacos plásticos, retirando-se de 20 a 30 g da superfície da amostra, que correspondia ao fundo preservado naquela estação de coleta. Estas subamostras foram também acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e congeladas no CCTE/MPEG para posterior análise. Esta subamostragem apenas ocorreu em amostras cujo teor de lama (silte + argila) era visivelmente igual ou superior a 15%.

### 3.2 – TRABALHOS DE LABORATÓRIO

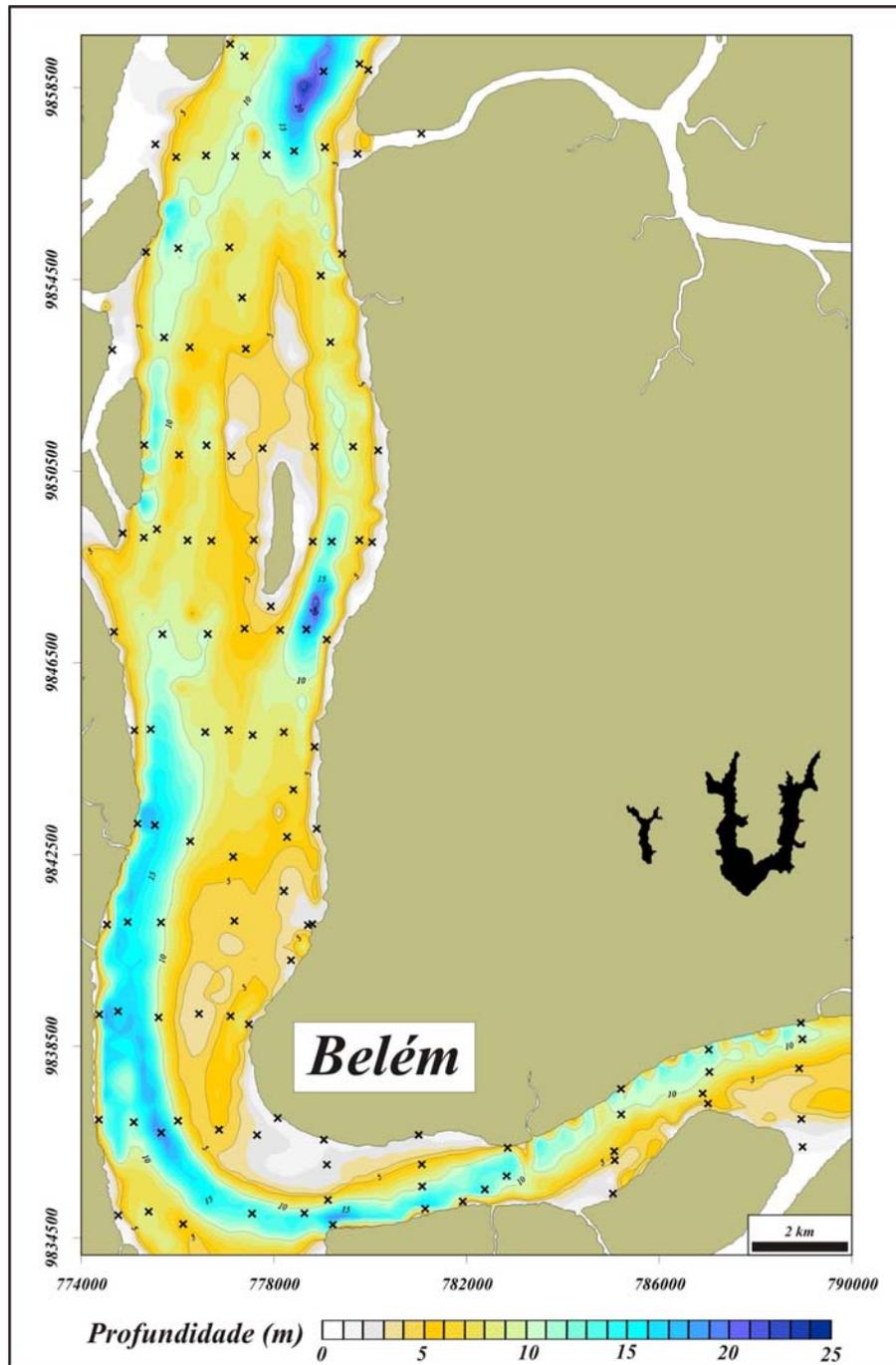
Após descongelamento, as amostras foram lavadas e postas para secagem em estufa à 60° C por 48 horas. Secas, foram quarteadas e retirou-se uma fração de aproximadamente 100 g para peneiramento (seco ou úmido) e para centrifugação. O peneiramento a seco foi executado no Laboratório de Análises de Sedimentos e Solos do CCTE/MPEG, enquanto o peneiramento úmido e a centrifugação foram realizados no Laboratório de Análises Sedimentológicas do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA.

No peneiramento seco, utilizou-se o intervalo de 01 phi na abertura das peneiras, sendo elas de 2.000, 1.000, 0.500, 0.250, 0.125 e 0.062 mm, correspondendo, respectivamente, as frações cascalho, areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina.

O primeiro procedimento do peneiramento por via úmida correspondeu à diluição de 100 g da amostra lavada e seca. Em seguida utilizou-se uma peneira de 0.062 mm de abertura para separar a fração arenosa da fração lamosa. A fração arenosa

foi posta novamente para secagem e submetida a um novo processo de peneiramento a seco; já a porção lamosa foi submetida à centrifugação, sendo a fração de siltosa presente na amostrada obtida após 2 minutos de centrifugação a 2000 rpm.

O método para análise do teor de matéria orgânica foi o de perda de massa por calcinação (10 g a 450° C por 16 horas), descrito por Haynes (1982).



**Figura 3.1.** Localização das estações de amostragem sedimentológica.

### 3.3 – PROCESSAMENTO E INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Antes de serem iniciadas as atividades práticas de campo do levantamento batimétrico, foram gerados os arquivos de contorno (\*.BLN) para orientação das linhas a serem seguidas. Estes arquivos foram exportados para o *software* HYDRO<sup>®</sup>, utilizado para navegação em tempo real. Os dados, coletados e corrigidos, foram tabelados e em seguida exportados para o *software* Surfer 8.0<sup>®</sup>, onde foram gerados os grids, os mapas, as interpolações e as cartas batimétricas. O *layout* final das cartas e mapas batimétricas foram gerados e ajustados nos *softwares* Corel Draw 12<sup>®</sup> e Adobe Illustrator 8.0<sup>®</sup>. Tabelas e gráficos foram organizados e gerados nos *softwares* Microsoft Excel 2003<sup>®</sup> e Grapher 2.0<sup>®</sup>.

Depois do peneiramento e separação por centrifugação, o peso retido em cada fração granulométrica foi utilizado para calcular os parâmetros estatísticos de distribuição (mediana, média, grau de seleção, assimetria e curtose) e classificação textural, segundo Folk & Ward (1957). Optou-se pela utilização dos *softwares* Sysgran 3.0 (Camargo, 1999) e SAG, desenvolvido pela Universidade Federal Fluminense – UFF.

Foram aplicados vários métodos de análise faciológica/textural. Partindo-se do pressuposto da *verdade aproximativa*, o modelo considerado adequado para a baía de Guajará correspondeu àquele que mais se aproximou da realidade observada em campo. Os modelos de classificação textural/faciológica aplicados foram o de Folk e Ward (1957); o de Shepard (1954); e a Distribuição de Larssonneur (Dias e Medeiros, 2005). Todos os modelos utilizam a distribuição dos pesos das amostras ao longo da escala definida por Wentworth (Wentworth, 1922).

Os dados sobre a distribuição dos isotores de matéria orgânica foram tratados no *software* Microsoft Excel 2003<sup>®</sup>. Em seguida foram exportados para o *software* Surfer 8.0<sup>®</sup>, onde foram gerados os *grids* e feitas as interpolações necessárias para geração dos mapas.

Com o auxílio de imagens de satélite, ortofotos e fotografias aéreas oblíquas de pequeno formato, fez-se uma análise conjunta entre as atividades antrópicas (uso e ocupação) e os processos e configurações naturais das margens da baía de Guajará, identificadas a partir dos dados sedimentológicos e batimétricos. E, utilizando estes produtos, foram propostas as divisões das margens e identificadas as áreas de maior ou menor risco potencial de acidentes ambientais.

## CAPÍTULO 04 – ANÁLISE BATIMÉTRICA E TEXTURAL DO SUBSTRATO DA BAÍA DE GUAJARÁ E FOZ DO RIO GUAMÁ

### 4.1 – ANALISE BATIMÉTRICA

O presente subitem traz informações sobre o comportamento da morfologia de fundo da área de estudo. Para tal, foram analisados os dados coletados em 2002, bem como os dados digitalizados de cartas náuticas dos anos de 1843, 1961, 1978 e 1985.

Procurou-se estabelecer um intervalo de profundidade que melhor ilustrasse as feições fisiográficas (denominadas como províncias morfológicas nos trabalhos de Pinheiro, 1987; e Silveira, 1992). Sendo assim, optou-se por suprimir as isóbatas de 0 a 3 m, uma vez que, quando essas cotas foram consideradas, se observou uma alta concentração de isolinhas em uma área pouco abrangente, o que dificultava a análise.

As feições fisiográficas foram divididas quanto ao seu papel desempenhado dentro do sistema baía de Guajará/foz do rio Guamá. Foram diferenciados canais (de enchente e de vazante) e os depósitos sedimentares (FIG. 4.1). Afloramentos rochosos também foram observados. No entanto, restringiram-se à área entre a ilha da Barra e a margem leste da baía (início do Canal do Meio). Esses afloramentos foram nomeados nas cartas náuticas da DHN como “Pedras Val-de-Cães”, “Pedras do Forte” e “Pedras da Barra”.

#### 4.1.1 – Canais

Os canais observados na baía de Guajará e foz do rio Guamá correspondem aos canais *da Ilha das Onças, do Meio, Oriental e do rio Guamá*. Em todos eles observam-se correntes de enchente e de vazante. No entanto, no Canal da ilha das Onças predominam correntes de vazante, enquanto são mais comuns correntes de enchente nos canais do Meio e Oriental.

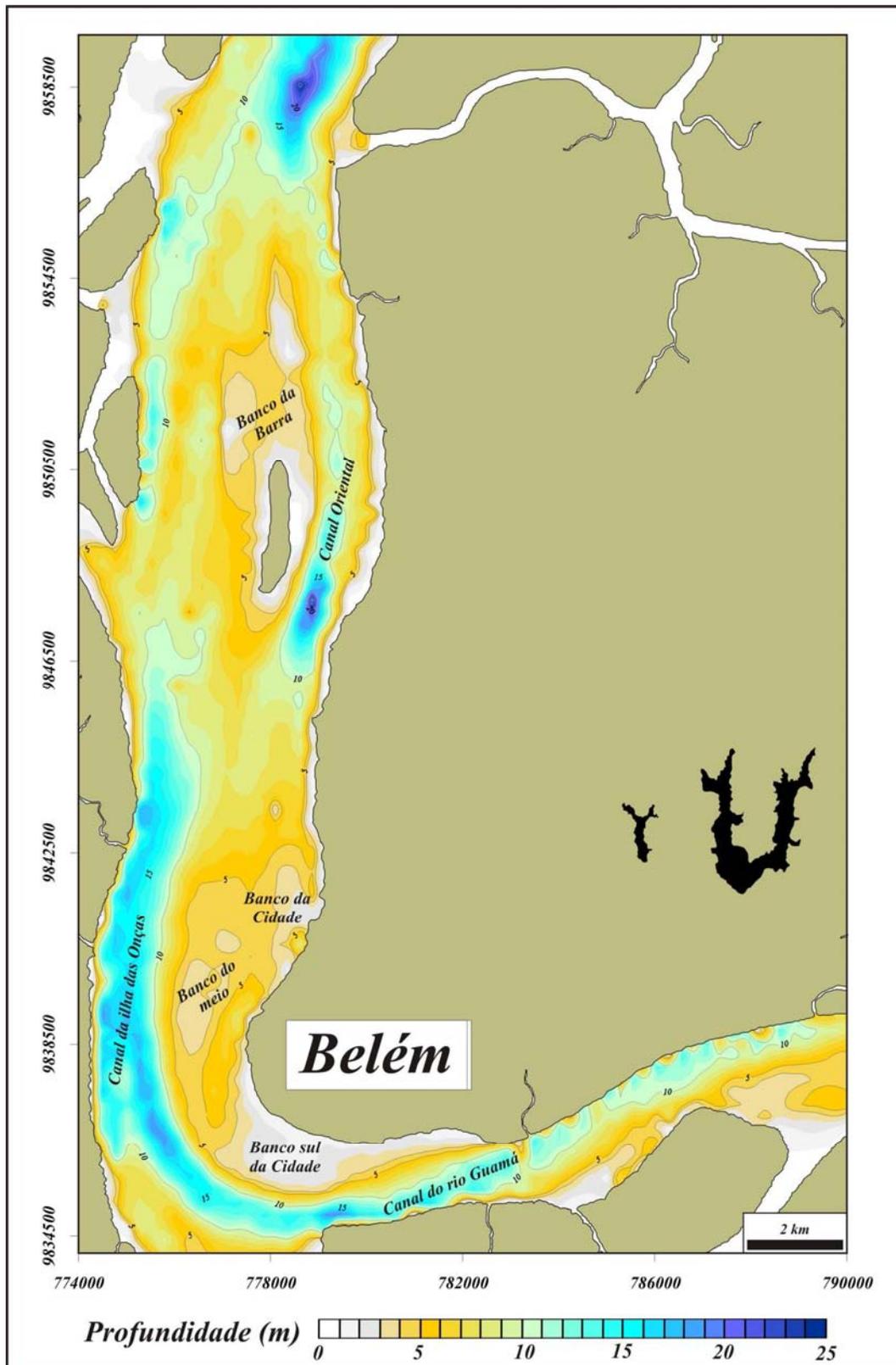
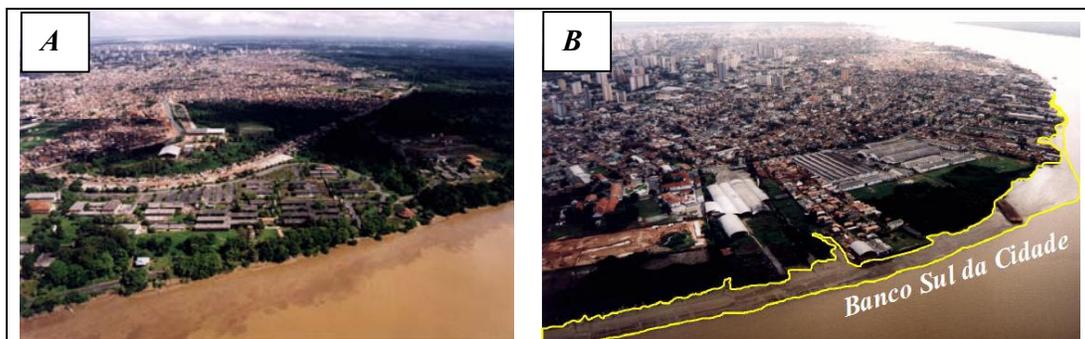


Figura 4.1. Carta batimétrica da baía de Guajará e foz do rio Guamá.

O canal da ilha das Onças corresponde à feição morfológica mais proeminente da baía de Guajará. Apresenta forma assimétrica em V, orientado segundo a direção N-S, com 19 km de extensão, ao longo de toda a margem oeste da baía de Guajará. Sua largura varia entre 900 m (setor interno) e 1500 m (setor externo). Em relação à profundidade, observam-se cotas entre 10 e 20 m. Na confluência com o rio Guamá, o Canal da Ilha das Onças apresenta formato em W, onde a margem esquerda abrupta reflete o caráter erosivo do fluxo. Pelo Canal da ilha das Onças fluem, principalmente, correntes de vazante e as massas d'água dos rio Guamá e Acará.

O Canal do rio Guamá, por sua vez, corresponde a uma província geomorfológica sinuosa, com direção NE-SW, bordejando a margem sul da cidade de Belém. A largura média desse canal aproxima-se de 600 m, enquanto a profundidade é de ~ 13 m. Na foz, próximo a Ilha do Combu, chega a atingir ~18 metros de profundidade, setor denominado por Silveira (1992) como “Depressão da Ponta de Porto Alegre”. No trecho onde encontra-se o *campus* da Universidade Federal do Pará, ocorre intensa erosão, com acentuado desmoronamento da margem, provocado pela atuação das correntes (fluviais e de maré) (FIG 4.2 A).



**Figura 4.2.** A) Orla da Universidade Federal do Pará, às margens do rio Guamá, onde são frequentes os problemas relacionados à erosão. B) Situação de baixa-mar na foz do rio Guamá. Fotos: Projeto Petromar.

O Canal do Meio possui largura de ~1 km. As profundidades oscilam entre 8 e 10 m, atingindo valores máximos de 18 m no estrangulamento do canal, que ocorre entre a ilha da Barra e a margem leste da baía. Ao longo deste canal fluem as correntes de enchente. O Canal Oriental, por sua vez, é a continuação do Canal do Meio. Possui largura média de 400 m e extensão de próxima dos 6 km. A profundidade máxima é de 12 m. Esse canal é o principal acesso ao Porto de Belém e ao Terminal

Petroquímico de Miramar, sendo constantemente dragado pela Companhia Docas do Pará, administradora dos Portos citados acima.

#### 4.1.2 – Depósitos sedimentares

Os depósitos sedimentares observados na baía de Guajará correspondem a banco arenosos e lamosos, além de planícies de maré lamosas. Os depósitos arenosos ocupam os setores norte (Banco da Barra) e sudoeste da baía, além de serem observados depósitos de areia na margem esquerda da baía de Guajará. Na porção sul e sudeste, observam-se bancos lamosos. Esses bancos são conhecidos como Banco da Sul da Cidade, Banco do Meio, Banco da Cidade. As planícies lamosas acompanham toda a extensão da margem direita da baía de Guajará.

O *Banco Sul da Cidade* corresponde a uma extensa planície de maré lamosa, em alguns trechos vegetadas por várzeas (FIG. 4.2 B) e depositada na margem sul da cidade de Belém. O depósito é formado por conta da dissipação da energia das correntes de maré. As correntes de enchente se chocam com as correntes residuais de vazante, causando a deposição de sedimentos trazidos pelos rios Guamá e Acará. Apresenta cerca de 7 km de comprimento e 1,5 km de largura na sua porção mais pronunciada. Mergulha suavemente na direção do Canal da ilha das Onças. Esse setor da baía é o mais problemático para navegação, pois a profundidade média máxima não ultrapassa a cota de 4 m em marés de sizígia, com alguns pontos de profundidade inferior a 2 m.

Os bancos areno-lamosos *do Meio* e *da Cidade* correspondem a barras longitudinais disposta paralelamente ao eixo de maior comprimento da baía. O Banco do Meio limita-se a oeste pelo canal da Ilha das Onças e, a leste, pelo canal homônimo. Enquanto o Banco da Cidade localiza-se entre o porto de Belém, a leste, e o canal do Meio, a oeste. O Banco do meio possui 2,5 km de extensão e cerca de 1 km de largura. Já o Banco da Cidade possui comprimento total de 1,8 km e largura máxima de 600 m.

O *Banco da Barra* corresponde a um depósito sedimentar arenoso, cuja mais provável fonte de sedimentos é a Formação Barreiras. Trata-se de uma barra longitudinal, posicionada no eixo central da Baía de Guajará, com direção N-S. A

disposição espacial e o arranjo tridimensional da morfologia de fundo da baía de Guajará são mostrados na FIG. 4.3.

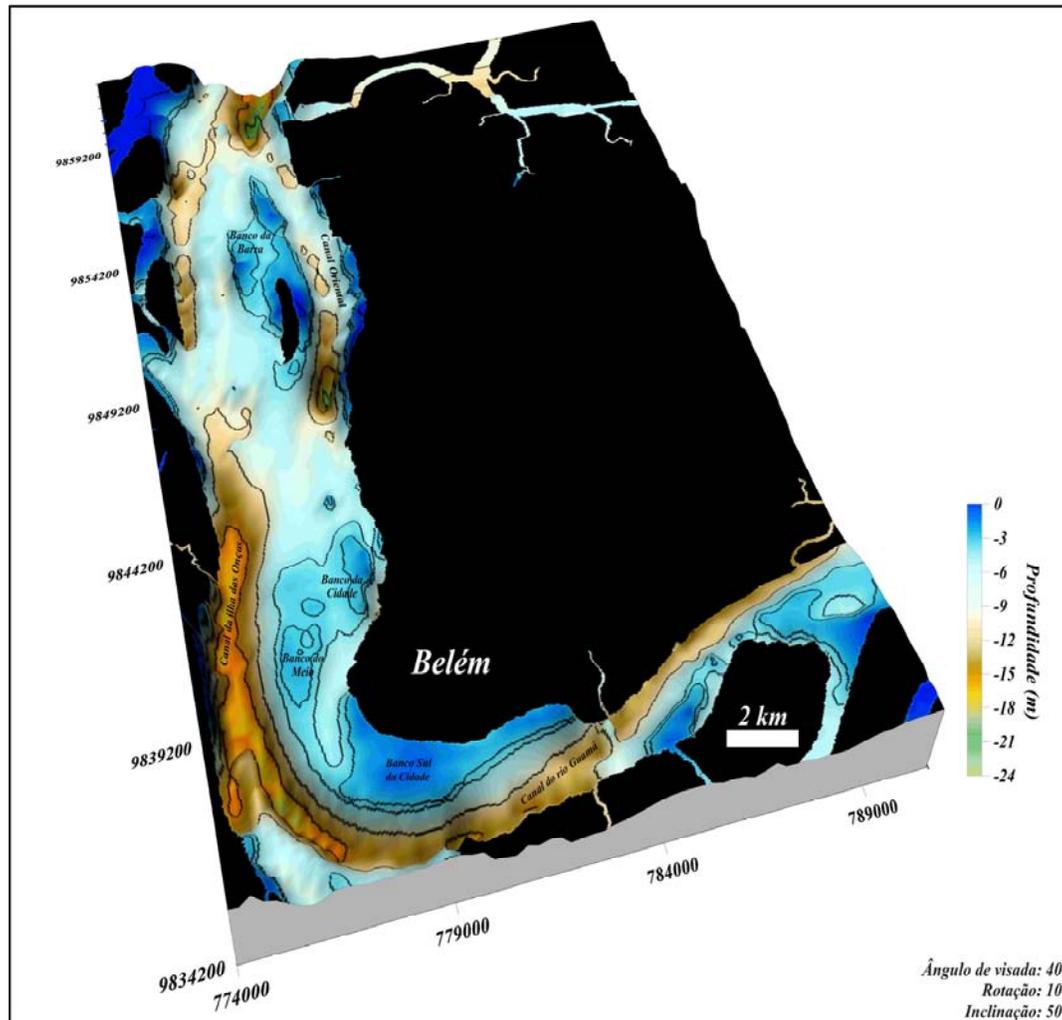


Figura 4.3. Bloco diagrama da baía de Guajará e foz do rio Guamá.

#### 4.1.3 – Evolução morfológica dos canais e dos depósitos sedimentares

A análise dos dados batimétricos permitiu a identificação de unidades morfológicas correspondentes a bancos, barras e planícies areno-lamosas, além de canais profundos. A evolução batimétrica mostra (FIG. 4.4) que o Canal da Ilha das Onças é a feição morfológica mais proeminente, apresentando um caráter estável, no que concerne às suas dimensões e configuração. No entanto, a margem leste da ilha das

Onças apresenta forte de erosão, relacionada com a dinâmica de correntes de maré e ondas do canal da ilha das Onças.

