

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SUZIMARA POSSENTI

CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE SEDIMENTAR EM UM DELTA DE MARÉ  
ENCHENTE NO LITORAL DO PARANÁ.

PONTAL DO PARANÁ

2009

SUZIMARA POSSENTI

CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE SEDIMENTAR EM UM DELTA DE MARÉ  
ENCHENTE NO LITORAL DO PARANÁ.

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia com habilitação em Pesquisa Oceanográfica, ao Curso de Graduação em Oceanografia, Setor de Ciências da Terra, Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour.

PONTAL DO PARANÁ

2009

*Aos meus pais  
Alioli Antônio Possenti e Ivete Vieira Possenti,  
Luzes da minha vida,  
Aos meus irmãos,  
Jean, Márcio e Kika,  
Complementos da minha vida.  
A Deus.*

*"It`s alive! It`s alive!"*

*Colin Clive*

*"If the study to which you apply yourself has a tendency to weaken your affections, and to destroy your taste for those simple pleasures in which no alloy can possibly mix, then that study is certainly unlawful, that is to say, not befitting the human mind."*

*Mary Shelley*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida. Ao meu pai Alioli, que possibilitou esta conquista, pela educação formal, moral e sabedoria de vida e à minha mãe Ivete, a quem eu devo a vida, por seu amor incondicional e por estar sempre ao meu lado. Aos meus irmãos, Jean, Márcio e Kika, pelo incentivo, amor e amizade incondicionais.

Ao meu orientador, Prof. Marcelo Renato Lamour, pela paciência e altruísmo com a qual sempre me ajudou, pela amizade e pelo exemplo de profissional e de ética, com o qual me ensinou a ser uma pessoa melhor.

Ao Prof. Rodolfo José Angulo, ao Prof. Carlos R. Soares e ao Prof. Eduardo Marone, por aceitarem o convite para fazer parte da banca avaliadora e por suas valiosas contribuições para a melhoria deste trabalho.

Ao Prof. Eduardo Marone, pela bolsa que custeou parte deste trabalho.

À ADEMADAN, pelas inscrições no seminário de dragagens e pelos livros.

À Prof<sup>ª</sup>. Terezinha M. Abcher, por ter cedido o equipamento de mergulho.

Ao Prof. Henry Spack, por ter cedido a filmadora e os cilindros.

Ao Prof. Maurício A. Noernberg pelas sugestões para melhoria deste trabalho.

Ao Prof. Bersano, pelo auxílio com os procedimentos com o fluxômetro.

Ao Prof. Maurício Camargo, pela ajuda com a parte estatística.

À Prof. Hedda Kolm, pela amizade, histórias, água destilada e petite ponar.

Aos professores do CEM e UFPR pela contribuição na minha formação profissional.

Ao colega João Regis dos Santos Filho, por sua grande amizade e ajuda para realização deste trabalho.

À Msc. Rafaela Zem, pela ajuda inestimável a este trabalho e pela amizade.

Aos amigos André Cattani, e Batata, pela ajuda com as coletas. Ao César, da Lancha Furacão, por ceder os equipamentos de mergulho. Ao Polaco, barqueiro, pelo auxílio nas coletas. Ao seu Antônio e Dna. Esther, e a UFPR, pelo R.U.

Ao pessoal do CEM, nas pessoas de Moisés, pela construção do suporte da filmadora; Josias, pelos inúmeros auxílios; Roney, pela ajuda com a construção do quadrante; Júnior, pelos “transfers” nas coletas; Cleyton, pela solicitude no agendamento das coletas; Dna. Ísis, pela presteza em todas as horas; e às amigas Silvana, Rutinha, Mari, Lucy, Carol, Nara. Ao Conrado, por salvar meu computador inúmeras vezes. Ao Seu João, Giordano, Altair e aos seguranças do CEM.

Aos amigos do LOGeo: Pâmela, Juliane, Larissa, Diógenes, Bruna, Wilson, Felipe, Pilato, Mariana, Tuan, Mirella e a todos que ajudaram neste trabalho.

À Melina Saori Ueda, por me compreender e pelo apoio em todas as horas.

Ao Tinho, Ana, Marco, Bot, Dessa, Raquel, Mari, Sassá, Dininha, Lari, Daia, Fer, Camis, Allan, Fabian, Vanessa, Marisa, Manú, Pam Crocco, Marília, Zé, Hugo, Tati, Thais e demais colegas e amigos do GRR2005 e do CEM.

A UFPR, e aos contribuintes, pela vaga na universidade. À Dna. Serafina, por tudo.

## RESUMO

O Saco do Limoeiro é um delta de maré enchente onde existem ondas de areia, megaondulações e pequenas formas de fundo. Suas praias são classificadas como terraços de baixa mar reflexivos de circulação normal. Foi verificada a aplicabilidade do modelo sedimentar que correlaciona profundidade da lâmina de água, velocidade do fluxo da corrente de maré e tamanho das partículas sedimentares. Esta interação indica qual campo de formas de fundo está presente. Foram amostradas três estações no Saco do Limoeiro, diferentes em profundidade, e foram chamadas E-1, E-2, e E-3, com 1, 3 e 6 m de profundidade respectivamente. Campanhas amostrais foram realizadas durante maré de sizígia na 2ª metade do ciclo de enchente. Os volumes líquidos de transporte sedimentar por carga de fundo em modo de arraste foram obtidos pelo fundeio de uma armadilha de sedimentos. As velocidades médias de corrente de maré foram obtidas com um fluxômetro, nas três estações. Foram coletadas 42 amostras de sedimentos de fundo para caracterização sedimentar. A movimentação das partículas sedimentares, e as formas de fundo existentes em cada local, foram observadas com mergulho autônomo. Foram gerados mapas de batimetria e de campos de transporte para o Saco do Limoeiro. O diâmetro médio de todas as amostras coletadas foi areia fina. Quanto às velocidades obtidas, em E-1 os valores variaram entre  $7 \text{ cm.s}^{-1}$  e  $26 \text{ cm.s}^{-1}$ . Neste mesmo ponto, não ocorreu aprisionamento de grãos pela armadilha de sedimentos. Em E-2 registraram-se velocidades de corrente entre  $23 \text{ cm.s}^{-1}$  e  $40 \text{ cm.s}^{-1}$ , e capacidade de transporte de  $1,33 \text{ g.h}^{-1}$ . Em E-3 a velocidade do fluxo de corrente atingiu  $93 \text{ cm.s}^{-1}$ , e apresentou capacidade de transporte de  $48,99 \text{ g.h}^{-1}$ . Os dados mostraram que, em E-1 o transporte sedimentar é nulo em condições de tempo bom, em E-2 ocorrem campos com ondulações pequenas e em E-3 ocorrem campos com ondulações grandes. A partir de todos os resultados e do mapa batimétrico, foi elaborado um mapa de campos de transporte sedimentar para uma área de  $3,74 \text{ km}^2$ , e  $0,61 \text{ km}^2$  deste total é similar à E-1, com baixa energia hidrodinâmica, enquanto que  $2,83 \text{ km}^2$  são similares à E-2, com transporte por carga de fundo. Cerca de  $0,30 \text{ km}^2$  da área apresentam potencial de alta energia hidrodinâmica de transporte por arraste, similar à E-3. Sugere-se que sejam feitos novos estudos, utilizando batimetria da área total do Saco do Limoeiro, e medições em condições de entrada de frentes frias, para observar as características do transporte sedimentar.

**Palavras-chave:** Ilha do Mel; Saco do Limoeiro; formas de fundo; diagramas de transporte; Baía de Paranaguá.

## ABSTRACT

The Saco do Limoeiro is a flood delta with sand waves, megaripples and ripples. Its beaches are classified as low-tide terraces with normal circulation. The objective in this work was to verify the applicability of sediments models, which correlates data of water deep, tidal currents flow velocity and sediments size parameters. This interaction shows results about bed forms fields present in the area. Three stations were sampled at Saco do Limoeiro, each one with a different deep. The stations were named E-1, E-2, and E-3, with 1, 3 and 6 m deep, respectively. Sample campaigns were taken at the 2nd half of the flood cycle, during spring tides. Net sand bed load transport was measured with a sediment trap. The mean current flow velocities were measured with a flowmeter at the three stations. 42 sediments samples were collected to grain size analysis and sediments characterization. The particles dynamics and the bed forms for each location, where observed by scuba diving. A bathymetric chart and a map of sediment transport fields were generated for the Saco do Limoeiro. The mean grain size for all the sediments sample resulted in fine sand. The current flow velocities measurements for E-1 showed values between  $7 \text{ cm.s}^{-1}$  and  $26 \text{ cm.s}^{-1}$ , and there was no sediments entrapment in this station. Station E-2 showed values of flow velocities between  $23 \text{ cm.s}^{-1}$  and  $40 \text{ cm.s}^{-1}$  and the transport ability measured was  $1,33 \text{ g.h}^{-1}$ . In station E-3 the current flow velocity measured was  $93 \text{ cm.s}^{-1}$ , and this station showed transport ability of  $48,99 \text{ g.h}^{-1}$ . The data measurements resulted in “no sediments motion” fields for E-1, “small ripples” fields for E-2, and “megaripples” fields for E-3, during good weather conditions. A map of sediments transport fields were generated using data of the results and of the bathymetric chart, for an area of about  $3,74 \text{ km}^2$ . Of this total, an area of  $0,61 \text{ km}^2$  showed similarities with station E-1, with low hydrodynamics energy, while an area of  $2,83 \text{ km}^2$  showed similarities with E-2, where ripple migrations occurs. An area of about  $0,30 \text{ km}^2$  presented high hydrodynamic energy potential for bed load transport, due its similarities with station E-3. It is suggested other researches to be done using a bathimetric chart for the total area of Saco do Limoeiro, and sample campaigns to occur under storm surges conditions, to observe the sediments transport characteristics.

**Key-words:** Do Mel Island; Limoeiro flood delta; bed forms; depth-velocity-size diagram; Paranaguá Bay.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Localização do litoral paranaense, da área de estudo (retângulo) e das principais toponímias 1- Complexo Estuarino de Paranaguá; 2- Baía de Paranaguá; 3- Baía de Antonina; 4-Baía de Laranjeiras ; 5- Baía de Guaraqueçaba; 6- Ilha das Peças; 7- Ilha do Superagui; 8- Baía dos Pinheiros; 9- Guaraqueçaba; 10- Ilha das Palmas; 11- Desembocadura Norte; 12- Saco do Limoeiro; 13- Pontal do Paraná; 14- Ilha da Galheta; 15- Canal da Galheta; 16- Antonina; 17- Paranaguá; 18- Matinhos; 19- Guaratuba; 20- Baía de Guaratuba; 21- Morretes; 22- Ilha da Cotinga; 23- Ilha Rasa; 24- Ilha das Cobras; 25- Canal Norte; 26- Canal Sueste; 27- Desembocadura Sul; 28- Rio Nhundiaquara; 29- Portos de Paranaguá; 30- Pontal do Sul..... 3
- Figura 2: Localização do Saco do Limoeiro (1), e toponímias: 2- Canal navegável; 3- Terminal turístico de Nova Brasília; 4- Istmo arenoso; 5- Esporão de vazante; 6- Canal marginal de enchente; 7- Rampa de enchente; 8- Ponta Caraguatá; 9- Ilha da Galheta; 10; Canal da Galheta; 11- Ponta do Poço; 12- Praia do Belo; 13- Praia do Limoeiro; 14- Praia do Cedro; 15- Ponta Oeste; 16; Fortaleza Nsa. Sra. Prazeres; 17- Morro do Farol. Fotos aéreas utilizadas para elaboração do mosaico, obtidas de ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. Linha isobatimétrica – 5 m em amarelo e Unidades de Conservação em vermelho. .... 4
- Figura 3: Sistema deltaico na desembocadura sul do CEP (Angulo, 1999). As feições características de delta de maré vazante são: (1) barras de espraiamento; (2) barra linear de margem de canal; (3) lobo terminal; (4) canal principal de vazante; e (5) canal marginal de enchente. As feições que caracterizam o delta de maré enchente são: (6) rampa de enchente; (7) esporão de vazante; (8) direção preferencial de migração de formas de fundo; e (9) direção da deriva litorânea. ... 5
- Figura 4: Distribuição granulométrica no Saco do Limoeiro (Araújo, 2001). Nota-se que os pontos G3 e G5 figuram como areia muito fina de acordo com a legenda, entretanto correspondem à fração areia fina, de acordo com Araújo (2001). .... 7
- Figura 5: Distribuição granulométrica na desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá, de Lamour (2007). No Saco do Limoeiro os sedimentos são areia fina, com duas pequenas áreas de areia muito fina. .... 8
- Figura 6: Estrutura básica das formas de fundo: comprimento da ondulação (*ripple length*), da altura da ondulação (*ripple height*), do ponto ápice (*summitpoint*), ponto

de base ( <i>toe point</i> ) que delimita a face de deslizamento ( <i>slip face</i> ) do conjunto de fundo ( <i>bottom set</i> ), ponto de margem ( <i>brink point</i> ), ponto da cava ( <i>trough point</i> ) e índice da ondulação ( <i>ripple index</i> ) é a razão do comprimento pela altura. Elaborado a partir de Allen, (1968, pg. 61), Reineck & Singh (1973, pg. 14) e Middleton & Southard, (1984, pg. 258) .....	12
Figura 7: Diagrama tridimensional de campos de formas de fundo resultantes da interação entre tamanho de grão, velocidade de fluxo e profundidade de lâmina de água, adaptado de Rubin & McCulloch (1980). .....	13
Figura 8: Sucessão de campos de formas de fundo mostrando leito plano (1), ondulações pequenas (2), ondulações vórtex (3), ondulações tridimensionais (4) formas de fundo transicionais (5) e ondulações simétricas (6). Adaptado de O'Donoghue & Clubb (2001). .....	14
Figura 9: Padrão do processo de separação e reagrupamento do fluxo sobre formas de fundo (ondulações) mostrando a estratificação da camada limite do fluxo em camada limite interna (1) e camada limite superior, formação de vórtices (2) e redesenvolvimento do fluxo. Adaptado de Middleton & Southard (1984).....	16
Figura 10: Ondulações rombóides, mostradas com uma escala graduada onde a cor escura representa 5 cm e a cor clara representa 10 cm. Fotografia extraída de Li & Amos (1999a).....	17
Figura 11: Bloco diagrama mostrando pequenas ondulações de corrente de cristas simétricas, adaptado de Reineck & Singh (1973, pg. 30). .....	18
Figura 12: Localização das estações amostrais E-1, E-2 e E-3, e distribuição das amostras para análises granulométricas de sedimentos de fundo. Pontos coletados (•); linha isobatimétrica – 5 m (linha azul); estações amostrais (X); linha isobatimétrica – 10 m (linha preta); afloramentos rochosos (linhas marrons). .....	19
Figura 13: Conjunto da filmadora, caixa estanque e suporte em campanha na estação E-1 (A). Detalhe em perfil, onde pode ser observada a inclinação de 20° do eixo horizontal, de acordo com método de Amos <i>et al.</i> (1988) (B).....	20
Figura 14: armadilha de sedimentos: abertura posterior (A) e abertura frontal (B) com 1,55 m <sup>2</sup> .....	20
Figura 15: Imagem do fluxômetro utilizado para medição de velocidade de correntes ( <i>General Oceanics</i> ). .....	21

Figura 16: Gráfico mostrando a equação linear utilizada para obtenção das velocidades de fluxo de corrente ( $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de acordo com o manual do equipamento ( <i>General Oceanics</i> ).....	22
Figura 17: Para mensurar velocidades de corrente, o fluxômetro deve permanecer com as alças tencionadas para manter o equipamento na vertical.....	22
Figura 18: Mapa de distribuição dos valores de diâmetro médio no Saco do Limoeiro. ....	31
Figura 19: Mapa de distribuição dos valores de grau de seleção para os sedimentos do Saco do Limoeiro. ....	32
Figura 20: Mapa dos graus de assimetria das curvas de distribuição granulométrica dos sedimentos do Saco do Limoeiro. ....	33
Figura 21: Mapa de distribuição de curtose para o Saco do Limoeiro.....	34
Figura 22: Mapa de porcentagem de $\text{CaCO}_3$ nos sedimentos do Saco do Limoeiro	35
Figura 23: Mapa de distribuição de teor de matéria orgânica do Saco do Limoeiro.	36
Figura 24: Curva da maré do dia 11 de fevereiro de 2009, data da coleta da estação E-1. ....	37
Figura 25: Curva da maré do dia 26 de março de 2009, quando foi realizada coleta na estação E-2.....	37
Figura 26: Curva da maré, no dia 23 de junho de 2009, dia da campanha amostral da estação E-3.....	38
Figura 27: Batimetria do Saco do Limoeiro em levantamento realizado por Microars (1998), mostrando inclinação suave do perfil até a isobatimétrica de -10 m, o canal marginal de enchente, e a continuação do esporão de vazante. ....	39
Figura 28: Dados da estação E-1, plotados no diagrama de Rubin & McCulloch (1980). Todos os valores de fluxo de corrente resultam em leito “sem movimento” de formas de fundo. ....	40
Figura 29: Dados da estação E-2, plotados no diagrama de Rubin & McCulloch (1980). Velocidades de corrente mostram existência de sucessão entre a fase “sem movimento” e a fase com migração de formas de fundo pequenas.....	41
Figura 30: Dados da estação E-3, plotados no diagrama de Rubin & McCulloch (1980). Resultados mostram leito com “ondulações grandes”, indicando transporte sedimentar por migração de formas de fundo.....	42

Figura 31: Variações da ordem de 0,01 mm de tamanho de grão não a alteram os campos de transporte observados em E-1, E-2 e E-3, indicando que dentro de uma mesma fração granulométrica, as variações de profundidade e de velocidade de corrente apresentam maior influência sobre os processos de transporte. ....	43
Figura 32: Campos de transporte sedimentar elaborados a partir das características de transporte das estações E-1, E-2 e E-3 e dos pontos amostrais correlacionáveis em profundidade e granulometria. ....	44
Figura 33: Quadro à esquerda mostra imagem da estação E-1, e quadro à direita mostra imagem da E- 2. Em ambos não há contraste que permita observação das formas de fundo. ....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro com resultados gerais dos procedimentos de amostragem e descrição das campanhas amostrais para coleta de dados nas estações E-1, E-2 e E-3. Valores de velocidade, tamanho de grão e profundidade foram utilizados no modelo sedimentar de Rubin & McCulloch (1980) para as estações.....	27
Tabela 2: Resultados das análises dos parâmetros estatísticos granulométricos de diâmetro médio de grão ( <i>phi</i> ); graus de seleção, assimetria e curtose; porcentagem de cascalho, areia, silte argila, matéria orgânica (M.O.) e carbonato de cálcio (CaCO <sub>3</sub> ). .....	28
Tabela 3: Pontos similares às estações E-1, E-2 e E-3, de acordo com a batimetria do Saco do Limoeiro, utilizados para elaboração do mapa de campos de transporte sedimentar. ....	45

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>4</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
3. 1. OBJETIVO GERAL .....	9
3. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
<b>4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>10</b>
4. 1. DELTAS DE MARÉ .....	10
4. 2. FORMAS DE FUNDO .....	10
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
5. 1. TRABALHOS DE CAMPO .....	18
5. 2. ANÁLISES EM LABORATÓRIO .....	23
5. 2. 1. Quantificação do transporte sedimentar .....	23
5. 2. 2. Análises Granulométricas .....	23
<b>6. RESULTADOS</b> .....	<b>26</b>
6. 1. PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS .....	26
6. 1. 2. Mapas de Parâmetros Granulométricos .....	31
6. 2. VELOCIDADES DAS CORRENTES DE MARÉS .....	37
6. 3. BATIMETRIA .....	38
6. 4. MODELOS DE TRANSPORTE .....	40
6. 5. CAMPOS DE TRANSPORTE SEDIMENTAR .....	43
6. 6. MIGRAÇÃO DE FORMAS DE FUNDO .....	46
<b>7. DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
7. 1. CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE SEDIMENTAR .....	46
7. 2. PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS .....	47
7. 3. CAMPOS DE TRANSPORTE .....	50
<b>8. CONCLUSÕES</b> .....	<b>51</b>
<b>9. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os modelos conceituais de dinâmica sedimentar são ferramentas úteis para a compreensão dos processos sedimentares e da morfologia associada (FitzGerald *et al.*, 2000). Segundo estes mesmos autores, os padrões de transporte sedimentar em desembocaduras ancoradas por pontais rochosos apresentam complexidade nos processos de sedimentação. Segundo Allen (1997), entender a dinâmica sedimentar, é fundamental para atividades de engenharia, de avaliações de risco e de gerenciamento das planícies costeiras. Para testes de modelos de dinâmica sedimentar, Leeder (1982) estabelece que é necessário escolher ambientes onde a maior parte dos fatores seja conhecida.

O modelo de Rubin & McCulloch (1980) estabelece quais fases do leito (*bed phases*) permanecem estáveis durante determinadas condições de profundidade da lâmina de água, velocidade de fluxo de corrente e tamanho de grão, para ambientes naturais variando de 3 m até 100 m de profundidade, associando estas informações às obtidas em experimentos de laboratório, cuja profundidade do fluxo varia entre 0,1 m até 0,5 m. As fases do leito podem apresentar campos sem movimento (*no movement fields*), campos com ondulações pequenas (*small ripple fields*), com ondulações grandes, como megaondulações (*megaripples*) e ondas de areia (*sandwaves*), e campos de leito plano superior (*upper flat beds*) ou inferior (*lower flat beds*).

Reineck & Singh (1973) elaboraram um modelo para identificar ambientes de deposição sedimentar através da presença de formas de fundo. Estes autores relacionaram ambientes de planícies intermarés e de face praial com megaondulações, ondulações pequenas de corrente (*small current ripples*) e ondulações de ondas (*wave ripples*); ambientes de canais de maré com megaondulações e ondulações pequenas de corrente, e ambientes de pós-praia (*backshore*) e ante-praia (*foreshore*) com ondulações rombóides (*rhomboid ripples*) e antidunas (*antidunes*).

Neste trabalho serão consideradas as classificações de Rubin & McCulloch (1980) para campos de formas de fundo, e de Reineck & Singh (1973) para formas de fundo.

