



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DA PRAIA DE
MACROMARÉ DE AJURUTEUA, PARÁ: UM ESTUDO PARA
DEFINIÇÃO DE ÍNDICES DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO
DERRAMAMENTO DE ÓLEO.**

Dissertação apresentada por:

FRANCISCA DE PAULA DA SILVA BRAGA

**BELÉM
2007**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

DSSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

B813m Braga, Francisca de Paula da Silva
Morfologia e sedimentologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Pará: um estudo para definição de Índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo / Francisca de Paula da Silva Braga; Orientador, Pedro Walfir Martins e Souza Filho – 2007
118 f. : il.
Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2007.

1. Sedimentologia. 2. Morfologia. 3. Índice de Sensibilidade Ambiental. 4. Praia de Ajuruteua (PA). 5. Amazônia. I. Universidade Federal do Pará. II. Souza Filho, Pedro Walfir Martins e, Orient. III. Título.

CDD 20º ed.: 551.354098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**MORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DA PRAIA DE
MACROMARÉ DE AJURUTEUA, PARÁ: UM ESTUDO
PARA DEFINIÇÃO DE ÍNDICES DE SENSIBILIDADE
AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO.**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

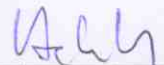
FRANCISCA DE PAULA DA SILVA BRAGA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **28/10/2007**

Comitê de Dissertação:


PEDRO WALFIR M. SOUZA FILHO (Orientador)


HELENICE VITAL


PAULO CÉSAR FONSECA GIANNINI

Belém

Aos meus pais José Francisco e Antonia, minha irmã Fernanda, ao meu esposo Joel pela compreensão e companheirismo, a minha avó Francisca, a Nilce e a minha querida filha Paloma Yasmin, enfim a todos àqueles que contribuíram para o meu crescimento.

AGRADECIMENTOS

Como foi bom ter conhecido pessoas maravilhosas que tiveram disposição para me ajudar neste meu trabalho. Não poderia deixar de agradecê-los, são muitos, mas tentei incluí-los nesta minha lista. São pessoas queridas que levarei no meu coração.

- Agradeço primeiramente ao meu Grande Deus, meu criador e criador dos céus e da terra, pelo dom da vida, pela sua grande misericórdia e o seu grande amor que nos concede a cada dia, pois sem ele, este trabalho não teria sentido nenhum na minha vida era correr “atrás do vento”.

- Ao PPGG pela oportunidade do ingresso no mestrado.

- A Agência Nacional de Petróleo pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro nas etapas de campo.

- A PETROBRAS e ao Projeto PIATAM mar.

- Ao Prof. Dr. Werner Truckenbrodt (UFPA) responsável pelo Laboratório de Sedimentologia e Minerais Pesados do Centro de Geociências da UFPA, pelo pré-processamento de todas as amostras e também a ajuda do técnico Lopes que tanto me auxiliou neste pré-processamento.

- Ao Laboratório de Análise de Imagens dos Trópicos Úmidos (LAIT) pela disponibilização dos computadores para a confecção das minhas figuras.

- Ao Prof. Dr. Tony por ceder o espaço do Lab. de Mecânica dos Solos para a realização dos ensaios geotécnicos. Também aos técnicos Maneca e Natalino que gentilmente me auxiliaram no trabalho.

- Ao Prof. Dr. Giannini, responsável pelo LABSED do Instituto de Geociências da USP,

pela disposição do laboratório para a análise granulométrica das minhas amostras e também pelo entusiasmo de corrigir esta dissertação.

- A técnica Elaine, ao chefe laboratorista, Isac, aos estagiários, Rodolfo, Vítor, Jaqueline, Simone porque me receberam muito bem e foram pacientes em me ensinar a fazer a análise.

- À professora Helenice Vital que participou da banca examinadora e que com muito entusiasmo corrigiu esta dissertação.

- Ao Departamento de Meteorologia, pois gentilmente cedeu os dados de direção e velocidade de vento da estação de Bragança.

- Aos meus pais queridos por terem dado todo apoio, educação, o amor e o carinho que precisei durante todo este tempo, principalmente porque cuidaram da minha filha. Eu os amo muito. A minha irmã Fernanda, ao Joel meu esposo que sempre me compreendeu e me apoiou, a minha avó Francisca e a Nilce que tanto me ajuda. Quero dizer que sou muito grata a vocês.

- Ao restante da minha família pelo ânimo e força.

- Sou grata também aos meus sogros aos meus cunhados, a Ylana, Lúcia, Paulinho e Paulinha, Elizia e Eder, pelo incentivo e força durante todo este tempo.

- Não poderia deixar de agradecer a pessoa que me orientou e me apoiou Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho, que com sua grande amizade e carinho me incentivou a correr atrás dos meus objetivos e com muita paciência ensinou-me a andar neste caminho da pesquisa. **MUITO OBRIGADA.**

- À geóloga Susane Rabelo, pelas sugestões e idéias e por dispor em me ajudar no meu trabalho.

- Ao Prof. Dr. Casseb pelo auxílio na interpretação dos dados de ventos.

- Sou muito grata ao Afonso Quaresma que me suportou nas viagens de campo, me ajudou bastante. Sempre lembrarei de nossa amizade.
- Aos geólogos Marcelo Moreno, Poliana, ao oceanógrafo Eupídio, Rafael e a todos os colegas que me ajudaram no campo para a coleta das amostras.
- Ao proprietário da pousada que sempre ficamos na praia de Ajuruteua, Celso, pela sua hospitalidade e também aos moradores de lá pela compreensão do trabalho, em especial ao famoso “Severino”, meu ajudante nos campos.
- Às amigas geólogas Messiana, Ana Glória e Gilmara por estar presente no meu caminho, sempre podendo contar com elas em tudo.
- Aos colegas do LAIT, Francisco, Fabrício, Fernando, Helenice, Eunice, Lourival, Elaine, Carlos, Gabi, Edson, Dn. Maria e é claro, àquelas que resolvem nossos “pepinos” do dia-a-dia, Glenda e Karla.
- À Hienes, porque na hora do sufoco com o meu computador, cedeu o dela para o trabalho.
- Talvez tenha esquecido alguém nesta minha lista, mas quero dizer que sou muito grata e sem a ajuda de todos vocês o meu trabalho não se realizaria. **OBRIGADÃO!**

“Não há derrota que derrote quem nasceu para vencer”

Desconhecido

RESUMO

A praia de macromaré de Ajuruteua, no norte do Brasil, está sujeita a poluição por óleo em função das rotas de navios petroleiros. Deste modo é importante que sejam conhecidas as características ambientais, para que possam ser traçados planos de contingência, de modo a identificar os ambientes mais sensíveis à poluição por óleo. O objetivo deste trabalho foi estudar a variação espacial e sazonal das propriedades granulométricas e morfológicas ao longo da Zona de Intermaré (ZI), assim como a permeabilidade, usando-os como parâmetros para estabelecer o Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA) ao derramamento de óleo na zona de intermaré.

Para a realização desta pesquisa, foram estabelecidos 23 perfis topográficos a partir das dunas frontais até 1,5 m de profundidade na zona inframaré (ZI), em condição de maré baixa de sizígia. Ao longo dos perfis, amostras sedimentares foram coletadas nos meses de junho, setembro e dezembro de 2005 e março de 2006. Testemunhos sedimentares foram coletados em nove pontos representativos da praia para se obter as propriedades físicas dos sedimentos. As amostras sedimentares foram processadas em um granulômetro a laser da Malvern no intervalo de $1/8\phi$. Os dados topográficos foram coletados com uma estação total *Topcon*, e processados nos programas TOPOGRAPH 98SE e GOLDEN SOFTWARE (SURFER 8.0).