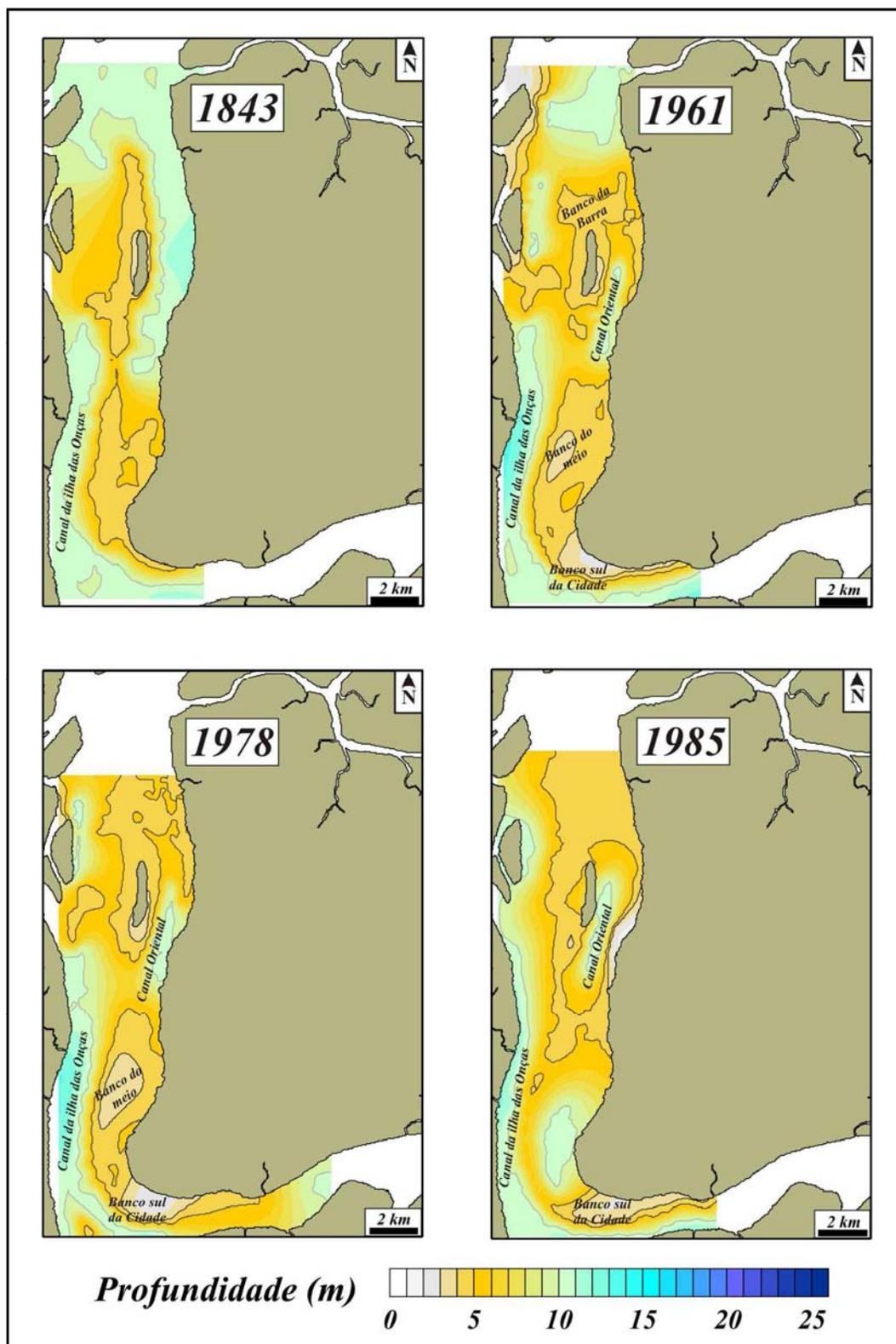
O rio Guamá contribui fortemente para a baía de Guajará, seja com descarga hídrica ou sedimentar, podendo sua influência ser observada ao longo de toda a margem direita da baía. Ressalta-se que a influência do rio Acará só vem a aumentar o domínio fluvial na baía de Guajará, sendo o canal da ilha das Onças a principal via de escoamento das massas d'águas deste. Os canais do Meio e Oriental funcionam como canais secundários, porém não menos importantes no contexto hidrodinâmico e dos mecanismos de deposição de lamas e dispersão de sedimentos arenosos na baía.

Os setores mais profundos encontram-se nos canais da Ilha das Onças, às proximidades da Ponta de Porto Alegre (Ilha do Cumbu), e no Canal do Meio, às proximidades da Base Naval de Belém e do Furo do Maguari. A montante da ilha da Barra observou-se um grande banco arenoso, de gênese provavelmente ligada aos processos de fluxo e refluxo da maré.

O setor adjacente que bordeja o limite sul da cidade de Belém é caracterizado por uma extensa área rasa que corresponde a uma grande planície de maré lamosa (Banco Sul da Cidade), progradante frontal e lateralmente.

A evolução morfológica foi feita com base em comparações entre cartas batimétricas dos anos de 1843, 1961, 1978, 1985 e 2002. Na primeira carta, de 1843, observa-se que a circulação na baía de Guajará era principalmente em dois canais (FIG. 4.4 A). O canal da margem direita estende-se do limite superior norte da área de estudo até a região da ilha da Barra, ao centro da baía de Guajará. A margem esquerda também apresenta um canal, que claramente corresponde à continuação do talvegue do rio Guamá.

A região entre a foz do rio Guamá e a montante da ilha da Barra é representada por profundidades inferiores a 5 m. Acredita-se que o canal da margem direita corresponda ao canal de enchente, enquanto o canal da margem esquerda representa o canal de vazante. A região central, de baixa profundidade, pode corresponder ao Banco do Meio, à época com extensão total de quase 16 km de extensão por 1,5 km de largura média.



**Figura 4.4.** Histórico da evolução batimétrica da baía de Guajará e foz do rio Guamá entre os anos de 1843 e 1985.

A carta batimétrica de 1961 mostra que o Banco do Meio foi totalmente erodido e o canal Oriental, assoreado. O resultado foi o surgimento do Canal do Meio. De tal modo, correntes de enchente puderam alcançar a foz do rio Guamá. É provável que o fluxo desse rio tenha encontrado com essas correntes, dissipado sua energia e diminuindo a competência de transporte, formando, então, uma zona de deposição. Essa zona viria a formar a planície de maré lamosa Banco Sul da Cidade (FIG. 4.4 B). Houve estreitamento do Canal da ilha das Onças e a parte superior do Banco do Meio destacou-se, formando uma zona de cota máxima de 5 m em todo o setor norte-nordeste da baía.

Em 1978, os dados mostram a estabilização do canal de enchente (Canal do Meio) entre a ilha da Barra e a margem direita da baía de Guajará. A zona de cota máxima de 5 m descrita anteriormente restringiu-se à montante da ilha da Barra, criando o banco da Barra. No centro sul da baía, há o estabelecimento do Banco do Meio, provavelmente com gênese relacionada ao processo já descrito de fluxos de encontro entre correntes de maré de enchente e de vazante. O canal da ilha das Onças permanece com poucas variações, ao contrário do Banco Sul da Cidade, já com dimensões consideráveis (FIG. 4.4 C).

Na carta de 1985 observam-se poucas modificações (FIG. 4.4. D), quando comparada com a carta de 1978. Os bancos do Meio e Sul da Cidade apresentaram acréscimos consideráveis em suas dimensões.

## 4.2 – ANÁLISE TEXTURAL

A classificação textural deixou algumas dúvidas quanto à aplicação dos modelos sugeridos por autores tradicionais na literatura, considerando as implicações e as características peculiares da região. Por exemplo, a baía de Guajará é um sistema de deposição fluvial. Recebe contribuições dos rios Guamá e Acará/Moju, secundariamente do rio Pará, funcionando como uma bacia. No entanto, observam-se variações na altura de maré e circulação típicas de um estuário de meso-marés, que podem alcançar 3,8 m nas marés de sizígia.

Partindo-se do pressuposto da *verdade aproximativa*, optou-se, então, pela aplicação de vários métodos de análise faciológica/textural e pelo método de caracterização hidrodinâmica sugerida por Pejrup (1988), a seguir descritos.

#### 4.2.1 – Método de Folk e Ward (1957)

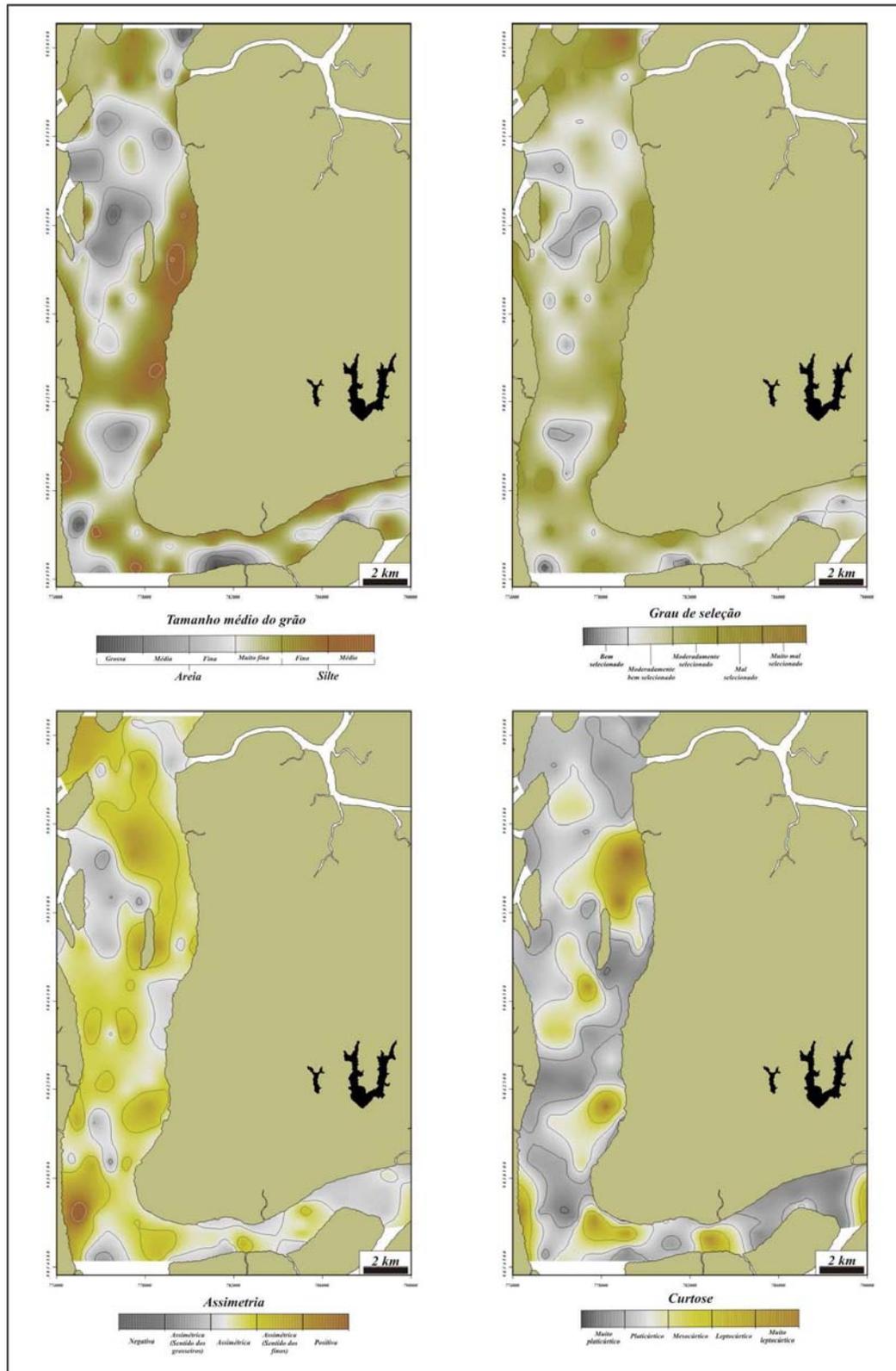
Os resultados das análises das amostras sedimentológicas, considerando o tamanho médio de grão, mostraram que na baía de Guajará 65% dos sedimentos classificam-se como *silte*. Sedimentos classificados como *areia muito fina* correspondem a 15%. *Areia fina, areia média e areia grossa* correspondem, respectivamente, a 12%, 6% e 2%. Não foram observadas amostras com classificação *argila*. A análise espacial desses resultados mostra que depósitos de sedimentos finos (lama) tenderam a se distribuir preferencialmente no setor leste-sudeste da área de estudo (FIG. 4.5 A), que corresponde à orla da cidade de Belém. Por sua vez, sedimentos arenosos são observados na margem oeste, associados aos canais e/ou formando bancos de areia.

Média e o tamanho médio do grão são os parâmetros mais importantes para caracterização e descrição textural dos ambientes de deposição, pois refletem geologicamente o processo (Suguio, 1973). Segundo McLaren (1981), a granulometria e, conseqüentemente, o tamanho médio do grão diminuem na direção do transporte. Os dados sugerem que a baía de Guajará funciona como bacia para os rios Guamá/Capim.

O desvio padrão (grau de seleção) apresentou boa correlação com a distribuição do tamanho médio de grão (FIG. 4.5 B). Em quase toda área de estudo são observados sedimentos *mal selecionados*. Sedimentos *bem selecionados* estão em zonas compostas por areia, enquanto sedimentos *muito mal selecionados* são encontrados na margem direita: limite norte e em alguns setores da margem leste, ambos setores caracterizados pela presença de planícies de maré lamosas.

O grau de seleção está relacionado com o retrabalhamento do sedimento, ou seja, pode refletir mais as características prévias, que as condições que prevalecem durante a sedimentação (Ponçano, 1986). Segundo Folk & Ward (1957) e Suguio (1973), a seleção dos sedimentos depende, até certo ponto, da granulometria do material. Sendo assim, é melhor nas areias e materiais mais grosseiros, e decai nos sedimentos finos.

A assimetria é um parâmetro muito sensível. Quando negativa, indica que as variações da energia cinética média do ambiente atingiram valores acima do normal, ao passo que a assimetria positiva indica oscilações da energia para valores abaixo do normal (Mendes, 1992). Ponçano (1986) afirma que a assimetria fornece



**Figura 4.5.** Parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) calculados para as amostras de sedimentos coletadas na baía de Guajará e foz do rio Guamá.

valores medíocres sobre a distribuição granulométrica. Segundo Duane (1964), valores negativos são indicativos de áreas em processo de remoção de sedimentos, enquanto valores positivos representam áreas de deposição.

Na baía de Guajará os sedimentos possuem assimetria *aproximadamente simétrica*. Amostras *assimétricas no sentido dos finos* (assimetria levemente positiva) estão distribuídas na zona do banco da Barra, ao centro da área de estudo. Amostras *assimétricas no sentido dos grosseiros* (assimetria levemente negativa) se distribuíram nas zonas onde sedimentos arenosos predominam (FIG. 4.5 C).

A relação direta que pode ser feita é que quanto mais sedimentos finos presentes nas amostras, mais positiva será a assimetria. O contrário também é verdadeiro, ou seja, quanto mais sedimentos grosseiros existirem nas amostras, mais negativa será a assimetria. No entanto, a hipótese de Mendes (1992) e de Duane (1964) também pode ser aplicada na baía de Guajará: nos setores onde a assimetria apresentou valores relativamente positivo (porção sul e central) ocorre a deposição de sedimentos, com regime hidrodinâmico relativamente calmo. Onde a hidrodinâmica é mais forte, a assimetria apresenta valores negativos (setor noroeste da baía, onde predominam sedimentos grosseiros). Segundo McLaren (1981), em ambientes cujos sedimentos sofrem deposição/remoção seletiva a assimetria é positiva, mesmo sendo proveniente de fontes com assimetria negativa.

A curtose foi o parâmetro estatístico que mais variou (FIG. 4.5 D). Para McLaren (1981), a curtose não é um parâmetro que mostra algo mais que a distribuição dos sedimentos entre as classes granulométricas. Valores *leptocúrticos* de curtose podem indicar a predominância de uma classe modal, enquanto valores *mesocúrticos* sugerem uma distribuição mais homogênea. Quando a curtose é *platicúrtica*, têm-se uma distribuição anormal entre as classes granulométricas (Ponçano, 1986).

Na baía de Guajará predominam sedimentos *platicúrticos*, seguidos de sedimentos *mesocúrticos*, não sendo observado um padrão. A dominância de sedimentos *platicúrticos* pode ser atribuída ao predomínio de uma única classe (no nosso caso, *silte*). Em algumas amostras, a fração *silte* correspondeu com quase 90% do peso total, principalmente naquelas coletadas na margem direita.

A análise da distribuição de Folk e Ward (1957) para os sedimentos da baía de Guajará permitiu concluir que os mapas de distribuição do tamanho médio de grão não condizem 100% com a realidade observada em campo. Quando se diz que uma amostra apresentou classificação *areia fina* fala-se **exclusivamente** em tamanho médio

de grão. Grãos de tamanho *areia muito fina* são observados na praia do Atalaia, nordeste do Pará (Gregório et al., 2005) e em algumas amostras do setor sudeste da baía de Guajará. Porém, qual seria a diferença entre elas?

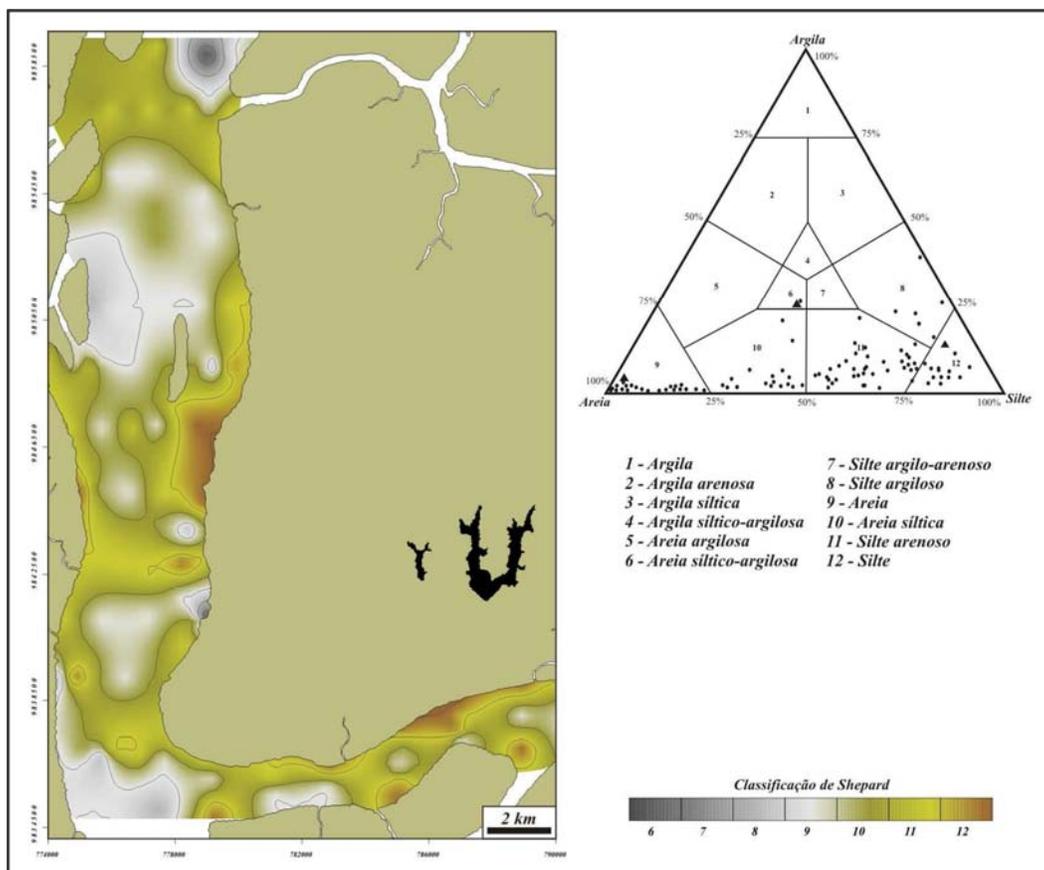
A diferença estaria tanto na mineralogia, quanto nas variações do percentual de grãos de tamanho *areia*, *silte* e *argila* presente em cada amostra. Sendo assim, as *areias* da baía de Guajará se diferenciam das *areias* da praia do Atalaia pelo teor de sedimentos lamosos (*silte* + *argila*): enquanto na baía a proporção de lama pode alcançar 49% do peso total da amostra sem modificar sua classificação de *areia muito fina*, na praia do Atalaia o teor de lama não ultrapassa 5% (Gregório, 2004; Gregório et al., 2005) nas amostras também classificadas como *areia muito fina*.

Considerando que apenas o tamanho de grão dominante classifica uma amostra, o método de Folk e Ward (1957) “mascara” alguns resultados na baía de Guajará.

#### 4.2.2 – Método de Shepard (1954)

O diagrama triangular de Shepard (Shepard, 1954) leva em consideração o tamanho médio de grão e a distribuição das proporções de areia, silte e argila. As amostras da baía de Guajará e foz do rio Guamá classificam-se, em sua maioria, nos campos da base do diagrama de Shepard (FIG. 4.6), ou seja, poucas foram as amostras com teor de *argila* superior a 25% do peso total. A classificação *silte arenoso* foi dominante. Seguida das classes *areia siltica*, *areia* e *silte*.

Especialmente, os sedimentos classificados como *silte arenoso* concentraram-se no setor centro sul da baía de Guajará. Na margem direita observaram-se sedimentos classificados como *silte*. Depósitos de *areia siltica* foram descritos para no setor sudoeste, associados ao canal da ilha das Onças e aos bancos de lama (FIG. 4.6).



**Figura 4.6.** Mapa de distribuição sedimentológica a partir da aplicação do Diagrama de Shepard (Shepard, 1954).

O presente método pôde ser aplicado com bastante eficiência na baía de Guajará. A discussão gira em torno do preciosismo dos mapas de distribuição das classes sugeridas por Shepard (1954). Uma amostra tida como *silte arenoso* deverá possuir um teor mínimo de silte correspondente a 50% do peso total da amostra, enquanto a fração areia deve corresponder com, no máximo, 50% e a argila, 25%. De tal modo, uma amostra com 74% de silte, 20% de areia e 6% de argila terá a mesma classificação que uma amostra constituída por 51% de silte, 48% de areia e 1% de argila. Ou seja, ambas serão nomeadas pelo método de Shepard como *silte arenoso*.

Do ponto de vista de ambientes analisados em média ou larga escala, essa pequena observação feita no parágrafo anterior pode ser descartada. Porém, sabe-se que os poluentes químicos, notadamente metais traços, tendem a se adsorver-se a sedimentos de granulometria mais fina, sendo essa regra diretamente proporcional. Assim, em uma área onde predominam sedimentos *silticos arenosos* com 75% de silte, 15% de argila e 10% de areia é maior a probabilidade de adsorção de poluentes do que

em uma área onde os sedimentos *sílticos arenosos* apresentam-se com 50% de silte, 10% de argila e 40% de areia.

O enfoque do presente item desta dissertação de mestrado é contribuir para gestão ambiental da baía Guajará e foz do rio Guamá aplicando diretamente dados sedimentológicos. Considerando os potenciais riscos de acidentes ambientais da área de estudo, a classificação de Shepard também não é 100% eficiente.

#### 4.2.3 – Distribuição de Larssonneur (Dias, 1996; Dias e Medeiros, 2005)

O método de Larssonneur (Larssonneur, 1977) foi adaptado para a costa brasileira por Dias (1996) e por Dias e Medeiros (2005). Em linhas gerais, seria a junção das metodologias de Folk e Ward (1957) e Shepard (1954). Tamanho médio de grão, proporções de areia, silte e argila e teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) são considerados na classificação final da Distribuição de Larssonneur.

Dias e Medeiros (2005) definiram 48 tipos de sedimentos, em função da granulometria e dos teores de carbonato. Em relação à granulometria, são quatro classes: seixos, grânulos, areias e lamas. Quanto aos teores de carbonatos, os sedimentos podem ser: litoclásticos (<30%), litobioclásticos (30 a 50%), biolitolásticos (50 a 70%) e bioclásticos (>70%).

A Distribuição de Larssonneur, no entanto, necessitou de um ajuste na nomenclatura: como a metodologia foi proposta para analisar amostras de plataforma continental, o termo *terrígeno* não pode ser aplicado às amostras continentais, como as da baía de Guajará, uma vez que corresponde a sedimentos provenientes da desagregação de rocha e transportados a partir do continente - de áreas emersas - em direção ao mar. A área de estudo localiza-se a 100 km do oceano Atlântico. De tal maneira, no presente trabalho o termo *terrígeno* foi mudado para *siliciclástico*. Também se optou pela mudança do termo *litoclástico* para *siliciclástico*. A tabela 01 mostra em detalhes as classes texturais da classificação de Larssonneur utilizadas nas amostras do presente estudo.

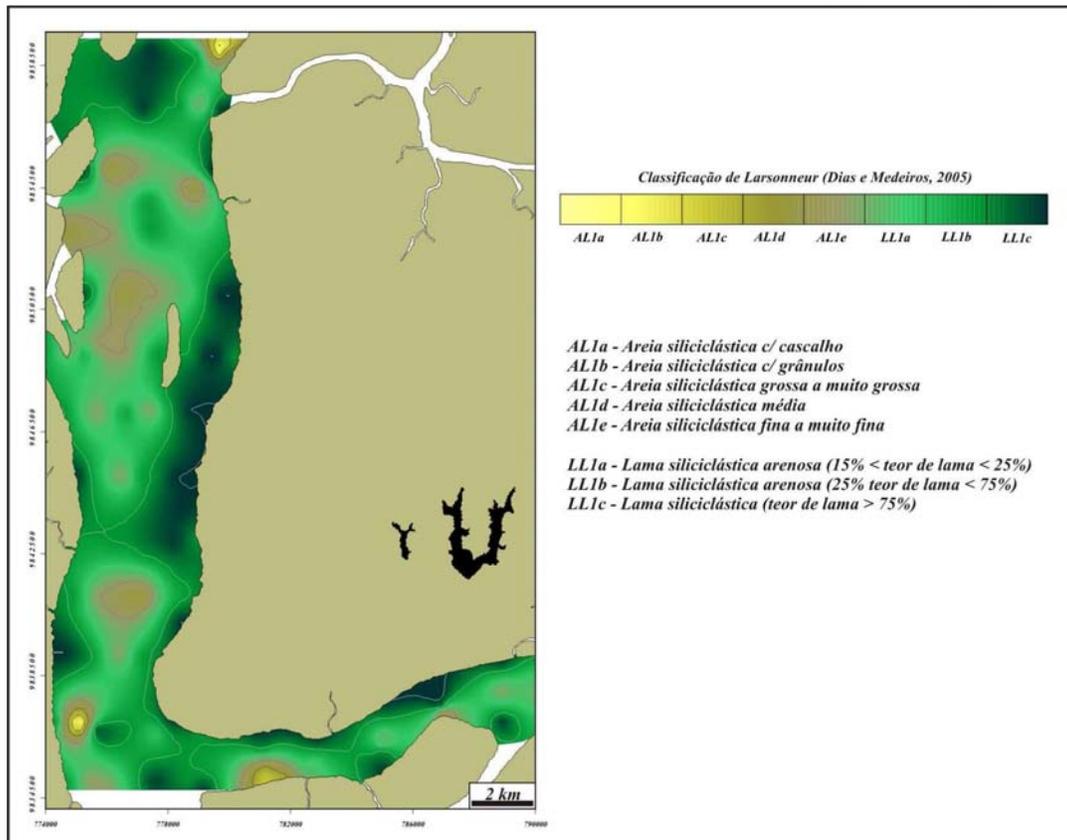
**Tabela 4.1.** Classificação de Larsson para sedimentos siliciclásticos, cujo teor de  $\text{CaCO}_3$  é inferior a 30%. Modificada de Dias e Medeiros (2005).