O Litoral brasileiro estende-se por aproximadamente 8,5 mil km e divide-se em uma Faixa Terrestre, com municípios diretamente influenciados pelos processos que ocorrem na Zona Costeira, e uma Faixa Marítima, que se estende até 12 milhas náuticas contadas a partir da linha de costa, e que corresponde ao mar territorial brasileiro (Serafim & Hazin, 2005). Segundo estes mesmos autores, o litoral brasileiro apresenta ecossistemas de mangues, dunas, restingas, estuários, costões rochosos, falésias, praias, planícies intermarés, baías, recifes e corais. Serafim & Hazin (2005) afirmam que aproximadamente 25% da população brasileira vive nesta área, correspondendo à cerca de 42 milhões de pessoas, em 400 municípios, incluindo 13 capitais.

O Litoral do Paraná localiza-se à latitude de 25°S e à longitude de 48°W é limitado à oeste pela Serra do Mar, ao norte pelo estado de São Paulo, ao Sul pelo estado de Santa Catarina e à leste com o Oceano Atlântico, e corresponde à uma área aproximada de 4.600 km<sup>2</sup> (Lima *et al.*, 2002; Angulo *et al.*, 2006) (Figura 1). A extensão de linha de costa do litoral do Paraná é de aproximadamente 90 km<sup>2</sup>, e abrange os municípios de Guaraqueçaba, Antonina, Morretes, Paranaguá, Pontal do Paraná, Matinhos e Guaratuba (Angulo *et al.*, 2006).

Na planície litorânea paranaense encontram-se os Complexos Estuarinos de Paranaguá, Laranjeiras, Pinheiros, Guaraqueçaba e Guaratuba, e as ilhas das Peças, do Superagui, da Cotinga, das Palmas, da Galheta e do Mel (Figura 1).

A Ilha do Mel divide a desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) em duas. A desembocadura Norte, é subdividida pela Ilha das Palmas nos canais navegáveis Norte e Sueste. A desembocadura Sul apresenta o canal navegável da Galheta, acesso principal aos Portos do interior do estuário desde 1975 (Lamour, 2007). Próximo deste canal, na margem sul da Ilha do Mel localiza-se o Saco do Limoeiro (Figura 1).

A base de dados resultante da aplicação dos modelos conceituais (Rubin & McCulloch, 1980; Reineck & Singh, 1973) no Saco do Limoeiro servirá como ferramenta de esclarecimento da dinâmica sedimentar local, e subsidiará a geração de um mapa para identificação dos campos de transporte sedimentar existentes na área. Além disto, servirá como escopo para atividades de gerenciamento e manutenção do canal navegável do terminal turístico de Nova Brasília (Figura 2). Sabe-se, através de informações obtidas junto à comunidade local, que o canal que

dá acesso ao terminal turístico é dragado com certa frequência, entretanto não há um registro formal da periodicidade destas dragagens, nem de seus volumes.

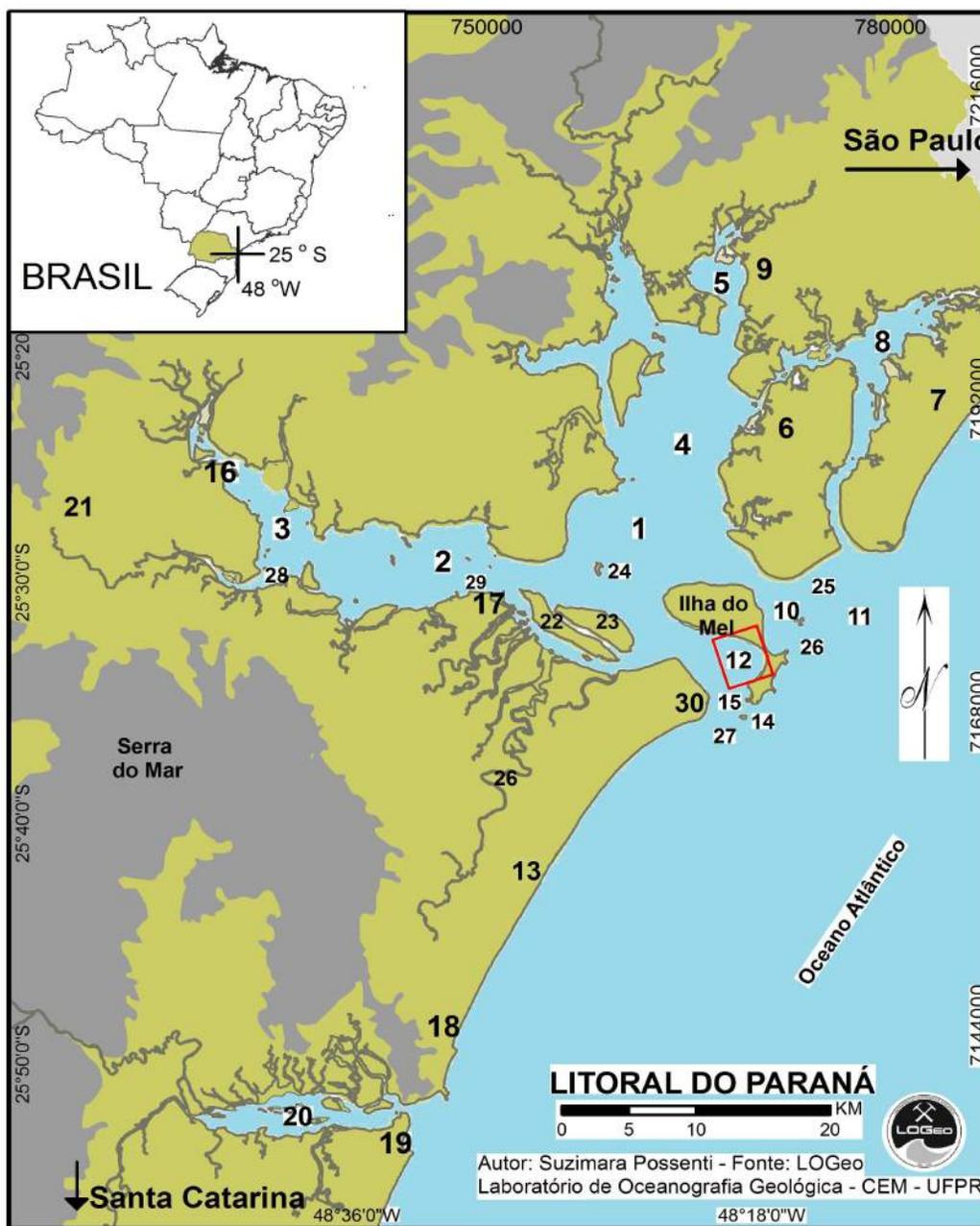


Figura 1: Localização do litoral paranaense, da área de estudo (retângulo) e das principais toponímias  
 1- Complexo Estuarino de Paranaguá; 2- Baía de Paranaguá; 3- Baía de Antonina; 4- Baía de Laranjeiras ; 5- Baía de Guaqueçaba; 6- Ilha das Peças; 7- Ilha do Superagui; 8- Baía dos Pinheiros; 9- Guaqueçaba; 10- Ilha das Palmas; 11- Desembocadura Norte; 12- Saco do Limoeiro; 13- Pontal do Paraná; 14- Ilha da Galheta; 15- Canal da Galheta; 16- Antonina; 17- Paranaguá; 18- Matinhos; 19- Guaratuba; 20- Baía de Guaratuba; 21- Morretes; 22- Ilha da Cotinga; 23- Ilha Rasa; 24- Ilha das Cobras; 25- Canal Norte; 26- Canal Sueste; 27- Desembocadura Sul; 28- Rio Nhundiaquara; 29- Portos de Paranaguá; 30- Pontal do Sul.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

O Saco do Limoeiro compõe um hemi-delta de maré enchente (Angulo *et al.*, 1995; Angulo, 1999), com uma área aproximada de 10 km<sup>2</sup> onde ocorrem feições de fundo de diferentes escalas (ondas de areia, megaondulações e pequenas ondulações). Seus limites físicos são delimitados pela linha de costa da Ilha do Mel, na sua margem NE e a isóbata - 5 m na sua margem SW (Lamour, 2007), onde se verifica um esporão de vazante, em meio a profundidades que variam entre 1 e 5 metros (Araújo, 2001) (Figura 3).

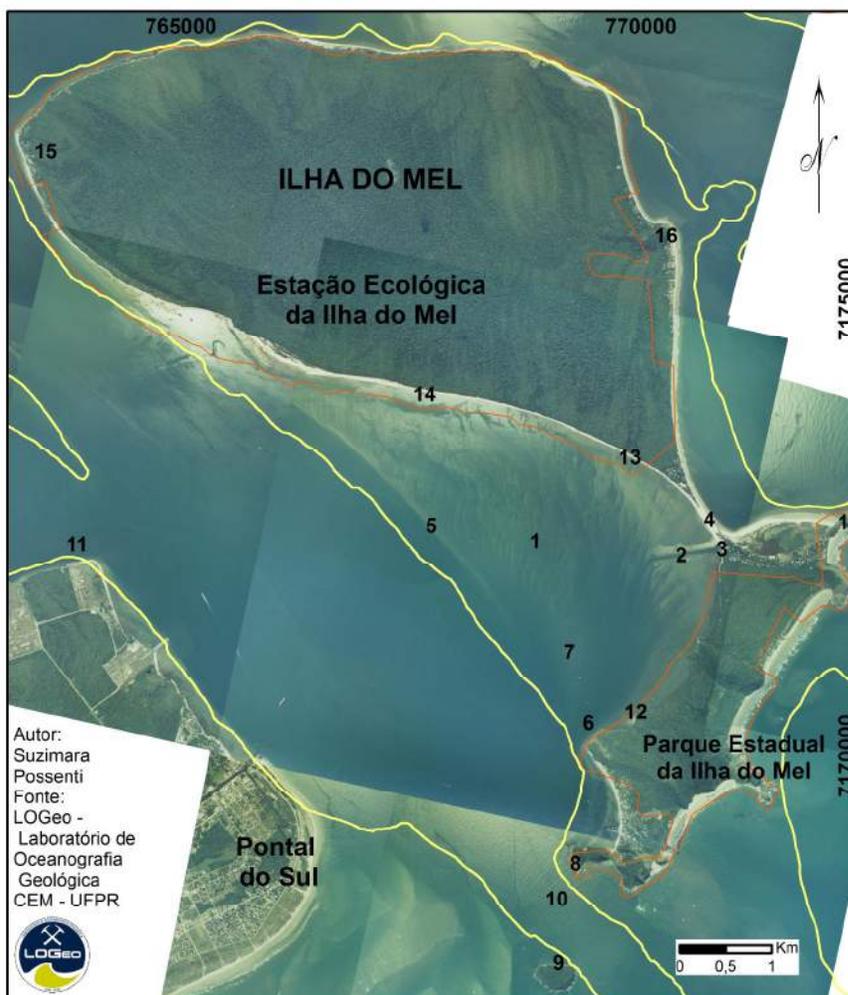


Figura 2: Localização do Saco do Limoeiro (1), e toponímias: 2- Canal navegável; 3- Terminal turístico de Nova Brasília; 4- Istmo arenoso; 5- Esporão de vazante; 6- Canal marginal de enchente; 7- Rampa de enchente; 8- Ponta Caraguatá; 9- Ilha da Galheta; 10; Canal da Galheta; 11- Ponta do Poço; 12- Praia do Belo; 13- Praia do Limoeiro; 14- Praia do Cedro; 15- Ponta Oeste; 16; Fortaleza Nsa. Sra. Prazeres; 17- Morro do Farol. Fotos aéreas utilizadas para elaboração do mosaico, obtidas de ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. Linha isobatimétrica – 5 m em amarelo e Unidades de Conservação em vermelho.

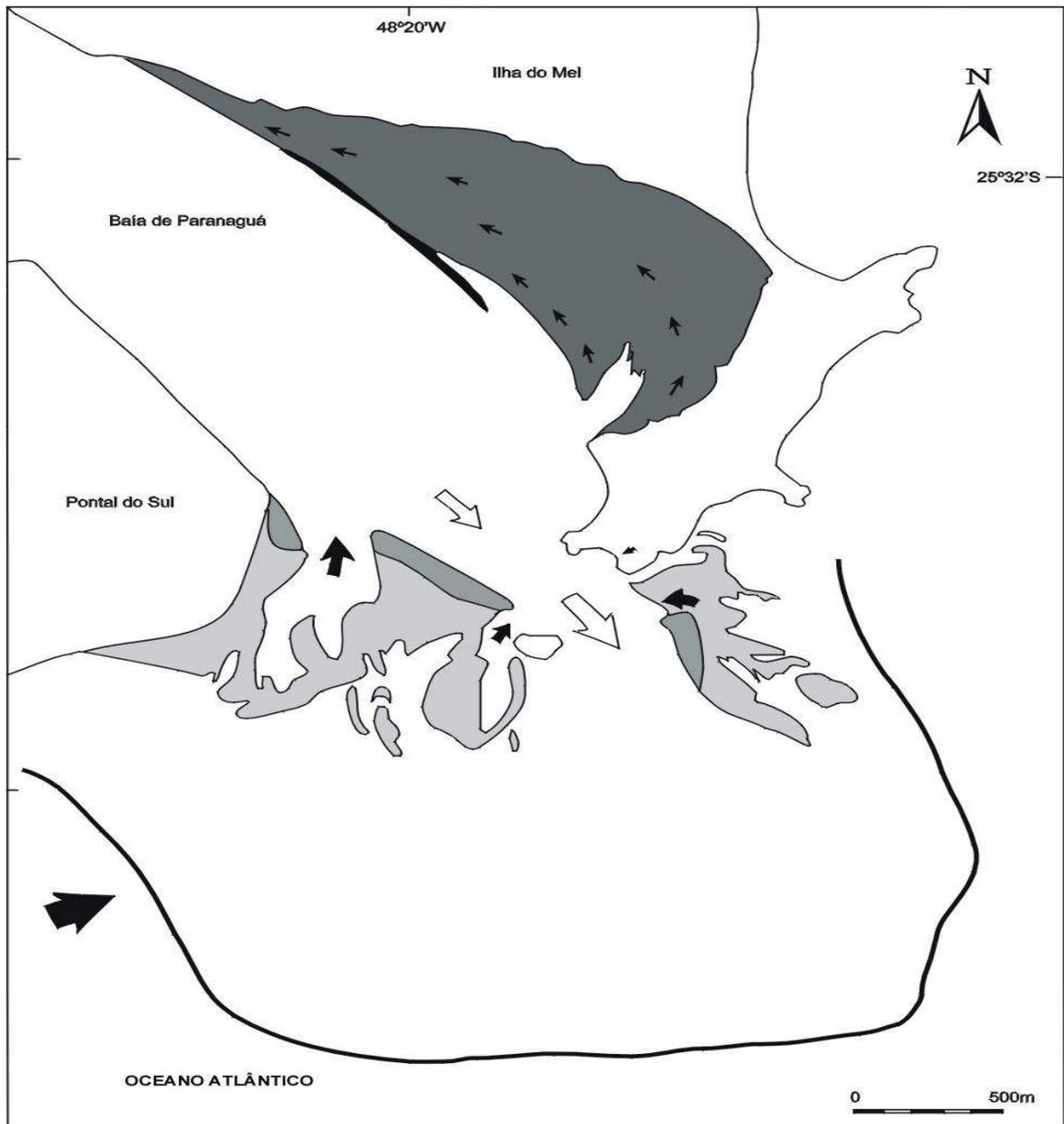


Figura 3: Sistema deltaico na desembocadura sul do CEP (Angulo, 1999). As feições características de delta de maré vazante são: (1) barras de espriamento; (2) barra linear de margem de canal; (3) lobo terminal; (4) canal principal de vazante; e (5) canal marginal de enchente. As feições que caracterizam o delta de maré enchente são: (6) rampa de enchente; (7) esporão de vazante; (8) direção preferencial de migração de formas de fundo; e (9) direção da deriva litorânea.

Segundo Marone *et al.* (1995), o Saco do Limoeiro está sob influência de maré semidiurna com assimetrias nas curvas de corrente de marés. Marone & Camargo (1994) concluem que marés meteorológicas associadas à entrada de frentes frias (*storm surges*), aumentam o valor da amplitude de maré em até 0,80 m

acima das marés astronômicas. Segundo Dyer (1986) a incidência de frentes frias aumenta a probabilidade de ocorrerem correntes extremas que intensificam o movimento sedimentar.

De acordo com Possenti & Lamour (2008), as praias do Saco do Limoeiro são terraços de baixa mar reflexivos, o que indica circulação normal, com predomínio na zona de arrebentação. O istmo arenoso da Ilha do Mel, que une as duas porções da ilha, apresenta processos erosivos (Figueiredo, 1954, *apud* Paranhos Filho, 1996) (Figura 2). Segundo Paranhos Filho (1996) este ambiente mostrou redução de 152 metros de 1953 a 1995. Krueger (2001) conclui que o istmo sofre um deslocamento em sua linha de costa, em direção ao continente. Souza *et al.* (2003) identificou tendência de progradação no istmo, observados a partir de 1999. Giannini *et al.* (2004) afirmam que ocorrem leques de sobrelavagem progradantes no Saco do Limoeiro, na área adjacente ao istmo arenoso, devido a transposição de sedimentos provenientes da praia do Farol para o istmo.

De acordo com Araújo (2001) a batimetria do Saco do Limoeiro apresenta ondulações suaves decorrentes da presença de formas de fundo de comprimento de onda entre 20 e 30 metros e altura de 20 cm. Este mesmo autor identificou ondas de areia (*sand waves*) de comprimento de onda entre 50 e 200 m e altura entre 50 à 80 cm. Este mesmo autor caracterizou a granulometria no Saco do Limoeiro como areia fina (Figura 4), com presença de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica (M. O.) correspondendo à 4% e 1% das amostras.

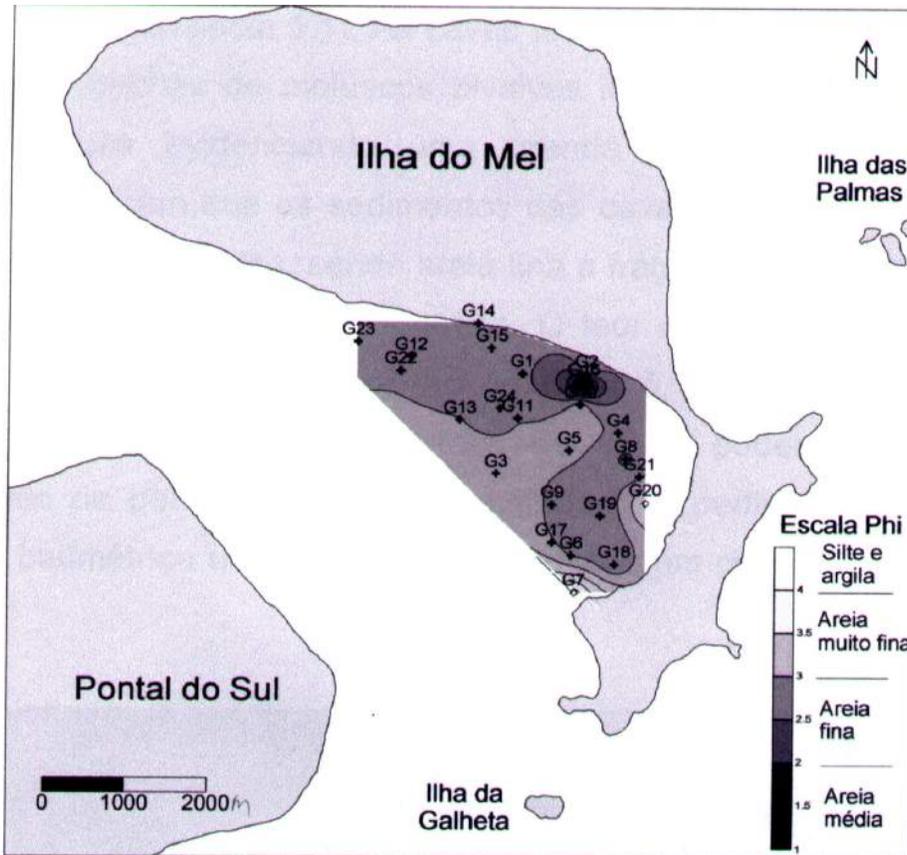


Figura 4: Distribuição granulométrica no Saco do Limoeiro (Araújo, 2001). Nota-se que os pontos G3 e G5 figuram como areia muito fina de acordo com a legenda, entretanto correspondem à fração areia fina, de acordo com Araújo (2001).

Lamour *et al.* (2004) caracterizaram os sedimentos de fundo do CEP e concluíram que o diâmetro médio dos grãos varia entre silte fino e areia fina, e são pobremente selecionados. Estes mesmos autores concluíram que, na desembocadura sul do CEP ocorrem areias finas a médias, com grau de seleção moderado à bem selecionado. No mapa de distribuição granulométrica de Lamour (2007), os sedimentos de fundo no Saco do Limoeiro apresentam areias finas, com duas áreas centrais de areia muito fina (Figura 5).

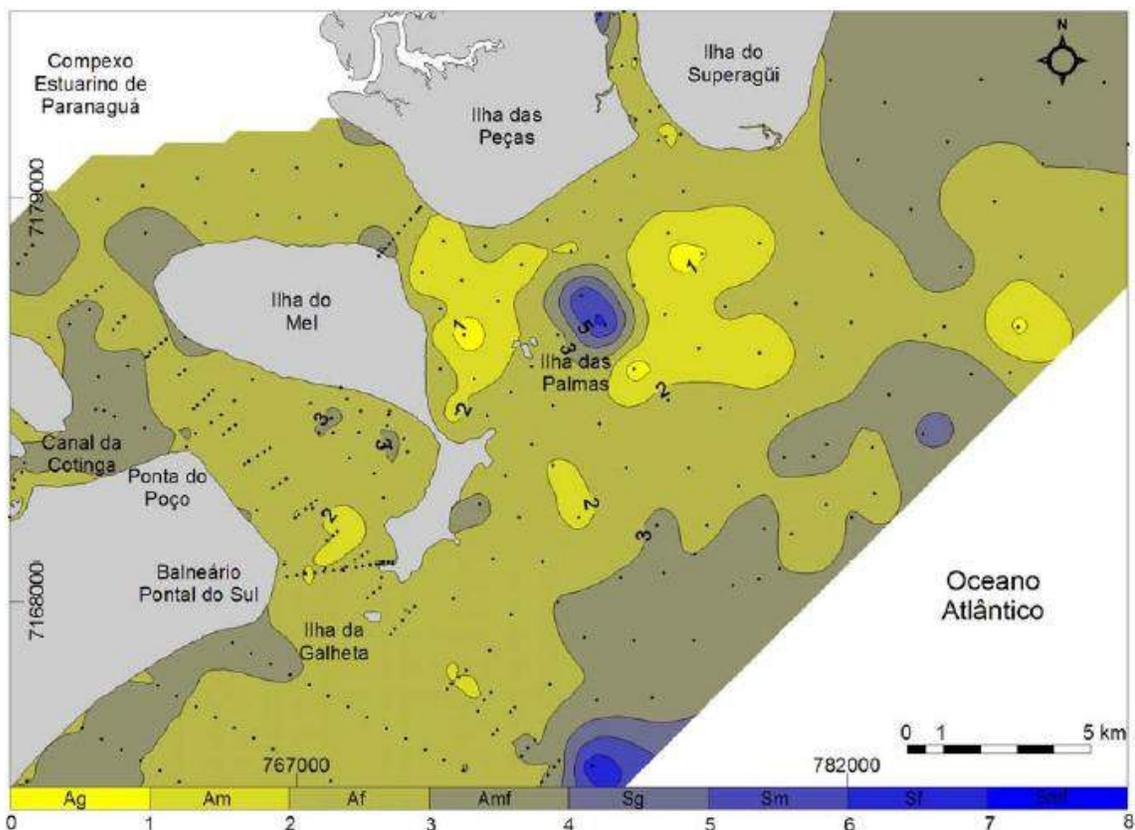


Figura 5: Distribuição granulométrica na desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá, de Lamour (2007). No Saco do Limoeiro os sedimentos são areia fina, com duas pequenas áreas de areia muito fina.