Os resultados mostram variações sazonais na distribuição morfológica e granulométrica na Zona Intermaré. Nos meses de junho e dezembro, a zona intermaré é plana e os sedimentos da zona Intermaré superior (ZIS) são finos, bem selecionados, apresentando assimetria positiva, e tendem a engrossar em direção a zona de intermaré inferior (ZII), onde os sedimentos se tornam moderadamente a pobremente selecionados e negativamente assimétricos. Enquanto que em março e setembro verifica-se a presença de um sistema de crista e calha que influencia na heterogeneidade da distribuição dos sedimentos na zona Intermaré. O tamanho dos grãos varia de areia fina a média, bem a mal selecionada com assimetria negativa. Nas calhas, os sedimentos tendem a ser mais grossos, com assimetria negativa e moderadamente selecionados.

Para a confecção do mapa ISA da praia de Ajuruteua, classificou-se o índice 3A, como menos sensível e o índice 3E como o mais sensível. Em junho e dezembro, a zona de intermaré inferior é mais sensível (índice 3D) ao derramamento de óleo do que a zona de intermaré superior (índice 3A). Em março e setembro, a sensibilidade é maior principalmente na calha (3E), que funcionaria como armadilha, o que dificulta a limpeza do óleo.

Palavras-chaves: Ajuruteua, praia de macromaré, mapas de ISA, variação granulométrica, morfologia praial.

ABSTRACT

The Ajuruteua macrotidal beach located in Northern Brazil is subject to oil pollution in response to the routes of tanker ships. Hence, it is very important to know the environmental characteristics to establish contingency plans. The aim of this work is to investigate the spatial and seasonal changes in grain size and morphologic properties along the intertidal zone (IZ) to define environmental sensitivity index (ESI) to oil spill in this beach zone. During this research it was carried out 23 beach profiles from foredunes to 1 m in deep in the subtidal zone under low spring tide condition. Along this profiles, sedimentary samples were collected in June, September and December 2005 (solsticious) and March 2006 (equinoctials). Sedimentary samples were analyzed in laser granulometer (Malvern Mastersize 2000) in $1/8\phi$ interval. Topographical data were collected by TOPCON total station and processed using TOPOGRAPH 98SE and GOLDEN SOFTWARE (SUFER 8.0).

The results show seasonal variations in the grain size and morphologic distribution in the IZ. On June and December the IZ is flat, while on March and September we observe the occurrence of a ridge and runnel system. On June and December, the upper IZ sediments are fine, well sorted, with positive skewness, tending to be coarser in direction to lower IZ, where the sediments are moderately to poorly sorted, with negative skewness. On September and March, it was observed heterogeneity on IZ sediment distribution; the grain size changes from fine to medium, from well to poorly sorted, with negative skewness. In the runnel, the sediments tend to be coarser with negative skewness and moderately sorting.

To Ajuruteua beach ESI map elaboration we classified the index 3A as less sensible and the index 3E as more sensible. On June and December the lower IZ is more sensible (index 3D) to oil spill than upper IZ (index 3A). On March and September, the sensibility is higher, mainly along the runnel (3E), that work out as a trap, difficulting the oil cleaning.

Key-word: Ajuruteua, macrotidal beach, ESI maps, variations granulometric, morphology of beach.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Derrames de óleo por categoria no mundo – 1970 a 2005.....	18
Figura 1.2: Rotas mais comuns de navios petroleiros na costa do Pará/Maranhão.....	19
Figura 2.1: Mapa de localização da área em estudo.....	21
Figura 2.2: Mapa de localização da área em estudo e dos ambientes costeiros e direções de deriva litorânea da praia de Ajuruteua.	23
Figura 2.3: Precipitação média mensal na região bragantina, estação Tracueteua (82145).....	24
Figura 2.4: Destruição de barracas na praia de Ajuruteua durante a maré alta de sizígia ocorrida em março de 2006.....	27
Figura 3.1: Perfil geral das zonas de pos-praia, intermaré e Inframaré.....	31
Figura 3.2: Fluxograma mostrando as informações necessárias para a classificação da zona costeira quanto a seu índice de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo.....	33
Figura 3.3: Fontes de introdução de óleo no mar (%).....	38
Figura 4.1: Mapa de amostragem dos perfis de praia e de sedimentos na zona de intermaré da praia de Ajuruteua.....	39
Figura 4.2: Estação Total posicionada sobre uma base de concreto preparada para a visada (A); Perfil topográfico ao longo da zona de intermaré da praia de Ajuruteua sob vários ângulos (B); e (C) Leitura nos prismas nos pontos estabelecidos nos postes.....	40
Figura 4.3: Coleta das amostras sob maré baixa de sizígia: (A) amostrador e (B) operação de coleta dos sedimentos.....	41
Figura 4.4: Difratômetro a <i>laser Malvern Mastersize 2000</i> conectado a um microcomputador.....	43
Figura 4.5: Unidade de dispersão a seco <i>Scirocco</i> do granulômetro Malvern.....	43
Figura 4.6: Unidade de dispersão a úmido <i>Hydro2000</i>	44
Figura 4.7: Imagem do <i>software Mastersize 2000</i> iniciando a medição.....	45
Figura 4.8: Um dos relatórios fornecidos pelo <i>software</i> mostrando a curva granulométrica e as classes granulométricas. Os relatórios são mostrados na janela de medição marcados pelo retângulo vermelho.....	46
Figura 4.9: Amostras secas coletados na praia.....	47
Figura 4.10: Cilindro com os sedimentos pesados em balança.....	48
Figura 4.11: Mesa vibratória.....	49
Figura 4.12: Níveis de água montante e junsante do painel de permeâmetro.....	50
Figura 4.13: Detalhe do corpo de prova saturado no painel de permeâmetro.....	50
Figura 4.14: Retirada do material úmido usado para o ensaio de teor de umidade.....	52
Figura 4.15: Pesagem das cápsulas de alumínio em balança com capacidade de 200g.....	52
Figura 5.1: Grau de correlação linear entre os parâmetros média e mediana.....	56
Figura 5.2: Comportamento da média nos quatro períodos: (A) junho, (B) setembro e (C) dezembro de 2005 e, (D) março de 2006.....	58
Figura 5.3: Comportamento do desvio padrão nos quatro períodos: (A) junho, (B) setembro, (C) dezembro de 2005 e (D) março de 2006.....	61
Figura 5.4: Comportamento da assimetria nos quatro períodos: (A) junho, (B) setembro, (C) dezembro de 2005 e (D) março de 2006.....	64