Código	SEDIMENTOS ARENOSOS (teor de lama < 15%)					SEDIMENTOS LAMOSOS (teor de lama > 15%)		
	<i>AL1a</i>	<i>AL1b</i>	<i>AL1c</i>	<i>AL1d</i>	<i>AL1e</i>	<i>LL1a</i>	<i>LL1b</i>	<i>LL1c</i>
Descrição	Areia siliciclástica c/ cascalho	Areia siliciclástica c/ grânulos	Areia siliciclástica grossa a muito grossa	Areia siliciclástica média	Areia siliciclástica fina a muito fina	Lama siliciclástica arenosa	Lama siliciclástica arenosa	Lama siliciclástica
Teor de lama	< 15 %					15% < lama < 25%	25% < lama < 75%	> 75%
Phi médio	< 0 phi	0 < phi < 1	1 < phi < 2	2 < phi < 3	3 < phi < 3.9	> 4 phi		

Na baía de Guajará, 72% dos sedimentos são do tipo **LLI** (Lamas Siliciclásticas Arenosas – 15% < teor de lama < 75%). Na margem esquerda do rio Guamá e em porções dos canais da baía de Guajará ocorrem sedimentos classificados como **AL1a** e **AL1b** (FIG. 4.7). Os depósitos arenosos observados no setor sul da área de estudo são classificados como do tipo **AL1e**. A aplicação da Distribuição de Larsson foi a que mais se aproximou da realidade observada na baía de Guajará.

Os sedimentos **LLI** distribuem-se de maneira uniforme ao longo da orla cidade de Belém e margem direita do rio Guamá, formando extensas e contínuas planícies de maré lamosa. A dominância de sedimentos finos chegou a 98% nos sedimentos coletados neste setor. Enquanto nas margens a lama é macia, quase fluída (FIG. 4.8 D), no canal Oriental a lama é bastante compacta, de cor cinza escuro (FIG. 4.8 B).

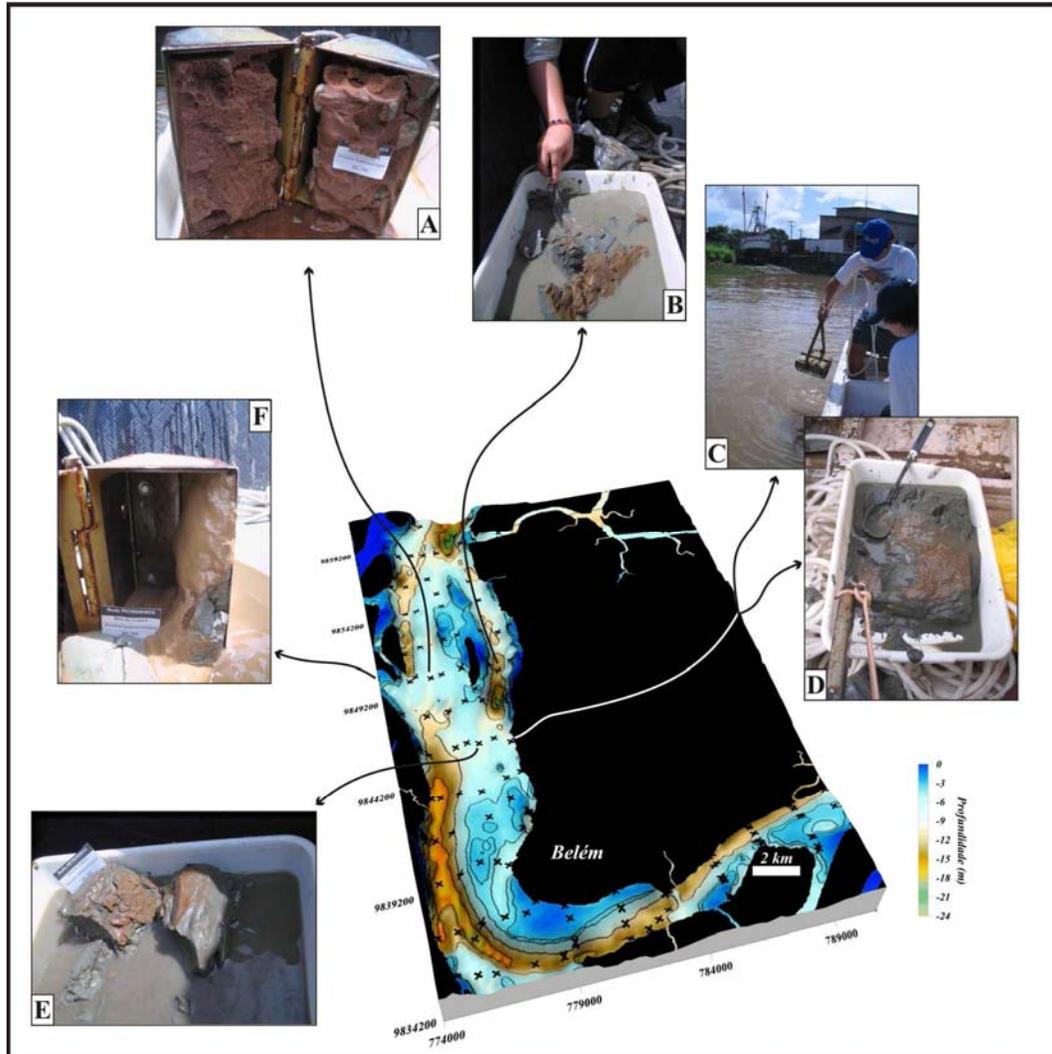
Essa lama compacta provavelmente corresponde ao Grupo Barreiras, uma vez que esses sedimentos foram coletados em um dos setores mais profundos da baía de Guajará (~22 m). Considerando a também elevada hidrodinâmica local, acredita-se que os sedimentos finos depositados nos estofos de maré provavelmente são erodidos pelas correntes de maré, especialmente as de maré enchente. Nas margens, no entanto, a hidrodinâmica é mais baixa. Com isso, um ambiente propício à deposição de finos em suspensão, ao longo dos ciclos de maré.



**Figura 4.7.** Distribuição de Larsonneur aplicada na baía de Guajará.

Deloffre et al., (2007) estudaram as planícies de maré lamosa dos estuários de Authie e Seine, na costa noroeste da França. As taxas médias de sedimentação foram de 18 cm/ano nas planícies do primeiro estuário, enquanto a taxa foi de 15 cm/ano no segundo. Ambos os ambientes estão submetidos a um regime de macromarés semi-diurnas (variação de altura de marés acima de 8 m). Apesar da erosão causada pelas ondas, a taxa de sedimentação possui valor de 0,25 cm por ciclo semi-diurno da maré no estuário de Authie. No estuário de Seine, no entanto, as taxas são descontínuas e a deposição de sedimentos lamosos só ocorre em situações de maré de sizígia. Não há estudo de taxas de sedimentação para a baía de Guajará.

Lee et. al. (2007) estudaram o padrão de deposição de lamas Holocênicas no estreito da Coreia, na Coreia do sul. Os autores relacionaram a topografia baixa da região, o grande aporte fluvial e a atuação das correntes de maré como os principais controladores da deposição e dispersão de sedimentos em suspensão na região, caracterizada por apresentar um litoral do tipo “rias”. Na baía de Guajará o processo não é diferente, sendo estes mesmos fatores os controladores da dinâmica sedimentar.



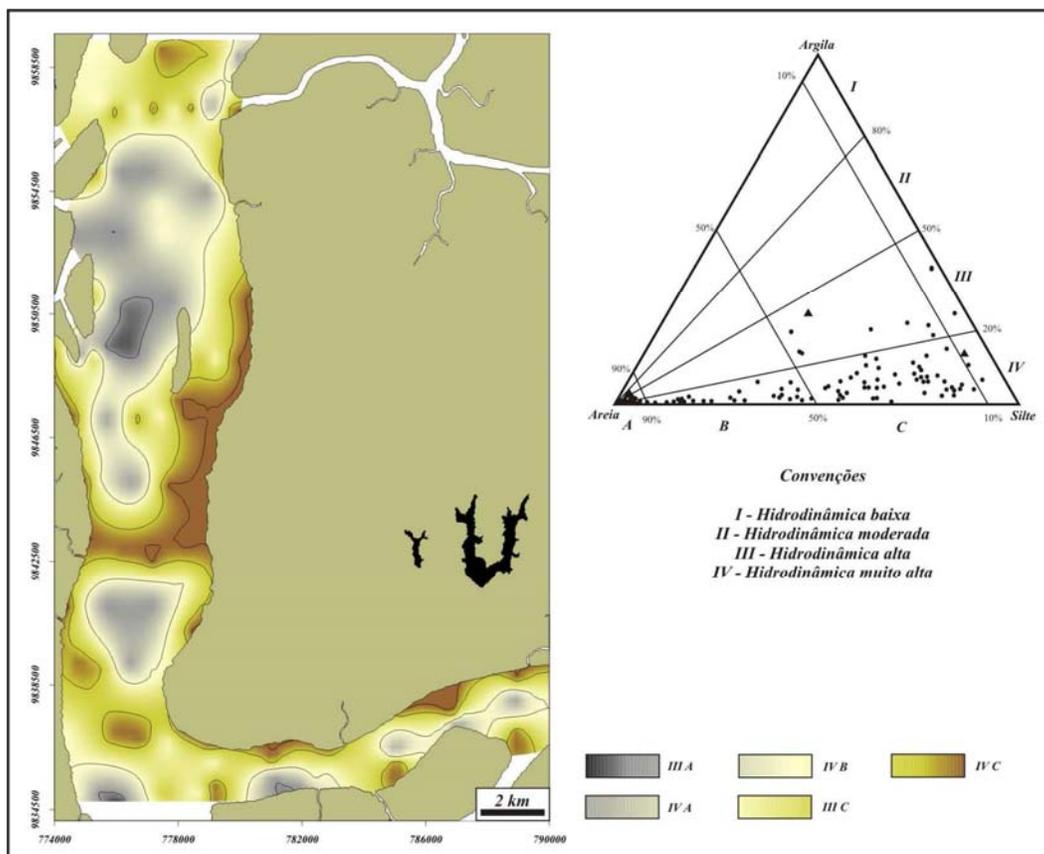
**Figura 4.8.** Bloco diagrama da baía de Guajará e foz do rio Guamá com a localização das estações de coleta. A) Areia média – *ALId*. Observar a coloração, que indica a presença de Ferro e os “seixos de lama” incrustada nas areias. B) Amostra de lama compacta, coletada no canal Oriental. C) Estação de amostragem localizada na margem direita da baía e D) lama macia (*LLIc*) coletada neste mesmo ponto. E) Lama (*LLIa*) de consistência plástica e com cobertura de areia média a fina. F) Lama (*LLIb*) com cobertura sedimentar recentemente depositada. Fotos do autor, fevereiro de 2006.

#### 4.2.4 – Diagrama de Pejrup (Pejrup, 1988)

Segundo os parâmetros propostos por Pejrup (1988), a grande maioria das amostras da baía de Guajará se concentrou em cinco grupos significativos: III A, IV A, IV B, IV C e III C (FIG 4.9). O setor oeste, amplamente dominado por sedimentos

arenosos, enquadrando-se dentro dos grupos II A, IV A e IV B (FIG. 4.11). Os teores de areia variam entre 50% e 100% nas amostras desta região.

O grupo III C corresponde a forças hidrodinâmicas elevadas, observada em áreas onde predominam sedimentos de granulometria pelítica. Esse grupo distribuiu-se pela baía inteira, dominando principalmente o setor leste e a margem direita. Sedimentos classificados no grupo IV C também foram observados, como em alguns pontos da margem direita do rio Guamá, especificamente nas proximidades do *campus* da Universidade Federal do Pará – UFPA. Ali, a problemática decorrente da erosão na orla da UFPA é antiga, conforme constatou Silveira (1992). Ao longo de pelo menos 15 anos, estruturas de contenção da erosão foram construídas. Porém poucas obtiveram sucesso, considerando o avanço contínuo da margem do rio Guamá. Os sedimentos dos bancos Sul da Cidade, da Cidade e do Meio os enquadram-se nos grupos VI A e IV B.



**Figura 4.9.** Diagrama de Pejrup aplicado nas amostras coletadas na baía de Guajará e rio foz do rio Guamá.

Os resultados permitiram delimitar as áreas representativas da hidrodinâmica ocorrente na área estudada. Observa-se que a margem esquerda da baía apresenta regime hidrodinâmico elevado, com predominância de sedimentos arenosos, especialmente a montante da ilha da Barra. A margem direita, no entanto, também se apresenta controlada por um alto regime hidrodinâmico. Porém, predominam sedimentos lamosos, especialmente ao longo da orla da Belém.

O Diagrama de Pejrup mostrou-se uma ferramenta eficaz de caracterização hidrodinâmica para a baía de Guajará e foz do rio Guamá. Em linhas gerais, pode-se concluir que o setor oeste mostra-se mais dinâmico (considerando o predomínio de sedimentos arenosos). No entanto, mais de 95% das amostras estudadas foram agrupadas em classes com hidrodinâmica *alta a muito alta*, o que respalda a afirmação de que a baía de Guajará e a foz do rio Guamá, como um todo, correspondem a um sistema de circulação bastante significativa. A interação das correntes de maré e fluviais são principais responsáveis pela hidrodinâmica local.

#### 4.2.5 – Matéria Orgânica

Os teores de matéria orgânica apresentaram razoável correlação com as lamas: os maiores teores foram observados nos sedimentos de granulometria mais fina. Estes variaram de baixos a moderados (0,55 a 16,32%), refletindo, em termos, a heterogeneidade textural e ambiental da área.

Nos setores centro-leste da baía, ao longo do canal Oriental e ao longo do canal da ilha das Onças a média foi de 9,8%. No setor extremo norte o teor é de 15,57%; e o valor máximo (16,32%) ocorre no centro-oeste (FIG. 4.10).

Os teores observados ao longo do canal Oriental provavelmente estão associados à descarga dos igarapés do Una e do canal de Jacaré, que despeja esgoto *in natura* (e rico em matéria orgânica) da cidade de Belém diretamente na baía. Deste modo, a pluma de dispersão é evidente, quando da observação da distribuição no mapa de isoteores (FIG. 4.10). Ao longo deste setor, localiza-se um número bastante razoável de indústrias de médio a grande porte, conforme amplamente apresentado nos capítulos anteriores deste trabalho. Todas essas indústrias podem contribuir para o enriquecimento da matéria orgânica, através do despejo de seus efluentes.

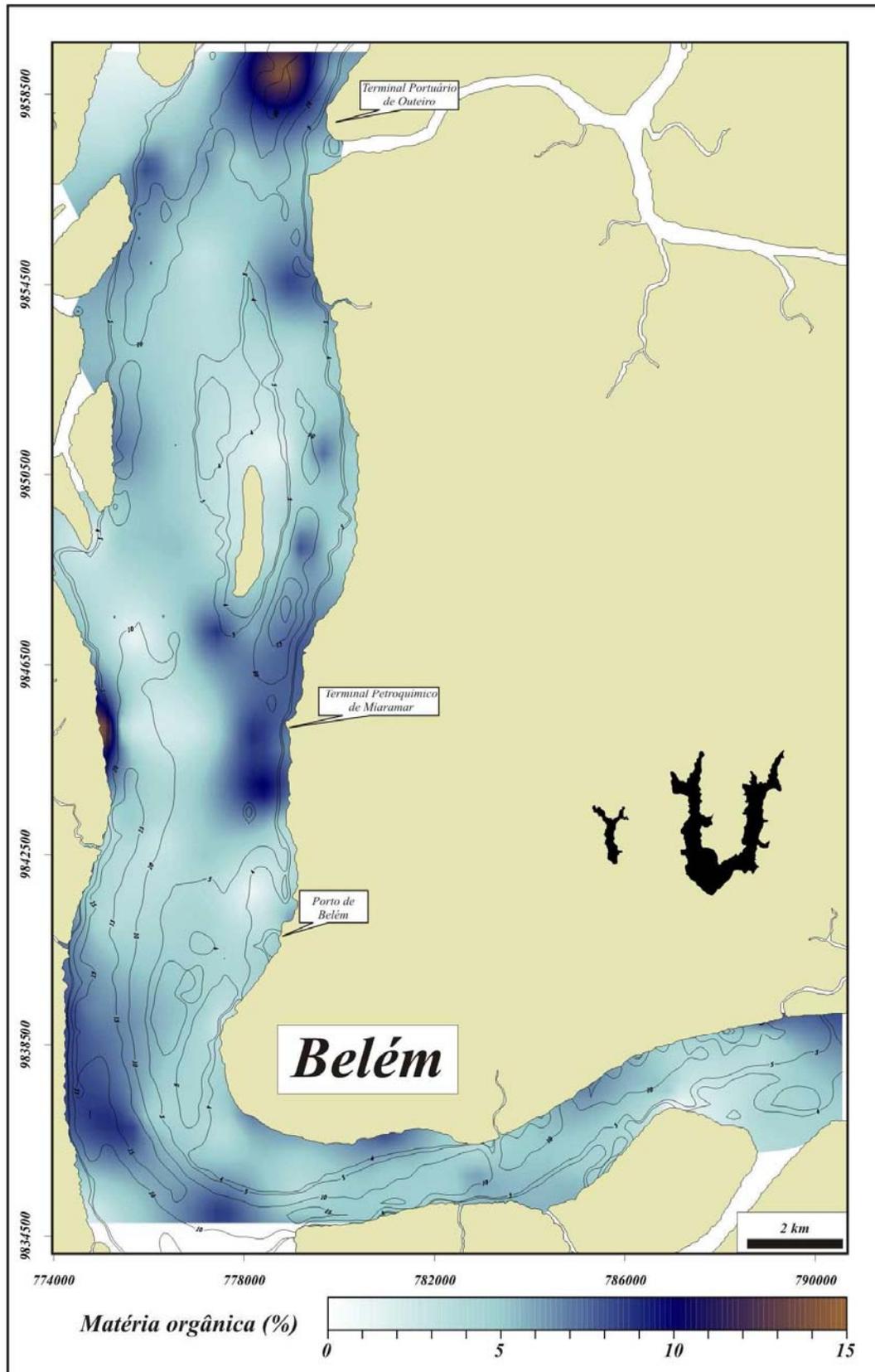


Figura 4.10. Mapa de distribuição do teor de matéria orgânica na baía de Guajará.

Diversos autores têm destacado a tendência da poluição a associar-se com a matéria orgânica (p.ex. Vestergaard, 1979 e Aragon et al., 1986). Sabe-se que esta é um ótimo indicador da dinâmica de fundo de um sistema aquático. Seus elevados teores devem-se às condições redutoras prevalentes nos sedimentos de fundo. Ademais, a distribuição da matéria orgânica indica os diferentes graus de aeração das diversas áreas do ambiente de sedimentação. Quanto maior seu teor, menor o grau de oxigenação. E pelo que pôde ser observado, o relativamente teor de matéria orgânica presente nos sedimentos ao longo da margem direita da baía de Guajará é consequência da grande descarga de esgotos e de efluentes industriais.

A distribuição na porção sul do canal da ilha das Onças, com médias de 8,3%, em termos parece-se com a ocorrida na porção centro-leste. Já nos setores centro-oeste e extremo norte o que se observa é uma distribuição mais pontual. O ocorrido na porção ao sudoeste da baía deve ser observado com mais detalhe, uma vez que a influência do rio Guamá deve ser considerada.

O rio Guamá, que bordeja a porção sul da cidade de Belém, também recebe esgoto sem nenhum tipo de tratamento, através dos canais da Tamandaré, da 14 de março, da Quintino Bocaiúva entre outros; além do igarapé do Tucundunba. Estes dejetos podem ser facilmente transportados por correntes, tanto superficiais como de fundo, para a baía de Guajará.

Observa-se que a distribuição da matéria orgânica na porção sul segue o talvegue principal do canal do rio Guamá, que, tão logo adentra a baía de Guajará, passa a denominar-se canal da ilha das Onças. Processos erosivos são altos neste setor. Deste modo, também pode ter ocorrido um enriquecimento por matéria orgânica de origem vegetal, visto que essa região é densamente povoada por várzeas. No setor extremo norte é provável que ocorra uma contribuição da descarga do furo do Maguari, pois diversas indústrias madeireiras, estaleiros entre outras estão instaladas às margens deste furo.

É sabido que à medida que se reduz o tamanho das partículas, aumenta-se a sua área superficial específica e a capacidade de troca de cátions, assim como a capacidade de concentrar poluente. Às margens do canal Oriental e do furo do Maguari localizam-se o Terminal Petroquímico de Miramar e o Terminal Portuário do Outeiro. A Petrobrás opera em ambos, movimentando cargas como óleo diesel, gás liquefeito de petróleo (GLP - gás de cozinha), querosene para avião, gasolina comum, mistura MF-380 (combustível marítimo) e outros derivados de petróleo. Nas áreas onde estão

localizados estes terminais foram observados os maiores índices de sedimentos finos e de teor de matéria orgânica.

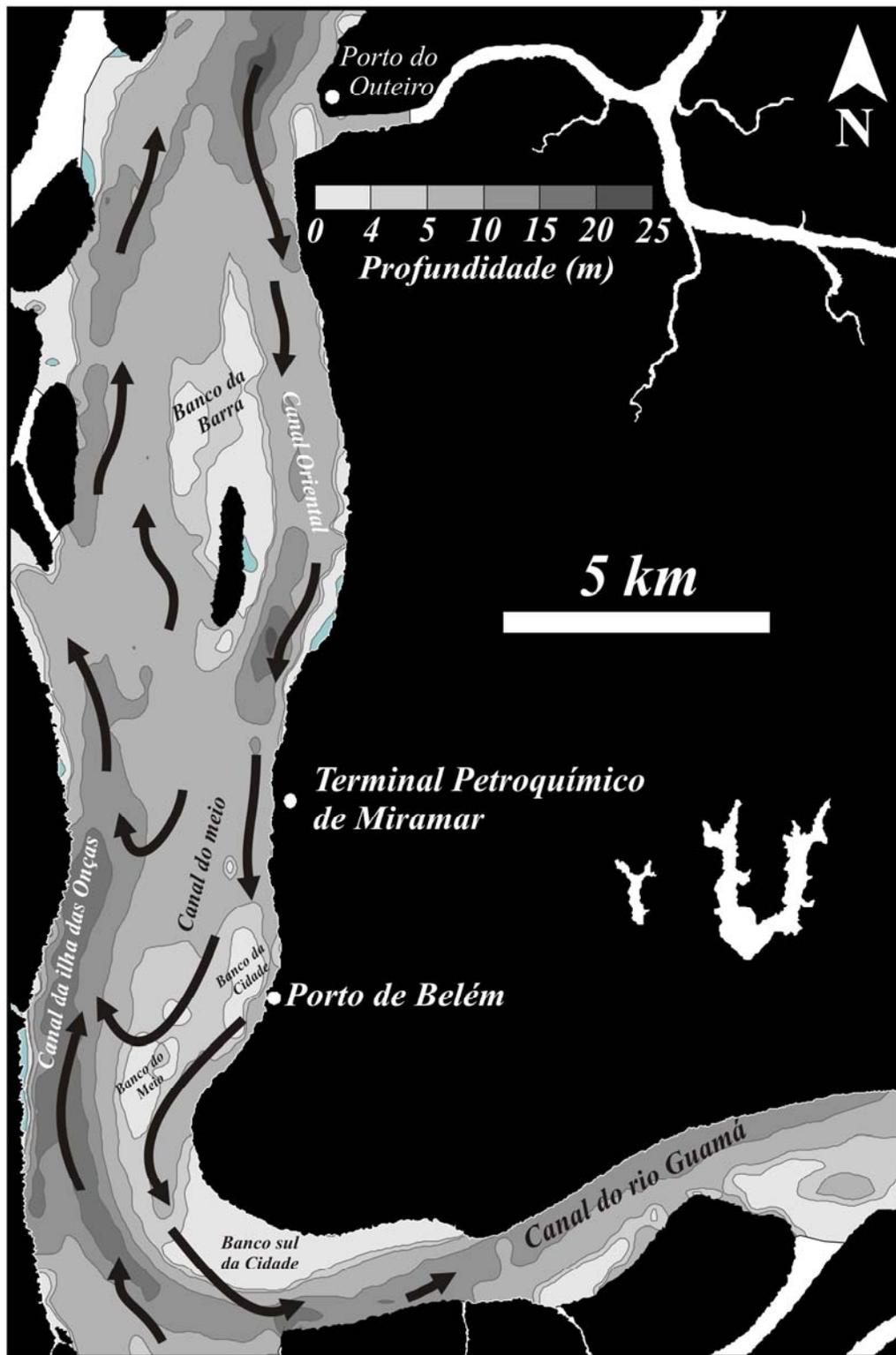
#### 4.2.6 – Discussões

Na baía de Guajará, os sedimentos lamosos são de origem fluvial. Os sedimentos arenosos observados na área de estudo não possuem grandes áreas de distribuição, estando restritos ao setor noroeste, ao limite superior da área de estudo (em frente ao Terminal do Outeiro) e na porção sul da baía de Guajará (desembocadura dos rios Guamá e Acará).