De acordo com Araújo (2001), para que haja transporte de carga de fundo no Saco do Limoeiro, as correntes de maré devem apresentar velocidades maiores do que  $15,8 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Este autor concluiu que a velocidade média das correntes de maré no Saco do Limoeiro em condições de mar calmo e ciclos de maré de sizígia são da ordem de  $20 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Portobrás (1988) mensurou intensidade e direção de correntes de maré, utilizando um correntômetro Hydrocean Mod. IRFE, fundeado na área adjacente ao esporão de vazante do Saco do Limoeiro (Figura 2). No relatório da Portobrás (1988), as velocidades de correntes de maré enchente, medidas a 1 metro do leito marinho, alcançaram valores de  $90 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  com direção NW, indicando que a área apresenta capacidade de transporte sedimentar.

Segundo Araújo (2001), houve mudança nas feições de fundo no hemi-delta, com deslocamento do canal principal de enchente em direção noroeste. Formas de fundo identificadas no Saco do Limoeiro foram descritas por Angulo, (1999) e Araújo, (2001) como ondas de areia de comprimento de onda ( $L$ ) entre 50 e 200 m e altura ( $H$ ) entre 50 e 80 cm, e mega-ondulações de segunda ordem ( $H$  até 25 cm e  $L$  entre 8

10 e 50 m) e terceira ordem ( $L$  10 m). De acordo com Araújo (2001) os ciclos de marés associados à frentes de ondas e frentes de superfície podem formar marcas onduladas simétricas com  $L$  de 8 à 12 cm e  $H$  de 1,5 à 4 cm.

A Ilha do Mel apresenta alguns conflitos de uso, pois além de ser um dos principais destinos turísticos do Paraná (Santos Júnior, 2006), mais de 95% de sua área total (27 km<sup>2</sup>) são destinados para proteção ambiental, na forma de duas Unidades de Conservação (UC) (ENGEMA, 2007) (Figura 2). A primeira UC é denominada Estação Ecológica da Ilha do Mel (EEIM), e é uma Unidade de Proteção Integral criada pelo Decreto 5454 em 21 de setembro de 1982. A segunda UC é chamada Parque Estadual da Ilha do Mel (PEIM), criada pelo Decreto 506 de 22 de Março de 2002.

Sperb (2006) analisou a situação da infra-estrutura turística da Ilha do Mel e relatou a existência de problemas no sistema de água e esgoto, na coleta de lixo e na fiscalização do limite de visitação à Ilha, estipulado em 5 mil pessoas, implantado em 1996, a partir da Resolução 036 de 1995 (ENGEMA, 2007).

Em 1999 foi instalado o terminal turístico na praia de Nova Brasília (Figura 2), com base no relatório de Gobbi *et al.* (1995), para acesso turístico e de prestadores de serviço, como coleta e remoção do lixo.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3. 1. OBJETIVO GERAL**

Determinar as características do transporte sedimentar por carga de fundo em um delta de maré enchente no litoral do Paraná, estabelecendo suas taxas e a influencia dos parâmetros físicos e ambientais neste transporte.

#### **3. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar a distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo no Saco do Limoeiro em 2009.

- Estabelecer relações entre transporte e parâmetros como tamanho de grão, profundidade da lâmina de água e velocidade média de fluxo de corrente de maré;
- Identificar campos de transporte sedimentar em função da dinâmica sedimentar e do modo de transporte por carga de fundo predominante: por migração de formas de fundo, por arraste ou por suspensão.

## 4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4. 1. DELTAS DE MARÉ

Os deltas de maré ocorrem em costas sob influência de micro-marés e meso-marés (<2 até 4 m) e estão sempre associados a desembocaduras estuarinas ou lagunares. Estes ambientes geralmente apresentam um delta na porção externa da plataforma continental próxima, associados às correntes de vazante, e outro delta na porção externa do estuário, em função das correntes de enchente (Hayes, 1975).

### 4. 2. FORMAS DE FUNDO

Em ambientes costeiros ocorre a formação de feições em relevo no leito marinho, organizadas a partir dos processos de transporte sedimentar. Estas feições são elementos morfológicos chamados formas de fundo (*bedforms*) e sua estabilidade depende dos limites de intensidade de fluxo (Komar, 1976; Middleton & Southard, 1984). De acordo com estes mesmos autores, o termo “formas de fundo” corresponde ao elemento individual da configuração geral do leito (*bed configuration*) marinho. Segundo Dyer (1980), as formas de fundo passam de elementos de rugosidade para mecanismos topográficos direcionadores de fluxo quando se tornam maiores em relação à escala da camada-limite (*boundary layer*). Segundo Grant & Madsen (1986) a camada-limite é a região do fluxo adjacente ao leito marinho e é chamada por Leeder (1982) de limite estacionário.

Allen, (1968), Reineck & Singh (1973) e Middleton & Southard, (1984) determinam que as formas de fundo possuem formato ondular, com orientação transversal ao fluxo, suave inclinação na face sotamar (*stoss face*) e inclinação

abrupta na face barlamar (*lee face*) (Figura 6). As formas de fundo apresentam comprimento de ondulação (*ripple length*), altura de ondulação (*ripple height*), ponto ápice, onde ocorre a maior elevação (*summitpoint*), ponto de base (*toepoint*), que delimita a face de deslizamento (*slipface*) do conjunto de fundo (*bottomset*) (Reineck & Singh, 1973) (Figura 6).

Estes mesmos autores explicam que o ponto de margem (*brinkpoint*) separa o lado barlamar do lado sotamar da ondulação, o ponto da cava (*troughpoint*) é o ponto de menor elevação. Estes mesmos autores e Grant & Madsen (1986) concluem que as formas de fundo podem ser classificadas pelo índice da ondulação (*ripple index*), também chamado de grau de inclinação (*steepness*), que é a razão entre o comprimento de onda (*Length*) pela altura (*High*), e é expresso pela equação  $L/H$  (Figura 5).

Legenda

S = face de deslizamento

L1 = projeção horizontal do lado sotamar

L2 = projeção horizontal do lado barlamar

H = altura da ondulação

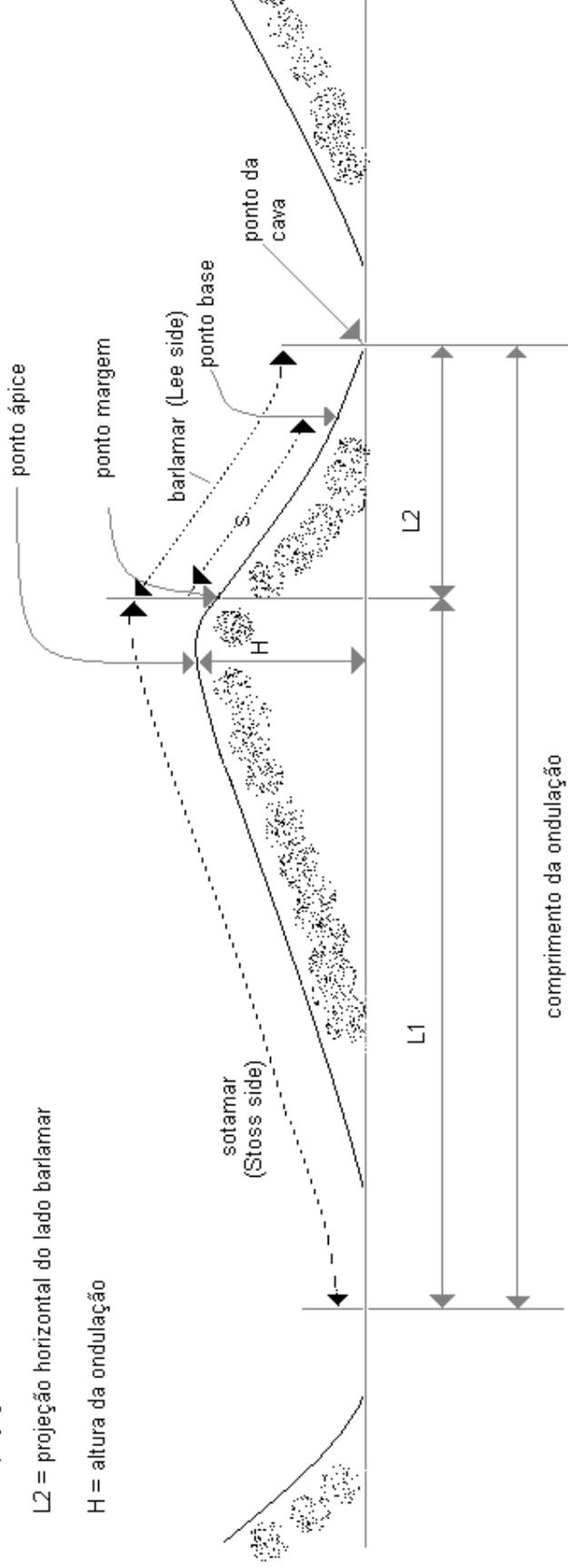


Figura 6: Estrutura básica das formas de fundo: comprimento da ondulação (*ripple length*), da altura da ondulação (*ripple height*), do ponto ápice (*summit point*), ponto de base (*toe point*) que delimita a face de deslizamento (*slipface*) do conjunto de fundo (*bottomset*), ponto de margem (*brink point*), ponto da cava (*trough point*) e índice da ondulação (*ripple index*) é a razão do comprimento pela altura. Elaborado a partir de Allen, (1968, pg. 61), Reineck & Singh (1973, pg. 14) e Middleton & Southard, (1984, pg. 258)

As formas de fundo são a representação geométrica mais comum em leitos sob ação de fluxos turbulentos, caracterizados por movimentos de redemoinhos, com mistura lateral (Komar, 1976; Dyer, 1986). Apesar disto, em certas condições de fluxo, pode ser estabelecido o transporte conhecido como leito plano (*plane-bed transport*), onde não há feição topográfica reconhecível (Middleton & Southard, 1984).

Os sedimentos que compõe as plataformas continentais respondem à ação de ondas e correntes e, portanto a topografia é moldada gerando distintas fases de fundo ou estados de fundo (*bed states*) (Allen, 1968; Middleton & Southard, 1984). Estes mesmos autores determinam que as fases de fundo são séries de sucessões de estados do leito que variam conforme alterações no fluxo, apresentando transições entre os campos “sem movimento”, campos com pequenas ondulações, campos com formas de fundo bem desenvolvidas e campos com leito plano. Rubin & McCulloch (1980) utilizaram dados obtidos em ambientes naturais e dados obtidos em experimentos em laboratório e elaboraram um diagrama tridimensional, representativo das distintas fases de fundo, em função da profundidade da lâmina de água, da velocidade do fluxo de correntes e do tamanho de grão (Figura 7).

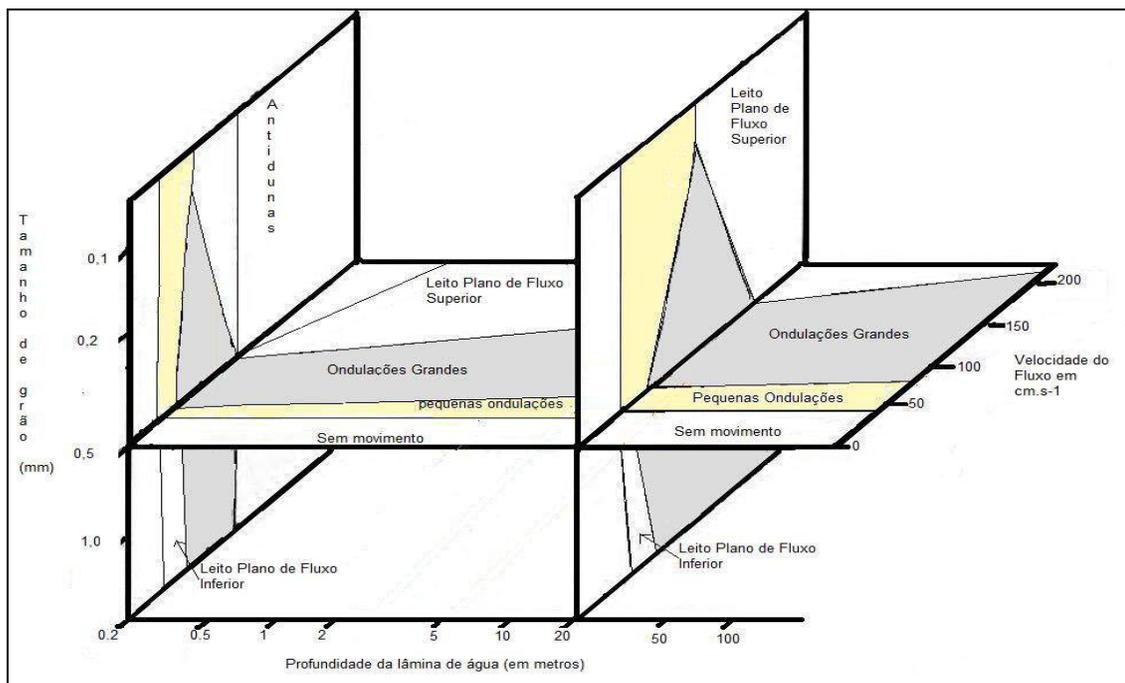


Figura 7: Diagrama tridimensional de campos de formas de fundo resultantes da interação entre tamanho de grão, velocidade de fluxo e profundidade de lâmina de água, adaptado de Rubin & McCulloch (1980).

De acordo com Leeder (1982), é difícil interpretar as fases de fundo devido ao efeito de retardo (*lag effect*), que é considerado por este autor como o atraso entre o início do processo de formação das formas de fundo e sua forma totalmente desenvolvida. Aliado a isto, Leeder (1982) afirma que a hierarquia de formas de fundo cria confusão na nomenclatura e classificação das mesmas.

O'Donoghue & Clubb (2001) realizaram um experimento com canal hidráulico em fundo de areia com diâmetro entre 0,18 à 0,44 mm e fluxo oscilatório regular, e comprovaram o efeito de retardo entre os estágios inicial e final de formação de ondulações (Figura 8). Estes mesmos autores demonstraram que, em um intervalo de tempo de 0.5 h, o leito apresentou as fases de fundo de leito plano, seguido por campo de ondulações pequenas, ondulações vórtex, ondulações tridimensionais, ondulações transicionais e ondulações simétricas.

Amos *et al.* (1999) identificaram as fases de sucessão de formas de fundo em um banco arenoso de granulometria 0,23 mm, e concluíram que as fases de fundo foram: campos "sem movimento" (leito plano), campos com formas de fundo pouco desenvolvidas associadas com transporte sedimentar intermitente (saltação), e campos com formas de fundo bem desenvolvidas.

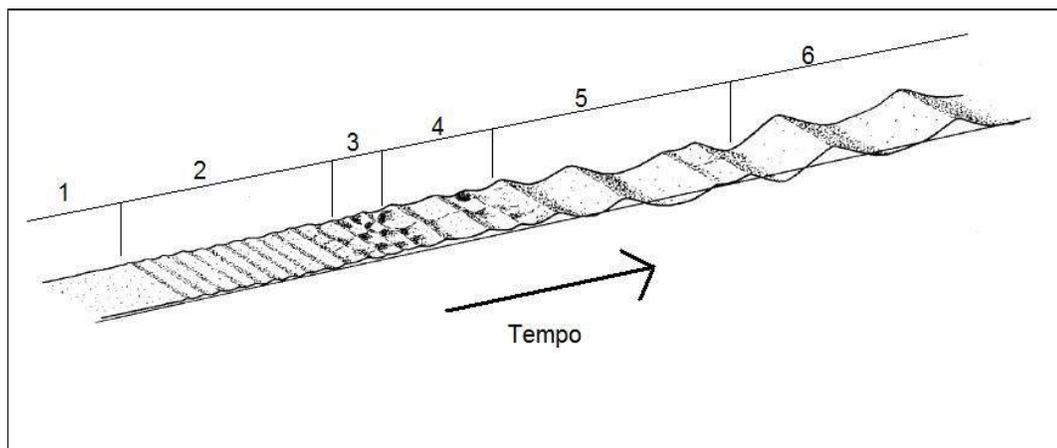


Figura 8: Sucessão de campos de formas de fundo mostrando leito plano (1), ondulações pequenas (2), ondulações vórtex (3), ondulações tridimensionais (4), ondulações de transição (5), e ondulações bi-dimensionais (6). Adaptado de O'Donoghue & Clubb (2001).

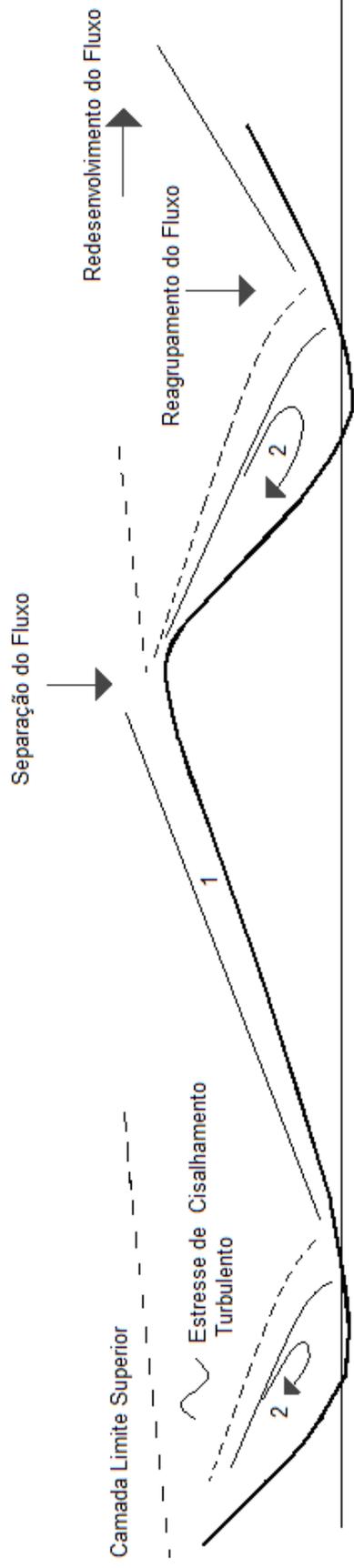
De acordo com Leeder (1982), as ondulações vórtex (Figura 8) são resultado do fluxo que incide sobre pequenas ondulações, causando a separação do fluxo e a geração de vórtices (Figura 9). Durante o redesenvolvimento do fluxo as camadas limite interna e superior voltam a formar um fluxo único, que irá se separar no

próximo ponto ápice da próxima ondulação (Figura 9) (Leeder, 1982; Middleton & Southard, 1984).

As ondulações tridimensionais (Figura 8) apresentam variações na altura ao longo de suas cristas, que podem apresentar-se rotacionadas em direção ao fluxo, enquanto que as ondulações transicionais (Figura 8) são formas instáveis geradas nos limites entre os campos de formas de fundo (Reineck & Singh, 1973). Estes mesmos autores afirmam que ondulações simétricas são comuns em planícies intermarés (Figura 8).

O processo de formação de ondulações (*ripples*) foi detalhado por Leeder (1982), e o texto a seguir refere-se as conclusões deste mesmo autor. Quando o fluxo atinge o limiar de transporte, alguns grãos são retirados do leito pela força de cisalhamento. Estes grãos são depositados em seguida, formando uma pequena descontinuidade no leito, entre 2 à 3 grãos de diâmetros. O fluxo encontra estas descontinuidades e as sente como barreiras, e parte do fluxo se separa, criando vórtices nos lados barlar e sotamar destas descontinuidades. Estes vórtices aumentam o poder erosivo, disponibilizando mais grãos para o transporte, e, com isto, as descontinuidades aumentam. Com isto se iniciam finas ondulações de corrente, que interagem com o fluxo e com o leito e formam um campo de ondulações em aproximadamente uma hora.

## Padrão de separação e reagrupamento do fluxo sobre ondulações



1 - Camada Limite Interna

2 - Vórtices

Figura 9: Padrão do processo de separação e reagrupamento do fluxo sobre formas de fundo (ondulações) mostrando a estratificação da camada limite do fluxo em camada limite interna (1) e camada limite superior, formação de vórtices (2) e redesenvolvimento do fluxo. Adaptado de Middleton & Southard (1984).

De acordo com Reineck & Singh (1973), pequenas ondulações rombóides, são formadas em águas rasas sob fluxos de alta intensidade. Segundo estes mesmos autores, as ondulações rombóides são feições efêmeras que ocorrem em taludes praias, barras, e na ante praia (*foreshore*) e pós praia (*backshore*), que está sujeita à ação do espraiamento de ondas e da ação do vento (Figura 10).



Figura 10: Ondulações rombóides, mostradas com uma escala graduada onde a cor escura representa 5 cm e a cor clara representa 10 cm. Fotografia extraída de Li & Amos (1999).

De acordo com Leeder (1982), as ondulações de corrente (*current ripples*) (Figura 10) são formas de fundo estáveis e surgem acima do limiar de movimento sedimentar, controladas pelas condições do fluxo agindo diretamente na subcamada viscosa que, segundo este mesmo autor, é a camada onde as forças viscosas de atração entre as moléculas do fluxo sobrejacente e dos grãos sedimentares são mais fortes do que as forças gravitacionais, causando estresse de cisalhamento.