Figura 5.5: Morfologia praial do mês de junho de 2005.....	66
Figura 5.6: Morfologia praial do mês de dezembro de 2005.....	66
Figura 5.7: Morfologia praial do mês de março de 2006, com detalhe nos canais representados por linhas.....	67
Figura 5.8: Morfologia praial do mês de setembro de 2004, com detalhe no canal representado por linhas.....	67
Figura 5.9: Ajuruteua, praia do tipo dissipativa, com baixa declividade e composta por sedimentos predominantemente finos.....	70
Figura 5.10: Relação entre morfologia e distribuição granulométrica. (A) Diâmetro médio e (B) Desvio padrão em perfis representativos nas quatro campanhas.....	72
Figura 5.11: Setas que mostram as ondas erodindo as dunas e depositando os sedimentos em leques de lavagem. Tais sedimentos também são erodidos das dunas e depositados na ZIS.....	73
Figura 5.12: Sedimentos transportados e depositados na ZIS. Detalhe que mostra a direção dos ventos.....	73
Figura 5.13: Relação da média e desvio padrão nas três zonas (superior, média e inferior) durante os quatro períodos estudados.....	75
Figura 5.14: Relação entre a média e assimetria para as três zonas da zona de intermaré (superior, média e inferior).....	77
Figura 5.15: Cotas de níveis do mês de junho de 2005. A seta indica a existência de dunas na zona de supramaré.....	80
Figura 5.16: Cotas de níveis do mês de dezembro de 2005. Note que a presença de dunas diminuiu.....	80
Figura 5.17: Cotas de níveis do mês de março de 2006. Observa-se um leque de lavagem na zona de supramaré, apontado pela seta, que indica a inexistência das dunas.....	81
Figura 5.18: Ruptura das dunas (a) e deposição dos sedimentos na pós-praia (b).....	81
Figura 5.19: Leques de lavagem produzidos por efeito da maré de sizígia no mês de março de 2006.....	82
Figura 5.20: Diferenças na morfologia praial encontradas em um intervalo de seis meses. A casa circulada é o ponto de referência escolhido para a comparação e as setas mostram a posição de dunas eólicas que passam a não existir no mês de março.....	82
Figura 5.21: Perfis multitemporais de erosão e deposição de sedimentos em diferentes períodos. (A) Perfil 1 e (B) Perfil 2.....	84
Figura 6.1: Desvio padrão e Tamanho médio <i>versus</i> permeabilidade, ao longo dos três perfis nas três zonas (ZIS, ZIM e ZII).....	88
Figura 6.2: Mapa ISA de Ajuruteua: (a) junho, (b) dezembro e (c) março.....	92
Figura 6.3: Perfil dos processos do destino do óleo que ocorrem na praia.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Variáveis meteorológicas na região bragantina	24
Tabela 3.1 - Proposta de adaptação dos métodos NOAA (2002) e Petrobras (2002) para a zona costeira amazônica	35
Tabela 5.1 - Características das condições morfodinâmicas da praia de Ajuruteua.....	68
Tabela 6.1 - Coeficientes de permeabilidade (K) encontrados para ensaios realizados nas três zonas da Zona de Intermaré.....	87
Tabela 6.2 - Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA) adaptado para a praia de Ajuruteua.....	90

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 PRAIAS DE MACROMARÉ E SEUS ÍNDICES DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	20
2 ÁREA DE ESTUDO.....	21
2.1 LOCALIZAÇÃO.....	21
2.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA COSTEIRA.....	22
2.3 ASPECTOS METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS.....	23
2.3.1 Clima.....	23
2.3.2 Marés, correntes e ondas.....	25
2.4 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS.....	25
3 MORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DE PRAIAS ARENOSAS DE MACROMARÉS.....	28
3.1 MORFOLOGIA.....	28
3.2 DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS.....	31
3.3 ÍNDICES DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO EM PRAIAS ARENOSAS.....	32
3.3.1 Índice de Sensibilidade Ambiental a derramamento de óleo (ISA).....	32
3.3.1.1 Grau de exposição à energia de ondas e marés.....	33
3.3.1.2 Declividade da praia.....	34
3.3.1.3 Tipos de substrato.....	34
3.3.2 Índice de Sensibilidade Ambiental na zona costeira amazônica.....	35
3.3.3 Fontes de poluição por petróleo.....	36
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	39
4.2 ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM.....	39
4.3 TRABALHO DE CAMPO.....	40

4.3.1 Perfis topográficos.....	40
4.3.2 Amostragem superficial de sedimentos.....	41
4.3.3 Amostragem de testemunho para o ensaio geotécnico.....	41
4.4 TRABALHO DE LABORATÓRIO.....	42
4.4.1 Análise sedimentológica a <i>laser</i>.....	42
4.4.1.1 Preparação das amostras.....	42
4.4.1.2 Granulômetro a <i>laser</i>	42
4.4.2 Ensaio geotécnico.....	46
4.2.2.1 Índices de vazios máximos e mínimos.....	47
4.2.2.2 Ensaio de permeabilidade.....	49
4.2.2.3 Ensaio de porosidade.....	51
4.2.2.4 Ensaio de teor de umidade.....	52
4.2.2.5 Grau de saturação.....	53
4.4.3 Determinação e análise dos parâmetros estatísticos e modelo 3D dos perfis de praia.....	54
5 MORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DA PRAIA DE MACROMARÉ DE AJURUTEUA.....	55
5.1 DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS.....	56
5.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA.....	65
5.3 DISCUSSÕES.....	69
5.3.1 Aspectos da variação granulométrica.....	69
5.3.1.1 Tamanho médio de grão da face praial e declividade.....	69
5.3.1.2 Relação entre tamanho médio do grão e o desvio padrão.....	74
5.3.1.3 Relação entre tamanho médio do grão e assimetria.....	76
5.3.1.4 Análise da variação granulométrica entre os meses.....	78
5.3.2 Aspectos morfológicos.....	79
5.4 CONCLUSÕES.....	84
6 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE AMBIENTAL DA PRAIA DE MACROMARÉ DE AJURUTEUA AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO.....	87
6.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	87
6.1.1 Ensaio de permeabilidade com água.....	87
6.1.2 Classificação dos índices de sensibilidade a derramamento de óleo na zona de intermaré.....	89

6.1.2.1 Índice 3A - Zona de Supramaré.....	92
6.1.2.2 Índice 3B - Zona de Intermaré Superior.....	92
6.1.2.3 Índice 3C - Zona de Intermaré Média.....	93
6.1.2.4 Índice 3D - Zona de Intermaré Inferior.....	93
6.1.2.5 Índice 3E - Calhas.....	94
6.1.3 Plano de contingência em caso de derramamento de óleo na praia de Ajuruteua.....	94
6.1.3.1 Tipo de óleo.....	94
6.1.3.2 Ações remediadoras.....	95
6.2 CONCLUSÕES.....	98
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
REFERÊNCIAS.....	101
ANEXO A - Índices físicos dos sedimentos na ZIS, ZIM e ZII do ponto 22.....	107
ANEXO B - Índices físicos dos sedimentos na ZIS, ZIM e ZII do ponto 32.....	109
ANEXO C - Índices físicos dos sedimentos na ZIS, ZIM e ZII do ponto 42.....	111
ANEXO D - Permeabilidade das ZIS, ZIM e ZII do ponto 22.....	113
ANEXO E - Permeabilidade das ZIS, ZIM e ZII do ponto 32.....	115
ANEXO F - Permeabilidade das ZIS, ZIM e ZII do ponto 42.....	117

1 INTRODUÇÃO

1.1 PRAIAS DE MACROMARÉ E SEUS ÍNDICES DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO

Acidentes com óleo no mar são freqüentes, causando diversos impactos ao ambiente e comunidades biológicas, além de prejuízos socioeconômicos. Para tanto, a NOAA (2002a) desenvolveu metodologia composta por escala de valores entre 1 e 10, que expressam a sensibilidade da costa à ação das ondas, penetração do óleo no substrato, persistência natural do óleo na costa, e produtividade biológica dos organismos que ali se encontram. O valor de índice igual a 1 corresponde aos ambientes menos sensíveis e o valor 10 aos mais sensíveis. Este método pode ser aplicado às zonas subárticas, temperadas e tropicais. A escala de sensibilidade padronizada inclui ambientes fluviais, estuarinos e lacustres.

A poluição do mar por petróleo está intimamente relacionada ao derramamento de óleo, que tem representado séria ameaça para a qualidade ambiental de regiões costeiras em todo o mundo. Apesar dos constantes avanços nos sistemas de segurança operacional, sejam eles relativos à exploração ou ao transporte de petróleo e derivados, a ocorrência de acidentes nesse ramo de atividade ainda é muito freqüente (NOERNBERG; LANA, 2002).

Estima-se que a quantidade de óleo derramado anualmente em todo o mundo ultrapasse 4,5 milhões de toneladas. Os maiores contribuintes para estes números são as operações de limpeza dos reservatórios dos navios petroleiros (**Figura 1.1**), em que o óleo é despejado ilegalmente no oceano, sendo assim responsáveis por aproximadamente 45% da poluição (ESA, 1998).