A aplicação do método de Folk e Ward (1957) foi útil para descrever as características texturais da baía. No entanto, mascarou alguns resultados. Apesar de se ter obtido êxito com a aplicação do diagrama de Shepard, esse método ilustra as características texturais dos sedimentos de maneira não muito exato, do ponto de vista da gestão ambiental. Porém, a aplicação da distribuição de Larssonneur foi fundamental para diferenciar e caracterizar os depósitos sedimentares da baía de Guajará.

Considerando a distribuição dos sedimentos arenosos, acredita-se que há contribuição da baía do Marajó e do rio Pará. Através de correntes de marés, sedimentos arenosos podem ser trazidos para a baía, uma vez que se estabelecem uma série de canais e conexões nos setores onde predominam areias. Estas areias são constituídas por grãos de quartzo e pequenas quantidades de fragmentos de óxido de ferro derivados do arenito ferruginoso *grés-do-pará* (Formação Barreiras).

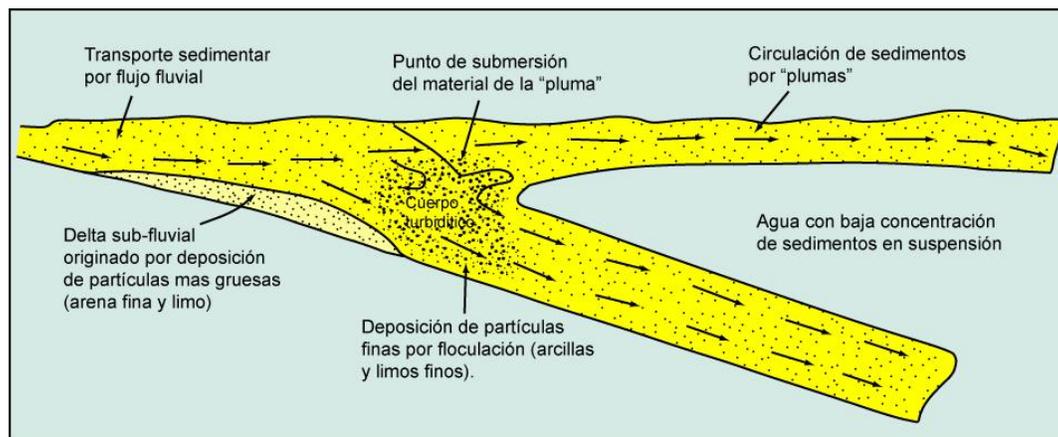
Na zona central ocorre bifurcação das correntes: uma componente segue o fluxo de enchente, enquanto a outra acompanha o fluxo de vazante. O “choque” entre essas correntes dissipa a energia. De tal modo, os sedimentos lamosos e/ou arenosos que estavam sendo carregados em suspensão pelos rios Guamá e Acará são depositados ao longo da margem direita da baía, formando os bancos lamosos e areno-lamosos com baixo grau de seleção (FIG. 4.11).



**Figura 4.11.** Mecanismo de deposição dos depósitos lamosos da baía de Guajará. Situação de maré enchente de sizígia: as correntes de enchente que fluem pela direita se encontram com as correntes de final de vazante do canal da ilha das Onças, por onde fluem grande parte da descarga sólida e líquida dos rios Acará e Guamá. Na porção leste (orla de Belém) é criada uma zona de deposição de sedimentos finos.

Ayup-Zouain (1986) descreve um processo parecido no estuário do rio de la Plata. O material trazido pelos rios é transportado pelo fluxo fluvial, sendo os de granulometria mais grosseira depositado no setor mais interno, formando um delta sub-fluvial. O material mais fino segue para a plataforma. No entanto, a penetração de águas salinas e com baixa concentração de sedimentos em suspensão gera nova deposição, o que forma lençóis lamíticos com predominância de texturas argilosas. O restante do material que ainda está suspenso na forma de pluma submerge e gera um corpo de turbidez. Esse corpo, que possui altas concentrações de material fino em suspensão, desloca-se muito próximo do fundo, como uma “corrente de turbidez” (FIG. 4.12).

Na baía de Guajará, o choque entre as correntes de enchente e de vazante gera um processo que se assemelha ao descrito para a rio de la Plata. Os sedimentos grosseiros são depositados no setor oeste, enquanto os sedimentos finos formam as planícies lamosas e bancos de lama da margem direita. No entanto, ainda não há trabalhos sobre a penetração da maré salina e dinâmica na baía de Guajará.

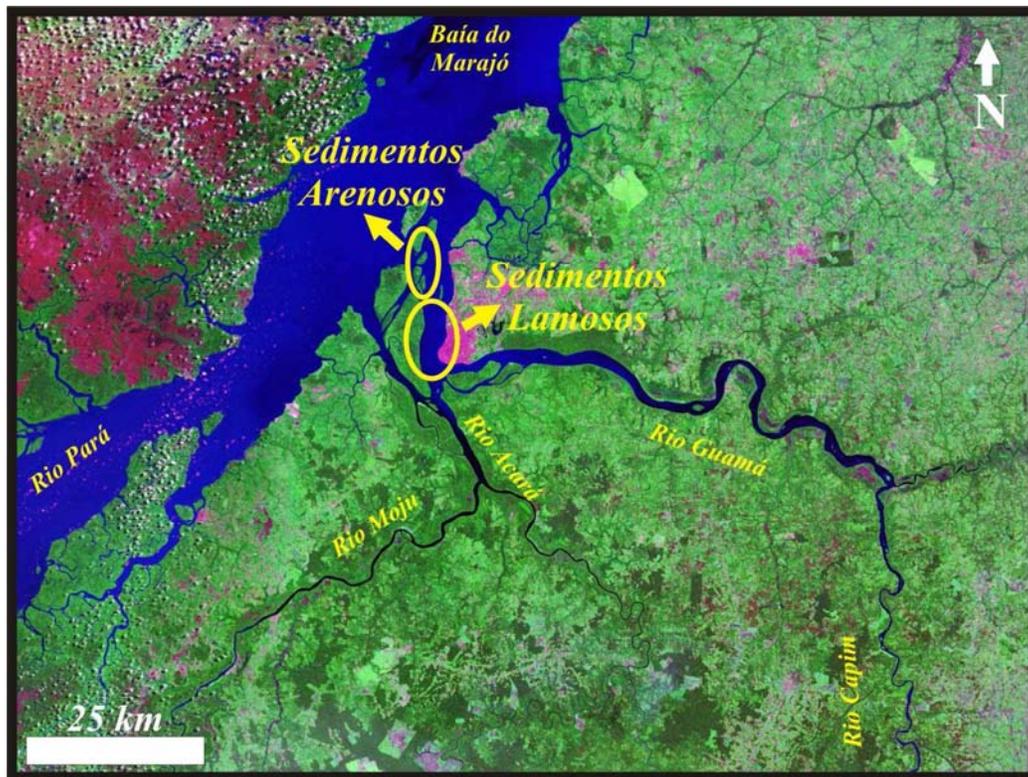


**Figura 4.12.** Modelo do transporte de sedimentos no rio de la Plata (modificado de Ayup-Zouian (1986).

Pinheiro (1987) descreveu a composição dos sedimentos pelíticos da baía de Guajará através de difratometria por Raio-X, encontrando uma associação de caolinita, ilita, esmectita com interestratificados de ilita-esmectita além de traços de clorita. Os minerais pesados principais observados correspondem a estauroлита, turmalina, zircão, epídoto, anfíbólios, cianita e rutilo.

Segundo Bermeguy (1997), a esmectita encontrada nos sedimentos pelíticos de paleocanais da ilha do Marajó pode ter como fonte os sedimentos terciários do Alto Amazonas ou nas rochas ricas nesse argilo-mineral observadas na Bacia

Sedimentar do Maranhão. O rio Tocantins (depois, rio Pará) drena parte da Bacia supracitada. A baía de Guajará recebe influência não só desse rio (FIG. 4.13), mas também do estuário do rio Amazonas. Também é aceita a hipótese de Pinheiro (1987), que supõe que a esmectita é trazida da plataforma continental para dentro da baía de Guajará pelas correntes de enchente que fluem fortemente pela baía de Marajó e adentram a área de estudo.



**Figura 4.13.** A baía de Guajará no contexto fluvial e flúvio-marinho.

Pinheiro (1987) também sugere que a caulinita e a ilita observadas nos sedimentos da baía de Guajará podem ser provenientes dos solos e sedimentos da borda dos rios Guamá e Acará. Atualmente, no rio Capim é intensa a exploração industrial de caulim. O retrabalhamento dos sedimentos da Formação Barreiras também é uma das possíveis fontes de sedimentos arenosos para o setor noroeste e sul da baía de Guajará. As rochas da Formação Barreiras afloram sob a forma de falésias ativas em grande parte das ilhas da baía de Guajará.

A margem direita, mais abrigada, é fortemente influenciada pelos dos rios Guamá/Capim e Acará/Moju, recebendo destes os sedimentos lamosos trazidos em suspensão e/ou em camadas de lama junto ao substrato.

## CAPÍTULO 05 – MUDDY DEPOSITS OF GUAJARÁ BAY (PARÁ - AMAZON - BRAZIL)<sup>9</sup>

### 5.1 ABSTRACT

The Guajará Bay is a fluvial system influenced by semidiurnal mesotides (3.3 meters height), situated in southwestern of the Marajó Bay (Amazon/Brazil). It is a water body that receives contribution of Acará, Guamá and Pará rivers. The area has been submitted to historical processes of environmental degradation device form urban expansion, industrial sewerage and port activities. The right bank shelters the port sector as well as stock of oil derivatives. Bathymetric and sedimentological studies evidenced that the Guajará bay is composed, predominantly, for pelitics sediments. Coarse sands occur within channels. In the south portion of the bay occurs muddy deposits (tidal flats and tidal bars) such as “Banco Sul da Cidade”, “Banco do Meio” and “Banco da Cidade”. The “Banco Sul da Cidade” is a muddy tidal flat about 7 km length and 1.5 km width located at the Guamá river mouth and exposed during low tide. The “Banco da Cidade” is a tidal bar about 2.5 km length and 600 meters width, located in front of the Port of Belém. The high sedimentation becomes this sector sufficiently problematic for the port activities; needing periodic dredging. The “Banco do Meio” is a tidal bar about 3.5 Km length and 1 Km width. Seasonal hydrodynamic monitoring will be very important for the definition of the behavior of bathymetrical and sedimentological dynamics of the muddy deposits. The same one applies to the determination of the sedimentation rates for definition of the risk sectors.

Key-words: Amazon River mouth; mesotide estuary; mud.

---

<sup>9</sup> Artigo submetido para o número especial da revista *Continental Shelf Research*, onde serão publicados trabalhos discutidos durante o “*International Symposium on Mud Deposit in Coastal Areas*”.

## 5.2 INTRODUCTION

Coastlines bring together a unique and extraordinarily varied group of processes; not only processes associated to the sea itself, but also, in certain locations, those arising from water and sediment transfers from rivers (Cooke and Doornkamp, 1997).

Fine sediments can only be deposited in suitable environments, the resulting morphology depending on the environment. Mud can only accumulate in sheltered areas, such as salt marshes, lagoons, runnels landward of high ridges, the lower foreshore where shelter is provided by offshore banks, and the quieter shelf areas. Each environment differs from the other and each can be differentiated in terms of the local controls including climate, tidal range, type of sediment and type of vegetation.

Mud deposits are found in many places in the world, especially in coastal areas. These deposits are extremely important for their ecologic and biological function, as well as for the major role they play as natural defenses of marine processes.

In the Amazon River Mouth, immense argillaceous suspensions ( $1.1 - 1.3 \cdot 10^9$  tons/year, Meade et al., 1985) are discharged. Of this total,  $6.3 \times 10^8$  tons/year are deposited on the continental shelf close to the Amazon River mouth (Kuehl et al., 1986, Nittrouer and DeMaster, 1986), while about  $1.5 \times 10^8$  tons/year are transported in suspension, creating mud banks and mud flats (Froidefond et al., 2002).

With 1.100 km of total area, the Brazilian Amazonic Coastal Zone is divided in two parts, by the Marajoara Gulf: the Amapá Coast and the estuaries of Pará and Maranhão States. The Amapá Coast is a larger and extensive coast composed by mud sediments and influenced by the discharge from Amazon River, advancing to the French Guiana Coast (Froidefond et al., 2004). The estuaries of Pará e Maranhão States compose the major continuous area of the world formed by mangroves (Souza Filho et al, 2005; Mendes, 2005; Souza Filho et al., 2006).

Located in this zone of estuaries, the Guajará Bay is a fluvial system modified and influenced by local tidal dynamics (Gregório et al., 2006). The study area is inserted in the estuarine complex of Amazon River Mouth, receiving fresh water of three others rivers (Acará, Guamá and Pará). Aiming to characterize the geomorphology and dynamic of the mud and sand deposits of Guajará Bay, ecobathymetric and sedimentological data were collected.

### 5.3 STUDY AREA

The Amazon River Mouth, with 60.000 km<sup>2</sup> of total area, has a large number of islands. The biggest of them is the Marajó Island, separated from the continent by the Pará River (to the East) and by the Amazon River (to the West and to the South). The Guarajá Bay is located to the southeast of Marajó Island, about 102 km away from the Atlantic Ocean (FIG. 5.1).

The thermal daily ranges are more than monthly or annual: during the day the temperature is at about 30° C, while at dawn it is common that the temperature falls to 23-24° C. There is no dry period or uniform rain distribution in the bay: a reduction in average precipitation is observable in June, and in November the precipitation rate starts to increase. An average annual precipitation of 2277 mm has been documented (Walter & Lieth, 1967).

The difference between “rainy period” and “not so rainy period” is the days with rain: in the first case, there are 23 rainy days in a month. In the “not so rainy period” 13 rainy days occur in a month. The climate of the region is “*Afi*”, according to the Köppen classification (Martorano et al., 1993): warm and humid, without winter, with low thermal range and without a well-defined dry season. The average humidity of the air is 82%, favoring the convection formation after the maximum insolation.

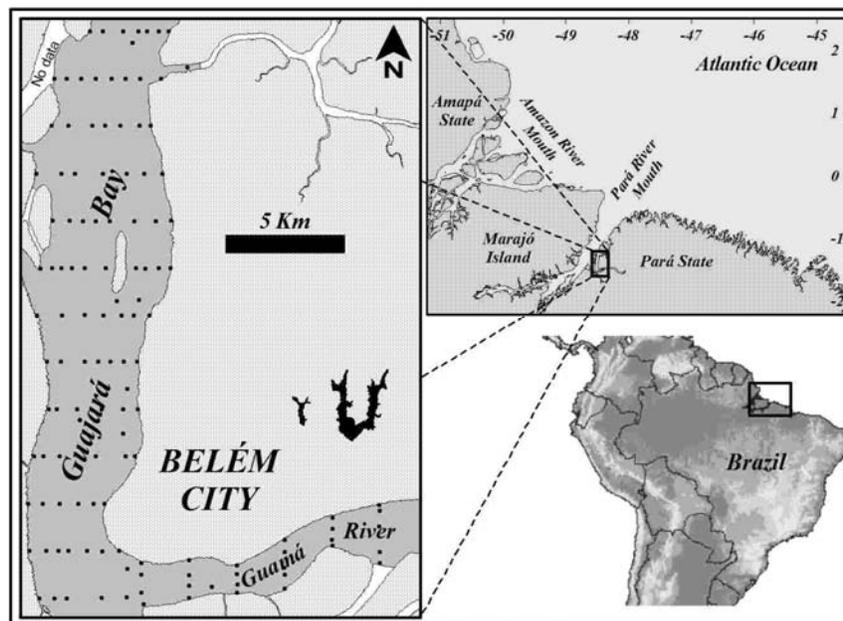


Fig. 5.1. Map showing the Amazon River Mouth and study area localization.

The average wind velocity varies between 3.88 and 7.78 m/s. The Guajará Bay is a fluvial system influenced and modified by tides, receiving contributions of three rivers: Acar, Pará and Guam. The tidal range reaches 3.8 meters in the equinoctial spring tide. The salinity never exceeds 1 in the “*not so rainy period*”. The maximum values of salinity were observed close to the bottom, indicating a saline wedge penetration and classifying the Guajará Bay as a partially mixed estuary (Pritchard, 1952). In the “*rainy period*” the saline tide does not reach the Guajará Bay and Guam River.

The study area is mainly formed by sediments of the Barreiras Formation. The sediment sequence of the Barreiras Formation comprises sandstones, siltstones, mudstones, and few conglomerates. There are no absolute dates for the Barreiras Formation, but the deposits appear to be Middle Miocene (Leite et al., 1997; Rossetti, 2000, 2001; Rossetti and Gos, 2001).

The natural vegetation is a dense and high terra firme (unflooded land) Amazon Rain Forest, which has been nearly completely replaced by pasture and secondary forests. Descriptions of the eastern Amazon Rain Forest can be found in Pires and Prance (1985). Different coastal vegetation forms such as restinga (coastal herb and shrub vegetation) and mangrove vegetation also appear on Mosqueiro Island (north of Guajará Bay). The coastal vegetation of northeastern Pará has been described by Bastos (1988), Bastos et al. (1995), Costa Neto et al. (1995), and Santos and Rosário (1988).

#### 5.4 METHODS

Bathymetric data were collected in December 2002 in the Guajará Bay, comprising a total area of 142 km<sup>2</sup> (FIG. 2). A Hydrotac echosounding, a Trimble DGPS and a boat were used to obtain data. The depth and position were registered at each 100 m of displacement of the boat. With aid of bathymetric data, a mesh with 122 stations was generated (FIG. 2). The sedimentological samples were collected in February 2006. In the samples with total mud sediments (silt + clay) superior to 15% of the total weight, a sample was collected in order to analyze the amount of organic matter amount. All samples have been washed and dried in stove at 60° C for 48 hours. The sandy samples were submitted to sieve analysis, with 1 phi of interval of sieve opening. The muddy

samples were submitted to centrifugation. The amount of organic matter was determined by the method of loss of mass for calcination (Hayes, 1982). Tidal currents, wind, salinity and wave data were taken from Portobrás (1980) and Pinheiro (1987).

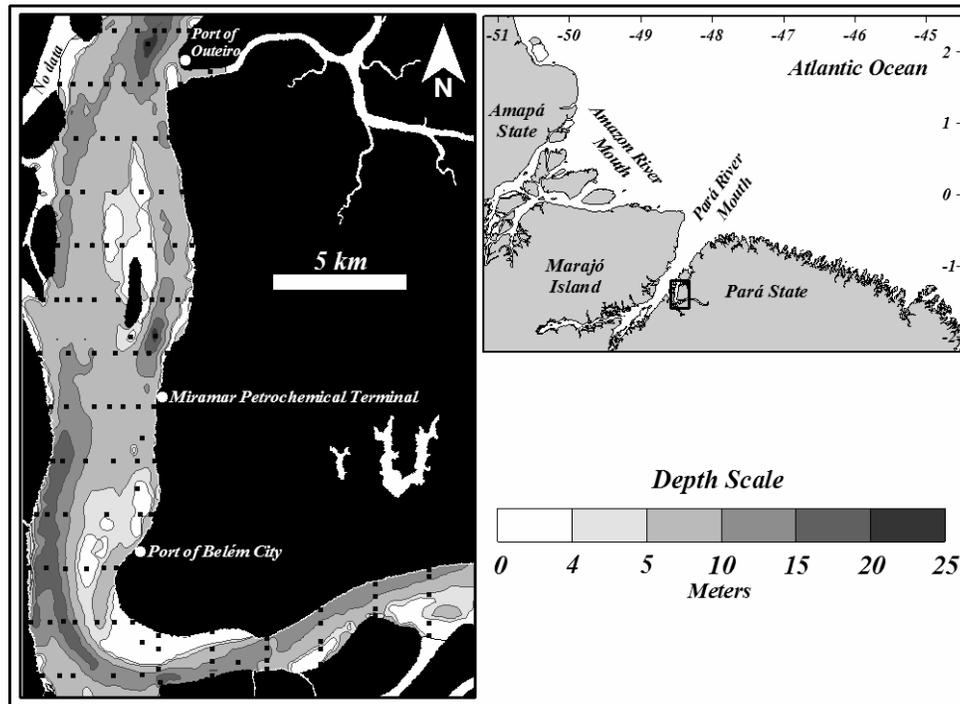


Fig. 5.2. Simplified bathymetric map and localization of sample station.

## 5.5 RESULTS AND DISCUSSIONS

### 5.5.1 Bathymetry and sedimentology

Pinheiro (1987) and Silveira and Faria Jr. (1990) had defined the zone with 10 meters of maximum depth as “*Alto fundo da Baía*”. The AFB zone is located in the center of the Guajará Bay and encloses about 6 km of width and 20 km of length. The AFB Zone is characterized for showing sand banks and deep canals parallels to each and of the margin of the bay. The left border canal corresponds to the extension of the Onças Island Canal. In the right border, the Oriental Canal, which is the main access to Porto of Belém City (Fig. 5.3 and 5.4), is observed. In the northern limit of the study area occur the junctions of both canals, forming a deep and turbulent zone in front to Port of Outeiro.

The main mud deposits of Guajará Bay are situated in the southern zone. The “*Banco Sul da Cidade*” mudbank (BSC) is a large tidal bar, with 7 km of length and 2 km of width. It is exposed during the low tide (Fig. 5.4). The BSC mudbank is situated in the southern margin of Belém City and its origin is attributed to the breaks of tidal streams energy: the flood tidal streams run along the right border of Guajará Bay and meet with the ebb tidal streams of the Guamá River. Geophysical data (not yet treated) show thickness of 30 m to BSC.

The “*Banco da Cidade*” mudbank (BC) is located close to the Port of Belém City (Fig. 5.4). Its depth varies from 2 to 4 m, showing 2.5 km of length and 600 m of width. Close to the BC mudbank, is observed the “*Banco do Meio*” mudbank (BM). These muddy deposits are separated by the “*Do Meio*” Canal.

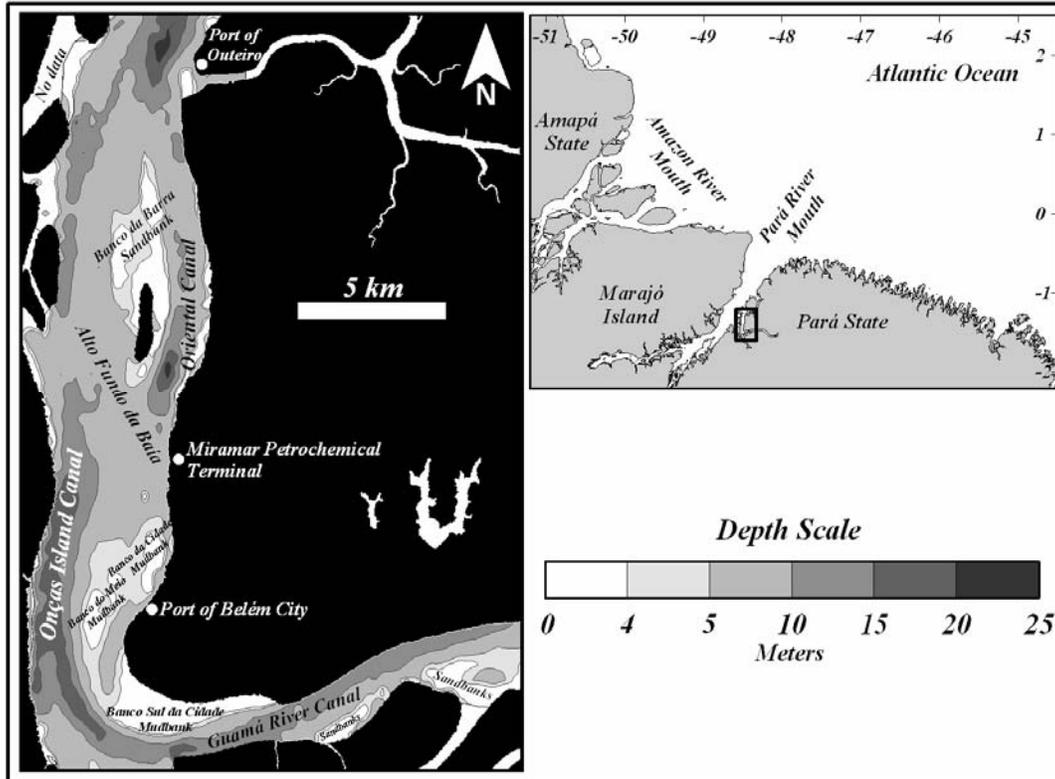
Pinheiro (1987) and Silveira and Faria Jr. (1989) have described the BC mudbank with 3.5 km of length and 1 km of width. However this deposit actually presents 2 km of length and 500 m of width. The BSC and BC mudbanks have not shown changes, possibly for their localization: close to the margins of the Guajará Bay and the Guamá River. The tidal streams and the dragging activities (made by Port of Belém City) can be the cause of the modifications observed in the BM mudbank.

The Guajará Bay presents four canals. The “*Oriental Canal*” (OC), on the right border the Guajará Bay, is the main access to Port of Belém City and to Miramar Petrochemical Terminal. On the left border of this Bay, the “*Onças Island Canal*” (OIC) is observed; it is the main and major geomorphologic province. In the central portion of the Guajará Bay, the “*Do Meio Canal*” (DMC) - a strategical canal to local navigation – is observed. The Guamá River presents only one canal, the “*Guamá River Canal*” (GRC).