As ondulações de corrente (Figura 11) não ocorrem em leitos que apresentam granulometria superior à 0,7 mm de acordo com Leeder (1982), pois estes grãos se projetam além da subcamada viscosa, e as forças de atração molecular são vencidas pelas forças da gravidade, criando rugosidades que enfraquecem a ação do levantamento de grãos (*grain streak*), diminuindo as discontinuidades que são responsáveis pelo início da formação das ondulações. Neste caso, a sequência de fases de fundo é leito plano de fase inferior (*lower-phase plane bed*), barras (*bars*), dunas (*dunes*) e leito plano de fase superior (*upper phase plane bed*) (Leeder, 1982).

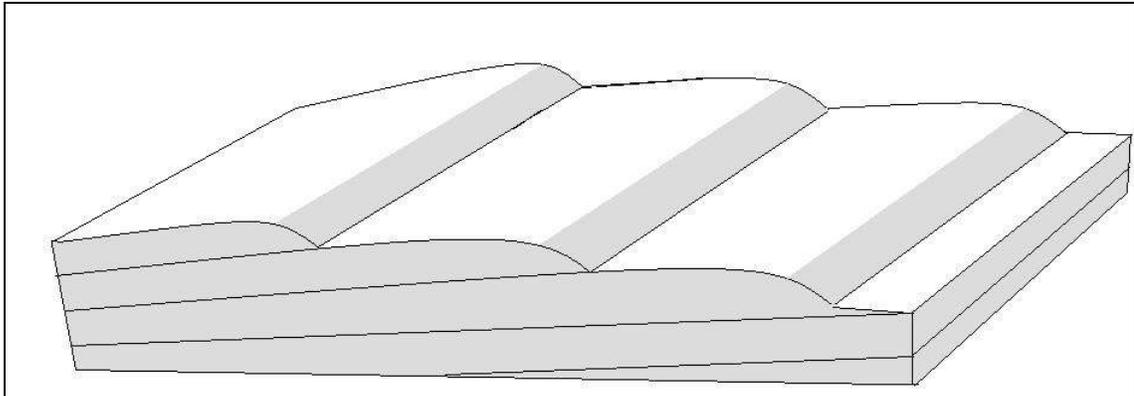


Figura 11: Bloco diagrama mostrando pequenas ondulações de corrente de cristas simétricas, adaptado de Reineck & Singh (1973, pg. 30).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5. 1. TRABALHOS DE CAMPO

Foram feitas três campanhas amostrais no Saco do Limoeiro em locais com diferentes profundidades, medidas com plumo batimétrico. Os locais foram denominados estação E-1, com 1 m de profundidade, estação E-2, com 3 m de profundidade e estação E-3, com 6 m de profundidade, e foram amostrados nos dias 11/02, 26/03 e 23/06 respectivamente (Figura 12). O critério para escolha das estações amostrais foi a profundidade. Nas três campanhas amostrais, as medições foram feitas em período de maré de sizígia durante a 2ª metade do ciclo de maré enchente, de forma a avaliar a capacidade de transporte sedimentar destas correntes, durante dias de tempo bom, em ambientes com distintas profundidades.

A ordem sequencial dos procedimentos em cada estação amostral foi: observação direta da movimentação das partículas sedimentares e das formas de fundo, por mergulho autônomo e/ou livre; medição da profundidade com plumo batimétrico; fundeio de filmadora, para gravar o processo de migração de formas de fundo; fundeio de armadilha de sedimentos, para quantificar massa transportada; fundeio de fluxômetro, para medir velocidade de correntes; coleta de amostras, para análises granulométricas.

Foram coletadas 39 amostras de material de fundo em toda a área do Saco do Limoeiro, equidistantes aproximadamente 500 m, e, junto com as três estações amostradas, totalizaram 42 pontos (Figura 12). A coleta foi realizada com draga

busca-fundo tipo petite-ponar, as amostras foram processadas em laboratório conforme procedimento descrito no sub-ítem “7. 1. 2. 2. Análises Granulométricas”.

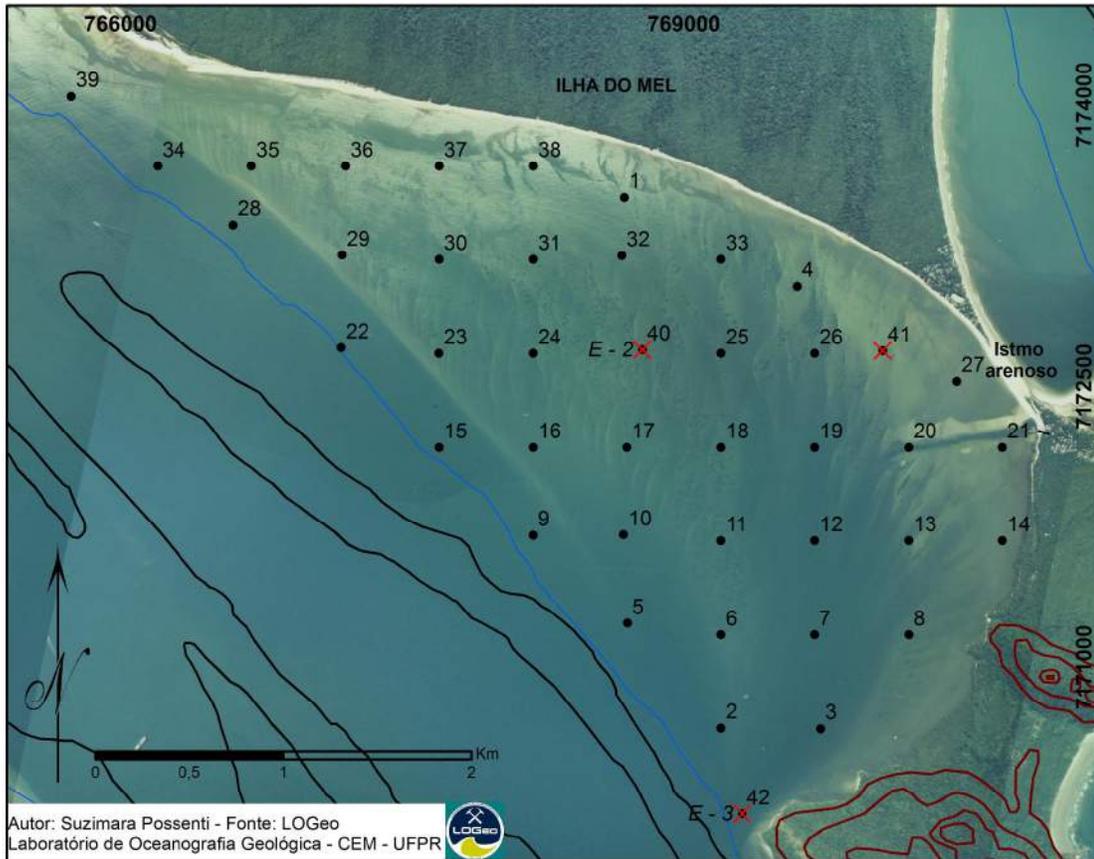


Figura 12: Localização das estações amostrais E-1, E-2 e E-3, e distribuição das amostras para análises granulométricas de sedimentos de fundo. Pontos coletados (\*); linha isobatimétrica – 5 m (linha azul); estações amostrais (X); linha isobatimétrica – 10 m (linha preta); afloramentos rochosos (linhas marrons).

Para observar as formas de fundo em processo de migração e a deformidade de suas cristas, foi fundeada uma filmadora Sony DCR-VX1000, inserida em caixa estanque (Figura 13). Este conjunto foi previamente acoplado em um suporte elaborado a partir do modelo utilizado por Amos *et al.* (1999) onde a filmadora foi posicionada com inclinação de 20° em relação ao eixo horizontal para obter um campo de visão de 1 x 1,5 m (Amos *et al.*, 1988). As filmagens foram feitas por 2 segundos a cada intervalo de 1 minuto, direcionadas para um quadrante de 1 x 1 m<sup>2</sup>, com graduação de 5 e 10 cm.

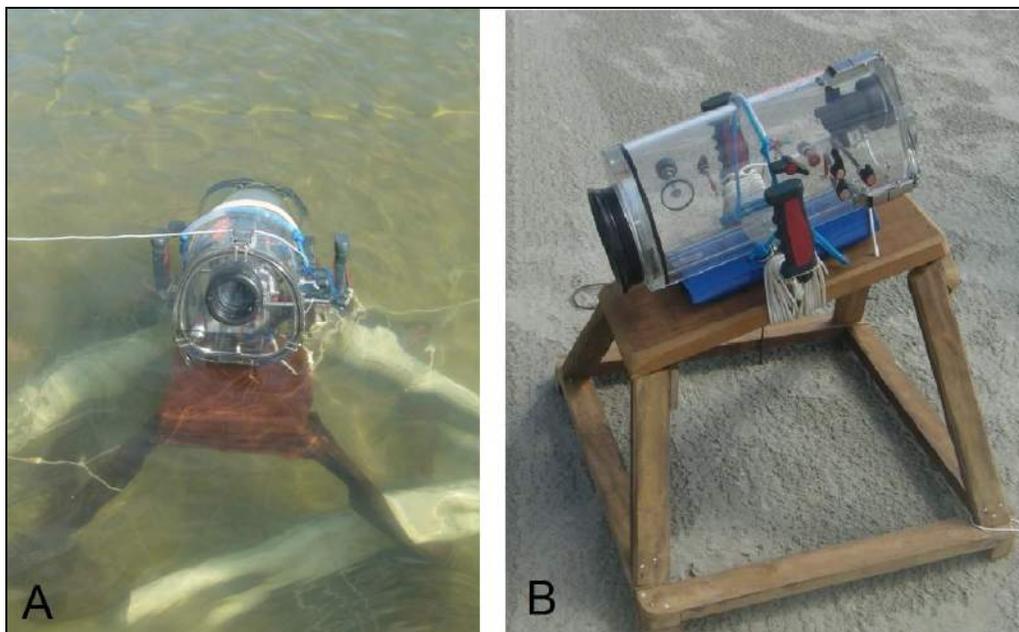


Figura 13: Conjunto da filmadora, caixa estanque e suporte em campanha na estação E-1 (A). Detalhe em perfil, onde pode ser observada a inclinação de  $20^\circ$  do eixo horizontal, de acordo com método de Amos *et al.* (1988) (B).

Após o procedimento com a filmadora, foi realizado o fundeio da armadilha de sedimentos (Figura 14), com uma rede com abertura de malha 0,125 mm. Este equipamento foi fundeado com a abertura posicionada na direção da corrente, para coletar sedimentos transportados por carga de fundo.

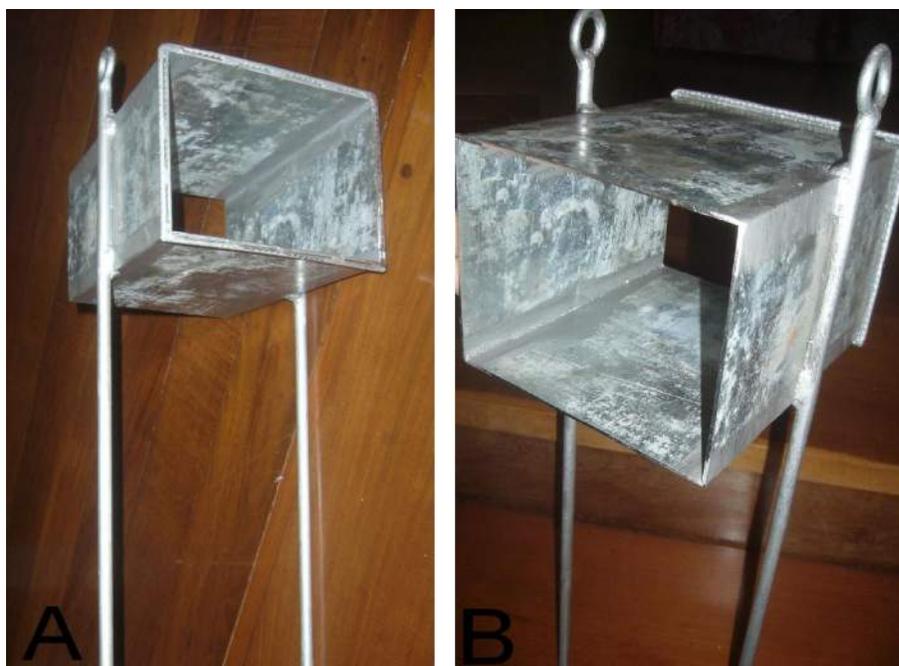


Figura 14: armadilha de sedimentos: abertura posterior (A) e abertura frontal (B) com  $1,55 \text{ m}^2$ .

As velocidades de fluxo de corrente de maré foram medidas com um fluxômetro *General Oceanics* 2030R (Figura 15).



Figura 15: Imagem do fluxômetro utilizado para medição de velocidade de correntes (*General Oceanics*).

De acordo com o procedimento descrito no manual do equipamento (*General Oceanics*), a medição com o fluxômetro consistiu em anotar o número indicado no mostrador do equipamento antes e depois do fundeio, para obter número de rotações do equipamento, no intervalo medido. Este número de rotações foi dividido pelo tempo de fundeio, em segundos. O resultado desta operação é o número de revoluções por segundo. Multiplicou-se o número de revoluções por segundo por 10, obtendo-se o número de contas por segundo. Este valor foi transferido para a tabela que consta no manual do equipamento (*General Oceanics*), e obteve-se o valor da velocidade de corrente em  $\text{cm.s}^{-1}$ , através da equação linear sugerida pelo fabricante do equipamento (Figura 16).

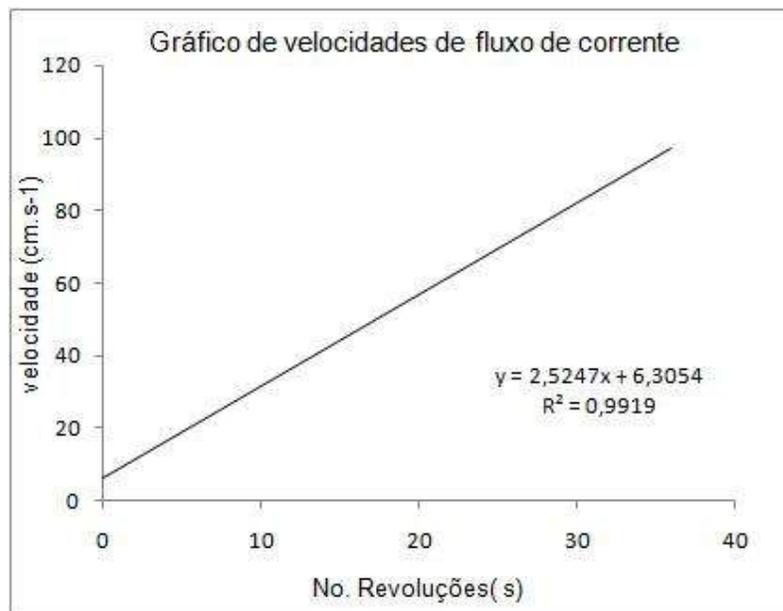


Figura 16: Gráfico mostrando a equação linear utilizada para obtenção das velocidades de fluxo de corrente (cm.s<sup>-1</sup>) de acordo com o manual do equipamento (*General Oceanics*).

O fluxômetro foi fundeado à uma distância de aproximadamente 60 cm do leito marinho, com auxílio de uma poita para manter o equipamento tencionado, conforme instruções do fabricante (Figura 17).

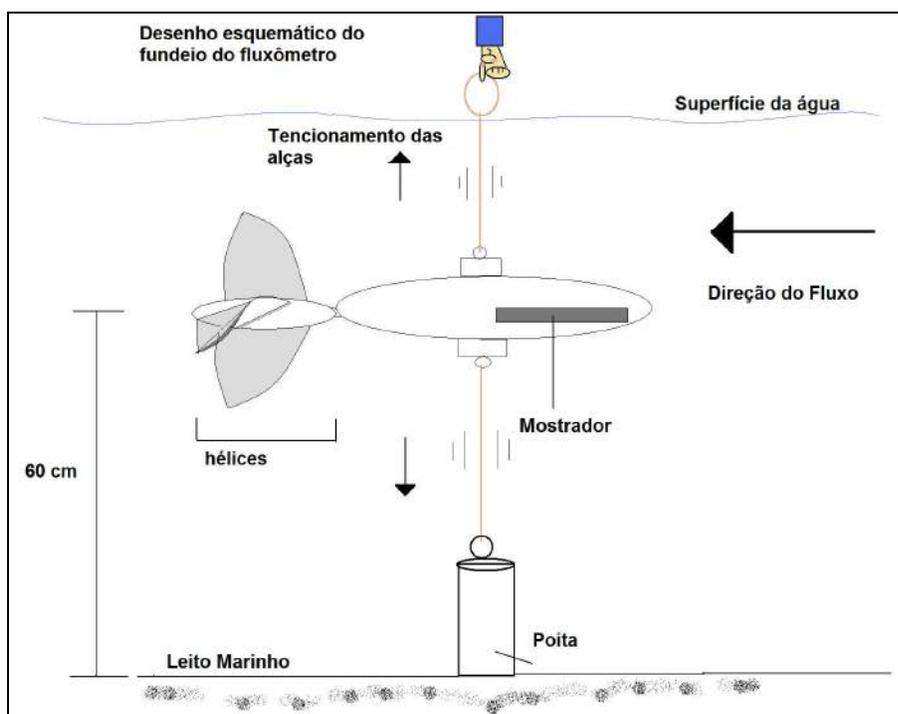


Figura 17: Para mensurar velocidades de corrente, o fluxômetro deve permanecer com as alças tencionadas para manter o equipamento na vertical.

Os tempos de persistência do fluxômetro foram: 5 minutos em E-2 e 10 minutos em E-1 e E-3. Esse procedimento foi repetido 5 vezes para as estações E-1 e E-2. Em E-3, o procedimento com o fluxômetro foi realizado somente uma vez, pois a presença de correntes fortes impediu a estabilização do equipamento, mesmo com a poita. De acordo com a premissa básica de funcionamento do fluxômetro, o mesmo deve permanecer na posição vertical (Figura 17) durante todo o intervalo medido e, como o fluxômetro foi fundeado por mergulho autônomo, as correntes fortes carregavam o mergulhador, fazendo com que a alça que ele segurava perdesse o efeito tensor, invalidando a medição. Somente uma medição foi concluída com sucesso, pois outro mergulhador manteve-se apoiado no mergulhador que realizava a medição, agindo como um contrapeso.

Na estação E-2, o tempo de fundeio do fluxômetro foi reduzido de 10 minutos para 5 minutos para otimização da logística, porém sem comprometimento na obtenção dos dados de velocidade de corrente. Como o fluxômetro integra os valores instantâneos de velocidade, o resultado é um valor médio de velocidade, para o intervalo medido, seja qual for o intervalo, e. g. a média entre dez medições de  $1 \text{ cm.s}^{-1}$  é igual à média entre 5 medições de  $1 \text{ cm.s}^{-1}$ .

## 5. 2. ANÁLISES EM LABORATÓRIO

### 5. 2. 1. Quantificação do transporte sedimentar

O material retido na armadilha de sedimentos (Figura 14) foi secado em estufa, e posteriormente, foi pesado para quantificação da massa seca de sedimentos coletados. O peso seco dos sedimentos coletados (g) foi dividido pelo tempo de fundeio da armadilha (s) e multiplicado por 3600 (s), resultando na capacidade de transporte ( $\text{g.h}^{-1}$ ) para as estações E-1, E-2 e E-3.

### 5. 2. 2. Análises Granulométricas

A escala granulométrica utilizada neste trabalho é a proposta por Wentworth (1922), pois sua classificação leva em consideração os processos de transporte que atuam sobre as partículas (Suguio, 1973).

O tratamento prévio das amostras para as análises granulométricas consistiu na eliminação da matéria orgânica e na secagem das amostras para maior precisão na pesagem das frações (Zem *et al.*, 2005). Inicialmente, fez-se a homogeneização das amostras, ainda no invólucro original trazido do campo, para evitar que minerais densos ou fragmentos maiores ficassem concentrados no fundo. Posteriormente foi executado o quarteamento de cada amostra após homogeneização, em um recipiente raso com bordas verticais, dentro do qual a amostra foi dividida em 4 partes iguais, selecionando-se uma das partes aleatoriamente. Esta parte selecionada foi utilizada para todos os procedimentos: peneiramento, pipetagem, quantificação de porcentagem de matéria orgânica (M. O.) e de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

O teor de M. O. foi obtido pelo método de digestão ácida de Grass (1971) diminuindo-se o valor final (material seco descontado do valor do filtro seco) do valor inicial do material pesado no béquer. Os teores de  $\text{CaCO}_3$  foram determinados por ataque químico de ácido clorídrico a 10% (HCL), em uma sub-amostra de 10 g de sedimento pós-quarteamento, obtendo-se o valor pela razão entre o peso inicial e final, descontando-se o peso do filtro seco (Suguio, 1973).

A matéria orgânica da parte selecionada foi eliminada para evitar a floculação das partículas finas dos sedimentos, o que pode comprometer o procedimento de pipetagem (Zem *et al.*, 2005). A matéria orgânica da amostra selecionada foi eliminada pela adição de 100 ml de Peróxido de Hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) à 30 volumes e a água formada pela decomposição foi retirada secando-se a amostra à temperatura de 50° C em estufa, pois temperaturas maiores promoveriam endurecimento anormal da amostra, prejudicando a dispersão individual dos grãos (Zem *et al.*, 2005).

Para as análises granulométricas foram pesados 50 g do material seco e livre de matéria orgânica, onde foi adicionado aproximadamente 1 g de defloculante Pirofosfato de Sódio ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ), e 20 ml de água destilada. Este material foi levado a um agitador mecânico, por aproximadamente 7 minutos, após o qual, o material foi despejado em uma peneira com malha de 0,063 mm e lavado com 1 litro de água destilada para eliminação dos cristais de sal.

O material que passou pela peneira ficou retido em uma proveta para o procedimento de pipetagem descrito por Carver (1971), onde se coletou 5 alíquotas

de 20 ml dos sedimentos em suspensão de acordo com os tempos e as profundidades calculados pela “Lei de Sedimentação de Stokes”, em função da temperatura (Suguio, 1973). Cada alíquota foi acondicionada em um béquer de 100 ml previamente pesado com acurácia de  $10^{-3}$  g e foram postas para secar em estufa. O peso das frações foi obtido a partir da diferença entre o peso inicial do frasco e o peso final, com a alíquota seca.