Os acidentes que ocorrem em navios tanques situados próximos à costa são aqueles que mais contribuem para os danos ambientais. Segundo as estatísticas da ITOPF (2001), os 20 maiores acidentes com navios ocorreram em sua maioria em regiões de mares profundos e provocaram pouco ou nenhum dano ambiental às regiões costeiras. Uma exceção foi o acidente ocorrido com o navio tanque Exxon Valdez no Alaska em 1989, causador de grande impacto ambiental.

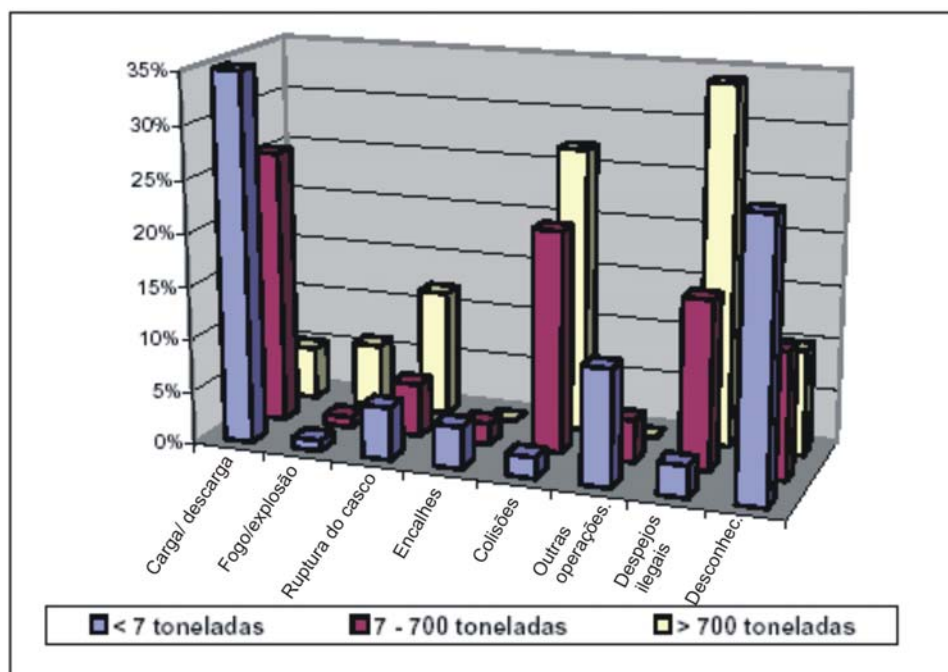


Figura 1.1: Derrames de óleo por categoria no mundo – 1970 a 2001.
Fonte: Elaborada a partir da ITOPF (2001).

No Brasil, derrames de óleo têm sido registrados, como por exemplo, o ocorrido no Estado do Pará na madrugada do dia 4 de fevereiro de 2000, quando a balsa Miss Rondônia, da empresa Texaco, afundou no rio Pará, a aproximadamente 400m do porto de Vila do Conde, em Barcarena, a 35 km de Belém, com 1900 ton de óleo combustível do tipo A-1 (BERREDO et al., 2001). Dentro deste contexto de ambientes costeiros, têm-se as praias e planícies arenosas de macromarés como importantes ambientes suscetíveis a esse tipo de danos. Nestas áreas, encontram-se rotas de navios petroleiros que são potenciais causadores de acidentes com derramamento de óleo (Figura 1.2).

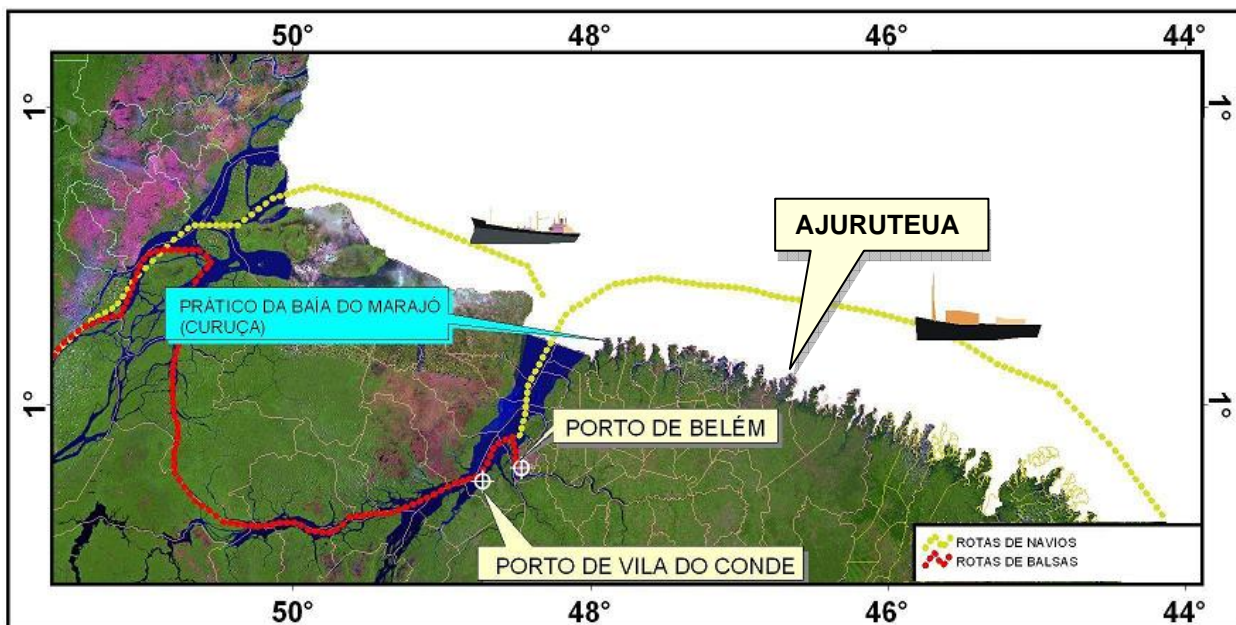


Figura 1.2: Rotas mais comuns de navios petroleiros na costa do Pará/Maranhão.

As praias arenosas de macromarés no Brasil estão restritas ao Norte do país. Estes ambientes apresentam uma relativa sensibilidade à poluição por petróleo, podendo aumentar a persistência por um longo período. Desta forma, é importante que sejam conhecidas as características ambientais de áreas vulneráveis. O conhecimento das características morfológicas, sedimentares e de sensibilidade ambiental das praias e planícies arenosas de macromaré, tem um destaque especial, pois refletem as atividades dinâmicas dos processos costeiros (ondas, marés e ventos) e, permitem definir os diferentes índices de sensibilidade ambiental, para que possam ser traçados planos de contingência em casos de derramamento de petróleo. Nestes eventos, pode ser possível o reconhecimento dos subambientes praias mais sensíveis, contribuindo, também, com a valoração do dano e a mensuração dos impactos sócio-ambientais.

As praias arenosas de macromaré tenderiam a apresentar maior capacidade de autolimpeza ou depuração, mas segundo Noernberg e Lana (2002) não há evidências conclusivas sobre isto. Deste modo, é importante que em áreas vulneráveis a derramamentos, sejam conhecidas as suas características ambientais, para que possam ser traçados planos de contingência, e identificados os ambientes mais sensíveis e de proteção prioritária (NOAA, 2002a).

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é determinar os índices de sensibilidade ao derramamento de óleo do ambiente praial, em especial da zona de intermaré da praia de Ajuruteua, dominada por processos de macromaré e fortemente influenciada por ondas na costa do Pará. Isto permitirá entender de que forma os parâmetros sedimentológicos, morfológicos e geotécnicos influenciam no comportamento do óleo nesta praia. A integração desses dados em ambiente SIG permitirá a construção de um banco de dados que servirá de base à tomada de medidas preventivas e reparadoras em caso de acidente envolvendo derrames de óleo nessa região.