The OIC is the main geomorphologic province of the study area, presenting 1.5 km of width and 12 km of length. The depth varies between 9 and 20 m (Fig. 3 and 4) and is located in the East margin of the Onças Island, left border of Guajará Bay. The OIC is the continuation of the GRC. The Guamá River is the main tributary of the Pará River. In the mouth of the Guamá River the GRC is strongly deviated northwards. In this point the GRC passes to be called OIC.

Throughout the OIC is observed a strong hydrodynamic regimen and intense erosive process in the Onças Island. The Guamá River ebb tidal streams flow to the OIC. This flow helped by the regimen of winds, leaves the east margin of Onças Island completely vulnerable.

The GRC presents a mean depth of 14 m, and width of 3 km. It is located in the south edge of Belém City. In this sector is also located the campus of Federal University of Pará. The superficial currents and the tidal streams are the main agents of the strong erosive process in this sector.



**Fig. 5.3.** Bathymetric map of the Guajará Bay and mouth of the Guamá River.

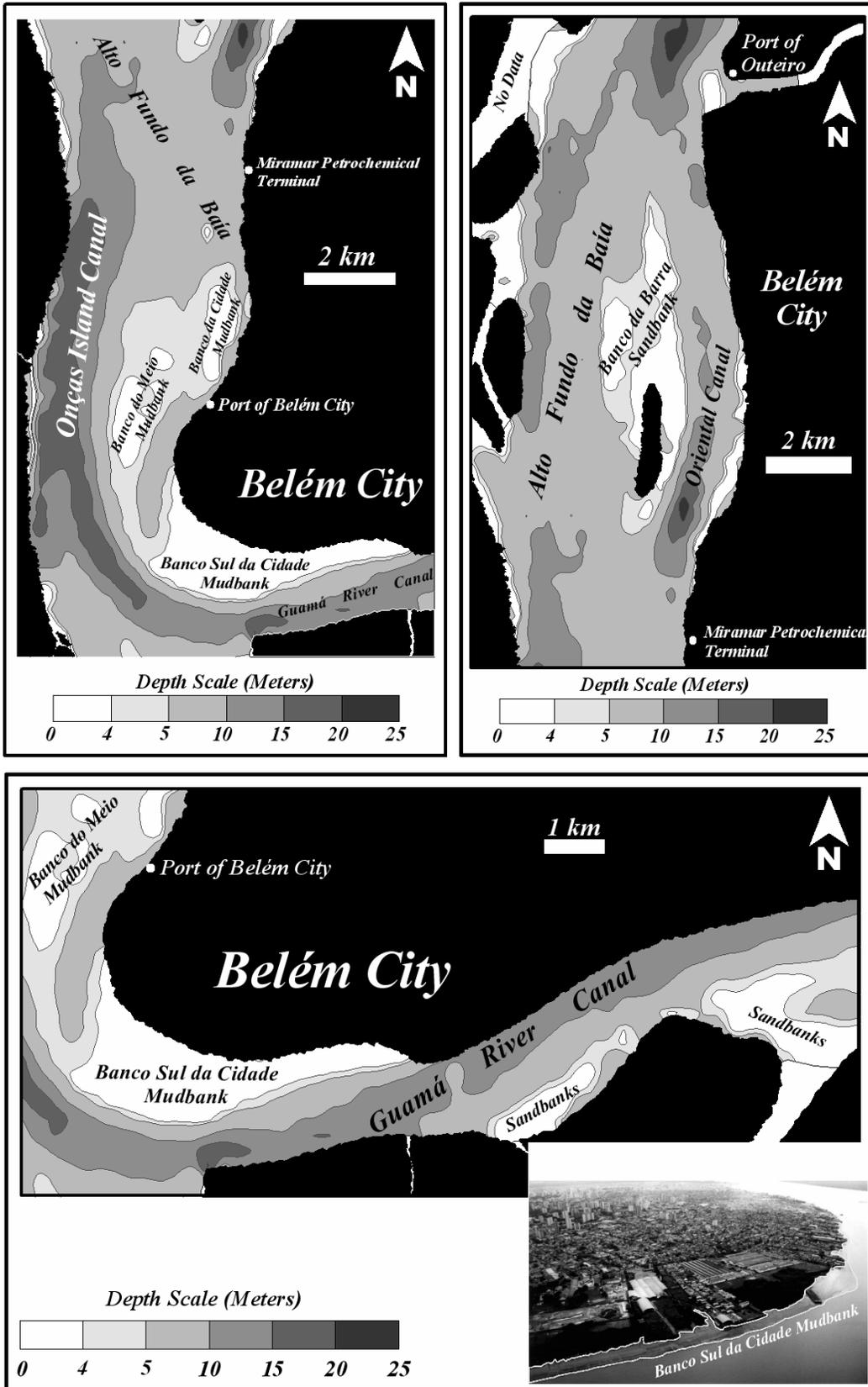


Fig. 5.4. Details of geomorphologic province of the Guajará Bay and Guam River.

The OC presents 6 km of total extension and 800 m of width (Figs. 3 and 4). The mean depth is 9 m after been dragged. The dragging is made by Porto of Belém City Administration. However, depth up to 23 meters can be observed, close to the Da Barra Island.

The “*Banco da Barra*” sandbank (BBS) is the major deposit composed by sandy sediments in the Guajará Bay. It presents 6 km of length and 2 km of width. The BBS is formed close to the Da Barra Island, in the center of the Bay. The mean depth is 2.5 m, during the flood tide. In the low tide, the BBS is visible. BBS is composed by fine to very fine sand. The sediments of this deposit present a reddish color, probably being rich in iron. In some points of BBS massive spheres of mud were observed. The spheres presented considerable size, with an average of 10 cm of diameter.

The sandy deposits of Guamá River located in the left edge of the River, close to Cumbu Island (Fig. 5.4). These deposits are composed by fine to very fine sands. The sediments present considerable fine sediments (average 10%). In the Guamá River, sandy deposits are only observed in this place. The geomorphology of Guajará Bay and Guamá River present canals and banks with well marked boundaries. The depth is irregular, composed by soft mud and with great feature in some points. The OIC and GRC present, in some zones, a format similar to the “W” letter. In the OIC this feature is very well marked (Figs. 5.5 and 5.6).

Our results show that 52% of Guajará Bay is composed by sand and 48% composed by mud. The sandy sediments are restricted to the central zone of the Bay and along are the left edge of Guamá River, mentioned above. In the south zone, muds predominate, with sand observed only in some points of OIC and GRC (Fig. 5.7). The sorting show is well-sorted sediments. Few samples present a bad sorting (Tab. 1).

The results obtained by maps of average grain-size distribution were not considered satisfactory. Therefore the Larsson Distribution Method (modified by Dias and Medeiros, 2005), that takes into account grain-size and amount of mud, was used. In the Guajará Bay, *terrigenous sandy mud* (25% < mud amount < 75%) predominates, corresponding to *LL1b* sediments by Larsson classification (Fig. 7). In some places (Guamá River mouth and in portions of OIC and GRC) *AL1a* (lithoclastic with granules sand) and *AL1b* (lithoclastic with granules sand) occur. The BBS sandbank and sandy deposits of Guamá River are composed by *AL1e* sediments (lithoclastic fine to very fine sand).

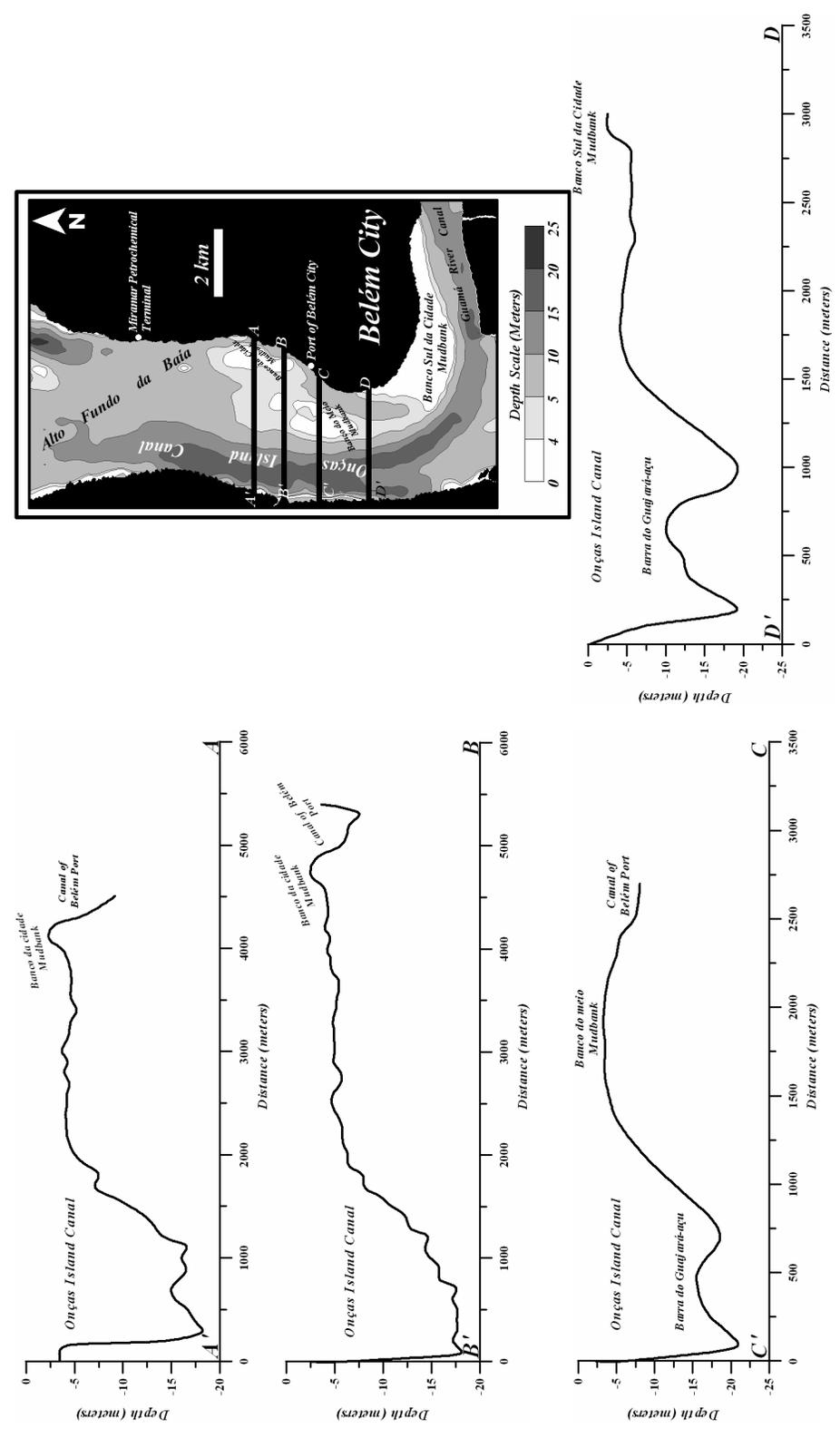


Fig. 5.5. Details of muddy deposits of the Guajará Bay.

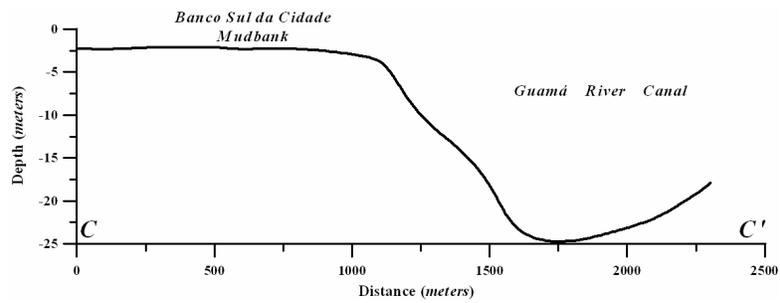
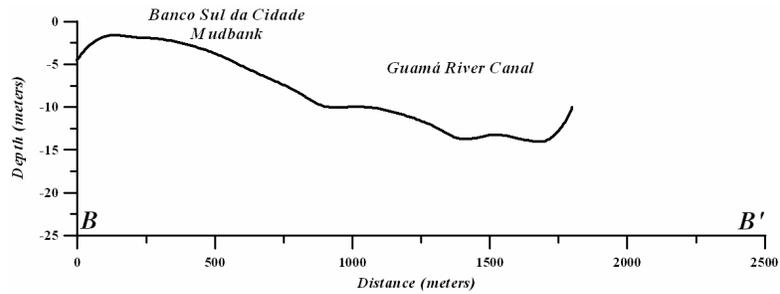
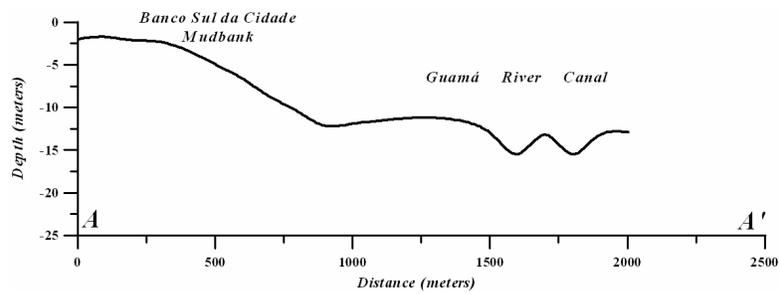
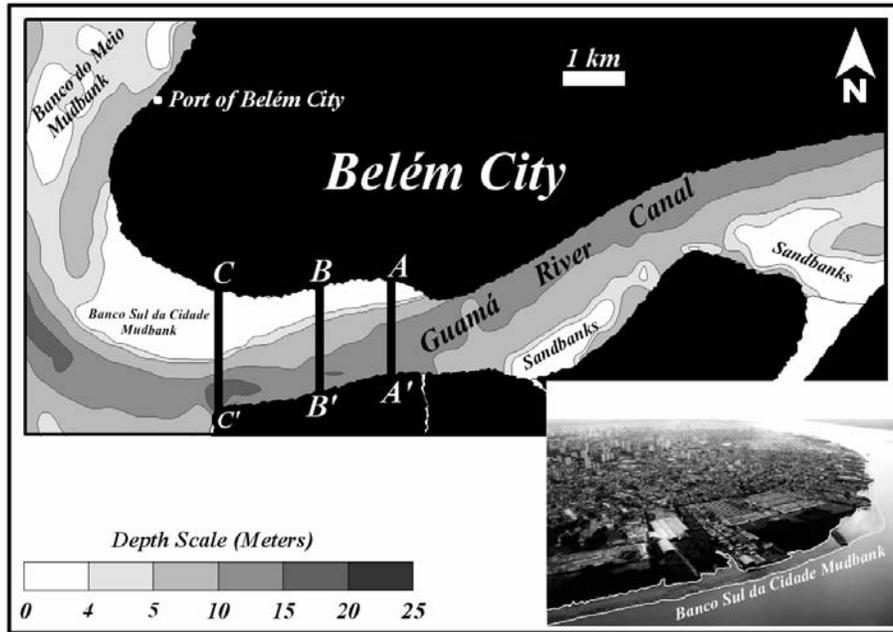
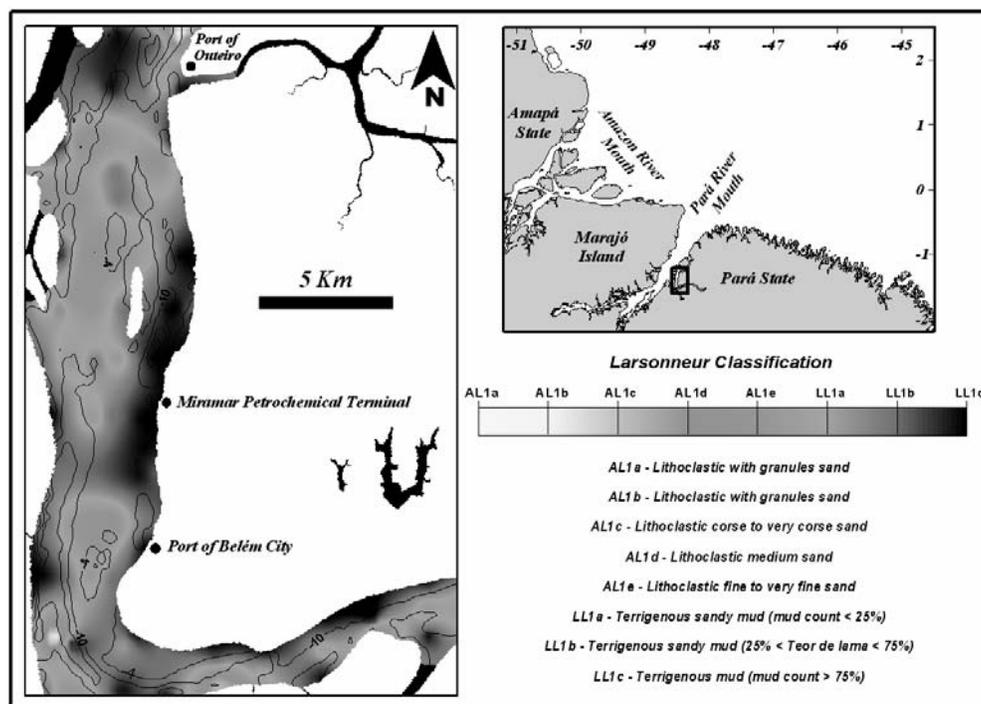


Fig. 5.6. Details of muddy deposits of the mouth of the Guamá River.



**Fig. 5.7.** Map of the Larsonneur Distribution Method applied to sediments of the Guajará Bay and the Guamá River.

**Table 5.1.** Sedimentological characteristics of samples from study area.

Geomorphologic province	N <sup>a</sup>	Depth (m – spring ebb tide)	Mean ( $\phi$ ) <sup>b</sup>	Sorting	Skewness
Onças Island Canal	32	2-18	2.97-5.74 (4.85)	0.46-1.36 (0.72)	-0.56-0.33 (-0.03)
Oriental Canal	21	2-19	3.79-5.88 (4.86)	0.60-0.88 (0.65)	-0.28-0.28 (-0.04)
Banco da Barra Sandbank	19	3-10	2.19-5.17 (4.19)	0.45-1.04 (0.70)	-0.47-0.25 (-0.02)
Muddy deposits	27	2-27	2.81-5.54 (4.78)	0.33-1.83 (0.75)	-0.45-0.40 (-0.10)
Guamá River Canal	12	4-15	1.94-5.51 (4.35)	0.39-1.45(0.64)	-0.25-0.44 (-0.56)
Guamá River deposits	11	3-9	2.51-5.44 (4.60)	0.50-1.56 (0.65)	-0.69-0.05 (-0.15)

a Number of samples;

b The minimum and maximum values are given with an average for each geomorphologic province shown in parentheses.

### 5.5.2 Hydrodynamic and physical-chemistry parameters

In the Guajará Bay, the ebb and flood tidal streams initiates in the OC. Forty minutes later the flow starts in the OIC. During spring tides, the average value of tidal currents is 1.74 m/s during ebb tide and 2.10 m/s during flood tide. The maximum

speeds occur three hours later the low or high tide. The data allowed defining the OIC as ebb tidal canal, and the OC as flood tidal canal. The OIC receives contributions of Acará and Guamá rivers. The ebb canal shows the higher speed. In the Guamá River, the ebb tidal streams prevail during eight hours and food tidal streams, five hours. During the ebb tide the speed is higher.

The dissolved oxygen concentration is higher during the “*not so rainy*” period. In this period, the mean concentration is 6.57 mg/l. In the “*rainy*” period, the concentration is 4.77 mg/l. During the tidal cycle large variations occur. The concentrations rose before the low and high tide. The mean temperature of waters of Guajará Bay and Guamá River is 28° C. The maximum temperatures (30 ° C) occur between 2 and 4 p.m.

The values of pH also present variations in accordance with tidal cycles. In spring tides of “*not so rainy*” period, the mean pH is 5.9, whereas in the “*rainy*” period the pH is around 5. This way, it is probable that in the “*rainy*” period the high waters invade the várzea’s marginal forest, bringing acid organic and reducing the pH in the waters of Guajará Bay and Guamá. Várzea’s ubiquitous all over the area of study. Aside from that, the influence of polluted waters coming from Belém City can not be discarded.

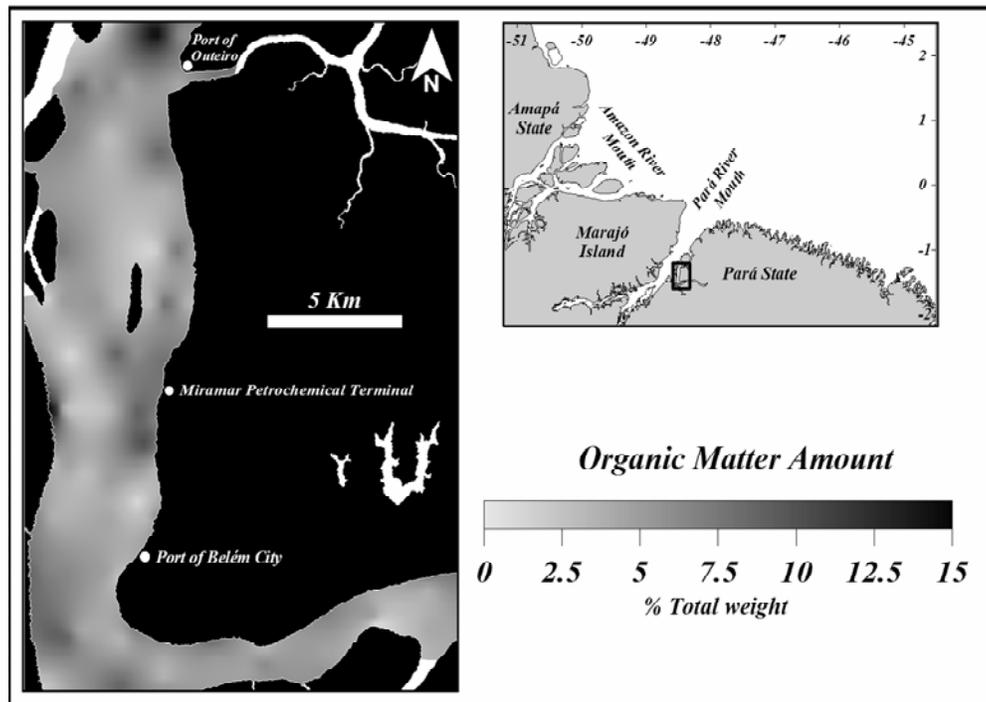
The sediments in suspension do not show large variations between periods of rain. The variations observed during the tidal cycle are large. In the “*rainy*” period, the sediments in suspension present concentration of 115.06 mg/l. And in the “*not so rainy*” period, the concentration is 97.61 mg/l.

### 5.5.3 Organic Matter

The amount of organic matter amount shows reasonable correlation with the amount of mud sediments. The great amounts of organic matters were observed in samples rich in fine sediments. These values varied between low to moderate (0.5 to 15%), characterizing the Guajará Bay and Guamá River as heterogeneous environment. In the center of the Guajará Bay (along the OIC and OC), the mean organic matter amount is 9.8%. In the northern limit 14%. The maximum amount (15%) was observed in upper boundary of the OIC (Fig. 5.8).

The amount observed in the OC can be attributed to urban discharge. The discharge of Belém City arrives in the Guajará Bay by twos narrows rivers (Una and

Jacarê) located in the right margin of Guajará Bay. In this sector, is also located a reasonable number of the industries, including fish, brewery, cement, asbestos tile, shipyards and the Val-de-Cães Naval Base of the Brazilian Navy. Therefore, pollutants of these industries contribute certainly for the enrichment of organic matter in the sediments.



**Fig. 5.8.** Distribution of Organic Matter Amount in the Guajará Bay and Guamá River.

Many authors discuss the tendency of pollutants to associate with organic matter (Vestergaard, 1979 e Aragon et al., 1986). So, the amount of organic matter is an excellent indicator of dynamics of aquatic environments. High amounts of organic substance are responsible for the reducing conditions in the sediments. In addition, the amount of organic matter indicates the degree of aeration of the environment.

In the south area of OIC the amount of organic matter is around 8.3%. In the center-west and northern extremity of the OC distribution of organic matter is punctual. The occurrences in the southwestern part of the bay might be related to the influence of the discharge of the Guamá River, which also receives pollutants of Belém City (especially sewers without treatment).

## 5.6 RISK OF ENVIRONMENTAL ACCIDENTS IN GUAJARÁ BAY

Potential environmental risks are related to muddy deposits that cause great problems to navigation. In the Guajará Bay, our results shows that mud have a preferential distribution in the south portion, close to the Guamá River mouth. In the southern zone is where the Port of Belém City, the Miramar Petrochemical Terminal and a considerable number of fluvial terminals of passengers is located. This terminal is the starting point for boats that travel to many places of Pará State and of whole of the Amazon region. So, in the southern zone the risks of accidents are higher.

In the Port of Belém city, the predominant loads are of wood, wheat, chestnut of Pará, pepper and metallic silicon. In the Petrochemical Terminal of Miramar the main loads are diesel, kitchen gas, kerosene for aviation, common gasoline and mixture MF-380 (marine combustible).

Special attention must be given to this zone of the Guajará bay: the simple knowledge of the local bathymetry is not sufficient to express the geomorphologic configuration. And muddy sediments can trap and concentrate pollutants more efficiently. The foundation of the Belém City transformed the Guajará Bay and Guamá River in the main economic route during centuries. The population of this city (*ca* 1.7 million inhabitants) needs many aquatic resources of several types, including water supply.