O material que ficou retido na peneira foi colocado em um filtro qualitativo, e posto para secar à temperatura de 50° C em estufa, conforme Zem *et al.* (2005), para proceder com o método de peneiramento, onde foi utilizado conjunto de 12 peneiras com intervalos de 0,5 *phi*. O conjunto de peneiras foi levado à um agitador mecânico por 15 minutos (Suguio, 1973). Após isto, as frações foram medidas em balança com acurácia de  $10^{-3}$  e os valores pesados foram introduzidos em planilhas no programa *Microsoft® Office Excell® 2007*. Os valores foram analisados utilizando o programa *Sysgran 3.0* (Camargo, 2006), no qual foram obtidos os parâmetros granulométricos estatísticos de diâmetro médio, grau de seleção, assimetria, curtose e porcentagens de matéria orgânica (M. O.) e carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) (Tabela 2).

Ao final, realizou-se a conversão do valor da média granulométrica de cada estação para diâmetro em milímetros, utilizando-se a fórmula:

$$d = 1/2^{\emptyset} \quad (1)$$

derivada da equação de Krumbein, (1934)

$$\emptyset = -\log_2 d \quad (2)$$

Onde  $\emptyset$  representa o diâmetro médio de grão em *phi* e d é igual ao diâmetro médio dos grãos em milímetros. Esta conversão foi necessária porque, segundo Rubin & McCulloch (1980), o valor de tamanho de grão deve estar expresso em milímetros e não em *phi* para que possa ser utilizado no diagrama de profundidade-velocidade-tamanho de grão.

Os dados foram submetidos ao diagrama de Rubin & McCulloch (1980) para as estações E-1, E-2 e E-3, para verificar a interação entre valores de velocidade de fluxo de corrente, profundidade de lâmina de água e médias granulométricas, gerando um diagrama para cada estação amostral.

Com base nos resultados obtidos puderam-se identificar distintos campos de transporte sedimentar para as três estações amostradas (E-1, E-2 e E-3). Para

extrapolação destes resultados à uma área maior no Saco do Limoeiro, foram utilizados dados de batimetria para correlacionar pontos amostrais com as estações amostrais. Esta batimetria foi realizada pela empresa Microars Consultoria e Projetos (1998), para a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, e foi utilizada por Araújo (2001) elaboração de um mapa de isóbatas, a partir do qual este mesmo autor correlacionou feições de fundo e concluiu que houve migração das mesmas.

Após as análises granulométricas, foram gerados mapas de distribuição dos valores das características granulométricas, de teor de carbonato de cálcio e matéria orgânica contida nos sedimentos, pelo método de interpolação de IDW (*Inverse Distance Weighted*), traduzido em português como Inverso do Quadrado da Distância (Amorim *et al.*, 2008). Robinson *et al.* (2004) afirmam que, ao contrário da krigagem e do spline, o método IDW preserva a variabilidade local dos pontos observados, pois encaixa os dados conhecidos com precisão, preservando as anomalias locais no grid de interpolação. Estes autores consideram este método útil para representar dados com alta variabilidade ou que contenham anomalias.

O mapa batimétrico e o mapa de ambientes de transporte sedimentar foram gerados através de uma Rede Triangular Irregular (*TIN – Triangulated Irregular Network*), pois esta interpolação representa com maior fidelidade as superfícies dos terrenos (Baptista *et al.*, 2008), e é indicada para criação de modelos de elevação de terreno e para aplicações de engenharia, pois permitem o cálculo de áreas planimétricas, de superfície e de volume.

## **6. RESULTADOS**

### **6. 1. PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS**

O diâmetro médio das amostras coletadas nas estações E-1, E-2 e E-3 foi areia fina (Tabela 1) e o grau de seleção foi moderadamente selecionado. Os resultados das análises granulométricas efetuadas com as 39 amostras coletadas no dia 07/07/09 mostram que a composição granulométrica do Saco do Limoeiro é predominantemente areia fina (Tabela 2).

Tabela 1: Quadro com resultados gerais dos procedimentos de amostragem e descrição das campanhas amostrais para coleta de dados nas estações E-1, E-2 e E-3. Valores de velocidade, tamanho de grão e profundidade foram utilizados no modelo sedimentar de Rubin & McCulloch (1980) para as estações.

Estações	Data da amostragem	Velocidade das correntes (cm.s <sup>-1</sup> )	Diâmetro médio de grão	Profundidade da lâmina de água	Capacidade de transporte	Armadilha de sedimentos	Condições Tempo	Formas de fundo observadas
E – 1	11/02/09	7,36	0,18 mm	1 m	0 g	0 g	2° preamar de sizígia sem vento	pequenas ondulações rombóides formadas por fluxos ortogonais
		15,18						
		18,93						
		22,00						
		26,42						
E – 2	26/02/09	23,14	0,15 mm	3 m	1,33 g.h <sup>-1</sup>	4,00 g	2° preamar de sizígia vento fraco	pequenas ondulações de corrente formadas por fluxos unidirecionais
		33,57						
		33,99						
		34,50						
		40,25						
E – 3	11/02/09	93,42	0,20 mm	6 m	48,99 g.h <sup>-1</sup>	18,78 g	2° preamar de sizígia vento moderado	pequenas ondulações de corrente formadas por fluxos unidirecionais

Tabela 2: Resultados das análises dos parâmetros estatísticos granulométricos de diâmetro médio de grão (*phi*); graus de seleção, assimetria e curtose; porcentagem de cascalho, areia, silte argila, matéria orgânica (M.O.) e carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>).

Amostra	Média <i>phi</i>	Classificação	Grau de Seleção	Assimetria	Curtose	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	% M.O	% CaCo3
1	2,71	Areia fina	Moderadamente selecionado	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica	0	95,5	4,104	0,4004	3,65	24,56
2	2,647	Areia fina	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica	0,1146	99,89	0	0	2,57	2,58
3	2,731	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito negativa	Muito leptocúrtica	2,917	97,08	0	0	2,18	2,28
4	2,372	Areia fina	Moderadamente selecionado	Negativa	Mesocúrtica	2,205	97,76	0,0383	0	2,59	4,78
5	2,375	Areia fina	Muito bem selecionado	Positiva	Mesocúrtica	0	100	0	0	3,09	3,69
6	2,928	Areia fina	Moderadamente selecionado	Aproximadamente simétrica	Muito leptocúrtica	1,696	98,12	0,1805	0	1,79	4,44
7	2,726	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito negativa	Muito leptocúrtica	0	99,93	0,0720	0	1,27	3,29
8	2,348	Areia fina	Moderadamente selecionado	Negativa	Extremamente leptocúrtica	4,702	91,46	3,517	0,3197	5	4,27
9	1,97	Areia média	Moderadamente selecionado	Aproximadamente simétrica	Muito leptocúrtica	4,375	91,04	1,853	2,731	5,87	15,55
10	2,505	Areia fina	Moderadamente selecionado	Negativa	Leptocúrtica	1,015	98,98	0	0	2,67	3,96
11	2,505	Areia fina	Bem selecionado	Negativa	Mesocúrtica	1,194	98,81	0	0	2,83	0,66
12	2,569	Areia fina	Bem selecionado	Negativa	Leptocúrtica	0	100	0	0	2,1	0
13	2,442	Areia fina	Muito bem selecionado	Positiva	Platicúrtica	0	100	0	0	3,09	0,79
14	2,212	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito negativa	Extremamente leptocúrtica	6,254	93,75	0	0	1,89	4,04
15	2,36	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito negativa	Mesocúrtica	0,1566	99,84	0	0	0,1	3,53
16	2,587	Areia fina	Moderadamente selecionado	Positiva	Muito leptocúrtica	0,1985	94,6	1,434	3,764	5,89	5,67
17	2,507	Areia fina	Moderadamente selecionado	Negativa	Muito leptocúrtica	7,722	89,01	1,482	1,788	2,39	6,88

Continua

Continuação

Amostra	Média $\phi_{hi}$	Classificação	Grau de Seleção	Assimetria	Curiose	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	% M.O	% CaCo3
18	2,435	Areia fina	Muito bem selecionado	Muito positiva	Mesocúrtica	0	100	0	0	3,49	3,48
19	2,535	Areia fina	Moderadamente selecionado	Negativa	Leptocúrtica	2,228	97,77	0	0	2,68	9,78
20	2,468	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito negativa	Muito leptocúrtica	4,415	95,58	0	0	5,09	6,98
21	2,231	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito negativa	Extremamente leptocúrtica	6,404	93,6	0	0	4,58	9,31
22	2,471	Areia fina	Bem selecionado	Positiva	Platicúrtica	0,1671	99,83	0	0	3,6	4,53
23	2,96	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito negativa	Leptocúrtica	0	100	0	0	3,37	3,22
24	2,427	Areia fina	Bem selecionado	Muito positiva	Mesocúrtica	0	99,89	0,1133	0	3,57	5,62
25	3,107	Areia muito fina	Bem selecionado	Negativa	Leptocúrtica	0	100	0	0	3,48	3,64
26	2,414	Areia fina	Moderadamente selecionado	Negativa	Platicúrtica	0,0063	99,99	0	0	2,94	4,24
27	2,317	Areia fina	Moderadamente selecionado	Negativa	Extremamente leptocúrtica	5,825	94,17	0	0	4,75	5,15
28	2,486	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito positiva	Extremamente leptocúrtica	0,1546	93,13	2,381	4,334	7,07	8,57
29	2,447	Areia fina	Muito bem selecionado	Positiva	Platicúrtica	0,1649	99,84	0	0	3,78	4,26
30	2,359	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito negativa	Extremamente leptocúrtica	6,782	93,22	0	0	4,87	7,33
31	2,391	Areia fina	Moderadamente selecionado	Negativa	Extremamente leptocúrtica	5,355	94,64	0	0	3,28	8,48
32	2,494	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito negativa	Muito leptocúrtica	4,298	95,7	0	0	3,36	4,48
33	2,482	Areia fina	Bem selecionado	Positiva	Mesocúrtica	0,5721	99,43	0	0	0,48	1,49
34	2,444	Areia fina	Bem selecionado	Positiva	Leptocúrtica	1,912	98,09	0	0	4,63	1,19
35	2,236	Areia fina	Moderadamente selecionado	Negativa	Leptocúrtica	0	100	0	0	3,05	4,27
36	2,376	Areia fina	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica	0,5287	99,47	0	0	2,67	2,3

Continua

Continuação

Amostra	Média $\phi_{hi}$	Classificação	Grau de Seleção	Assimetria	Curtose	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	% M.O	% CaCo3
37	2,444	Areia fina	Bem selecionado	Positiva	Mesocúrtica	0,7251	99,27	0	0	0,59	9,72
38	2,65	Areia fina	Pobremente selecionado	Muito positiva	Muito leptocúrtica	0,004129	90,07	7,721	2,209	8,87	1
39	2,421	Areia fina	Pobremente selecionado	Muito positiva	Extremamente leptocúrtica	0,05364	90,56	4,157	5,23	5,39	5,58
40	2,693	Areia fina	Moderadamente selecionado	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica	0,00203	96,14	1,117	2,741	1,58	1,47
41	2,484	Areia fina	Moderadamente selecionado	Muito negativa	Muito leptocúrtica	5,688	94,31	0	0	0	6,09
42	2,332	Areia fina	Pobremente selecionado	Aproximadamente simétrica	Extremamente leptocúrtica	8,056	85,09	2,139	4,718	2,47	8,71

### 6. 1. 2. Mapas de Parâmetros Granulométricos.

O mapa de distribuição dos parâmetros granulométricos para o Saco do Limoeiro, mostra o predomínio (>95%) da fração areia fina (Figura 18).

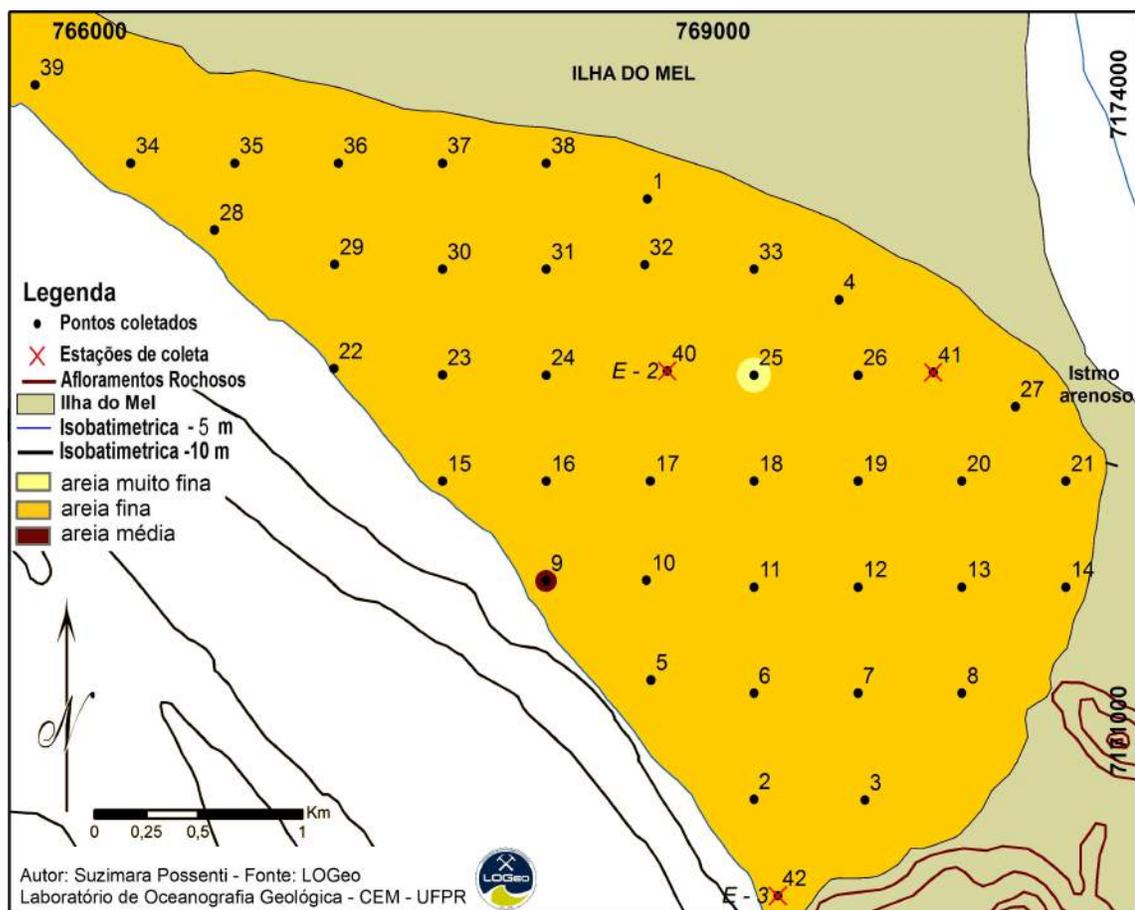


Figura 18: Mapa de distribuição dos valores de diâmetro médio no Saco do Limoeiro.

O ponto 9 apresentou areias médias, entretanto isto se deve principalmente ao predomínio de fragmentos de conchas no local enquanto que no ponto 25 ocorreu predomínio da fração areia muito fina (Figura 18), perfazendo 4,8% do total.

Em relação ao grau de seleção das amostras, o mapa de distribuição (Figura 19), mostra que a maior parte dos sedimentos (60%) são moderadamente selecionados. Os pontos 39 e 42 (E-3) apresentam sedimentos pobremente selecionados e perfazem 7% do total. Sedimentos muito bem selecionados (pontos 5,13 e 29) somam 9% do total. Sedimentos bem selecionados ocorrem na porção central e noroeste do Saco do Limoeiro, totalizando 24% do montante.

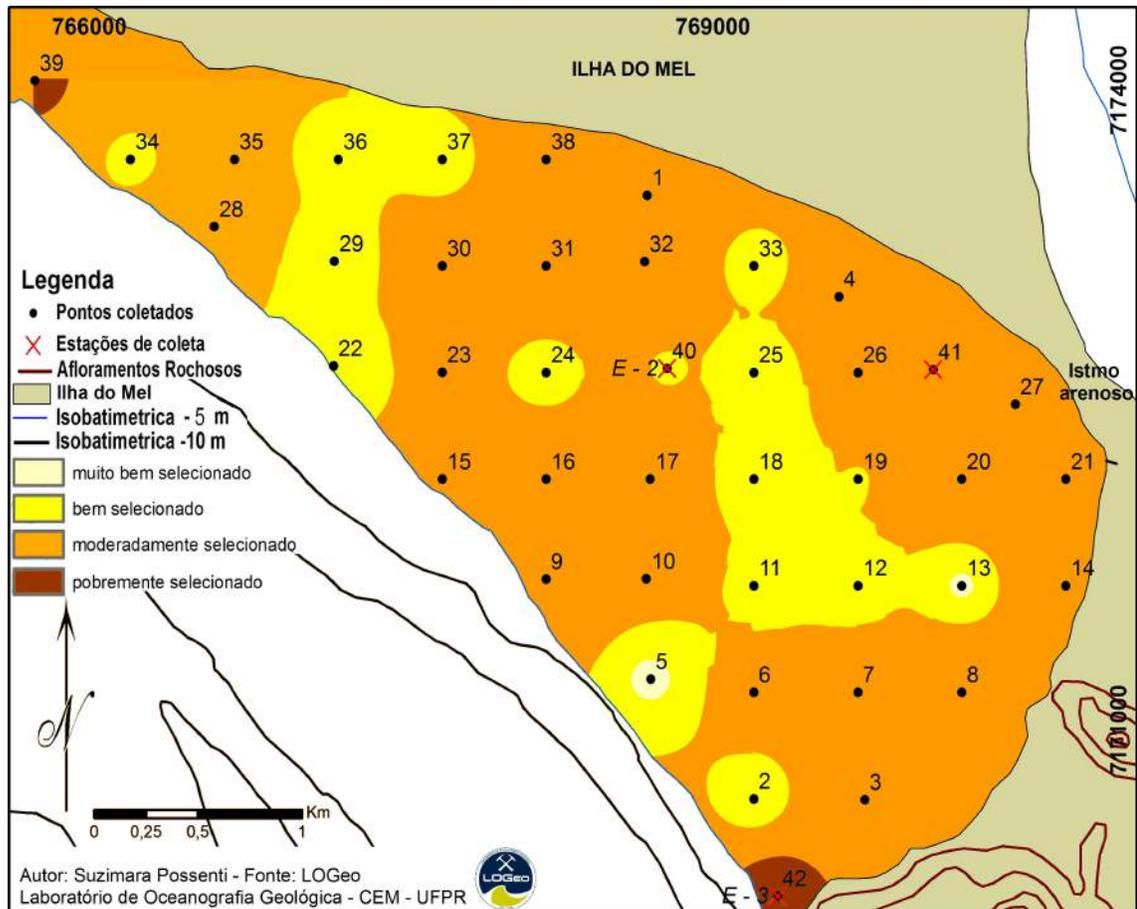


Figura 19: Mapa de distribuição dos valores de grau de seleção para os sedimentos do Saco do Limoeiro.

O mapa de distribuição de grau de assimetria das curvas de distribuição (Figura 20) mostra uma área com valores com classificação muito negativa na porção adjacente ao terminal turístico de Nova Brasília o que soma 24% do total. Uma área que se estende desde o istmo arenoso até próximo à estação E-3 apresenta assimetrias negativas e contabiliza 29% do total de amostras. Ao centro do Saco do Limoeiro existem sedimentos aproximadamente simétricos, perfazendo 16%. A noroeste existe uma área com sedimentos de assimetria positiva, além dos pontos 5, 13, 16 e 33 (19%). Os pontos 24, 18, 38 e 28 apresentaram assimetrias muito positivas (12%).

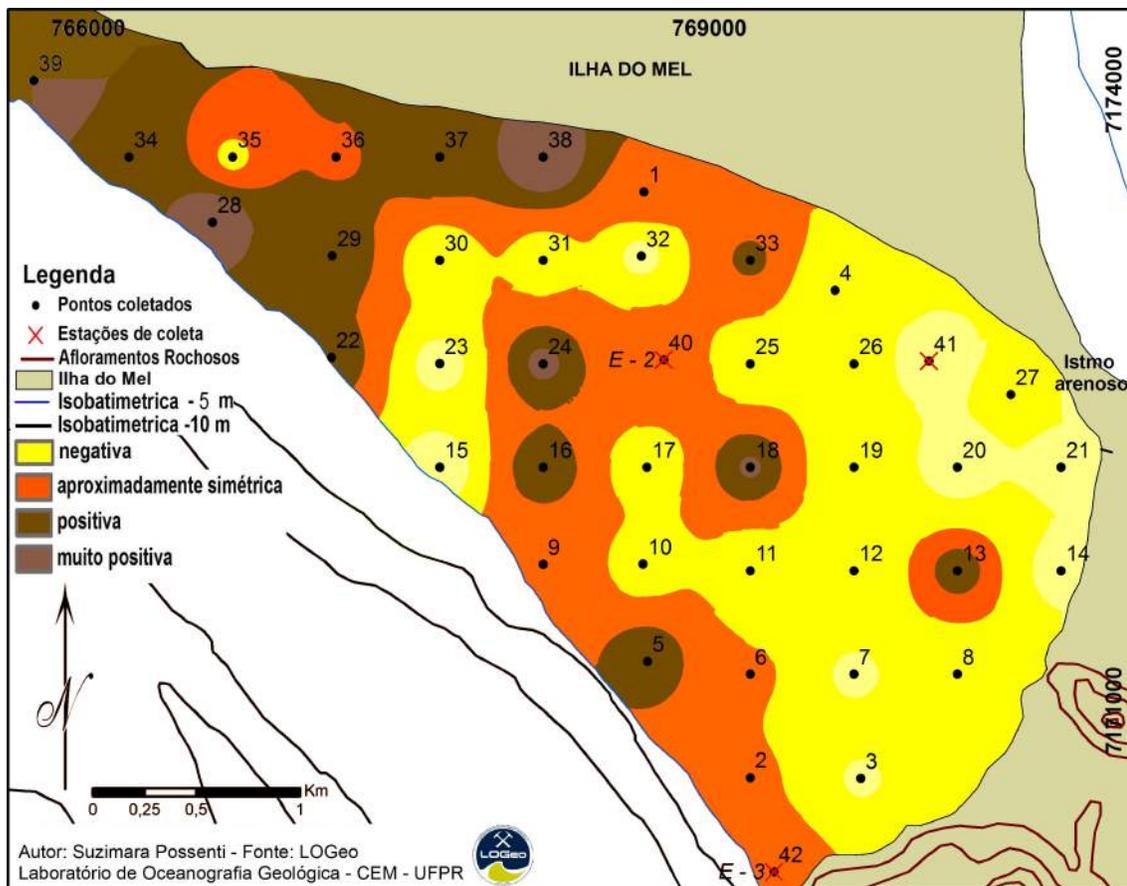


Figura 20: Mapa dos graus de assimetria das curvas de distribuição granulométrica dos sedimentos do Saco do Limoeiro.