Definem-se como objetivos específicos:

- Analisar as variações sazonais da morfologia praial ao longo da praia;
- Classificar os sedimentos através dos métodos de Folk e Ward (1957);
- Analisar os modelos de elevação da praia;
- Caracterizar as propriedades físicas dos sedimentos através de ensaios geotécnicos, em laboratório, de amostras de testemunhos;
- Gerar cartas de sensibilidade ambiental a partir do modelo da NOAA (2002), que traduz os índices de sensibilidade ambiental a derrame de óleo e derivados na zona de intermaré de praias de macromaré;

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO

A planície costeira bragantina, no nordeste do Estado do Pará, apresenta cerca de 40 km de linha de costa, estendendo-se desde a Ponta do Maiaú até a foz do rio Caeté, entre as coordenadas 00°30'-01°S / 46°35'-46°54'W (**Figura 2.1**).

A área em estudo inserida neste contexto geográfico corresponde à praia de Ajuruteua, localizada a 36 km da cidade de Bragança. Esta praia apresenta cerca de 2 km de extensão e é delimitada por dois canais de macromarés com deltas de maré vazante associados, representados pelo canal da Barca (SE) e do Chavascal (NW) (SOUZA FILHO, 1995).

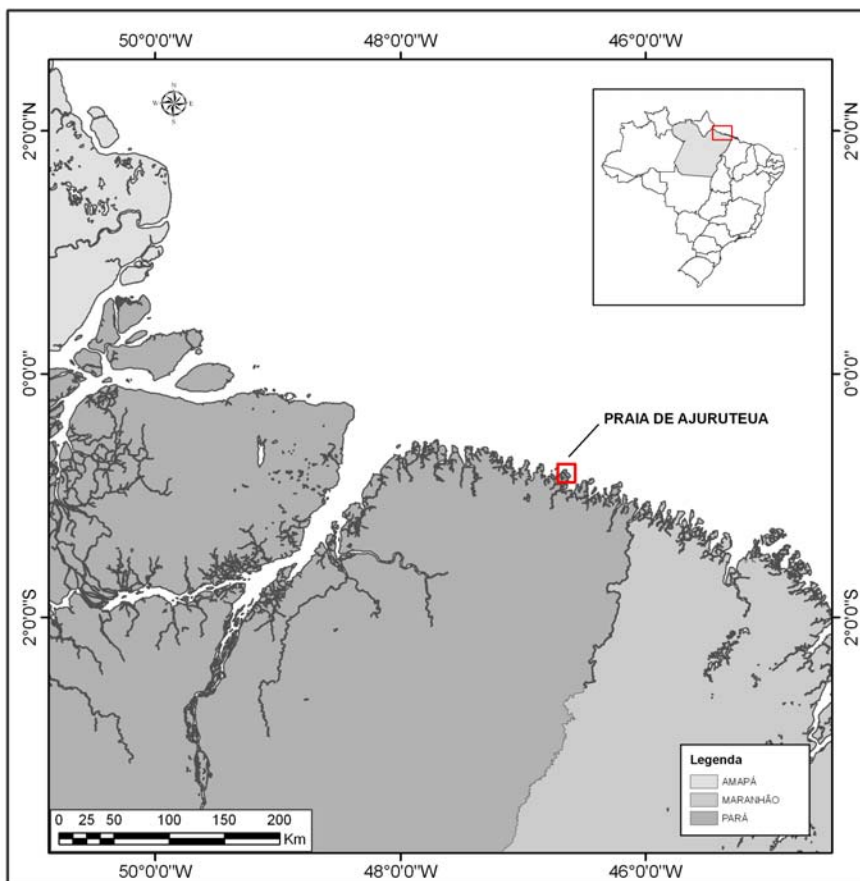


Figura 2.1: Mapa de localização da área em estudo.

2.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA COSTEIRA

A área em estudo está inserida no contexto geológico local da Bacia costeira de Bragança-Viseu de idade cretácea e sua evolução é controlada por falhas normais de direção NW-SE atingindo a presente zona costeira (SOUZA FILHO, 2001).

O embasamento da planície costeira é formado por sedimentos terciários do Grupo Barreiras que constitui o Planalto Costeiro. Apresenta uma superfície plana arrasada, suavemente ondulada e fortemente dissecada, com cotas entre 50 e 60m, que diminuem progressivamente em direção à planície costeira. O contato entre eles é marcado por uma mudança litológica (sedimentos areno-argilosos avermelhados do Grupo Barreiras e lamosos da planície costeira), vegetacional (floresta secundária e mangue) e morfológica brusca (falésias mortas de até 1m de altura) (SOUZA FILHO; EL-ROBRINI, 1996).

Regionalmente, a área está inserida em uma costa de ilha barreira transgressiva desenvolvida em condição de macromaré (SOUZA FILHO et al. 2004). Souza Filho e El-Robrini (1996) compartimentaram a geomorfologia da planície costeira bragantina em três domínios morfológicos: (1) planície aluvial, com canal fluvial, diques marginais e planície de inundação; (2) planície estuarina, com um canal estuarino subdividido em funil estuarino, segmento reto, segmento meandrante e canal de curso superior, canal de maré e planície de inundação e; (3) planície costeira, com os ambientes de pântanos salinos (interno e externo), planície de maré (manguezais de supramaré, manguezais de intermaré e planície arenosa com baixios de maré), *cheniers*, dunas costeiras e praias (**Figura 2.2**).

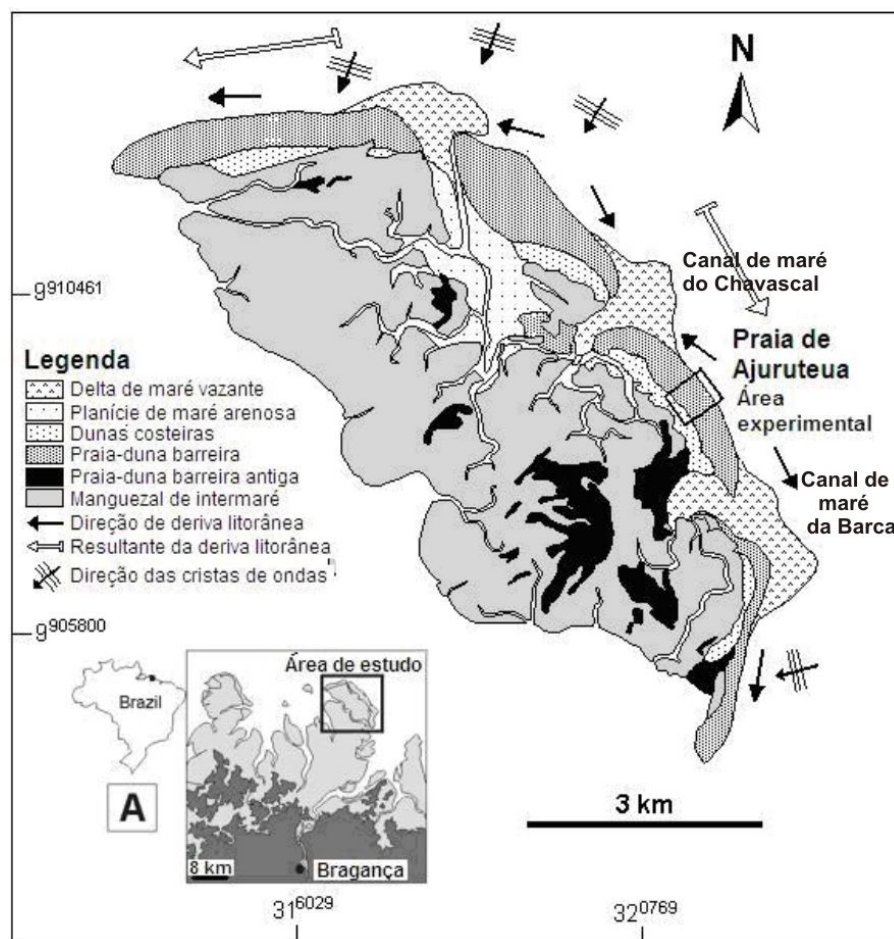


Figura 2.2: Mapa de localização da área em estudo e dos ambientes costeiros e das direções de deriva litorânea da praia de Ajuruteua.