The mesotides semidiurnal dynamic and the strong influence of others fluvial system (Acará, Pará and Guamá Rivers) restrict the navigation and access to Port of Belém City. The dynamic of sand and mud banks is the major problem. However we do not have solutions for this problem. Therefore, the potential for environmental accident is large, particularly accidents involving oil derivatives.

Data presented in this contribution can reduce the potential risks of accidents in the Guajará Bay and Guamá River.

## CONCLUSIONS

Despite the estuarines characteristics of the Guajará Bay, it is an environment whose fluvial influence is strong and operating, if the dynamic of fluvial and tidal streams, sediments in suspension, low salinity are considered. The canals and sedimentary deposits are well marked. The dynamics and influence of muddy deposits

is considerable. Muddy deposits predominate, with occurrence of sand deposits in zones of strong hydrodynamic.

Knowing that fine sediments can trap pollutants, the knowledge of the distribution and thickness is a more effective of monitory environmental conditions of the area. As wholes this can improve detection environmental accidents and minimize the consequences to the population health.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

To Petrobras S.A. by financial support to the PIATAM mar project. To Oil and Natural Gas Sectorial Fund (CT-PETRO)/FINEP-CNPq, by financial support to PETROMAR Project. To Earth and Ecology Science Coordination of Museu Paraense Emílio Goeldi. To Oceanic and Coastal Geology Studies Center of Federal University of Rio Grande do Sul. To CNPq – Counsel of Technological and Scientific Development, for the scholarship granted for the first autor.

#### REFERENCES

- Aragon, G. T. et al., 1986. Distribuição espacial de nutrientes e metais pesados em sedimentos e águas superficiais em um ecossistema de manguezal. *Acta Limnológica Brasileira* 1, 365-385.
- Bastos, M.N.C., 1988. Levantamento florístico em restinga arenosa litorânea na Ilha de Maiandeuá-Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Ser. Bot.)* 4 (1), 159-173.
- Bastos, M.N.C., Rosário, C.S., Lobato, L.C.B., 1995. Caracterização fitofisionômica da restinga de Algodual–Maracanã, Para, Brazil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Ser. Bot.)* 11 (2), 173–197.
- Cooke, R.V. and Doornkamp, J.C., 1997. *Geomorphology in environmental management: an introduction*. 2. ed. Claredon Press, Oxford.
- Costa Neto, S.V., Bastos, M.N.C., Lobato, L.C.B., 1995. Composição florística e fitofisionomia da restinga do Crispim, Município de Marapanim, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Ser. Bot.)* 11 (1), 237–249.
- Dias, T. M., Medeiros, M.F., 2005. Proposta de metodologia para a elaboração de cartas sedimentológicas Final Proc. Cong. Assoc. Bras. Est. Quart. Abequa, Guarapari, ES, Brazil. CD Room.

- Froidefond, J.M., Lahetb, F., Huc, C., Doxarana, D., Guiralb, D., Prost, M.T., Ternonb, J.-F. 2004. Mudflats and mud suspension observed from satellite data in French Guiana. *Marine Geology* 208, 153–168.
- Froidefond, J.M., Gardel, L., Guiral, D., Parra, M., Ternon, J.F., 2002. Spectral remote sensing reflectances of coastal waters in French Guiana under the Amazon influence. *Remote Sensing Environment* 80, 225-232.
- Gregório, A.M.S, Mendes, A.C., Souza, D.C.C., Santos, C.A., Martins, S.E.M., Mota, M.C.S., 2006. Estudo do Teor de matéria orgânica nos sedimentos de fundo da baía de Guajará (Belém /Pa - Brasil): subsídios para gestão e monitoramento geoambiental. Final Proc. Cong. Bras. de Geologia. Sbgco, Aracaju, Brazil. CD Room.
- Haynes, R., 1982. Human Ecology. Chapman Hall, New York.
- Kuehl, S.A., DeMaster, D.J., Nittrouer, C.A., 1986. Nature of sediment accumulation on the Amazon continental shelf. *Continental Shelf Research* 6, 209–226.
- Leite, F.P.R., Bernardes-de-Oliveira, M.E., Arai, M., Truckenbrodt, W., 1997. Palinoestratigrafia da formação Pirabas e Grupo Barreiras, Mioceno do Nordeste do Estado do Pará, Brasil. *Revista Universidade de Guarulhos, Geociências* 2, 141–147.
- Meade, R.H., Dunne T., Richey J.E., Santos U.D.M., Salati, E., 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science* 228, 488-490.
- Martorano, L.G.; Pereira, L.C.; César, E.G.M., Pereira, I.C.B., 1993. Estudos climáticos do Estado do Pará: Classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornhtwhite, Mather). Sudam/Embrapa/SNLCS, Belém, PA, Brazil.
- Mendes, A.C., 2005. Geomorfologia e sedimentologia. In: Marcus E. B. Fernandes. (Ed.), Os manguezais da costa norte brasileira. Petrobrás / Fundação Rio Bacanga, Belém, PA, Brazil, pp. 13-32.
- Nittrouer, C.A., DeMaster, D.J., 1986. Sedimentary processes on the Amazon continental shelf: past, present and future research. *Continental Shelf Research* 6, 5 – 30.
- Pinheiro, R. V. L., 1987. Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará – Belém. Federal University of Pará, Belém, PA, Brazil.

- Pires, J.M., Prance, G.T., 1985. The vegetation types of the Brazilian Amazon, in: Prance, G.T., Lovejoy, T.E. (Eds.), *Key Environments Amazonia*. Pergamon Press, Oxford, pp. 109–145.
- Portobrás, 1980. Porto de Belém: Transporte de Material Sólido em suspensão na baía de Guajará. Relatório INPH 147/80. Rio de Janeiro, 170 p.
- Portobrás, 1980. Medições de corrente e material em suspensão junto ao Porto de Belém. Relatório INPH 80/82, código 740/01. Rio de Janeiro, 162 p.
- Rossetti, D.F., 2000. Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wave-dominated estuary (Miocene), São Luis Basin, northern Brazil. *Sedimentary Geology* 133, 295-324.
- Rossetti, D.F., 2001. Sedimentary evolution of the late Cenozoic in the northeast of Pará State: evidences of sea level fluctuations. *Journal of South America Earth Sciences* 14, 77–89.
- Rossetti, D.F., Goés, A.M., 2001. Imagine upper Tertiary to Quaternary deposits from northern Brazil applying ground penetrating radar. *Revista Brasileira de Geociências* 31 (2), 195-202.
- Santos, J.V.M., dos, Rosário, C.da S., 1988. Levantamento da vegetação fixadora das dunas de Algododoal-PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Ser. Bot.)* 4 (1), 133–154.
- Silveira, O. F. M., Faria Jr., L.E.C., 1990. Feições de Fundo do Estuário Guajará (Pará-Brasil). Symp. Int. Sur Lév. des Litt. des Guyanes et de la Zone Caribe Meridionale Pendant le Quat.-Cay. Volume des Resumés. Cayenne, French Guiane. pp. 128-132.
- Souza Filho, P. W. M. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Brazilian Journal of Geophysics* 23(4), 427-435.
- Souza Filho, P. W. M., Martins, E.S.F., Costa, F.R., 2006. Using mangroves as geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: an approach from remote sensing data and GIS. *Ocean & coastal management, Netherlands* 49 (7-8), p. 462-475.
- Vestergaard, P. A, 1979. Study of indication of the trace metal pollution of marine areas by analysis of salt marsh soils. *Marine Environmental Research* 2, p. 19-31.
- Walter, H., Lieth, H., 1967. Klimadiagramm-Weltatlas. Gustav-Fischer, Jena.

## CAPÍTULO 06 – ACIDENTES E POTENCIAS RISCOS AMBIENTAIS NA BAÍA DE GUAJARÁ E FOZ DO RIO GUAMÁ

### 6.1 – USO E OCUPAÇÃO DA ORLA DE BELÉM E ÁREAS MARGINAIS INUNDÁVEIS DA BAÍA DE GUAJARÁ

Belém do Pará começou sua expansão nos séculos XVI e XVII, cujo Forte do Presépio (hoje Forte do Castelo) ilustra a importância estratégica da cidade para o Império Português. Esse mesmo Forte foi base para a urbanização. Porém, os tempos áureos foram vividos durante o “ciclo da borracha”, tornando Belém uma das cidades mais importantes do Brasil na metade final do século XIX. Nessa época, o então intendente da cidade, Antônio Lemos, utilizou o padrão europeu na urbanização da capital paraense.

Baseado nos aspectos beleza, saneamento e progresso - e visando atender as demandas dos comerciantes de borracha -, tudo o que era considerado “feito” foi extinto da área central de Belém. Esse período de intensa urbanização ficou conhecido como *Belle Époque*, ideário modernizador com forte influência francesa. O resultado disso foi pavimentação de ruas, arborização das vias públicas com pés de mangueira, instalação de luz elétrica e de bondes no centro da cidade, além da impressão na arquitetura da época (Theatro da Paz, Mercado de Ferro de São Braz, Palácio Antônio Lemos, Palácio do Governo, mercado do Ver-o-peso, entre outras construções).

O declínio do ciclo da borracha, no início do século XX, travou o crescimento urbano da cidade. O segundo ciclo da borracha, durante a segunda guerra mundial, trouxe outro *boom* de crescimento, em menor escala, porém. Nas últimas décadas do século XX, no entanto, a capital paraense, às margens da baía de Guajará, viveu outro período de crescimento urbano, devido às políticas de ocupação e exploração da Amazônia, ocasionados pela construção da rodovia Belém-Brasília.

Belém possui uma área terrestre correspondente a 505,83 km<sup>2</sup>, dos quais 34% dizem respeito à parte continental e 66% à parte insular. O arquipélago referente à parte insular é composto por 39 ilhas. A rede de drenagem de Belém é do tipo dendrítica. Seu território é entrecortado por rios, canais, furos, igarapés e lagos, num total de mais de trinta cursos d’água que deságuam, ao norte, nas baías do Marajó e do Sol, a oeste na baía do Guajará e, ao sul, no rio Guamá. Na parte continental do

município destacam-se as seguintes bacias hidrográficas: Una, Val-de-Cães, Furo do Maguari, Murutucu e Tucunduba (Santana, 2006).

A grande maioria dos habitantes das 39 ilhas citadas continua muito dependente economicamente dos recursos naturais da baía de Guajará, numa relação de quase subsistência. Na parte continental de Belém, no entanto, há muito tempo os habitantes já não dependem diretamente da baía. O crescimento desordenado pôs 35% da população da capital paraense morando em condições inadequadas. Muitas pessoas habitam as chamadas *baixadas*, que correspondem a setores submetidos a alagamentos regulares, localizados às margens da baía (Prost e Ribeiro, 2004; Santana, 2006). As altas taxas de precipitação, aliada ao regime de meso-marés semi-diurnas, regem esses alagamentos, potencializados em eventos de maré equinocial de sizígia.

A parcela mais rica dos habitantes de Belém reside nos bairros do Comércio, Reduto, Nazaré e Batista Campos, e em partes significativas da Cidade Velha, Umarizal e Marco. Esses bairros são os mais equipados em termos de infraestrutura urbana e não possuem uma relação considerável com a baía de Guajará. A exceção se faz para o trecho marginal do bairro da Cidade Velha, onde se localizam diversos portos e terminais fluviais de passageiros.

Em contrapartida, os habitantes de menor renda residem, em geral, nas *baixadas* dos bairros Pratinha, Tapanã, Barreiro e Telégrafo (na chamada *Vila da Barca*). Próximo ao distrito administrativo de Icoaraci, observa-se outro aglomerado de habitações inadequadas: a *Vila do Paracuri*. Trechos dos bairros Arsenal, Condor, Jurunas e Guamá, localizados na Orla Sul, também apresentam zonas alagáveis pelas meso-marés semi-diurnas.

No intuito de facilitar a descrição das atividades de uso e ocupação ao longo da orla do município de Belém, propõe-se a divisão a seguir (FIG. 6.1):

- **Orla Norte:** Vai de Ananindeua até o início do distrito administrativo de Icoaraci, banhado pelo furo do Maguari;
- **Orla Oeste:** Vai de Icoaraci até o complexo turístico *Ver-o-Rio*. Esse setor é banhado pela baía do Guajará. Atividades de médio e grande porte são observadas: estaleiros, portos, terminais de combustíveis (Miramar) e indústrias. Observa-se também uma área considerável com habitações irregulares (*baixadas*);

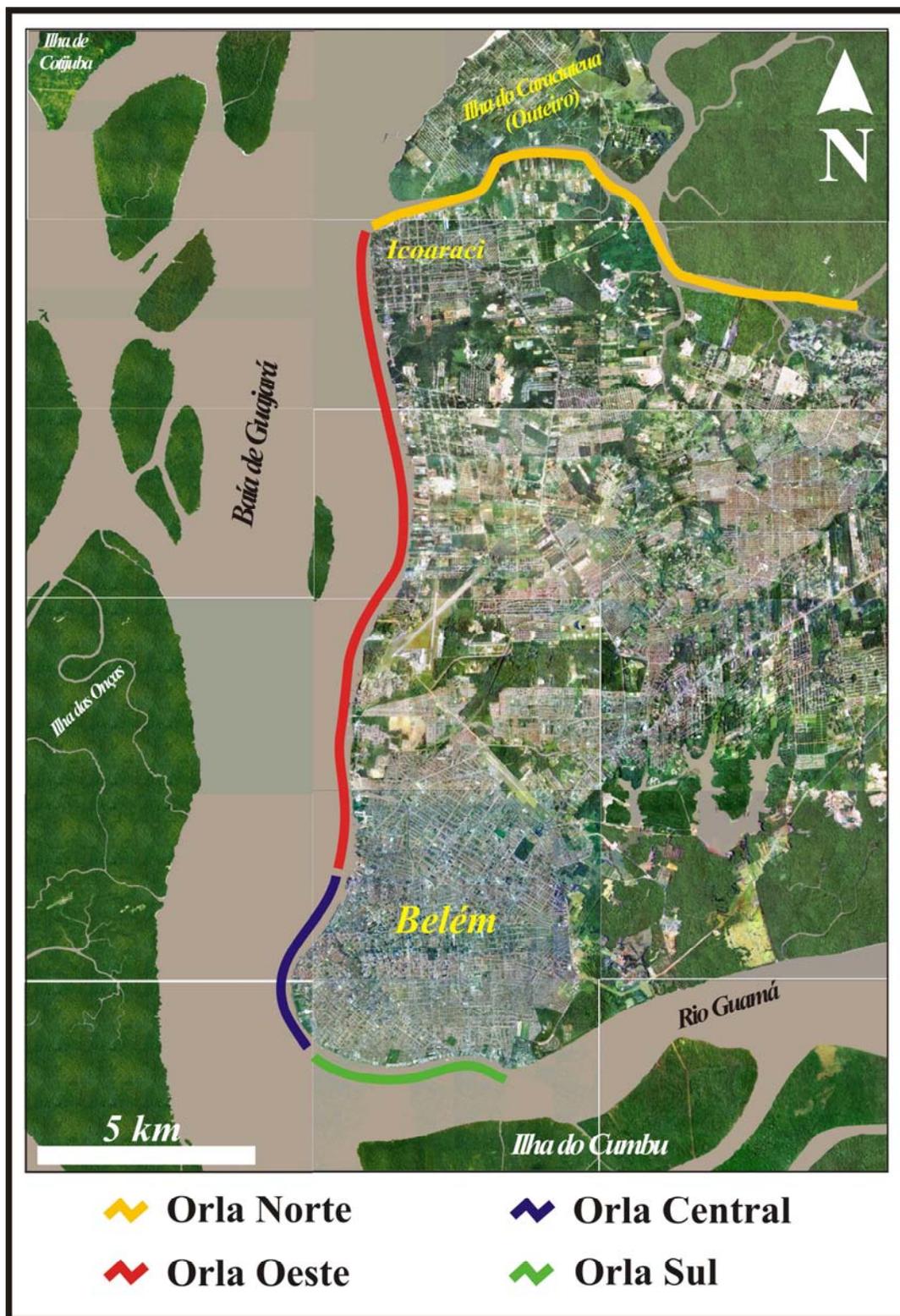


Figura 6.1. Compartimentação da orla do município de Belém.

- **Orla Central:** Abrange o centro histórico da cidade. Corresponde ao trecho mais urbanizado e valorizado da orla de Belém. Observam-se feiras, como o Ver-o-Peso, além do porto da cidade e os complexos turísticos Estação das Docas, Feliz Lusitânia e Mangal das Garças. Nesse setor também se localiza o Forte do Castelo, marco zero da cidade de Belém;
- **Orla Sul:** É a parte banhada pelo rio Guamá. Predominam feiras populares, portos e inúmeras atividades informais. Corresponde ao setor onde mais se percebe a face *ribeirinha* da cidade de Belém.

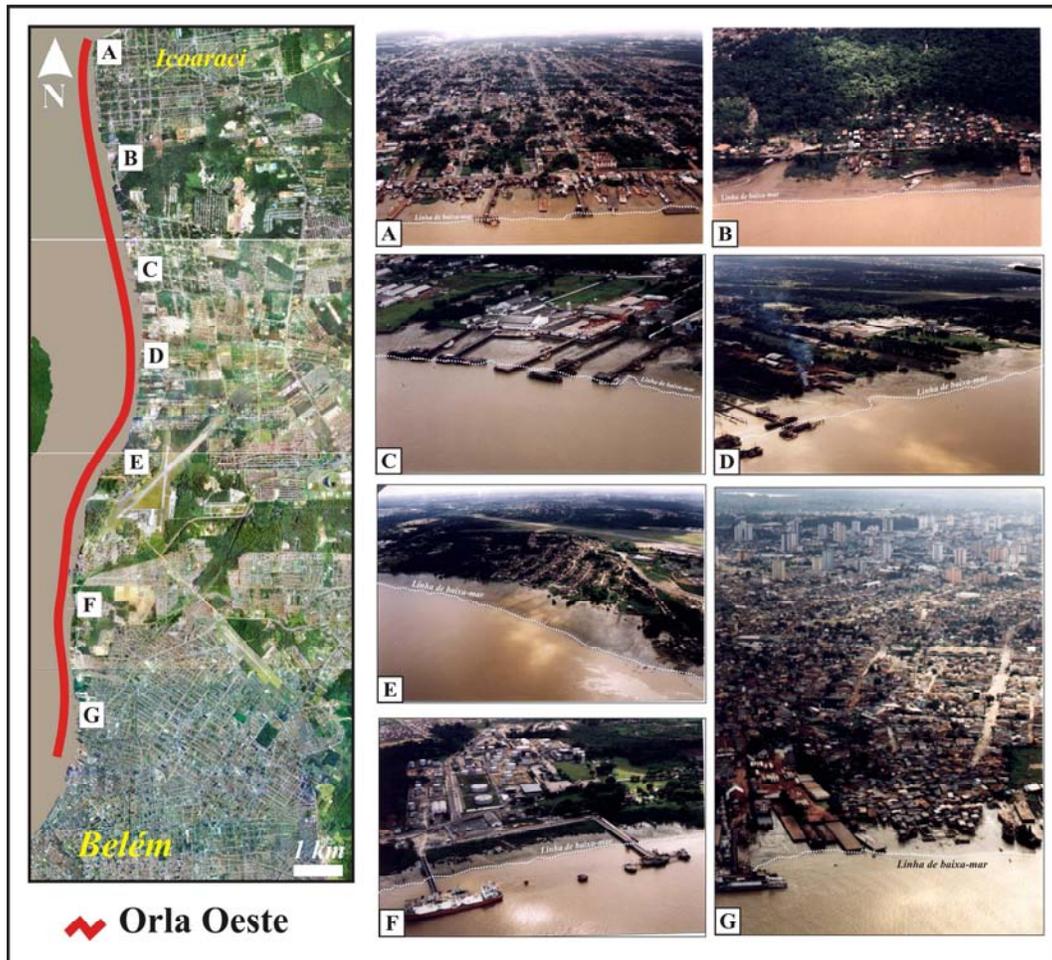
A Orla Norte apresenta como atividades principais estaleiros de pequeno a médio porte, portos fluviais para descarga de alimentos e matérias de construção. Somente no trecho próximo da orla de norte de Icoaraci se observa uma orla urbanizada, com moradias, bares e restaurantes.

A Orla Oeste é a de maior extensão e que a apresenta os maiores riscos potenciais de acidentes ambientais. O setor norte desta orla corresponde ao distrito de Icoaraci, pertencente ao município de Belém. Observam-se vários trapiches e portos fluviais, além de tráfego intenso de embarcações. O setor mais central caracteriza-se por apresentar desde indústrias de grande porte até habitações precárias e favelas. A margem constitui-se uma extensa planície de maré lamosa (FIG. 6.2). Em cima dessas planícies observam-se as construções acima descritas.

As *baixadas* de maior destaque são as observadas nos bairros Pratinha, Barreiro e Telégrafo, além da Vila do Paracuri. Em geral, as moradias têm uma dimensão física mínima e são ocupadas por famílias numerosas ou até mesmo por mais de uma família. Tendo em conta a situação de alagado/alagável do terreno, o acesso dos moradores tanto internamente quanto em relação às ruas pavimentadas é feito através das estivas, uma espécie de ponte de madeira que contribui para definir um padrão horizontal de ocupação dos terrenos (Santana, 2006).

É comum na história de Belém a atuação dos próprios moradores no sentido de aterrar as áreas alagadas, substituindo gradativamente as estivas por ruas aterradas, o que não diminui os problemas infra-estruturais. A maioria dos domicílios construídos nas áreas de *baixadas* são feitos em palafitas (habitações sustentadas por estacas de madeira e construídas sobre ou à margem de curso d'água). As palafitas, em geral, possuem um ou dois cômodos em um único pavimento. Em alguns casos, quando

possuem maiores dimensões, as casas funcionam à semelhança dos cortiços, com vários cômodos acessados através de uma estiva, tendo, geralmente, como espaço de uso comum, um único banheiro.



**Figura 6.2.** Ocupação da Orla Oeste de Belém do Pará. Situação de baixa-mar. Notar a planície de maré lamosa. A) Orla de Icoaraci. B) Área de *baixada* – Vila do Paracuri. C) Trapiches de fábricas de beneficiamento de pescado. D) Trapiches construídos sobre planície de maré areno-lamosa. E) Bairro Pratinha, área de ocupação irregular. F) Terminal Petroquímico de Miramar. G) Área de *baixada* – Vila da Barca. Fotos: Projeto Petromar.

Há uma precariedade nas condições infra-estruturais nas áreas alagáveis. O consumo da água é proveniente de torneiras públicas ou dos igarapés, ou mesmo da própria baía; a energia elétrica é adquirida por meio clandestino (os chamados “gatos”); inexistente esgotamento sanitário, o que leva os moradores a lançarem os resíduos diretamente no alagado ou na baía de Guajará. As condições sanitárias são bastante precárias, com um número muito baixo de banheiros por domicílio.

As zonas de *baixadas* seriam as principais áreas da orla de Belém afetadas no caso de acidentes ambientais na baía de Guajará, p.ex. um derrame acidental de derivados de hidrocarbonetos durante o transporte pela baía ou durante a armazenagem e distribuição no Terminal Petroquímico de Miramar. Ou mesmo dano ambiental proveniente das atividades de cabotagem, tais como carga e descarga de pescado e de insumos diversos para as fábricas localizadas no setor em questão.

De acordo com o mapa de sensibilidade ambiental gerado por Gonçalves (2005), a Orla Oeste apresenta os índices, em ordem decrescente de sensibilidade: ISA 10B (Várzea), ISA 9B (Banco lamoso), ISA 8B (Estruturas artificiais), ISA 3 (Falésia), ISA 1B (Muro).

A Orla Central é a mais urbanizada e a que mais apresenta atrações turísticas. O Porto de Belém localiza-se nessa região. Três galpões desse Porto, que não estavam sendo utilizados pela Companhia Docas do Pará (CDP, administradora do Porto), foram reformados e adaptados para formar o complexo turístico “Estação das Docas”. Hoje, nesses antigos galpões existe restaurantes, um teatro, salões para exposições e um terminal fluvial de passageiros, que atende principalmente turistas.

Os índices de sensibilidade ambiental correspondem ao ISA 1B (Muro) e ISA 9B (Banco lamoso) (Gonçalves, 2005). Na Orla Central também se localizam as primeiras construções de Belém, como o Forte do Castelo e os casarões antigos da Cidade Velha. O mercado do Ver-o-peso, a Catedral Metropolitana de Belém, a Igreja do Carmo, o Mangal das Garças e o complexo Feliz Luzitânia fecham a lista das construções principais. Esse é o setor da orla de Belém que mais recebe recursos de esfera Estadual e Municipal. Na porção mais a sul da Orla Central observam um número razoável de terminais fluviais de passageiros (FIG. 6.3), além de bares, restaurantes e as sedes náuticas dos três principais clubes de desportos do estado do Pará.

A Orla Sul de Belém corresponde ao setor da cidade que ainda preserva as tradições *ribeirinhas*. É comum nessa área o tráfego intenso de canoas e de embarcações de pequeno porte, além da existência de feiras populares, atividades informais, o antigo Iate Clube de Belém, lojas de matérias de construção e etc. A Orla Sul vai desde o Mangal das Garças até o *campus* da Universidade Federal do Pará (UFPA), a leste. A Avenida Bernardo Sayão, também conhecida como Estrada Nova, corresponde à via principal, ao longo da qual se alternam as atividades descritas no início desse parágrafo.