No mapa de distribuição dos valores de curtose granulométrica (Figura 21), observamos que a maior parte dos sedimentos (24%) apresentou curvas muito leptocúrticas. Na região central e noroeste do hemi-delta, existem áreas com sedimentos leptocúrticos e somam 26% das amostras. Na área adjacente ao istmo arenoso, na estação E-3 (ponto 42) e em alguns pontos isolados (8, 28, 30, 31 e 39) os sedimentos apresentaram curvas extremamente leptocúrticas (21%). Os pontos 4, 11, 15, 18, 24, 33 e 37 apresentam curvas mesocúrticas (19%). Os pontos 13, 22, 26 e 29 apresentam curvas platicúrticas (10 %).

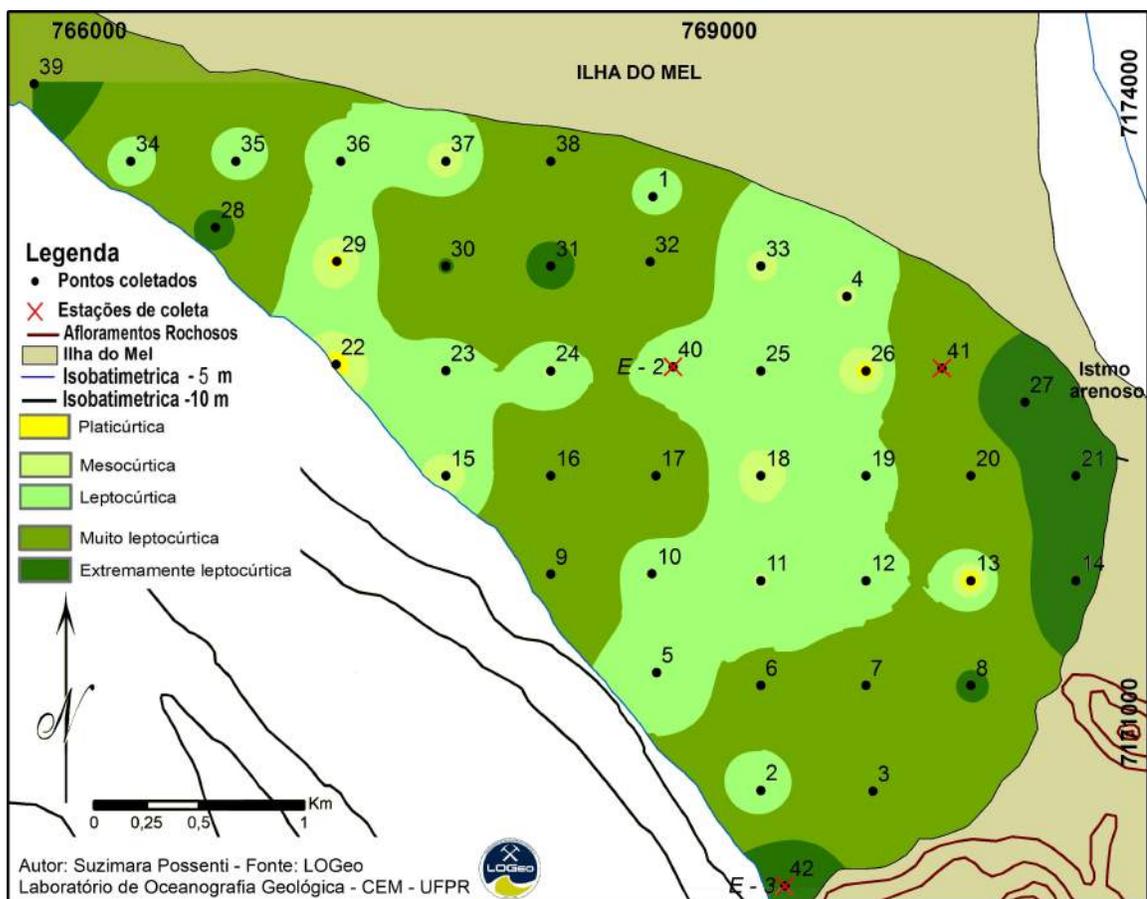


Figura 21: Mapa de distribuição de curtose para o Saco do Limoeiro.

O mapa de distribuição do teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) nos sedimentos do Saco do Limoeiro mostra que valores entre 0 à 5% representam 62% do total de amostras (Figura 22). Picos de 20 à 25% foram observados no ponto 1, e de 15 à 20% no ponto 9, perfazendo 4,8% do total das amostras. Duas áreas, uma próxima ao istmo arenoso e outra na parte central do Saco do Limoeiro, apresentaram porcentagens entre 5 e 10% somando 33% do total.

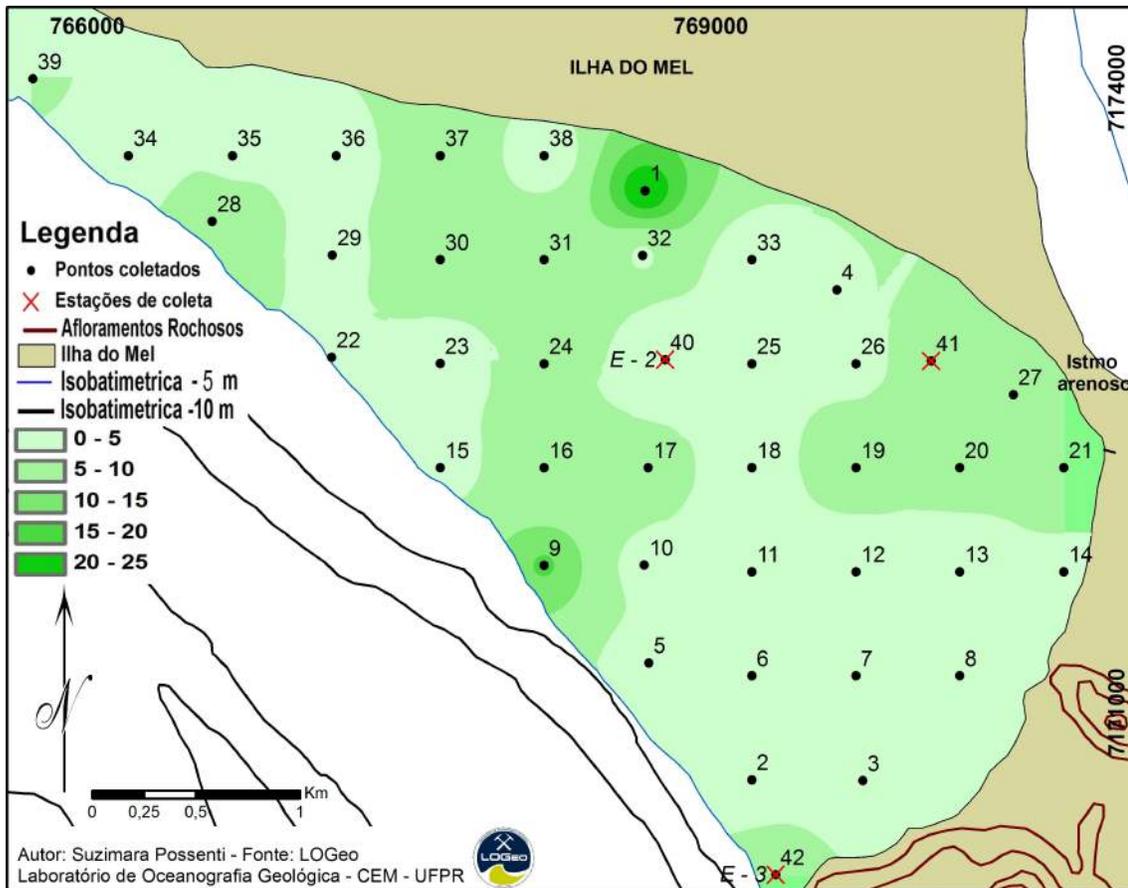


Figura 22: Mapa de porcentagem de  $\text{CaCO}_3$  nos sedimentos do Saco do Limoeiro

No mapa de distribuição de matéria orgânica (M. O.) (Figura 23) observa-se que a maior parte dos sedimentos no Saco do Limoeiro apresentou valores entre 2,5 à 5%, representando 57% do total de amostras coletadas. Teores de M. O. iguais ou menores que 2,5% estão presentes a sul do Saco do Limoeiro, e adjacentes à Praia do Limoeiro, e somam 28,6% do total de amostras. Pontos isolados a noroeste apresentaram porcentagem entre 5 à 7,5% de M. O., e somam 12% do total de amostras. Já o ponto 38 apresentou teor maior que 8% de M.O. (Tabela 2) e representa 2,4% do total das amostras.

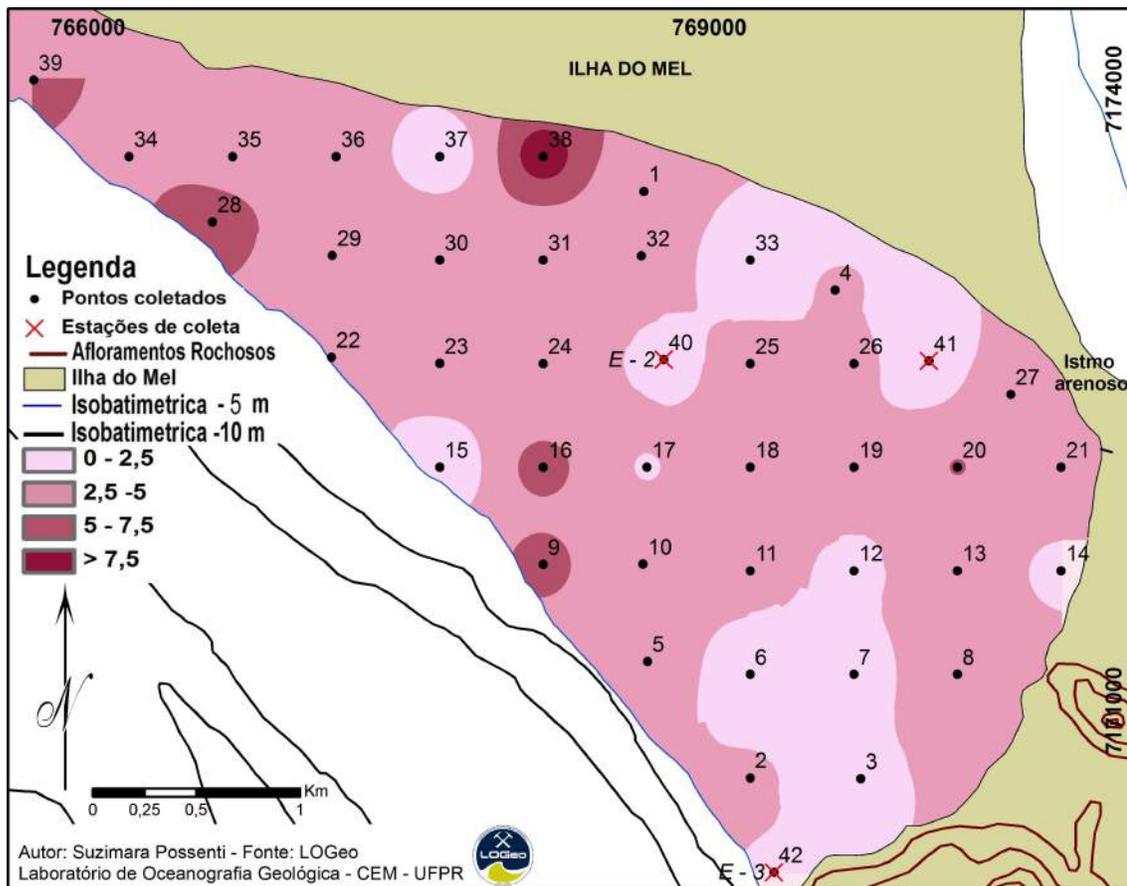


Figura 23: Mapa de distribuição de teor de matéria orgânica do Saco do Limoeiro.

## 6. 2. VELOCIDADES DAS CORRENTES DE MARÉS

Em E-1, os valores de velocidade de fluxo de corrente foram  $7 \text{ cm.s}^{-1}$ ,  $15 \text{ cm.s}^{-1}$ ,  $18 \text{ cm.s}^{-1}$ ,  $22 \text{ cm.s}^{-1}$  e  $26 \text{ cm.s}^{-1}$ , medidos na segunda preamar do dia, entre as 09h36' minutos e às 14h24' (Figura 24).

De acordo com o limiar de transporte do Saco do Limoeiro ( $15,8 \text{ cm.s}^{-1}$ ) em E-1, houve condição propícia para o transporte sedimentar por carga de fundo em três intervalos ( $18 \text{ cm.s}^{-1}$ ,  $22 \text{ cm.s}^{-1}$  e  $26 \text{ cm.s}^{-1}$ ).

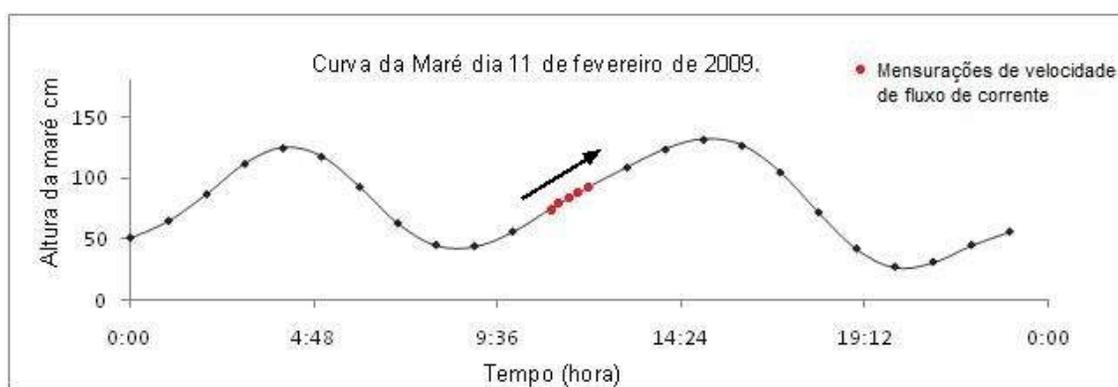


Figura 24: Curva da maré do dia 11 de fevereiro de 2009, data da coleta da estação E-1.

As velocidades de fluxo de corrente na estação E-2 foram:  $23 \text{ cm.s}^{-1}$ ,  $33 \text{ cm.s}^{-1}$ ,  $34 \text{ cm.s}^{-1}$ , e  $40 \text{ cm.s}^{-1}$ , medidas na segunda preamar de sizígia, entre às 11h20min e 12h20min (Figura 25). De acordo como o limiar de transporte do Saco do Limoeiro, houve condição propícia para o transporte sedimentar em todos os intervalos medidos para estação E-2.



Figura 25: Curva da maré do dia 26 de março de 2009, quando foi realizada coleta na estação E-2.

Na estação E-3, o valor de velocidade de fluxo de corrente foi  $93 \text{ cm.s}^{-1}$ , medido na segunda preamar do dia, às 12h23min (Figura 26). Este valor indica que houve condição propícia para o transporte sedimentar no intervalo medido.



Figura 26: Curva da maré, no dia 23 de junho de 2009, dia da campanha amostral da estação E-3.

### 6. 3. BATIMETRIA

O mapa batimétrico do Saco do Limoeiro (Figura 27), mostra que o leito apresenta inclinação suave desde a área adjacente ao terminal turístico de Nova Brasília até próximo do ponto 5, com variação de profundidade entre 1 e 4 metros. A partir do ponto 5, o perfil batimétrico apresenta inclinação abrupta, variando de 4 à 14 metros próximo à linha isobatimétrica – 10 m.

Podem ser observadas, as bordas do canal marginal de enchente, identificadas pelo contraste entre as profundidades de 3 e 2 metros (Figura 27), e a diminuição da profundidade deste mesmo canal, que varia de 6 m (medida na campanha da estação E-3) à 3 m de profundidade, próximo ao ponto 7 (Figura 27).

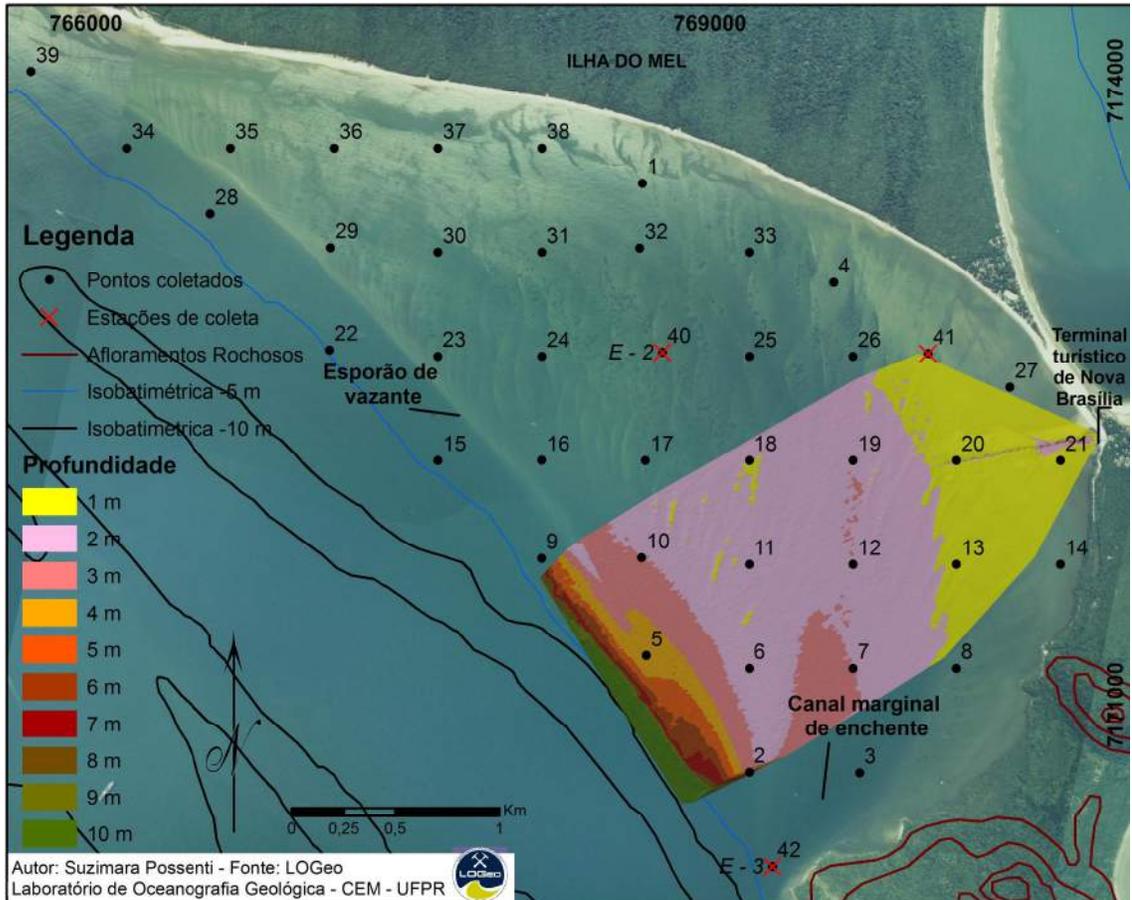


Figura 27: Batimetria do Saco do Limoeiro mostrando inclinação suave do perfil até a isobatimétrica de -10 m, o canal marginal de enchente, e a continuação do esporão de vazante.

No mapa batimétrico podem ser observadas formas de fundo nas proximidades com os pontos 18 e 11. Estas feições correspondem às ondas de areia identificadas por Angulo (1999) e Araújo (2001).

## 6. 4. MODELOS DE TRANSPORTE

A estação E-1 apresenta pequenas ondulações rombóides, geradas por pequenas ondas. Na estação E-1 não houve captura de sedimentos pela armadilha, pelo que pode ser inferido um valor de capacidade de transporte nulo (Tabela 1).

Para a estação E-1 os valores de profundidade da coluna de água, de tamanho médio de grão e de velocidade de corrente submetidos ao diagrama de Rubin & McCulloch (1980), resultaram em campo sem movimento de formas de fundo (Figura 28).

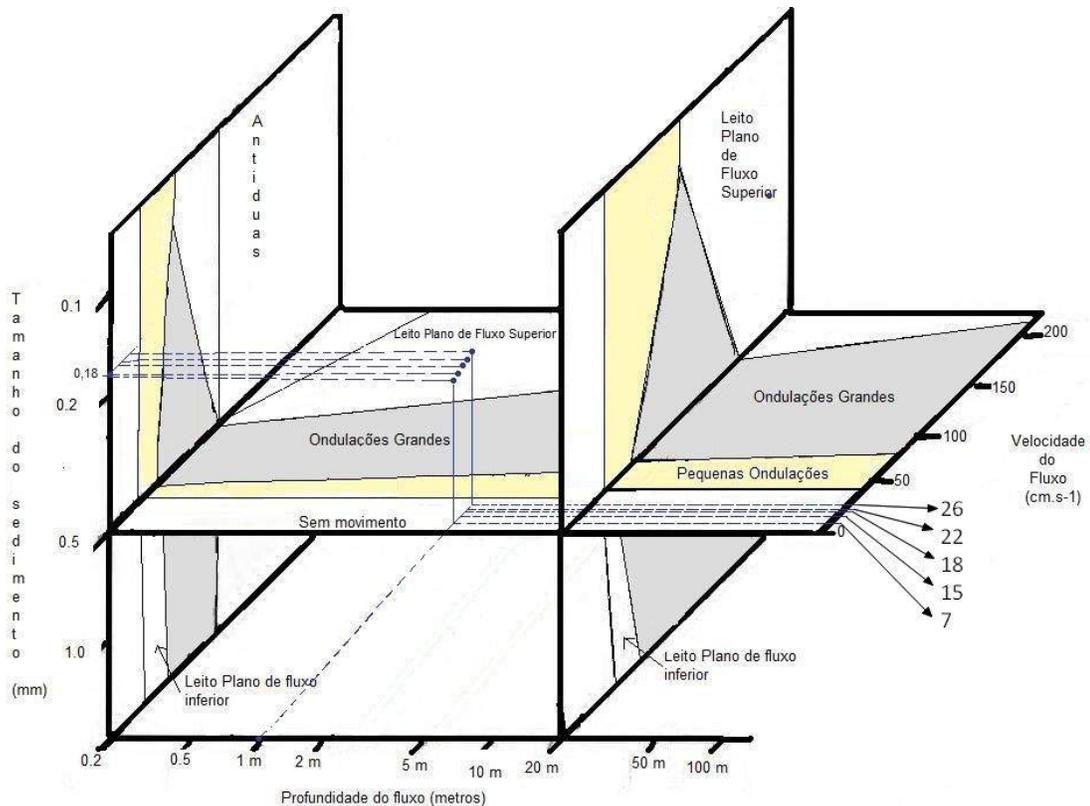


Figura 28: Dados da estação E-1, plotados no diagrama de Rubin & McCulloch (1980). Todos os valores de fluxo de corrente resultam em leito "sem movimento" de formas de fundo.