Fonte: SOUZA FILHO; TOZZI; EL-ROBRINI, 2003.

2.3 ASPECTOS METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS

2.3.1 Clima

O clima na região é caracterizado segundo a classificação de Köppen como equatorial quente e úmido do tipo Am2 (MARTORANO et al., 1993). É megatérmico, com estação seca prolongando-se de junho a novembro, e um período chuvoso bem acentuado com fortes chuvas nos demais períodos do ano (dezembro a maio), principalmente no mês de março onde apresenta o maior pico chuvoso (**Figura 2.3**).

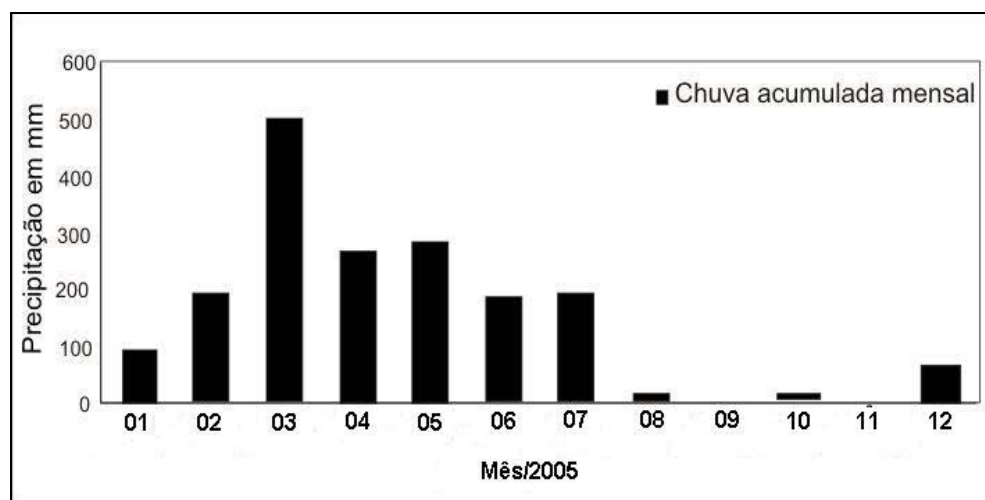


Figura 2.3: Precipitação média mensal na região bragantina na estação Tracuateua (82145)
Fonte: INMET (2005).

A variação média anual de temperatura da região é amena, entre 21,1° e 30,0°, com média de 25,5°C, e os valores mais elevados são observados nos meses de agosto a outubro, quando atinge 42° C. O regime pluviométrico é o grande responsável pela variação térmica. A precipitação gira em torno de 2500 a 3000 mm/ano, e a umidade relativa do ar oscila entre 80 e 91%.

Na **Tabela 2.1**, são apresentadas algumas variáveis meteorológicas na região costeira bragantina segundo Silva (2001).

Tabela 2.1 – Variáveis meteorológicas na região bragantina.

PARÂMETRO METEOROLÓGICO	QUANTIFICAÇÃO
Brilho Solar	80% do total possível (agosto a novembro)
Umidade relativa do Ar	80 a 91% (média anual)
Temperatura	25,5° C (média anual)
Nebulosidade	Máxima no período chuvoso
Velocidade do vento	1,5 m/s (valor médio)
Precipitação	2.500 a 3000 (média anual)
Evaporação	4,4 mm/dia – 5,2/dia (litoral)

Fonte: Silva (2001)

2.3.2 Marés, correntes e ondas

A posição geográfica do nordeste do Pará (0° - 1°) de latitude norte, aliadas a seus embaiamentos costeiros e à grande extensão da Plataforma Continental do Pará/Maranhão, proporciona o desenvolvimento de um ambiente de alta energia (SOUZA FILHO, 1995).

Esta região está dominada por macromarés de flutuações semidiurnas com amplitudes variando de 4 a 6 m. A incidência de ondas na linha de costa gera correntes costeiras, e o seu ângulo de incidência nas praias é que determinará o tipo de circulação costeira.

Na costa paraense, as correntes de marés, e secundariamente, as correntes litorâneas, resultantes das chegadas de ondas à costa, são responsáveis pelo transporte de sedimentos da plataforma continental para o litoral. Na região, as correntes atingem velocidades máximas superiores a 1,5 nós (ALVES, 2001).

Observações feitas *in situ* por Alves (2001) mostraram que a altura das ondas chega a atingir 1,2 m no período chuvoso e 1,0 m no período seco, durante períodos de marés equinociais. De acordo com Reineck e Singh (1980), quando a praia apresenta altura de onda de moderada a alta, entre 1 e 2 m, é considerada de alta energia.

No litoral paraense durante o período chuvoso, atuam os ventos alísios de nordeste precedidos geralmente de calmaria e quase sempre acompanhado de rajadas violentas e chuvas intensas. No período seco, os ventos são muito mais intensos, causando maiores influências na geração das ondas, que se tornam muito mais energéticas (SILVA, 2001).

2.4 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

A Praia de Ajuruteua está inserida na Costa Atlântica do Salgado Paraense (GERCO, 1996). Aproximadamente 80% da ilha é ocupada pelas florestas de manguezais e os primeiros 700m sobre a linha de maré alta são ocupados por 130 casas, distribuídos em cinco ruas incluindo a área da praia, onde 108 famílias residem. O aumento da ocupação da praia iniciou nos anos 70 e atualmente é uma das praias mais freqüentadas da Amazônia costeira (PEREIRA et al. *In press*). Contudo, a rodovia

PA-458 que foi construída sobre extensos depósitos da planície de intermaré lamosa, densamente colonizada por mangue, seccionou 25 km de manguezais causando impacto sobre as áreas costeiras da região (SOUZA FILHO, 2001).

Na vila de Ajuruteua habitam aproximadamente 392 moradores (IBGE, 2005). Durante um trabalho envolvendo pesquisa sócio-econômica realizado por Pereira et al. (*in press*), a maioria entrevistada foram homens (54,8%), entre 18 e 35 anos (31,45%), casados (50,81%), trabalhadores (62,90%), com rendimento mensal menor que cinco salários (58,06%); vivem com a família (85,48%), em sua casa própria (85,48%), com 2 a 4 pessoas (34,68%) e não apresentam escolaridade completa.

A produção do pescado e a variação do número/freqüência de turistas na praia durante o veraneio e finais de semanas são responsáveis pelo desequilíbrio do capital que gira na vila. Os moradores sobrevivem principalmente de recursos de pesca, como caranguejo, peixe, camarão, etc. A agricultura (frutas e jardins vegetais) e a criação de aves (galinha, pato, etc) são também alternativas de alimentação nestas residências.

Os intensos processos erosivos, principalmente, no setor nordeste da praia vêm destruindo muitos estabelecimentos (bares, casas e pousadas), a maioria deles instalada junto à linha de escarpa de praia (**Figura 2.4**).



Figura 2.4: Destruição de barracas na praia de Ajuruteua durante a maré alta de sizígia ocorrida em março de 2006.

Os estabelecimentos que não são destruídos pelos processos dinâmicos locais são facilmente desmontados e transportados para locais mais protegidos. Para conter a erosão, alguns moradores construíram muros de madeira que vêm afetando a dinâmica morfo-sedimentar, influenciando na evolução natural do ambiente praial.

Em contraposição, o setor sudeste da praia, submetido a um processo de acresção da linha de costa, apresenta todas as construções situadas a pelo menos 10 m da escarpa de praia.

3 MORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DE PRAIAS ARENOSAS DE MACROMARÉS

A praia é a zona de proteção contra a ação destrutiva das ondas, sendo um dos ecossistemas mais frágeis do planeta. As praias dominadas por flutuações de macromarés no Brasil estão distribuídas no litoral do Pará, do litoral sul ao cabo norte do Amapá e ao Estado do Maranhão que são caracterizados por marés de amplitudes maiores que 4m (MUEHE, 1998).