**Figura 6.3.** Ocupação das orlas Central e Sul de Belém do Pará. A) Porto de Belém. B) Estação das Docas (esquerda) e Mercado do Ver-o-peso (direita). C) Doca do Ver-o-peso (esquerda) e Complexo Feliz Luzitânia (centro), à época da fotografia ainda em fase de construção. D) Planície de maré lamosa “Banco Sul da Cidade” e canteiro de obras do Mangal das Garças. E e F) Portos, terminais fluviais e trapiches *ribeirinhos* da Orla Sul de Belém, construídos principalmente em madeira. G) *Campus* da Universidade Federal do Pará. Fotos: Projeto Banpetro.

Tanto a Orla Central quanto a Orla Sul possuem relação direta coPPEm bancos areno-lamosos e planícies de maré lamosas. Os depósitos lamosos influenciam diretamente na navegação local, uma vez que, em alguns trechos, a lâmina d’água não ultrapassa 2 m de espessura em condição de baixa-mar de sizígia. A Orla Sul também é a área que mais recebe efluentes urbanos, com cerca de seis canais despejando esgoto *in natura* diretamente no rio Guamá. Gonçalves (2005) atribui o índice ISA 8B (Estruturas artificiais) para esse trecho da orla de Belém.

Em relação às margens da área insular do município de Belém, descreve-se exatamente o contrário do visto até aqui. Os moradores das 39 ilhas, os chamados *ribeirinhos*, ainda mostram uma relação muito direta com a baía de Guajará e com os recursos naturais da ilha ocupada. A extração de açaí, a pesca e a caça resumem as atividades de subsistência desses habitantes. Em geral, as ilhas da Região Metropolitana de Belém são formadas vegetadas por florestas de várzea (periodicamente inundadas pelas marés semi-diurnas) e apresentam planícies de maré arenosas, formando as chamadas “praias de água doce”.

As ilhas de Mosqueiro, Caratateua (Outeiro) e Cotijuba são as mais urbanizadas. No entanto, essa urbanização é incipiente e a máquina pública geralmente só atua de modo mais eficaz nas épocas das férias escolares de julho (chamada pelos paraenses de “época de veraneio”, uma vez que as taxas de precipitação começam a diminuir). Mosqueiro e Outeiro concentram grande parte do contingente populacional da periferia insular de Belém. Durante o “veraneio” a população dessas ilhas aumenta de quatro a cinco vezes. Os principais atrativos são os inúmeros igarapés e as praias de água doce, formadas, principalmente, por areias retrabalhadas da Formação Barreiras. A beleza cênica típica dos ambientes costeiros amazônicos também costuma ser um dos atrativos dessas ilhas.

A utilização imobiliária das ilhas urbanizadas é, em geral, classificada como de segunda residência, ou seja, casas de veraneio, havendo algumas propriedades com fins comerciais (pousada e bar). As habitações das ilhas com pouca ou nenhuma urbanização, no entanto, correspondem ao estilo das palafitas observadas nas *baixadas* de Belém. Porém, a densidade demográfica dessas ilhas é muito inferior ao observado nas ilhas de Mosqueiro, Outeiro e Cotijuba, o que acarreta em uma influência antrópica de magnitude extremamente inferior ou quase nula por parte desses moradores.

## 6.2 – PROBLEMÁTICAS SOCIOAMBIENTAIS DA BAÍA DE GUAJARÁ

A dinâmica sedimentar, a dinâmica das marés e a dinâmica fluvial juntas formam um potente mecanismo regulador dos processos ecológicos da baía de Guajará. Os recursos naturais observados no sistema em questão são amplamente utilizados pela população do município de Belém do Pará, muito embora não haja, atualmente, uma

dependência que caracterize subsistência. Entre as problemáticas ambientais existentes cita-se a utilização dos recursos naturais em questão como meios de transporte barato, o esgotamento sanitário urbano, o tráfico de animais silvestres e de drogas pelos portos da região, além dos riscos relacionados ao comércio, transporte e armazenagem de derivados de hidrocarbonetos.

Os rios existentes na região Amazônica somam mais de 20 mil quilômetros de águas plenamente navegáveis. Como não poderia deixar de ser, na Amazônia o principal meio de locomoção são as embarcações fluviais. São inúmeros os destinos dentro do Estado do Pará e da Amazônia cujo ponto de partida (e de chegada) corresponde aos portos e terminais fluviais ao longo da orla de Belém. As ilhas de Outeiro ou de Mosqueiro, por exemplo, integram a região insular e, apesar de possuírem acesso terrestre, possuíam linhas fluviais regulamentadas, que foram desativadas em meados da década de 90.

Recentemente, no entanto, a prefeitura de Belém realizou estudos de viabilização e reativação dessas linhas. A linha fluvial Icoaraci – Cotijuba, reativada em meados de 2006, já beneficia cerca de cinco mil pessoas diariamente. Acredita-se que as linhas de Mosqueiro e Outeiro ajudarão mais de 25 mil pessoas por dia (Transporte, 2006), principalmente as de baixa renda, que voltarão a utilizar a baía de Guajará como alternativa barata de locomoção.

Essas mesmas pessoas que se deslocam nas incontáveis embarcações da baía de Guajará utilizam os rios como destino final do lixo produzido durante suas viagens, cujo tempo varia entre minutos e vários dias. Segundo dados da Organização Não Governamental (ONG) Sociedade de Pesquisa e Preservação da Amazônia, cerca de 500 milhões de objetos são atirados diariamente nos rios da região. Desse total, 95% correspondem a embalagens (70% plástico, 18% metal e 2% vidro). A ONG realizou pesquisas nas embarcações que fazem o trecho Belém-Manaus e Belém-Macapá. Constatou-se que o número de lixeiras nessas embarcações é pouco ou insuficiente, o que leva o passageiro a atirar no rio o lixo produzido durante a viagem. Como não poderia deixar de ser, comumente se observa concentrações de resíduos sólidos nas planícies lamosas ao longo das margens da baía de Guajará.

Os moradores das áreas de *baixada*, bem como os feirantes que atuam ao longo da orla de Belém também utilizam a baía como lixeira, sem qualquer tipo de controle ou mesmo noção de educação ambiental. Os furos e igarapés que deságuam na baía e no rio Guamá também são usados para este fim. No igarapé do Tucumduba, p.ex.,

é comum se observar materiais plásticos, restos de madeira e lixo orgânico à superfície da água. Durante a vazante, boa parte desse material acumula-se ao longo da orla do *campus* da Universidade Federal do Pará, que é cortado pelo igrapé. Nos outros canais e igrapés que entrecortam a capital paraense o quadro não é diferente.

O resultado da falta de educação ambiental é o acúmulo de lixo nas margens, especialmente nas orlas **Oeste** e **Sul**. Nas ilhas mais urbanizadas da região insular isso também é fato. Desconhecem-se trabalhos de maior precisão sobre o controle e manejo de resíduos sólidos na baía. Geralmente, são aplicados planos de manejo desses resíduos apenas nos Portos de maior infra-estrutura, como o Porto de Belém e o Terminal Petroquímico de Miramar. E também nos portos particulares das indústrias de maior porte instaladas na **Orla Oeste**. Não há qualquer espécie de controle ou monitoramento de resíduos sólidos na **Orla Sul**.

Nas margens da baía de Guajará não se observa somente à degradação ambiental da região. Problemáticas sociais também são amplamente notadas, como a proliferação de habitações no estilo de palafitas, a prostituição nas áreas portuárias e o comércio de drogas e de animais silvestres. Atuações da máquina pública no sentido de urbanizar essas regiões têm tido efeito benéfico, porém em médio ou longo prazo.

Na região portuária de Belém, especialmente nos arredores do mercado do Ver-o-peso e dos diversos terminais fluviais da Cidade Velha, Arsenal, Jurunas e Guamá, é comum a prática da prostituição. Até crianças podem ser vistas na atividade, cuja clientela principal é formada pelos trabalhadores e estivadores que atuam nas embarcações e nos portos da área. Na **Orla Sul** de Belém, com características mais *ribeirinhas*, há relatos de que crianças da ilha do Cumbu, pertencente ao município de Acará, atravessam o rio Guamá de canoa para se prostituírem. Não há fiscalização na área e a prática é conhecida e vista por todos.

Em relação ao tráfico de drogas, a Polícia Federal apreendeu 963 kg de cocaína no Estado do Pará, em 2006 (Dias, 2007). A falta de fiscalização eficiente, como a fiscalização dos aeroportos, aliada a implantação do Sistema de Vigilância da Amazônia (Sivam/Sipam) ajudou para o aumento da utilização dos portos fluviais como ponto de entrada. De tal maneira, grandes quantidades de cocaína e outras substâncias entorpecentes chegam a Belém e são transportadas para o interior do Estado nos barcos regionais que fazem as linhas, e que nem sempre atracam em portos controlados. Enquanto quantidades menores de droga são transportadas em vôos domésticos e normalmente seguem para o Nordeste do país.

Outra atividade ilegal é o tráfico de animais silvestres. Na região Amazônica é comum o comércio desses animais. Segundo Ribeiro et al. (2007), na área de abrangência da baía de Guajará e rio Guamá há caça e comércio das seguintes espécies: Paca (*Agouti paca*), Cutia (*Dasyprocta agouti*), Quati (*Nasua nasua*), Preguiça-comum (*Bradypus variegatus*), Tatu-peba (*Cabassous unicinctus*), Caitetu (*Tayassu tajacu*), Jacaré-tinga (*Caiman crocodilus crocodilus*), Veado-vermelho (*Cabassous unicinctus*) e Peixe-boi (*Trichechus inunguis*).

É comum entre os habitantes das regiões de várzea o conceito de que a fauna é um recurso inesgotável, apesar de essas mesmas pessoas afirmarem que em épocas passadas a fartura era superior à observada nos dias de hoje. O xerimbabismo<sup>6</sup>, o uso alimentar e o uso terapêutico são as justificativas para a caça e comércio. Segundo Ribeiro et al. (2007), a carne de paca é a mais apreciada, sendo considerada “caça de primeira”. Os habitantes geralmente consomem a “caça de segunda”, como quati e preguiça. O preço médio dos animais varia entre R\$ 5,00 e R\$ 10,00 e são facilmente encontrados nas feiras populares da **Orla Sul**.

Na região de entorno do Parque Ecoturístico do Guamá, em Belém, 90% da população cita a utilização da “banha” – gordura – de mucura (*Didelphis marsupialis*) e de jibóia (*Boa constrictor*) como poderoso remédio (Ribeiro et al., 2007). A prática do xerimbado ocorre principalmente com espécies de mucura (marsupial típico amazônico), jibóia, tatu-bola (*Cabassous unicinctus*), camaleão (*Iguana iguana*), passeriformes e psitacídeos. No entanto, as comunidades se ressentem com a presença constante da polícia ambiental na área. O objetivo da polícia é dificultar as atividades de extrativismo dos produtos da fauna e flora, uma vez que essas populações não entendem a proibição da extração de produtos, por serem atividades que se desenvolveram tradicionalmente ao longo de sua história.

Em termos práticos, a **Orla Sul** da cidade de Belém (margem direita do rio Guamá) apresenta problemáticas sócio-ambientais relacionadas à prostituição e ao tráfico de animais silvestres e substâncias entorpecentes. O número grande de portos fluviais construídos ao longo dos quase 6 km de planícies de maré lamosas, juntamente com o tráfego intenso de embarcações, dificultam a fiscalização.

As problemáticas das orlas **Central** e **Oeste**, no entanto, têm fonte nas atividades urbanas e industriais. Enquanto a **Orla Sul** apresenta-se com características

---

<sup>6</sup> Criação de animais silvestres como animais de estimação.

notadamente *ribeirinhas*, a atividade industrial, a ampla urbanização de alguns setores e as habitações irregulares denotam um quadro diferente para os conflitos de uso e potenciais impactos ambientais naquelas orlas.

Apesar de ainda não terem ocorridos sérios desastres ambientais na baía de Guajará, as atividades das orlas *Central* e *Oeste* ligadas ao beneficiamento de pescado, carga e descarga de insumos industriais diversos, reparo e construção de navios, comércio, transporte e armazenagem de derivados de hidrocarbonetos bem como as atividades do Porto de Belém ilustram a potencialidade dos riscos de acidentes.

Nos últimos anos, vem se cogitado a possibilidade de desativação do porto de Belém e a transferência das atividades para o porto de Complexo Portuário de Vila de Conde, no município de Barcarena, distante cerca de 30 km de Belém. No entanto, a desativação e transferência de atividades em nada têm a ver com riscos ambientais: estão mais relacionados aos transtornos oriundos da expansão de Belém e intensa urbanização da zona portuária, que se localiza no centro financeiro da cidade.

O porto de Belém foi construído no auge do ciclo da borracha, para atender a forte demanda para exportação. A expansão urbana de Belém, no entanto, acabou por “englobar” a referida região portuária na zona central da cidade, estando cercada, hoje, por edifícios comerciais e de classe média alta dos bairros do Reduto, Comércio e Umarizal. Um exemplo das problemáticas observadas é o embarque de boi vivo (Flávio, 2006), que causa mau cheiro e desconforto para os moradores da região. Acrescenta-se aos exemplos das problemáticas as constantes dragagens no principal acesso ao Porto de Belém e ao Terminal Petroquímico de Miramar (devido a alta taxa de sedimentação).

Para se ter uma idéia, para embarcar três mil cabeças de boi vivo são necessárias 150 carretas, sendo inevitável o impacto gerado por esse número de veículos de grande porte. A solução tem sido a procura de locais alternativos para o embarque de boi vivo. A Federação da Agricultura e Pecuária do Estado do Pará (Faepa) estuda a transferência dessas atividades para o rio Guamá. A possibilidade de transferência das atividades portuárias de Belém para Vila do Conde também não foi descartada (Flávio, 2006).

A localização do pátio de contêineres do Porto de Belém, do outro lado da Avenida Marechal Hermes, também gera transtornos. Quando da ocasião do embarque de um grande número de contêineres, gera-se um verdadeiro caos na avenida, que é um dos principais acessos ao centro de Belém: o trânsito tem de ser interrompido

em uma das vias para que seja possível a utilização dos guindastes que movimentam as cargas. O pátio não possui grandes dimensões, o que resulta no empilhamento de contêineres. Já fora noticiado o desabamento dessas pilhas, que se localizam muito próximo da rua e oferecem perigo de morte para os transeuntes (Charone Filho, 2007).

No Terminal Petroquímico de Miramar, por sua vez, há somente transporte e armazenagem de granéis líquidos derivados de hidrocarbonetos, tais quais óleo diesel, combustível para aviação, querosene gás de cozinha. Há também serviços de abastecimento de embarcações. Ainda não se noticiou um grave acidente relacionado com essas atividades. No entanto, talvez seja esse o trecho da baía de Guajará de maior magnitude dos potenciais impactos ambientais. O fato agrava-se pela presença de áreas de *baixada* nos arredores do Terminal, bem como a presença de planícies de maré lamosas. Moradores dessas regiões, e de outras zonas carentes, procuram trabalho nos diversos portos ao longo da orla de Belém. Como não poderia ser diferente, o Terminal Petroquímico de Miramar também é visto como provável posto de trabalho.

Há trabalho informal e contratação clandestina de mão-de-obra pouco qualificada para executar serviços gerais nas embarcações que atracam nas margens da baía de Guajará. Muitos são os relatos de acidentes relacionados a essas atividades. A intoxicação de três operários clandestinos, que trabalhavam na limpeza de resíduos de gasolina em uma balsa com capacidade para 1,5 milhões de litros (Silveira, 2006) é um dos casos.

Na ocasião, cinco trabalhadores (todos moradores da periferia de Icoaraci) foram contratados para retirar resíduos do transbordo de gasolina, executado horas antes no Terminal de Miramar. A limpeza ocorria num porto particular próximo ao Terminal. Com galões, e sem qualquer equipamento de segurança, três trabalhadores desceram para buscar o combustível no interior da embarcação. Após inalarem gases tóxicos, um deles faleceu. Os outros dois operários acionaram a polícia e o serviço de emergência médica após ouvirem pedidos de socorro dos outros três operários que estavam dentro da balsa.

Considerando agora a margem esquerda da baía de Guajará, observa-se, no entanto, ocupação incipiente e habitantes que ainda dependem fortemente dos recursos naturais existentes, ao contrário dos moradores da orla de Belém.

As habitações precárias resultam da relação curto/benefício, além de serem a adequação necessária às condições de inundação diária imposta pelo regime de meso-marés semi-diurnas e pela alta taxa de precipitação pluviométrica. Todavia, em

Belém, a aglomeração dessas habitações forma favelas em áreas alagáveis, as chamadas *baixadas*. Enquanto nas ilhas constituem moradias de famílias simples, que tiram o sustento do extrativismo vegetal (açai) e animal (pesca, caça e comércio de animais silvestres). Nas ilhas de Outeiro, Cotijuba e Mosqueiro as atividades estão ligadas ao turismo e lazer.

No caso de um derrame acidental de derivados de hidrocarbonetos seria alto o impacto na região. Mas os mais prejudicados seriam, incontestavelmente, as populações instaladas nas ilhas e que tiram sustento do uso social dos recursos naturais. Turismo e lazer seriam também seriamente afetados. As populações que habitam as chamadas áreas de *baixada* sofreriam o impacto em menor escala, uma vez que a dependência dos recursos naturais da baía de Guajará não é tão grande.

Considerando o acima descrito, os *ribeirinhos* devem ser tratados como prioridade em planos de prevenção e/ou mitigação de impactos ambientais. Os habitantes das *baixadas* também devem receber atenção especial, pois esses também se encontram em contato direto com a baía, e usam a *maré* (como costumam chamar a baía) para atividades de higiene pessoal e lazer, principalmente as crianças.

Com base no mapa de sensibilidade ambiental gerado por Gonçalves (2005) e nas atividades e características descritas anteriormente, as orlas Oeste e Sul de Belém seria a mais suscetível aos danos ambientais. A Orla Central, densamente urbanizada, seria a menos suscetível. Enquanto na Orla Oeste as atividades de risco estão ligadas à grande concentração de indústrias de médio a grande porte, a Orla Sul apresenta problemáticas relacionadas à prostituição, ao comércio ilegal de animais silvestres, ao trabalho informal e a grande concentração de portos e terminais fluviais.

## CAPÍTULO 07 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O rio Amazonas é o principal agente de modelador da Zona Costeira Amazônica. Sua influência pode ser sentida em toda a extensão da costa norte brasileira, seja pelas camadas de lama que recobrem a plataforma continental desde o Amapá até a costa cearense, ou pela atenuação da onda de maré pelas litoclinas (camadas de lama fluida) junto ao substrato da plataforma continental interna. Depósitos costeiros lamosos ocorrem freqüentemente ao longo da zona costeira da Amazônia legal, estando esses depósitos densamente vegetados por floresta de manguezal.

A baía de Guajará, inserida no contexto e na área de influência do complexo estuarino do rio Amazonas, apresenta-se como um sistema fluvial altamente influenciado pela maré dinâmica, com variações de altura que podem chegar a 3,8 m. Às suas margens, localiza-se a capital do Estado do Pará, Belém, cuja população da região metropolitana alcança 2,12 milhões de pessoas.

Os estudos batimétricos da baía de Guajará e foz do rio Guamá mostraram extensas zonas de baixa profundidade (até 10 m). Em contraponto, os canais de enchente e de vazante mostram-se relativamente profundos (até 25 m) e bem marcados, com profundidade média de 14 m. Nas zonas de baixa profundidade se observam bancos e depósitos sedimentares areno-lamosos e arenosos.

A margem esquerda da baía de Guajará caracteriza-se pela presença do canal da ilha das Onças, que é a província de maior destaque na área de estudo. Corresponde à continuação do canal do rio Guamá. Acredita-se que esse seja o canal de vazante e por onde fluem as massas d'águas dos rios Guamá e Acará. Já a margem direita caracteriza-se pela presença de uma contínua planície de maré lamosa, bancos lamosos e os canais do Meio e Oriental, considerados canais de enchente.

A análise da evolução batimétrica mostra o crescimento e erosão das províncias geomorfológicas. Como característica principal, observa-se o aprofundamento do Canal da Ilha das Onças, a escavação dos Canais do Meio e Oriental, além da criação de uma zona de deposição de sedimentos junto à ilha da Barra e à margem sul da cidade de Belém. Essas zonas de “sombra” são frutos da quebra da energia das correntes de maré e o conseqüente decréscimo da competência dos rios Guamá e Acará, principais contribuintes da baía de Guajará.

A aplicação de diversos modelos de classificação de textura sedimentar mostrou que ainda é uma tarefa árdua a representação da sedimentologia de ambientes de transição dominados por sedimentos areno-lamosos. Alguns métodos “escondiam” informações, enquanto outros perfeitamente poderiam ser aplicados em escala pontual, sem permitir a geração de mapas precisos de distribuição textural. No entanto, a classificação de Larssonneur, modificada por Dias (1996) e por Dias e Medeiros (2005), foi a que mostrou os melhores resultados. A conclusão de qual metodologia melhor se aplicaria à área de estudo tinha como base o pressuposto da verdade aproximativa, ou seja, foi considerado como ideal aquele método que melhor representou o que foi observado em campo.

Pela classificação por tamanho médio de grão (Folk e Ward, 1957; Wentworth, 1922), os sedimentos da baía de Guajará classificam-se como *silte*. Porções de *areia fina* e *areia média* são observadas na zona norte e em alguns trechos da margem esquerda do rio Guamá. Já pela classificação de Shepard (Shepard, 1954) observou-se que os sedimentos analisados são predominantemente do tipo *silte arenoso*. Também se observaram sedimentos da classe *areia siltica, areia e silte*.

A Distribuição de Larssonneur, modificada por Dias (1996), no entanto, necessitou de um ajuste na nomenclatura: como a metodologia foi proposta para analisar amostras de plataforma continental, o termo *terrígeno* não pode ser aplicado às amostras continentais, como as da baía de Guajará. De tal maneira, utilizou-se o *siliciclástico* ao invés de *terrígeno*.

Na baía de Guajará, 45% dos sedimentos são do tipo *LL1a* e *LL1b* (*Lama Siliciclástica Arenosa* – 15% < teor de lama < 75%). A classe *LL1c* (*Lama Siliciclástica* – teor de lama > 75%) corresponde a 27% dos sedimentos, sendo observada uma distribuição preferencial ao longo da orla da cidade de Belém (principalmente na **Orla Oeste**). De tal maneira, 72% do substrato da baía de Guajará são cobertos por lama. No entanto, na margem esquerda (em porções do canal da ilha das Onças) e na zona noroeste ocorrem sedimentos classificados como *AL1d* e *AL1e* (*Areia Siliciclástica média* e *Areia Siliciclástica fina a muito fina*, respectivamente).

A zona sul da área de estudo é dominada por sedimentos ricos em lama, observando-se areias apenas em alguns pontos do canal da ilha das Onças. Depósitos de areia média observam-se na porção noroeste da baía. O setor nordeste também é dominado por sedimentos lamosos. Sugere-se que o setor norte esteja sob maior influência das correntes de maré oriundas da baía de Marajó e rio Pará, o que acarreta o

predomínio de areias. No setor sul, o predomínio de sedimentos lamosos leva a crer que as descargas sedimentar e fluvial dos rios Guamá e Acará sejam a principal fonte e agente modelador da paisagem geomorfológica, tanto do substrato quanto ou das margens continental e insular.

Apesar da clara dominância do sistema fluvial sobre o sistema estuarino, a maré dinâmica apresenta-se como outra potente reguladora dos processos na baía. Comumente é notado o choque energético entre as duas forçantes (maré e descarga fluvial), especialmente nas viradas de maré. Nessas ocasiões, enquanto se observam correntes de enchente nos canais do Meio e Oriental, ao longo do canal de ilha das Onças ainda fluem correntes de vazante por um período considerável.

Os resultados obtidos a partir dos das análises granulométricas inseridos no diagrama de Pejrup permitiram delimitar as áreas representativas da hidrodinâmica ocorrente na área estudada. Observa-se que a margem esquerda da baía apresenta regime hidrodinâmico elevado, com predominância de sedimentos arenosos, especialmente a montante da ilha da Barra. A margem direita, no entanto, também se apresenta controlada por um alto regime de hidrodinâmica. Porém, predominam sedimentos lamosos, especialmente ao longo da orla da Belém.

O diagrama de Pejrup mostrou-se uma ferramenta eficaz de caracterização hidrodinâmica para a baía de Guajará e foz do rio Guamá. Em linhas gerais, pode-se concluir que o setor oeste mostra-se mais forte em termos de hidrodinâmica (considerando o predomínio de sedimentos arenosos). No entanto, mais de 95% das amostras estudadas foram agrupadas em classes com hidrodinâmica *alta a muito alta*, o que respalda a afirmação de que a baía de Guajará e a foz do rio Guamá, como um todo, correspondem a um sistema de circulação bastante significativa. A interação das correntes de maré e fluviais são principais responsáveis pela hidrodinâmica local.

Com base no uso e ocupação das áreas marginais, foram identificados e avaliados os riscos potenciais de acidentes ambientais na baía de Guajará, além de serem consideradas as características fisiográficas e texturais existentes. A orla da capital paraense foi dividida em quatro setores: Orla Norte, Orla Oeste, Orla Central e Orla Sul. A **Orla Norte** é a que menos agrega atividades industriais. Todavia, ao longo de sua extensão (furo do Maguari) observam-se estaleiros de médio porte e portos para embarque e desembarque de matérias de construção. Não há dados sobre a batimetria e sedimentologia dessa região.