Em E-2, o resultado do diagrama de Rubin & McCulloch (1980) mostrou que, à velocidade de  $23 \text{ cm.s}^{-1}$  o campo foi “sem movimento” (Figura 29). Nas demais velocidades medidas ( $33 \text{ cm.s}^{-1}$ ,  $34 \text{ cm.s}^{-1}$  e  $40 \text{ cm.s}^{-1}$ ) o campo foi com pequenas ondulações (Figura 29).

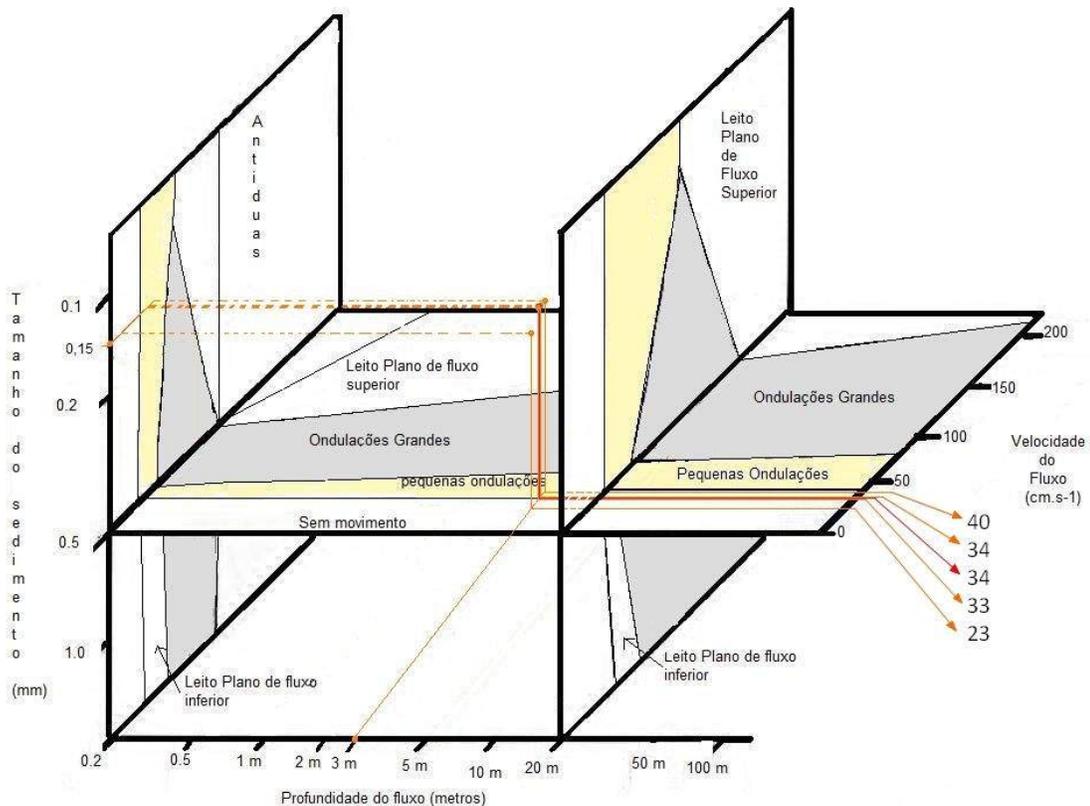


Figura 29: Dados da estação E-2, plotados no diagrama de Rubin & McCulloch (1980). Velocidades de corrente mostram existência de sucessão entre a fase “sem movimento” e a fase com migração de formas de fundo pequenas.

As observações diretas identificaram presença de pequenas ondulações de corrente em E-2, indicando transporte sedimentar por migração destas formas de fundo. Estas pequenas ondulações encontravam-se sobrepostas à ondulações maiores. A capacidade de transporte de sedimentos para este local foi de  $1,33 \text{ g.h}^{-1}$  (Tabela 1).

O resultado do diagrama de Rubin & McCulloch (1980) indica que E-3 apresenta ondulações grandes. As observações por mergulho autônomo identificaram ondulações pequenas de corrente, características de canais de maré de fundo arenoso (Figura 30). E-3 apresentou capacidade de transporte de 48,99 g.h<sup>-1</sup> além de transporte sedimentar por migração de formas de fundo (Tabela 1).

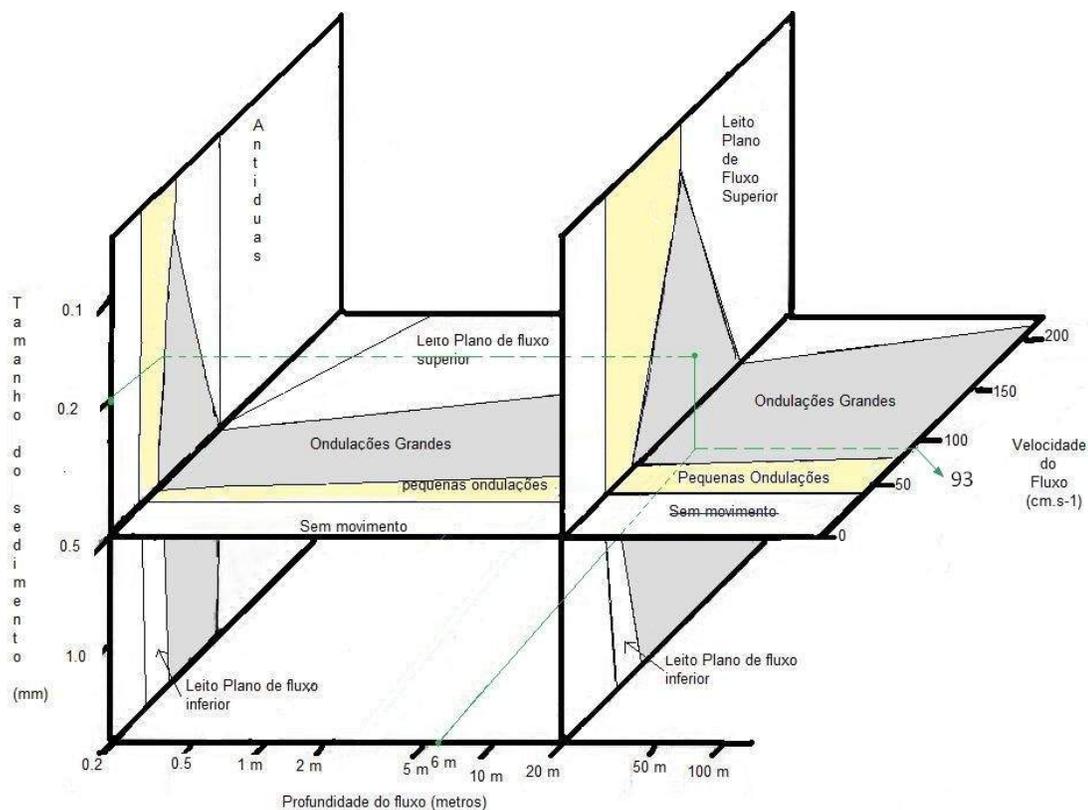


Figura 30: Dados da estação E-3, plotados no diagrama de Rubin & McCulloch (1980). Resultados mostram leito com “ondulações grandes”, indicando transporte sedimentar por migração de formas de fundo.

## 6. 5. CAMPOS DE TRANSPORTE SEDIMENTAR

O mapa de distribuição dos parâmetros granulométricos (Figura 18) indica que os sedimentos no Saco do Limoeiro são predominantemente areia fina. Uma vez que variações dentro da fração areia fina, não apresentaram mudanças nos campos de formas de fundo observados em E-1, E-2 e E-3 (Figura 31) assume-se neste trabalho que, para uma fração granulométrica fixa, o campo de formas de fundo é determinado pela variação de profundidade, assumindo-se que a velocidade será similar à mensurada nas estações E-1, E-2 e E-3. Assim, aos pontos que coincidiram com a batimetria (Figura 27), foi atribuído um valor de 1 à 3, de acordo com a similaridade de profundidade entre estes e as estações E-1, E-2 e E-3. Após a geração do mapa, foram produzidas *shapefiles* dos ambientes correspondentes à E-1, E-2 e E-3, para obtenção das áreas.

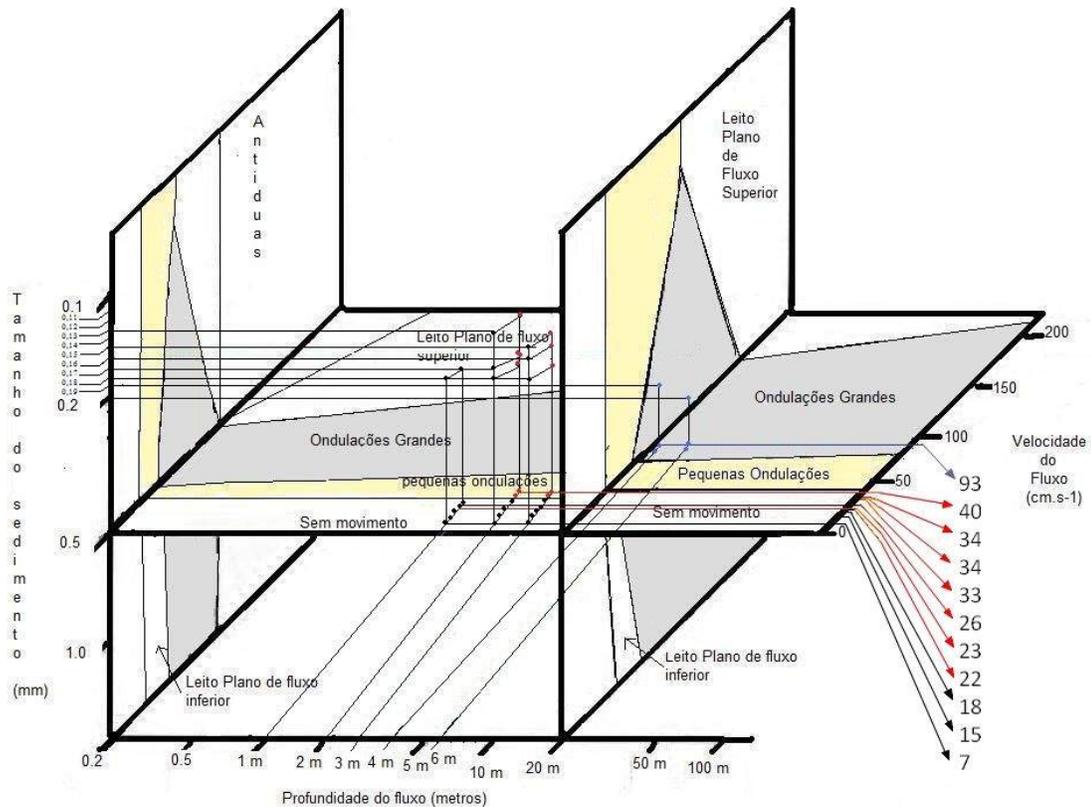


Figura 31: Variações da ordem de 0,01 mm de tamanho de grão não alteram os campos de transporte observados em E-1, E-2 e E-3, indicando que dentro de uma mesma fração granulométrica, as variações de profundidade e de velocidade de corrente apresentam maior influência sobre os processos de transporte.

Os pontos correlacionáveis (Tabela 3) às estações E-1, E-2 e E-3 foram utilizados para elaboração do mapa de campos de transporte (Figura 32), que apresentou área total de 3,74 km<sup>2</sup>. Destes, a área que apresenta similaridades com a estação E-1 foi de 0,61 km<sup>2</sup> e representa 16,3% da área total. A estação E-2 é correlacionável à uma área de 2,83 km<sup>2</sup>, que representa 76 % da área total. A estação E-3 apresenta características de transporte que podem ser correlacionáveis a uma área de 0,3 km<sup>2</sup> e que representa 8% do total da área analisada (Figura 32).

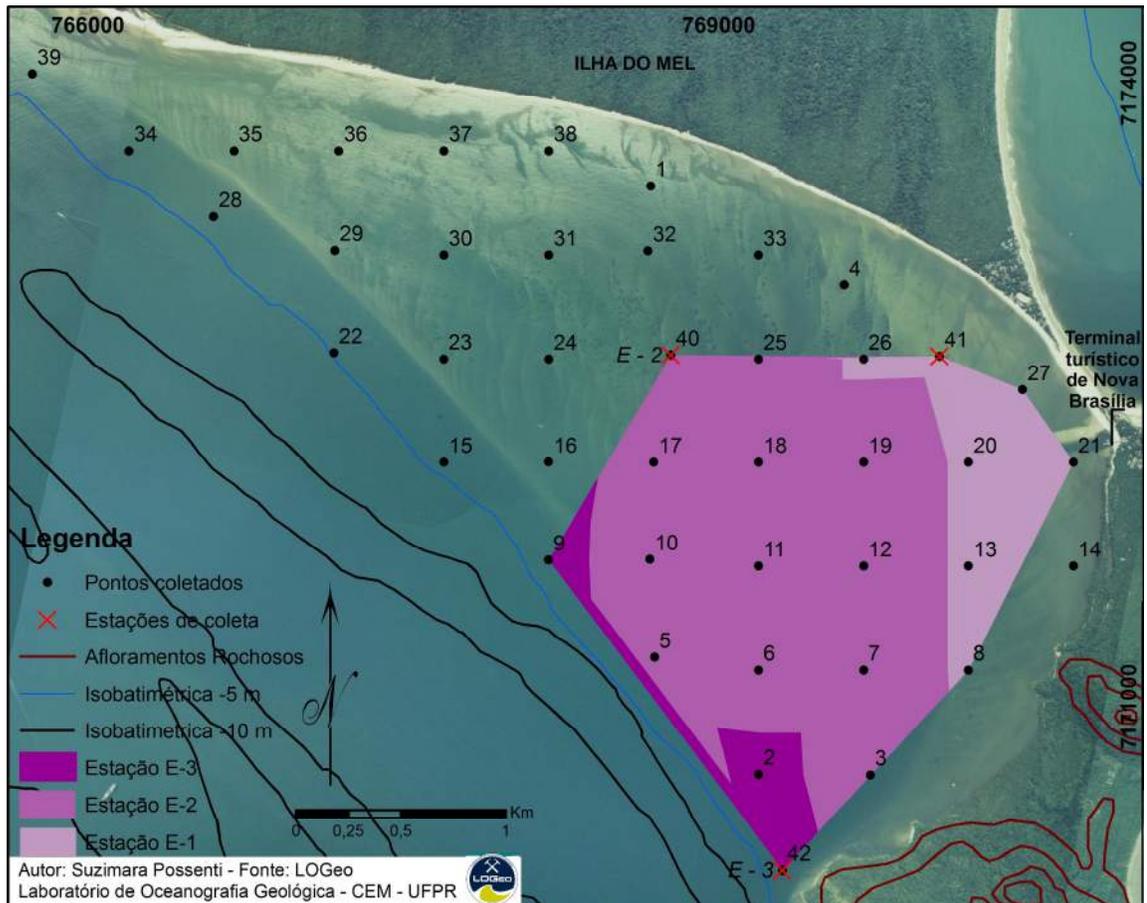


Figura 32: Campos de transporte sedimentar elaborados a partir das características de transporte das estações E-1, E-2 e E-3 e dos pontos amostrais correlacionáveis em profundidade e granulometria.

Tabela 3: Pontos similares às estações E-1, E-2 e E-3, de acordo com a batimetria do Saco do Limoeiro, utilizados para elaboração do mapa de campos de transporte sedimentar.

Amostras	Média $\phi$	Tamanho grão (mm)	Profundidade	Ambiente
41	2,48	0,18		1 E-1
40	2,69	0,15		3 E-2
42	2,33	0,20		6 E-3
2	2,647	0,16	3	correlata a E-3
3	2,731	0,15	2	correlata a E-2
5	2,375	0,19	4	correlata a E-2
6	2,928	0,13	2	correlata a E-2
7	2,726	0,15	3	correlata a E-2
8	2,348	0,20	1	correlata a E-1
9	1,97	0,26	3	correlata a E-3
10	2,505	0,18	3	correlata a E-2
11	2,505	0,18	2	correlata a E-2
12	2,569	0,17	2	correlata a E-2
13	2,442	0,18	1	correlata a E-1
17	2,507	0,18	2	correlata a E-2
18	2,435	0,18	2	correlata a E-2
19	2,535	0,17	2	correlata a E-2
20	2,468	0,18	1	correlata a E-1
21	2,231	0,21	1	correlata a E-1
25	3,107	0,12	3	correlata a E-2
26	2,414	0,19	1	correlata a E-1
27	2,317	0,20	1	correlata a E-1

## 6. 6. MIGRAÇÃO DE FORMAS DE FUNDO

A princípio, a identificação da migração das formas de fundo seria realizada através do método descrito por Amos *et al.* (1988a) e Amos *et al.* (1999). Entretanto os vídeos obtidos nas estações E-1 e E-2 não apresentaram bons resultados (Figura 33), este método foi substituído por observação direta das formas de fundo na estação E-3, por mergulho autônomo.

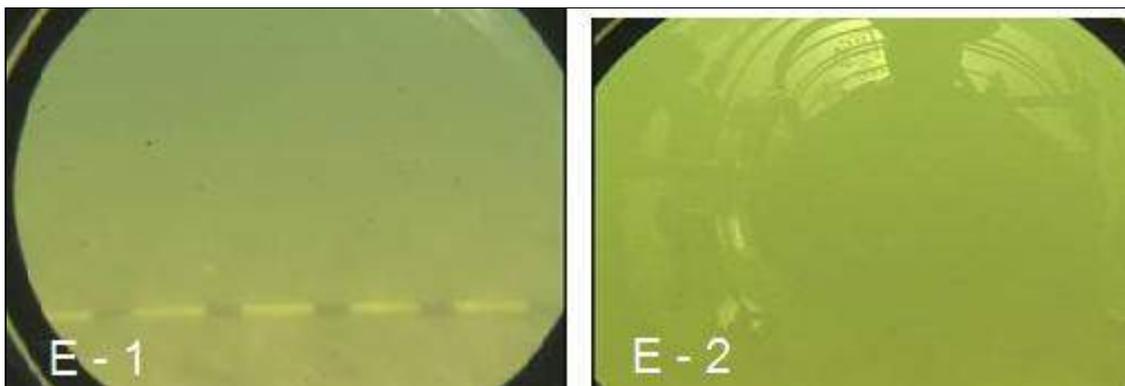


Figura 33: Quadro à esquerda mostra imagem da estação E-1, e quadro à direita mostra imagem da E- 2. Em ambos não há contraste que permita observação das formas de fundo.

## 7. DISCUSSÃO

### 7. 1. CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE SEDIMENTAR

Na estação E-1 foram observadas pequenas ondulações rombóides provavelmente originadas por pequenas ondas. Na estação E-2 foram observadas ondulações pequenas de corrente, sobrepostas à ondulações maiores, indicando que pode ocorrer transporte sedimentar sob ação de correntes de marés, em tempo bom, através da migração das pequenas ondulações de corrente. A presença de mega ondulações neste ambiente pode indicar que estas foram formadas sob condições de entrada de tempestade, pois o fluxo apresentaria maior capacidade de transporte sedimentar nestas condições (Araújo, 2001). De acordo com Reineck & Singh (1973), é possível que grandes formas de fundo, formadas em períodos de tempestade, se tornem inativas quando o fluxo diminui de intensidade, e a partir disto, se formem pequenas ondulações de corrente sobrepostas em função do fluxo de tempo bom. Os valores de velocidade de corrente em E-2 mostraram que, de

acordo com o modelo de Rubin & McCulloch (1980) houve sucessão de fases de fundo, passando de campo “sem movimento” à presença de pequenas ondulações em processo de migração.

Na estação E-3 foram observadas pequenas ondulações de corrente. Este ponto amostral está localizado no canal marginal de enchente do Saco do Limoeiro, caracterizado por Angulo *et al.* (1995) e Angulo (1999), indicando que a preferência do fluxo de marés em passar por este canal aumenta a capacidade de transporte sedimentar. Isto ficou evidenciado pela maior velocidade de fluxo de corrente, aproximadamente o dobro das velocidades medidas em E-2, e pela maior quantidade de sedimentos sendo transportados por arraste,  $48,99 \text{ g.h}^{-1}$  quando comparado à quantidade transportada em E-2, de apenas  $1,33 \text{ g.h}^{-1}$ . Reineck & Singh (1973) informam que é comum a existência de pequenas ondulações de corrente em canais de maré de fundo arenoso. O modelo de Rubin & McCulloch (1980) para E-3 indicou que deveria haver ondulações grandes neste local, porém, de acordo com Allen (1968), ondulações grandes necessitam de uma área equivalente para desenvolver sua continuidade lateral e, portanto, os limites físicos observados na batimetria do canal, podem impedir o completo desenvolvimento destas feições.

## 7. 2. PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS

A distribuição dos valores de diâmetro médio granulométrico é uma medida de tendência central importante pois informa a média geral de tamanho dos grãos em função dos processos de transporte, das fontes e do ambiente de deposição (Suguio, 1973).

Os resultados observados no mapa de distribuição dos valores de diâmetro médio granulométrico (Figura 18) indicam uma disparidade com o mapa produzido por Araújo (2001), pois os pontos G3 e G5, que figuram como areia muito fina no mapa (Figura 4), são descritos como areia fina na tabela de distribuição granulométrica deste mesmo autor. Ainda, de acordo com a tabela de distribuição granulométrica de Araújo (2001), os únicos pontos de areias muito finas são o G7 e G20 e estão corretamente indicados no mapa (Figura 4). Além disto, o mapa de distribuição de diâmetro médio de Lamour (2007) (Figura 5) mostra que a maior

parte dos sedimentos no Saco do Limoeiro apresenta areias finas. Com isto, acredita-se que o mapa elaborado por Araújo (2001) apresentou discordância na legenda, pois transcreveu pontos de areia fina como pontos de areia muito fina. Portanto, com base nos resultados deste trabalho, e nos mapas de distribuição dos valores de diâmetro médio granulométrico de Lamour *et al.* (2004) e Lamour (2007), assume-se que os sedimentos do Saco do Limoeiro são compostos por areias finas, apresentando um padrão quase homogêneo.