Há várias definições para o termo "praia". Segundo King¹ (1973, apud SILVA, 2000), praia é um ambiente sedimentar costeiro, de composição variada, formado mais comumente por areia e condicionado pela interação dos sistemas de ondas incidentes sobre a costa. Komar (1976) define a praia como um depósito de sedimentos não coesivos e inconsolidados sobre a zona costeira. São dominados primariamente por ondas, limitado internamente pelos níveis máximos da ação de ondas de tempestades, ou onde haja mudança abrupta de sedimentos e/ou declividade, (como zonas de dunas ou falésias) e externamente pelo início da zona de arrebenção ou o nível de maré mais baixa de sizígia, quando o corpo de água é sujeito a flutuações de macromarés.

De acordo com Short (1999), a ocorrência de praias é totalmente dependente das ondas e sedimentos, porém é independente de muitos outros processos e conseqüentemente as praias ocorrem em todas as latitudes, climas, amplitudes de marés e tipos de costas. Podem ser entretanto, influenciadas e modificadas por processos como marés e ventos e outros parâmetros, tais como, biota, química da água, ar e temperatura.

3.1 MORFOLOGIA

A zona costeira constitui uma zona de fronteira sujeita às contínuas alterações morfodinâmicas ocorridas temporalmente e espacialmente, em função de uma série de processos geológicos continentais e marinhos (SILVA et al. 2004).

¹ KING, C. A. M. **Beaches and Coasts**. 2nd. Edward Arnold, 1973, 570p.

Diante deste contexto, as praias compõem o ambiente frontal do sistema costeiro, tornando-se altamente dinâmica, suas características morfológicas refletem o agente modificador predominante (ondas e marés) e os atributos dos sedimentos que as compõem, principalmente a granulometria.

A morfodinâmica da praia em estudo está intimamente associada a variações sazonais relacionadas ao ciclo hidrológico. A variação sazonal da morfodinâmica praias mostra que as praias podem perder areia para o transporte mar afora durante a estação mais chuvosa, quando os estuários e canais de marés apresentam um maior volume de água e as ondas tendem a ser mais energéticas que as da estação menos chuvosa. O resultado final é uma mudança sazonal da areia para as zonas distantes da face de praia, neste caso, barras arenosas localizadas a centenas de metros costa afora, orientada paralelamente a linha de costa. Durante os períodos menos chuvosos, a massa de água na zona de espraiamento, possui menor quantidade de energia turbulenta, sendo que as areias removidas para trás da zona de arrebentação tendem a migrar novamente, agora em direção a zona de espraiamento (MASSELINK; SHORT, 1993). Wright et al. (1982) e Hughes e Turner² (1999 apud NUBER, 2004) complementam que se o transporte em direção ao mar predominar, o perfil da face da praia tornar-se-á mais plano, e se o transporte em direção à costa predominar, o perfil se tornará mais íngreme.

O levantamento topográfico dos perfis das praias de macromaré revelou que estas praias caracterizam-se por apresentar baixas declividades, com valores entre 1°41' e 2°30', tendo como valor médio 1°52' ($\text{tg}\beta = 0,019$). Geralmente estas praias apresentam traçado retilíneo, orientado segundo a direção NW-SE, apresentando, em determinadas situações, extremidades curvas, onde ocorrem vez por outra canais de maré. Ao longo destes segmentos praias, a largura média da zona de intermaré, desde a base das dunas frontais até a linha de maré baixa média, varia entre 250m e 500m. As únicas irregularidades que interrompem a homogeneidade das praias são os canais de maré, os quais configuram deltas de maré vazante e enchente (ALVES 2001; SOUZA FILHO 2001).

² HUGHES, M. G.; TURNER, I. The Beachface. In: SHORT, A.D. (Ed.). **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. John Wiley & Sons Ltd., 1999. p. 119-144.

As praias podem ter seus limites delimitados levando em consideração o aspecto morfológico e hidrodinâmico de diferentes maneiras. Desta forma, os termos utilizados neste trabalho são baseados na subdivisão proposto por Wright et al. (1982).

Morfologicamente, a praia é subdividida em três zonas (**Figura 3.1**):

- **Zona de Supramaré:** compreende a porção superior do espraiamento da onda até o limite topográfico da praia em direção ao continente (dunas costeiras). Pode ou não ocorrer berma (s) e areias retrabalhadas pelo vento.
- **Zona de Intermaré:** é a face propriamente dita da praia, que ocorre entre os níveis de maré alta e baixa de sizígia.
- **Zona de Inframaré:** representa a área inferior do perfil praial e ocorre abaixo da linha de maré baixa de sizígia, estendendo-se em direção ao mar.

De acordo com a hidrodinâmica da praia, distinguem-se três zonas:

a) Zona de Arrebentação (*Breaking zone*): é a porção do perfil da praia onde ocorre a dissipação das ondas, compreendida entre o limite da quebra das ondas mais distante e a mais próxima da costa. O número de zonas de arrebentação está conseqüentemente relacionado com o número de bancos de areia e calhas existentes na praia e o seu conjunto forma a zona de arrebentação.

b) Zona de Surfe (*surf zone*): A caracterização desta zona é dependente do modo como ocorre a dissipação energética das ondas incidentes. Segundo Wright et al. (1982), em praias de baixa declividade, as ondas quebram e formam vaga (*bores*). Porém, o reconhecimento das diferenças das zonas de surfe e arrebentação se torna difícil em praias dissipativas.

c) Zona de Espraiamento (*swash zone*): Caracteriza a região entre a máxima e a mínima excursão da vaga sobre a face da praia. Após esta zona, aparece a escarpa de praia e/ou por vezes uma feição deposicional de sedimentos chamada de berma.

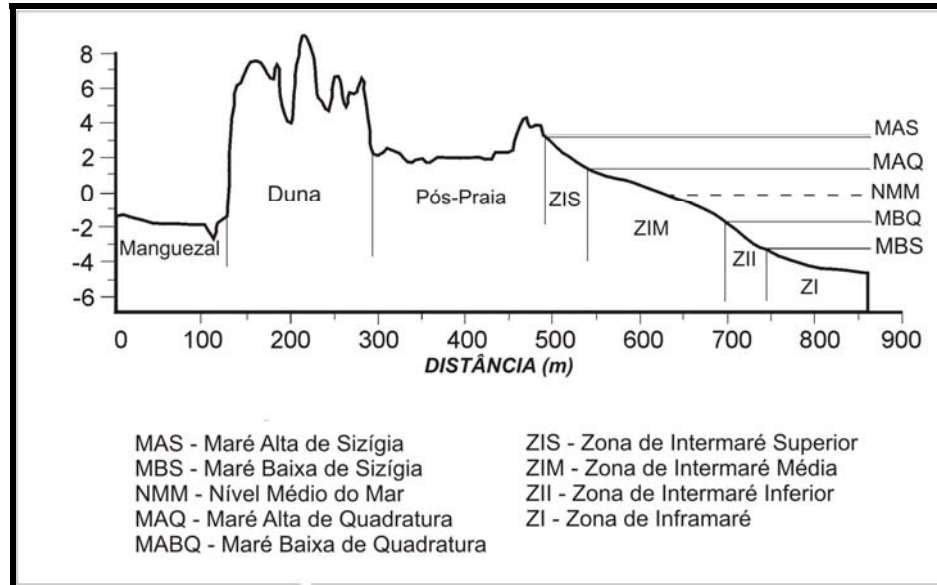


Figura 3.1: Perfil geral das zonas de pos-praia, intermaré e inframaré
 Fonte: Souza Filho; Tozzi; El-Robrini (2003).