Ao longo da **Orla Oeste** localizam-se indústrias de médio a grande porte, o Terminal Petroquímico de Miramar e aglomerações de habitações irregulares, nas áreas denominadas de *baixadas*. A **Orla Central**, por sua vez, é a mais urbanizada e a menos suscetível a danos ambientais. Nessa região localiza-se o Porto de Belém e importantes complexos turísticos de Belém. A **Orla Sul** corresponde ao trecho da cidade de Belém que ainda apresenta características *ribeirinhas*. Nesse setor observam-se portos e terminais fluviais de passageiros, feiras populares, entre outras atividades informais.

Os potenciais impactos ambientais da baía de Guajará estão relacionados às atividades industriais de médio e grande porte e aos conflitos de uso e ocupação. Ao longo da Orla Oeste predominam planícies de maré areno-lamosas e as atividades de risco estão diretamente relacionadas ao Terminal Petroquímico de Miramar, às indústrias de beneficiamento de pescado, à Base Naval de Val-de-Cães, à Cervejaria Paraense S.A. (CERPASA), além da contribuição dos pequenos estaleiros e terminais fluviais. As regiões de *baixadas* (terrenos alagados periodicamente pelas marés) foram utilizadas como alternativa barata de moradia, observando-se ocupações como a Vila do Paracuri e Vila da Barca, além de trechos significativos dos bairros Pratinha, Barreiro e Telégrafo. As habitações, em geral construídas em madeira, localizam-se sobre ou às margens dos cursos d'água, ou seja, em contato direto com a baía.

Planícies de maré lamosas também são observadas na **Orla Sul**. Nesse setor da baía de Guajará, no entanto, a atividade informal ainda é sobressalente, dado a ainda marcante face *ribeirinha*. Os portos e terminais fluviais geralmente são construídos em madeira, no estilo das palafitas observadas nas ocupações irregulares da **Orla Oeste**. É comum o tráfico de drogas, a prostituição e outras atividades ilegais, como o comércio de animais silvestres.

A região insular da baía de Guajará é pouco habitada. Porém, a maioria dos residentes das 39 ilhas da região possui grande dependência dos recursos naturais da baía de Guajará, vivendo do extrativismo vegetal (safra de açaí) e animal (pesca, caça e o comércio ilegal de animais silvestres). Apenas na ilhas de Mosqueiro, Outeiro (Caratateua) e Cotijuba se observam um nível de ocupação considerável, sendo grande parte das construções classificadas como de segunda residência, ou seja, casas de veraneio. Nessas ilhas predominam atividades de lazer e turismo.

Diante do acima exposto, as orlas **Oeste** e **Sul** de Belém são as mais suscetíveis aos danos ambientais. A **Orla Central**, densamente urbanizada, seria a

menos suscetível, uma vez que a margem encontra-se impermeabilizada por construções em concreto (em geral, muros de arrimo). No caso de um derrame acidental de derivados de hidrocarbonetos seria alto o impacto na região, prejudicando, em maior magnitude, as populações instaladas nas ilhas e que tiram sustento do uso social dos recursos naturais. Turismo e lazer seriam também seriamente afetados. As populações que habitam as chamadas áreas de *baixada* sofreriam o impacto em menor escala, dada a baixa dependência dos recursos naturais da baía de Guajará.

Mapas de índice de sensibilidade ambiental já foram gerados para a área de estudo. No entanto, considerando as características peculiares da região, há muito o que se fazer para que o controle e monitoramento geoambiental sejam mais eficientes. Trabalhos específicos de educação e conscientização ambiental, por exemplo, contribuem para tal. Do mesmo modo, dados abióticos e socioeconômicos, analisados em conjunto e à luz dos processos ecológicos de larga escala e do uso e ocupação das margens da baía, podem gerar diagnósticos mais específicos e contribuir sobremaneira na geração dos planos de mitigação e controle de danos ambientais. Esse é o ponto de partida para a gestão ambiental sugerida pelo presente trabalho.

A baía de Guajará apresenta caráter de alto risco a eventuais acidentes com poluentes, sejam eles oriundos de efluentes industriais/urbanos ou de derrames de derivados de hidrocarbonetos. Não obstante, há utilização dos ambientes sensíveis, de baixa energia e trapeadores de poluentes, representados por várzeas e rios, como fonte de subsistência alimentar e econômica (como o aproveitamento dos recursos hídricos da baía para o abastecimento de água da cidade de Belém).

**REFERÊNCIAS**

ALLISON, M. A. e LEE, M. T. Sediment exchange between Amazon mudbanks and shore-fringing mangroves in French Guiana. **Marine Geology**, 208, p. 169-190. 2004.

ALLISON, M. A.; LEE, M. T. ; OGSTON, A. S. e ALLER, R. C. Origin of Amazon mudbanks along the northeastern coast of South America. **Marine Geology**, 163, p. 241–256. 2000.

ALVES, M. A. M. S. **Morfodinâmica e sedimentologia da praia de Ajuruteua - NE do Pará**. 2001. 104 F. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

ARAGON, G. T. et al. Distribuição espacial de nutrientes e metais pesados em sedimentos e águas superficiais em um ecossistema de manguezal. **Acta Limnológica Brasileira**, 1, 365-385, 1986.

ARAÍ, M.; UESUGUI, H.; ROSSETI, D. F.; GÓES, A. M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXV, 1988, Belém/PA, **Anais...** Belém/PA: SBG, 1990, v.2. p. 738-752.

AYUP-ZOUAIN, R. N. Aspectos da dinâmica sedimentar no rio de La Plata exterior e plataforma externa adjacente. 1986. 226 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

BEARDSLEY, R. C. et al. The  $M_2$  tide on the Amazon shelf. **Journal of Geophysical Research**, 100 (C2), p. 2283-2319. 1995.

BEMERGUY, R. L. **Morfotectônica e evolução paleogeográfica da região da calha do Rio Amazonas**. 1997. 201 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 1997.

CALLIARI, L.; VINZON, S.; FERNANDES, H.; WINTERWERP, J.; HOLLAND, T. On the fine-sediment dynamics in the Patos Lagoon – Cassino Beach System. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MUD DEPOSIT IN COASTAL AREA, 2006. Porto Alegre/RS, **Abstracts book...** Porto Alegre/RS: LDSC/COPPE/UFRJ, 2006, p. 8.

CAMARGO, M. G. Sysgran para Windows: Sistema de análises granulométricas. [mcamargo@cem.ufpr.br]. 1999.

CHARONE FILHO, N. **O terreno da CDP é um intruso**. Disponível em: <http://orlalivre.blogspot.com>. Acessado em 30 de maio de 2007.

DE BOER, G. ; WINTERWERP, H. ; CUCHIARA, D. ; VINZON, S. ; CARVALHO, J. L.; HOLLAND, T. Modeling of the fluid mud induced wave damping in Cassino Beach coastal area. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MUD DEPOSIT IN COASTAL AREA, 2006. Porto Alegre/RS, **Abstracts book...** Porto Alegre/RS: LDSC/COPPE/UFRJ, 2006, p. 11.

DEGENS, E. T.; KEMPE S. e RICHEY, J. E. (Editors). **Biogeochemistry of major world rivers**. New York: John Wiley and Sons, 1991. 363 p.  
DELOFFRE, J.; VERNEY, R.; RAFITE, R.; LESUEUR, P.; LESOURD, S. e CUNDY, A. B. Sedimentation on intertidal mudflats in the lower part of macrotidal estuaries: sedimentation rhythms and their preservation. **Marine Geology**, 241, p. 19–32. 2007.

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tábuas de maré para o Porto de Belém (Estado do Pará)**. Disponível em: <http://www.dhn.mar.mil.br/chm/tabuas>. Acessado em janeiro de 2008.

DIAS, D. Portos como rota principal do tráfico. **Diário do Pará**, Belém, 15 de janeiro de 2007. Caderno Cidades, p. 3.

DIAS, G. M. T. 1996. Classificação de sedimentos marinhos proposta de representação em cartas sedimentológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXIX. 1996. São Paulo/SP: **Anais...** São Paulo/SP: SBG, 1996, vol. 3, p. 423-426.

DIAS, G. M. T. e MEDEIROS, M.F. Proposta de metodologia para a elaboração de cartas sedimentológicas. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, IX. 2005. Guarapari/ES, **Anais...** Guarapari/ES: Abequa, 2005. CD-ROM.

DRAUT, A. E. et al. Coastal mudflat accretion under energetic conditions, Louisiana chenier-plain coast, USA. **Marine Geology**, 214, p. 27–47. 2005.

DUANE, D. B. Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. **Journal of Sedimentary Petrology**, 34, p. 864-874. 1964.

EISMA, D.; AUGUSTINUS, P. G. E. F.; ALEXANDER, C. Recent and sub-recent changes in the dispersal of Amazon mud. **Netherlands Journal of Sea Research**, 28, p. 181-192. 1991.

EYRE, B. e McCONCHIE, D. Implications of sedimentological studies for environmental pollution assessment and management: Examples from fluvial systems in North Queensland and Western Australia. **Sedimentary Geology**, 85 (1-4), p. 235-252, 1993.

FAAS, R. W. Time and density-dependent properties of fluid mud suspensions, NE brazilian continental shelf. **Geo-Marine Letters**, 4, p. 147-152. 1985.

FERREIRA, C. S. & FRANCISCO, B. M. R. As relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as formações continentais terciárias no nordeste do estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXV, 1988, Belém/PA, **Anais...** Belém/PA: SBG, 1990, v. 2. p. 761-764.

FIGUEIREDO Jr., A. G. et al. Natureza da sedimentação atual do rio Amazonas – testemunhos e geomorfologia submarina, <<canyon>> Amazonas testemunhos submarinos”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXVI, 1990. Natal/RN, **Anais...** Natal/RN: SBG, 1990, v. 2, p. 51-56.

FLÁVIO, L. Gado: Pará pode exportar 200 mil cabeças este ano. **Diário do Pará**, Belém, 29 de agosto de 2006. Caderno Regional, p. 1.

FOLK, R. L. e WARD, W. C. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentology Petrology**, 27, p. 3-27. 1957.

FONTES, C. R. F. **Estudo numérico da circulação na Plataforma Continental Amazônica (PCA)**. 2000. Tese (doutorado em Oceanografia Física) – Instituto Oceanográfico, Curso de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FRANÇA, C. e SOUZA FILHO, P. W. M. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó (PA) em imagem Landsat. **Revista Brasileira de Geociências**, 33(2-Suplemento), p. 127-136. 2003.

FRANÇA, C.; SOUZA FILHO, P. W. M. e EL-ROBRINI, M. Análise faciológica e estratigráfica da planície costeira de Soure (margem leste da ilha de Marajó-PA), no trecho compreendido entre o canal do Cajuúna e o estuário Paracauari. **Acta Amazônica**, 37(2), p. 261–268. 2007.

FRANZINELLI, E. Evolution of the geomorphology of the coast of the State of Pará, Brazil. In: PROST, M. T. (Ed.). **Évolution des littoraux de Guyane et de la Zone Caraïbe Méridionale pendant le Quaternaire**. Paris: Orston, p. 203-230. 1992.

FROIDEFOND J. M.; LAHET F.; HU, C.; DOXARAN D.; GUIRAL D.; PROST M. T.; e TERNON, J. F. Mudflats and mud suspension observed from satellite data in French Guiana. **Marine Geology**, 208, p. 153-168. 2004.

GABIOUX, M. **Influência da lama em suspensão na propagação da maré na plataforma Amazônica**. 2002. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

GABIOUX, M.; VINZON, S. B. e PAIVA, A. M. Tidal propagation over fluid mud layers on the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, 25, p. 113–125. 2005.

GEYER, W. R. e BEARDSLEY, R. C. Introduction to special section on physical oceanography of the Amazon shelf. **Journal of Geophysical Research**, 100 (C2), p. 2181-2182. 1995.

GEYER, W. R. e KINEKE, G. C. Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone. **Journal of Geophysical Research**, 100 (C2), p. 2321-2339. 1995.

GEYER, W. R. Tide-induced mixing in the Amazon frontal zone, **Journal of Geophysical Research**, 100 (C2), p. 2341-2353. 1995.

GIBBS, R. J. The bottom sediments of the Amazon shelf and the tropical Atlantic Ocean. **Marine Geology**, 14, p. M39-M45. 1989.

GONÇALVES, F.D. **Mapeamento da sensibilidade ambiental a derrame de óleo na baía de Guajará (Belém-PA) usando imagens ETM+ Landsat 7 e Sistema de Informações Geográficas**. 2003. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.

GONÇALVES, F. D. e SOUZA FILHO, P. W. M. Integração digital de imagens Radarsat-1 e Landsat-7 para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na Baía de Guajará (Belém-PA). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XII. 2005. Goiânia/GO, **Anais...** Goiânia/GO: INPE, 2005. p. 1789-1796.

GONÇALVES, F. D. **Utilização de dados de sensores remotos para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamento de óleo na baía de Guajará, Belém-PA.** 2005. 179 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

GREGÓRIO, A. M. S. **Caracterização morfo-sedimentológica da praia do Atalaia, Salinópolis, Pará.** 2004. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

GREGÓRIO, A. M. S.; MENDES, A. C. e BUSMAN, D. V. Morfodinâmica da praia do Atalaia, NE do Pará. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, IX. 2005. Guarapari/ES, **CD-ROM Anais...** Guarapari/ES: Abequa, 2005. CD-ROM.

GREGÓRIO, A.; MENDES, A.; SOUZA, D.; SANTOS, C. A.; MARTINS, S. e MOTA, M. Estudo do teor de matéria orgânica nos sedimentos de fundo da baía de Guajará (Belém/PA - Brasil): subsídios para gestão e monitoramento geoambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XLIII. 2006. Aracaju/SE, CD-ROM **Anais...** Aracaju/SE: SBG, 2006a. CD-ROM.

GREGÓRIO, A.; MENDES, A.; SILVA, C. A.; SOUZA, D.; SANTOS, C. A.; MARTINS, S. e MOTA, M. Muddy deposits of Guajará Bay, Amazon, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MUD DEPOSIT IN COASTAL AREA, 2006. Porto Alegre/RS, **Abstracts book...** Porto Alegre/RS: LDSC/COPPE/UFRJ, 2006b, p. 19.

GREGÓRIO, A. M. S. Method of Larsson Distribution or by Mean Grain-size? Applications in a amazonic ambient composed by sandy mud sediments. In: CONGRESSO DA ABEQUA, XI. 2007. Belém/PA, CD-ROM **Anais...** Belém/PA: Abequa, 2007. CD-ROM.

GREGÓRIO, A.; MOTA, M.; MENDES, A.; SILVA, C.; SOUZA, C.; SANTOS, C. e MARTINS, S. Hidrodinâmica da baía de Guajará (Belém - Amazônia - Brasil) a partir do diagrama de Pejrup. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, XX. 2007. Florianópolis/SC, CD-ROM **Anais...** Florianópolis/SC: Oceano, 2007. CD-ROM.

HAEMIG, P. D. A Barreira Amazônica. **Ecologia.Info**, 29. Disponível em: <http://www.ecologia.info/barreira.htm>. Acessado em março de 2006.

HAYNES, R. **Human Ecology.** New York: Chapman Hall, 1982. 327 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geologia da Folha SA.22-X-D**. Belém: IBGE, 2003, 1 mapa colo. Escala: 1:250.000. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2007. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em agosto de 2007.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=Gráficos>. Acessado em março de 2007.

KINEKE, G. C. e STERNBERG, R. W. Distribution of fluid mud on the Amazon continental shelf. In: C.A. Nittrouer and S.A. Kuehl (Editors). **Marine Geology, special issue: Geological Significance of Sediment Transport and Accumulation on the Amazon Continental Shelf**, 125 (3/4), p. 193-233. 1995.

KINEKE, G. C. et al. Fluid-mud processes on the Amazon continental shelf. **Continental Shelf Research**, 16 (5/6), p. 667-696. 1996.

KUELH, S. A. et al. Sediment deposition, accumulation, and seabed dynamics in an energetic fine-grained coastal environment. **Continental Shelf Research**, 16 (5/6), p. 787-815. 1996.

KUELH, S. A.; NITTROUER, C. A. e DeMASTER, D. J. Modern sediment accumulation and strata formation on the Amazon continental shelf. **Marine Geology**, 49, p. 279-300. 1982.

LARSONNEUR, C. La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche. **Journal de Recherches Océanographiques**, 2, p. 34-39. 1977.

LEE, S. H.; LEE, L. J.; JO, H. R.; BAHK1, J. J. e CHU, Y.S. Complex sedimentation of the Holocene mud deposits in a ria-type coastal area, eastern Korea Strait. **Marine Geology**, 214, p. 389–409. 2007.

LENTZ S. J. e LIMEBURNER, R. The Amazon river plume during AMASSEDS: spatial characteristics and salinity variability. **Journal of Geophysical Research**, 100(C2), p. 2255-2375. 1995.

MAHON, B. P. G. The significance of water circulation and sediment movements for environmental planning, Western Port, Victoria. **Marine Geology**, 30 (1-2), p. 163-173, 1979.

McLAREN, P. An interpretation of trends in grain size measures. **Journal of Sedimentary Petrology**, 51 (2), p. 611-624. 1981.

MEADE R. H.; DUNNE, T.; RICHEY, J. E.; SANTOS, U. D. M. e SALATI, E. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. **Science**, 228, p. 488-490. 1985.

MENDES, J. C. **Elementos de Estratigrafia**. São Paulo: T.A. QUEIROZ Editora Ltda. 394 p. 1992.

MENDES, A. C. **Estudo sedimentológico e estratigráfico dos sedimentos Holocênicos da costa do Amapá - setor entre a ilha de Maracá e cabo Orange**. 1994. 274 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 1994.

MENDES, A. C. Geomorfologia e sedimentologia. In: Fernandes, M. E. B. (org). **Os manguezais da Costa Norte Brasileira**, vol. 2. São Luiz/MA: Fundação rio Bacanga, 2005. p. 13 – 32.

MENDES, A. C. Mineralogy and provenance of the mudflats sediments of the Amapá Coast – Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MUD DEPOSIT IN COASTAL AREA, 2006. Porto Alegre/RS, **Abstracts book...** Porto Alegre/RS: LDSC/COPPE/UFRJ, 2006, p. 28.

MENDES, A C ; SILVA, C. A. ; GREGÓRIO, A. M. S. e FRAZÃO, E. P. Análise batimétrica da baía de Guajará. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO PROJETO PIATAM. 2005b. Manaus/AM, **CD-ROM de resumos expandidos...** Manaus/AM: Petrobras/UFAM, 2005. CD-ROM.

MIRANDA, A. G. O. **Dinâmica batimétrica da baía do Guajará, Belém-PA**. 2006. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

NASCIMENTO, F. e FENZL, N. Geoquímica de metais pesados em sedimentos do rio Guamá e dos principais canais de drenagem de Belém, Pará, Brasil. **Acta Amazônica**, 27(4). p. 257-268. 1997.

NITTROUER, C. A.; SHARARA, M. T. e DeMASTER, D. J. Variations of sediments texture on the Amazon continental shelf. **Journal of Sedimentary Petrology**, 53, p. 179-191. 1983.

PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: BOER, P. L.; VAN GELDER, A. e NIO, S. D. (Ed). **Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies**. Dordrecht: D.Reidel, p.289-300. 1988.

PERILLO, G. M. E. Geomorphology and sedimentology of estuaries. [S.l.]: Elsevier Science B.V., 248 p. 1995.

PINHEIRO, R. V. L. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém/PA**. 1987. 164 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1987.

PONÇANO, W. L. Sobre a interpretação ambiental de parâmetros estatísticos granulométricos: exemplos de sedimentos Quaternários da Costa Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, 16 (2), p. 157-170. 1986.

POTTER, P. E. The Mesozoic and Cenozoic paleodrainage of South America: a natural history. **Journal of South America Earth Science**, 10, p. 331–344. 1997.

PROST, C. e RIBEIRO, T. G. Populações em situação de risco social e ambiental no estuarino guajarino, Belém – PA. In: Workshop do Projeto Petrorisco, 2004. Belém/PA, CD-ROM **Anais...** Belém/PA: Finep, 2004. CD-ROM.

RAMOS, P. R.; RAMOS, L. A. e LOCH, C. Sensoriamento Remoto como Ferramenta para a Gestão Ambiental e o Desenvolvimento Local. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2004. Florianópolis/SC, CD-ROM **Anais...** Florianópolis/SC: UFSC, 2004. CD-ROM.

REED, et al. Characterization of an offshore mud deposit and nearshore sediments at Cassino Beach, Rio Grande do Sul, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MUD DEPOSIT IN COASTAL AREA, 2006. Porto Alegre/RS, **Abstracts book...** Porto Alegre/RS: LDSC/COPPE/UFRJ, 2006, p. 40.

RIBEIRO, A. S. S; PALHA, M. D. C.; TOURINHO, WHITEMAN, C. W. e SILVA, A. S. L. Utilização dos recursos naturais por comunidades humanas do Parque Ecoturístico do Guamá, Belém, Pará. **Acta Amazônica**, 37(2), p. 235 – 240. 2007.

RINE, J. M. e GINSBURG, R.N. Depositional facies of a mud shoreface in suriname, South America: a mud analogue to sandy, shallow-marine deposits. **Journal of Sedimentary Petrology**, 55, p. 633– 652. 1985.

ROSS, M. A. e MEHTA, A. J. On the mechanics of lutoclinas and fluid mud. **Journal of Coastal Research**, 5, p. 51-62. 1989.

SÁ, J. H. S. Contribuição à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região bragantina. Universidade Federal do Rio de Janeiro, **Boletim do Instituto de Geologia**, 3, p. 21-36. 1969.

SANTANA, J. V. **Banco Interamericano de Desenvolvimento e política urbana no município de Belém: tensões e compatibilidades no modelo de gestão de cidades e no discurso da participação social**. 2006. 321 f. Tese (Doutorado em Serviço Social) – Escola de Serviço Social, Curso Pós-Graduação em Serviço Social, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SANTOS, V. F. **Estratigrafia Holocênica e morfodinâmica atual da planície costeira da ilha de Algodão e Marudá**. 1996. 139 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

SANTOS, V. F. **Ambientes costeiros amazônicos: avaliação de modificações por sensoriamento remoto**. 2006. 306 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) – Centro de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geofísica, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2006.

SHEPARD, F.P. Nomenclature based on sand–silt–clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, 24, p. 151– 158. 1954.

SILVA, M. S. **Morfoestratigrafia e evolução Holocênica da planície costeira de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará**. 1996. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

SILVEIRA, A. Trabalhador morre intoxicado em balsa. **Diário do Pará**, Belém, 19 de outubro de 2006. Caderno Polícia, p. 3.

SILVEIRA, O. F. M. **Estudo batimétrico/sonográfico do Estuário Guajará, Belém/PA**. 1992. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 1992.

SILVEIRA, O. F. M. **A planície costeira do Amapá: dinâmica de ambiente influenciado por grandes fontes fluviais Quaternárias**. 1998. 215 f. Tese (Doutorado

em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 1998.

SILVEIRA, O. F. M. e SANTOS, V. F. Sources and sinks of sediments: the Amapá coast. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DYNAMICS OF FLUID MUD LAYERS IN COASTAL WATERS, 2003. Rio de Janeiro/RJ. **Proceedings...** Rio de Janeiro/RJ: COPPE/UFRJ, 2003. CD-ROM.

SOUZA FILHO, P. W. M. **Influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia da planície costeira bragantina (NE do Pará) durante o Holoceno.** 1995. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.

SOUZA FILHO, P.W.M. e EL-ROBRINI, M. Coastal zone geomorphology and sedimentology of Bragança Area, Amazon Region, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31. 2000. Rio de Janeiro/RJ, **Abstracts Volume...** Rio de Janeiro/RJ: SBG, 2000. CD ROM.

SOUZA FILHO, P. W. M. Tectonic control on the coastal zone geomorphology of the northeastern Pará State. **Revista Brasileira de Geociências**, 30 (3): 523-526. 2000.

SOUZA FILHO et al. **Bibliografia da Zona Costeira Amazônica.** Belém/PA: Museu Paraense Emílio Goeldi – Universidade Federal do Pará – Petrobras, 2005. 401 p.

SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação do maior cinturão contínuo de manguezais do mundo. **Revista Brasileira de Geofísica**, 23(4), p. 427-435. 2005.

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

TRANSPORTE: Estudo está avaliando linhas fluviais. **Diário do Pará**, Belém, 04 setembro de 2006. Caderno Cidades, p. 1.

VESTERGAARD, P. A study of indication of the trace metal pollution of marine areas by analysis of salt marsh soils. **Marine Environmental Research**, 2, p. 19-31. 1979.

VINZON, S. B. e MEHTA, A. J. Boundary layer effects due to suspended sediment in the Amazon River estuary. In: McANALLY, W. H. e MEHTA, A.J. (Editors). **Coastal**

**and Estuarine Fine Sediment Processes**, Marine Science 3, Elsevier, pp. 359-373. 2001.

VINZON, S. B. ; PAIVA, Afonso M . Modeling the sediment concentration profiles at the Amazon Shelf. In: Hans Winterwerp; Kranenburg. (Org.). **Fine Sediment Dynamics in the Marine Environment** (1 ed). Amsterdam: Elsevier, 2002, v. 5, p. 687-702.

WELLS, J. T. e ROBERTS, H. H. Fluid mud dynamics and shoreline stabilization: Louisiana chenier plain. **Proc. Coast. Eng. Conf.**, 17, p. 1382– 1401. 1981.

WENTWORTH, C. K.. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, 30(5), p. 377-392. 1922.