De acordo com Suguio (1973), o grau de seleção dos sedimentos pode indicar a direção do transporte sedimentar e a intensidade dos fluxos, pois grãos melhor selecionados estariam sob influência de agentes de transporte mais efetivos. Este autor informa que mapas de distribuição de grau de seleção podem mostrar variações nas forçantes que agem no transporte sedimentar. O mapa de distribuição de grau de seleção (Figura 19) mostra boa correlação com os mapas de Lamour (2000), Lamour *et al.* (2004) e Lamour (2007) para os sedimentos com grau de seleção moderadamente selecionados e bem selecionados. Entretanto, os valores de seleção de grãos muito bem selecionados e muito pobremente selecionados foram menores no mapa atual. Isto pode ser função da representatividade das amostras ou do número e posição geográfica das mesmas (Landim, 1997).

O parâmetro de grau de assimetria das curvas de distribuição apresentou a distribuição mais complexa dentre os parâmetros estatísticos granulométricos analisados (Figura 20). De acordo com Suguio (1973), o parâmetro de assimetria pode indicar que o transporte sedimentar seja selecionado em função da forçante física, que retira apenas uma fração do material, mas este autor também diz que os graus de assimetria podem variar em função das características particulares da área. A distribuição de grau de assimetria das curvas de distribuição mostra que as áreas na parte sudeste e central do Saco do Limoeiro apresentam curvas negativas indicando que a curva de distribuição tende para frações de sedimentos grossos. A partir da parte central, na direção noroeste do Saco do Limoeiro, as assimetrias tornam-se positivas, indicando tendência da curvas para frações mais finas. Este padrão pode estar relacionado à maior intensidade no transporte sedimentar que ocorre no canal marginal de enchente no Saco do Limoeiro, com capacidade de transporte de grãos mais grossos. A partir da diminuição da profundidade e do aumento da área de seção do canal, em direção à área central e noroeste, ocorreria

a diminuição da capacidade de transporte, e assim os sedimentos presentes tendem às frações mais finas. Esta interpretação é correlacionável aos valores intensos de transporte sedimentar na área externa do Saco do Limoeiro, passando para valores médios na área central e para valores nulos na área abrigada, conforme os resultados mostrados no mapa de campos de transporte e nos diagramas de campos de formas de fundo.

A curtose reflete o grau de agudez das curvas de frequências granulométricas e podem estar relacionadas à capacidade de seleção das forças físicas agindo sobre o ambiente (Suguio, 1973). De acordo com este mesmo autor, as curvas de curtose indicam o espalhamento médio das caudas nos gráficos de distribuição, em relação ao desvio-padrão. De acordo com Suguio (1973), valores extremos de curtose são encontrados em materiais que sofreram seleção em ambientes altamente energéticos, sendo posteriormente transportados e depositados em ambientes de baixa energia, misturando-se aos sedimentos finos presentes neste último ambiente. O mapa de distribuição de curtose para os sedimentos do Saco do Limoeiro (Figura 21) mostrou que a maior parte dos sedimentos apresenta curvas leptocúrticas a muito leptocúrticas, similar aos resultados obtidos por Lamour (2000). Estes valores de curtose indicam que o ambiente apresenta dinâmica de energia intermediária em sua parte central. Os valores extremos de curtose medidos na área abrigada do Saco do Limoeiro, indicam que a dinâmica nesta área apresenta baixa energia.

Os teores de carbonato de cálcio (Figura 22) e matéria orgânica (Figura 23) dos sedimentos no Saco do Limoeiro apresentaram valores de 5%, o que corresponde à caracterização da área, de acordo com a literatura (Soares *et al.*, 1997; Lamour, 2000; Araújo, 2001). De acordo com Bigarella (1946), os bancos areno-argilosos do interior dos estuários do litoral do Paraná, apresentam teores de matéria orgânica associados à sedimentos finos devido a proximidades de mangues.

A concentração de carbonato representa a fração biogênica dos sedimentos, composta por fragmentos de conchas e carapaças de foraminíferos (Ponzi, 2004). De acordo com Moore (1989), o tamanho e a seleção dos grãos de carbonato dependem da dinâmica da população de organismos que originou a partícula. Este mesmo autor afirma que, em ambientes restritos como planícies de marés, pode-se encontrar grãos de carbonato formados a partir de espécies de gastrópodes. O

tamanho médio e o grau de seleção dos sedimentos neste caso, são resultado da distribuição natural da população de gastrópode, e portanto o tamanho de grão carbonático não pode ser utilizado para indicar as condições físicas do sítio de deposição. Moore (1989) explica o exemplo no qual conchas grandes são encontradas em lagunas com sedimentos lamosos, pois após a morte estas conchas são incorporadas como clastos nos sedimentos, indicando que o organismo viveu e morreu no ambiente deposicional, sem implicar transporte físico. De acordo com este mesmo autor, em ambientes com pouca profundidade pode ocorrer dissolução dos carbonatos e precipitação destes nas águas intersticiais dos sedimentos. Em áreas de menor energia, a concentração de carbonato refere-se à produção local, e em áreas de maior energia pode representar efeito de transporte por carga de fundo (Zem, 2005). Valores baixos de carbonato de cálcio estão associados a ambientes de baixa energia hidrodinâmica, com sedimentos que variem entre areias grossas à finas (Zem, 2005). Rios (1995) afirma que os fundos areno-lodosos de estuários do sul do Brasil são comumente habitados por bivalves *Anomalocardia brasiliiana* e *Mytella sp.* A presença destes bivalves no ponto 9 explica o alto valor de carbonato de cálcio encontrado, e, no ponto 1, pode haver concentração de carbonatos dissolvidos (Figura 22).

### 7. 3. CAMPOS DE TRANSPORTE

O resultado do mapa de campos de transporte, baseado nas estações E-1, E-2, E-3 e nos parâmetros granulométricos, de velocidade e da batimetria, mostrou que a área próxima ao istmo arenoso e ao terminal turístico apresenta menor intensidade dos processos de transporte em dias de tempo bom (Figura 32). A área localizada a partir do final do canal dragado, até próximo aos pontos 3 e 5, pode apresentar transporte sedimentar por migração de formas de fundo, associada à transporte por carga de fundo sob condições de tempo bom e incidência de marés de velocidades moderadas (Figura 32). Somente a área externa do hemi-delta, próxima aos pontos 2 e 9 apresentou similaridade à estação E-3, indicando que nesta área, os processos de transporte por carga de fundo podem ser mais intensos, prevalecendo sobre a migração de formas de fundo (Figura 32).

## 8. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos por este trabalho, conclui-se que:

O uso de modelos sedimentares é válido para explicar a dinâmica sedimentar no Saco do Limoeiro, pois os resultados obtidos no teste de aplicabilidade do modelo mostraram boa correlação com os dados obtidos em campo.

A profundidade e a velocidade de fluxo de corrente de maré foram os parâmetros que apresentaram maior influência sobre os processos de transporte sedimentar no Saco do Limoeiro. A granulometria no Saco do Limoeiro apresentou predominantemente areia fina.

As características do transporte sedimentar por carga de fundo no Saco do Limoeiro, durante marés enchentes de sizígia e em condições de tempo bom, apresentam-se da seguinte forma:

Na estação E-1, o transporte é ausente nestas condições;

Na estação E-2 o transporte sedimentar ocorre pela formação de pequenas ondulações de corrente com transporte por migração destas formas, e por arraste com taxas de  $1,33 \text{ g.h}^{-1}$ , sob incidência de correntes de marés de baixa velocidade.

Na estação E-3 o transporte sedimentar ocorre pela ação direta da corrente de maré no canal de enchente, produzindo ondulações pequenas com migração destas feições e transportando sedimentos por arraste em taxas aproximadas à  $48,99 \text{ g.h}^{-1}$ .

Os resultados dos modelos de Rubin & McCulloch (1980) e Reineck & Singh, (1973) apresentaram boa correlação com os dados observados *in situ*. Os campos de transporte identificados para o Saco do Limoeiro foram:

Na estação E-1, o campo foi sem movimento, com ondulações rombóides formadas pela ação de pequenas ondas;

Na estação E-2, a sequência de campos foi sem movimento, seguido de campo com ondulações pequenas e com presença de ondulações pequenas, sobrepostas à megaondulações;

Na estação E-3, campo com ondulações grandes, com presença de ondulações pequenas de corrente, características de canais de maré de fundos arenosos.

Em E-3, o campo observado com ondulações pequenas deve-se provavelmente ao fato de a batimetria deste canal restringir o tamanho das formas de fundo.

A quantificação do transporte por arraste, utilizando-se a armadilha de sedimentos, apresentou resultados condizentes com as medições de limiar de transporte sedimentar de Araújo (2001).

As velocidades obtidas com o fluxômetro para as estações E-1 e E-2 foram similares às encontradas por Araújo (2001). Na estação E-3 a velocidade medida foi similar às reportadas pela Portobrás (1983). O método para obtenção de imagens de Amos *et al.* (1999) não apresentou boa aplicabilidade a área, devido à baixa visibilidade da coluna de água. Entretanto este fato não comprometeu os resultados almejados, pois constatou-se por observação direta, a existência de formas de fundo em processo de migração em E-2 e E-3, e sem movimento em E-1.

O mapa de ambientes de transporte mostrou que 0,61 km<sup>2</sup>, da área do levantamento batimétrico apresentam características de transporte sedimentar equivalentes às da estação E-1 enquanto que 2,83 km<sup>2</sup> apresentam características similares às da estação E-2 e 0,3 km<sup>2</sup> apresentam características similares às da estação E-3. Com isto, a área com profundidade entre 2 e 3 metros, apresenta evidências de transporte sedimentar por migração de pequenas formas de fundo, com carga por arraste associada, em função da incidência de correntes de maré, durante períodos de sizígia e condições de tempo bom. Nestas mesmas condições, pode ocorrer transporte intenso de sedimentos por carga de fundo nas áreas cuja profundidade é maior do que 3 metros.

Um novo estudo, realizado com um levantamento batimétrico atual na área total do Saco do Limoeiro, poderia ser utilizado para uma identificação mais abrangente deste hemi-delta e dos processos de transporte.

Os modelos de transporte existentes na literatura podem ser utilizados para obterem-se esclarecimentos sobre a dinâmica de ambientes naturais, entretanto, é importante realizar observações *in situ*, pois as características particulares de cada ambiente podem resultar em diferentes feições de fundo, e. g. a limitação física da batimetria no canal marginal de enchente, pode ser o fator que impede a formação de ondulações grandes, apesar de o modelo sedimentar prever a existência de

campo de ondulações grandes quando ocorrem profundidades, velocidades de corrente e granulometria similares com as mensuradas na estação E-3.

De acordo com os resultados deste trabalho, observou-se que a área próxima ao canal dragado (de acesso ao terminal turístico de Nova Brasília) apresenta condições de baixa energia, sob tempo bom. Como observado no mapa de ambientes de transporte, é possível que os sedimentos que estejam em processo de transporte, no canal de enchente, em função da maior capacidade de transporte das correntes nesta área, acabem se depositando gradativamente conforme a batimetria deste canal se torna menos profunda e mais ampla, depositando os sedimentos nas áreas adjacentes, que ficam aprisionados nas formas de fundo maiores e alimentam os campos de ondulações. Entretanto, estudos devem ser realizados durante condições de entradas de frentes frias, para observar o comportamento dos sedimentos nesses períodos e verificar se alterações no padrão de transporte identificado.

## 9. REFERÊNCIAS

ALLEN, J. R. L., 1968. Their relationship to patterns of water and sediment motion. In: Allen, J. R. L. (Ed.): **Current ripples**, North-Holland Publishing Company, Amsterdam. p. 1-433.

ALLEN, J. R. L. 1997. Sediment Transport. In: Allen, J. R. L. (Ed): **Earth Surface Processes**. Blackwell, Oxford. p. 179-205.

AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO A.; LEITE C. C. 2008. Avaliação de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o estado de Alagoas. **Acta Scientiarum**. Technology, V. 30(1).

AMOS, C. L.; BOWEN, A. J.; HUNTLEY, D. A.; LEWIS, C. F. M.; 1988. Ripple generation under the combined influences of waves and currents on the Canadian Continental Shelf. **Continental Shelf Research**. Toronto. 8(10): p. 1129 – 1153.

AMOS, C. L.; BOWEN, A. J.; HUNTLEY, D. A.; JUDGE, J. T.; LI, M. Z. 1999. Ripple migration and sand transport under quasi-orthogonal combined flows on the Scotian Shelf. **Journal of Coastal research**. Florida. V. 15(1): p. 1-25.

ANGULO, R. J.; GIANNINI P. C. F.; PARANHOS, A. 1995. A divisão da Ilha do Mel: perguntas e respostas. **Jornal Gazeta do Povo**. Curitiba. V. 11(04): p.1.

ANGULO, R. J. 1999. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the state of Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, V. 71(4-2): p. 935-959.

ANGULO, R. J.; SOARES, C. R.; MARONE, E.; SOUZA, M. C.; ODRESKI, L. L. R.; NOERNBERG, M. A. 2006. Paraná. In: MUEHE, D. (Org.) **Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. p. 347-400.

ARAÚJO, A. D. 2001. **Dinâmica sedimentar e evolução paleogeográfica do Saco do Limoeiro na Ilha do Mel, e sua relação com o canal de acesso ao porto de Paranaguá**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 73 p. Curitiba.

BIGARELLA, J. J. 1946. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Curitiba. Jubilee Volume 2001 (1946 - 2001). p. 65 – 110.

BAPTISTA, P.; BASTOS, L.; CUNHA, T.; BERNARDES, C.; DIAS, J. A. 2008. Aplicação de metodologias de monitorização GPS em litorais arenosos: Geração de modelos de elevação do terreno. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, V. 8(1). p. 9-23.

CARVER, R. E. 1971. *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley-Interscience, New York. 672 p.

DYER, K. R. 1980. **Estuarine and Coastal Marine Science**. V. 10: p. 184 – 199.

DYER, K. R. 1986. **Coastal and Estuarine Sediments Dynamics**, Wiley. New York.

ENGEMA, 2007. Nono encontro nacional sobre gestão empresarial e meio ambiente. A gestão pública na Ilha do Mel, PR: enfoque sobre o conselho gestor atuante no local. Curitiba.

FITZGERALD, D. M.; BUYNEVICH, I. V.; FENSTER, M. S.; MCKINLAY, P. A. 2000. Sand dynamics at the mouth of a rock-bound, tide-dominated estuary. **Sedimentary Geology**, 131: p. 25-49.

General Oceanics Digital Flowmeter Mechanical and Electronic Operators Manual. Disponível em: <<http://www.generaloceanics.com/genocean/download/2030flowmetermaml.pdf>> Acesso em 12 de agosto de 2009.

GIANNINI, P. C. F.; ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; KOGUT, J. S.; DELAI, M. S. 2004. A erosão na costa leste da Ilha do Mel, Baía de Paranaguá, Estado Paraná: modelo baseado na distribuição espacial de formas deposicionais e propriedades sedimentológicas. **Revista Brasileira de Geociências**, 34(2): p.231-242. Curitiba.

GOBBI, E. F., SOARES, C. R., ANGULO, R. J., LANA, P. C. 1995. Avaliação ambiental da construção do ancoradouro na Ilha do Mel. Relatório. Curitiba.

GRANT, W. D.; MADSEN, O. S. 1986. The continental-shelf bottom boundary layer. **Fluid Mechanics**. 18: p. 265-305.

GRASS, A. J. 1971. Structural features of turbulent flow over smooth & rough boundaries, **Journal of Fluid Mechanics**. V. 50: p. 233-255.

HAYES, M. O. 1975. Morphology of sand accumulations in estuaries. In: Cronin, L. E. (Ed.) **Estuarine Research, Geology and Engineering**. New York. Academic Press. V (2): p. 3-22.

ITCG – INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em 13 de novembro de 2008.

KOMAR, P. D. 1976. Boundary layer flow under steady unidirectional currents. In: STANLEY, D. J.; SWIFT, D. J. P. (Ed). **Marine Sediment Transport and Environmental Management**. Willey, New York. p. 91-106.

KRUMBEIN, W. C. 1934. Size frequency distributions of Sediments. **Journal of Sedimentary Research**. V (4).

LAMOUR, M. R. 2000. **Dinâmica sedimentar do canal da Galheta, via de acesso ao porto de Paranaguá**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. 102 p. Curitiba.

LAMOUR, M. R.; SOARES, C. R.; CARRILHO, J. C. 2004. Mapas de parâmetros texturais de sedimentos de fundo do complexo estuarino de Paranaguá – PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, Editora UFPR. 55: p. 77-82. Curitiba.

LAMOUR, M. R. 2007. **Morfodinâmica sedimentar da desembocadura do complexo estuarino de Paranaguá**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná. 162 p. Curitiba.

LANDIM, P. M. B. 1997. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. Editora UNESP, São Paulo, 226p.

LEEDER, M. R. 1982. **Sedimentology, process and products**. Publications George Allen & Unwin. p. 47-66. London.

LI, M. Z.; AMOS, C. L. 1999. Field observations of bedforms and sediment transport thresholds of fine sand under combined waves and currents. **Marine Geology** V. 158: p. 147–160.

LIMA, R. E.; NEGRELLE, R. R. B.; ANDRIGUETTO FILHO, J. M. 2002. O Projeto PADCT-NIMAD-LITORAL: uma visão geral. In: NEGRELLE, R. R. B.; LIMA, R. E. (Edts.). **Meio ambiente e desenvolvimento no litoral do Paraná: subsídios à ação**. Editora NIMAD – UFPR. p. 3-8.

LIMA, E. R. V. 2003. Erosão do Solo: fatores condicionantes e modelagem matemática. **Revista Cadernos do Logepa**. Série Pesquisa. Ano 1, Número 1 - Jan/Jun de 2003.

MIDDLETON, G. V.; SOUTHARD, J. B. 1984. Bed configurations. In: Mechanics of Sediment Movement: Short Course Number 3. **Society of Economic Paleontologists and Mineralogists**. Oklahoma. p. 241- 298.

MIDDLETON, G. V.; SOUTHARD, J. B. 1984.. Mechanics of sediment movement. S. E. P. M. Short Course. In: A short course on Marine Sediment Transport.

MOORE, C. H. 1989. Carbonate Diagenesis and Porosity. **Developments in Sedimentology**, 46. Amsterdã. Editora Elsevier. 338 p.

NIELSEN, P. 1992. Sediment mobility, bed-load and sheet flow. In: **Coastal Bottom Boundary-Layers And Sediment Transport**. Publications World Scientific, 95: p. 1-113.

NOERNBERG, M. A.; MARONE, E.; ANGULO, R. J. 2001. Detecção de processos costeiros associados a transporte de sedimentos em um evento pós frontal na costa do Paraná utilizando landsat7/etm+. **Anais** 10<sup>a</sup> SBSR, INPE. p 831-834. Foz do Iguaçu.

O'DONOGHUE, T.; CLUBB, G. S. 2001. Sand ripples generated by regular oscillatory flow. **Coastal Engineering**, V.44. p. 101– 115.

PARANHOS FILHO, A. C. 1996. **O processo erosivo e as variações morfodinâmicas praias na Ilha do Mel (Baía de Paranaguá – PR)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. 239 p. Curitiba.

POSSENTI, S.; LAMOUR, M. R. 2008. Classificação morfodinâmica das praias sob influência de um hemi-delta de maré enchente no litoral do Paraná. In: **Anais** 20<sup>a</sup> Semana Nacional de Oceanografia, p. 406-406. Arraial do Cabo.

PONZI, V. R. A. 2004. Sedimentação Marinha. In: NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. **Introdução à Geologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência. p.219-241.

PORTOBRÁS - EMPRESA DE PORTOS DO BRASIL S.A. 1983. Campanha de medições de ondas em Paranaguá – PR. Período de 21/08/82 à 21/01/83. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Hidrológicas. (INPH), 90 p.

REINECK, H. E.; SINGH. I. B. 1973. Current and Wave Ripples. In: SPRINGER-VERLAG (Edt.). **Depositional Sedimentary Environments**. New York. V. (439): p. 14-47.

RIOS, E. C. 1995. Seashells of Brazil. Fundação Universidade do Rio Grande. Rio Grande: Museu Oceanográfico, 1985. 329p.

ROBINSON, G. R. JR.; KAPO K. E.; GROSSMAN J. N. 2004. Chemistry of Stream Sediments and Surface Waters in New England. **U.S. Geological Survey**. Open-File Report 2004-1026. Version 1.0. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/of/2004/1026/index.htm>>. Acesso em 17 de outubro de 2009.

RUBIN, D. M.; MCCULLOCH, D. S. 1980. Single and superimposed bedforms: a synthesis of San Francisco Bay and flume observations. **Sedimentary Geology**, 26(1-3): p. 207-231.

SANTOS JÚNIOR, O. D. 2006. A Ilha do Mel no contexto do desenvolvimento turístico. **Revista Dialogando no Turismo**. São Paulo. Unesp, 2(1): p. 13-25.

SERAFIM, C. F. S.; HAZIN, F. 2005. O ecossistema costeiro. In: **Coleção Explorando o Ensino – Geografia: O Mar no Espaço Geográfico Brasileiro**. Ministério da Educação. Brasília. p. 101-131.

SOUZA, E. C. B.; KRUEGER, C. P.; SLUTER, C. R. 2003. Determinação das variações volumétricas no istmo da ilha do mel utilizando PDGPS. *Boletim de Ciências. Geodésicas*. Curitiba, V. 9(1): p. 53-74.

SPERB, M. P. 2006. **Turismo sustentável e gestão ambiental em meios de hospedagem: o caso da Ilha do Mel**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná. 234 p. Curitiba.

SUGUIO, K. 1973. **Introdução à sedimentologia**. Edgard Blücher Ed. 316, p. 15-90. São Paulo.

ZEM, R. 2005. Dinâmica sedimentar da Baía de Guaratuba – PR. Monografia de Bacharel em Pesquisa Oceanográfica. Universidade Federal do Paraná. 75 f. Pontal do Paraná.

ZEM, R., MARONE, E., PATCHINEELAM, S. M. 2005. Síntesis comparativa de métodos de análisis granulométrico de sedimentos. **Anais**, p. 211. 25º Congresso de Ciencias del Mar de Chile y 11º Congresso Latino Americano de Ciencias del Mar de Chile, Viña del Mar.

WENTWORTH, C. R. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, V.30. p. 377-392.