3.2 DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS

Dentro do estudo de praias, as propriedades texturais dos sedimentos são as mais analisadas. Diversos autores como Komar (1976); Muehe Corrêa (1989); Nordstrom (1977); entre outros, estudaram a distribuição dos sedimentos em diferentes tipos de praias. A maioria deles cita a energia de ondas como sendo o principal agente atuante na determinação do padrão de distribuição dos sedimentos em suas áreas de estudo. Neste caso, a energia das ondas seria proporcional à sua altura existindo uma relação positiva entre a altura da onda e o tamanho de grão. Desta forma, quanto maior a altura da onda, maior seria a capacidade dos sedimentos finos serem transportados para outras regiões e dos sedimentos mais grossos permanecerem no local. Contudo, Wrigth e Short (1984) e Short (1999) estabelece uma relação inversa entre a altura de onda e o tamanho do grão, pois como se explicaria a presença de sedimentos finos em praias dissipativas, as quais possuem elevada altura de onda, e a presença de sedimentos grossos em praias reflectivas, com baixa altura de onda?

Ainda, segundo estes autores, o tamanho do sedimento quando em conjunção com a ação energética das ondas, controla a forma da praia e sua dinâmica. Areias finas produzem baixa declividade (1° a 3°) na zona de espraiamento da onda, maior zona de surfe e potencialmente mais areias removidas. Enquanto isso, praias com granulometria de média a grossa possuem um grau de inclinação maior e menor quantidade de areia sendo movimentada na estreita zona de surfe, sempre submersa.

As variações de velocidade de onda também alteram o modo de transporte dos sedimentos fazendo com que haja uma seleção dos mesmos através da face de praia. Durante o fluxo da onda o mecanismo de transporte dos sedimentos, como suspensão, saltação e tração, acontecem devido à arrebentação da onda, e quando a velocidade do espraiamento da onda diminui até zero, ocorre deposição. Portanto, sedimentos finos são depositados próximo ao limite do máximo fluxo da vaga enquanto grãos mais grossos sedimentam próximo ao ponto de arrebentação de onda, onde as maiores velocidades são encontradas.

3.3 ÍNDICES DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO EM PRAIAS ARENOSAS

3.3.1 Índice de Sensibilidade Ambiental a derramamentos de óleo (ISA)

O Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA), que no Brasil é também chamado de Índice de Sensibilidade do Litoral (MMA, 2002), é composto por uma escala de valores variando de 1 a 10, que expressa a sensibilidade da costa à ação das ondas, penetração do óleo no substrato, persistência natural do óleo na costa e produtividade biológica dos organismos que ali se encontram. O valor de índice igual a 1 corresponde aos ambientes menos sensíveis e o valor 10 aos mais sensíveis. O esquema de hierarquização do ISA é definido pelos seguintes fatores: tipo de substrato; exposição relativa a ondas e energia de maré; declividade da costa; facilidade para limpeza; produtividade; e sensibilidade biológica. Para este trabalho, serão considerados os quatro primeiros fatores.

Durante eventos de derramamento de óleo, muitos ambientes costeiros estão em risco, pois grandes áreas podem ser diretamente impactadas e dentro deste contexto estão as praias arenosas. O destino do óleo e os efeitos da poluição variam amplamente, condicionados pela declividade da costa e pelos processos meteoceanográficos atuantes. Em virtude disso, há um método de limpeza específico, que respeita as peculiaridades do ambiente, evitando que, durante os esforços de limpeza os danos ambientais sejam aumentados (EPA, 1999). A classificação dos Índices de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo é controlada pelos fatores mostrados na **Figura 3.2**, que são inerentes a cada tipo de ambiente costeiro.



Figura 3.2: Fluxograma mostrando as informações necessárias para a classificação da zona costeira quanto a seu índice de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo.

3.3.1.1 Grau de exposição à energia de ondas e marés

O tempo de permanência do óleo nas praias depende do nível de energia de ondas e marés. Estes dois fatores determinam o grau de exposição e também o nível de energia hidrodinâmico da linha de costa. A energia de marés é uma importante consideração na determinação do impacto ocasionado pelos derramamentos de óleo nos ambientes costeiros, pois fortes correntes de maré podem remover o óleo

ou, de outra forma, enterrá-lo a partir do retrabalhamento sedimentar. O fluxo de energia de marés é também importante na determinação do potencial de impacto sobre os habitats costeiros, ainda que não tanto quanto o fluxo de energia das ondas. As variações de maré (juntamente com a declividade do perfil topográfico) determinam a largura da zona intermarés, ou seja, a superfície mais susceptível a ser coberta por óleo no caso de derramamento. Como regra geral, pode-se falar que as correntes de maré aumentam com a amplitude de maré. Quando a energia é alta, a remoção natural é mais rápida, geralmente ocorrendo em dias a meses. Quando a energia é baixa, a remoção se torna mais lenta, geralmente o período de remoção do óleo ocorre durante anos.

3.3.1.2 Declividade da praia

A amplitude da maré juntamente com a inclinação da praia determina a extensão da zona de intermaré. Esta inclinação pode ser caracterizada como alta (maior que 30°), moderada (entre 30° e 5°) e baixa ou plana (menor que 5°).

Áreas de intermarés íngremes estão geralmente sujeitas a abruptas quebras de ondas ou, até mesmo reflexão, processos estes que aumentam a limpeza natural do ambiente. Em praias muito inclinadas, o tempo de permanência do óleo será, provavelmente, mínimo, com rápida limpeza natural da área atingida, a não ser que ocorra transposição das ondas (“*overwash*”), levando parte do óleo para a zona ao interior da praia. Enquanto isso, praias de baixa declividade sujeitas a níveis de energia mais baixos possuem tempo de permanência do óleo mais prolongado, e com menor ação de limpeza natural.

3.3.1.3 Tipos de Substrato

Os tipos de substrato são classificados como: 1) Rochoso - impermeáveis e permeáveis; 2) Sedimentar - divididos em função de sua granulometria; 3) Estruturas artificiais - aquelas construídas pelo homem para contenção de processos erosivos (NOAA, 2002a).

O tipo de substrato vai determinar ou afetar alguns parâmetros, como permeabilidade, mobilidade do sedimento e permanência do óleo. Estes parâmetros formam o arcabouço básico que define os tipos de comunidades bióticas que podem

existir em um local específico. Determinam, também, a trafegabilidade na região, fundamental para a utilização de determinados equipamentos de resposta (MMA, 2002).

A permeabilidade do substrato apresenta uma correlação direta com a infiltração potencial e, portanto, com a permanência do petróleo; quanto maior for o diâmetro dos sedimentos do substrato, sua esfericidade e a sua uniformidade, tanto mais profunda será a infiltração do óleo.

As maiores penetrações são esperadas para sedimentos grossos, que são mais uniformes no tamanho do grão (bem selecionados). Em praias de cascalho, penetrações de mais de 1,5 podem ocorrer no caso de óleos pesados. Se os sedimentos são pouco selecionados, tais como praias mistas de areia e cascalho, a penetração é, normalmente, menor do que 50 cm.

Praias arenosas são também diferenciadas nas categorias do diâmetro do grão (fina a média, e grossas), que são distintos quanto ao grau de permeabilidade e potencial de penetração do óleo. Assim, praias de areia com granulção fina são tipicamente compactadas e duras, com pouca chance de soterramento do óleo no substrato. Já praias de granulometria grossa são menos compactadas, possuindo alta permeabilidade, o que cria dificuldades de trafegabilidade e facilita o trapeamento do óleo encajado no substrato (PETROBRÁS, 2002).

3.3.2 Índice de Sensibilidade Ambiental na zona costeira amazônica

Souza Filho et al. (2004) propuseram uma classificação de ISA para a zona costeira amazônica, que foi modificada a partir da proposta criada pela NOAA (2002a) e pela PETROBRAS (2002), conforme descrito na **Tabela 3.1**.

Tabela 3.1: Proposta de adaptação dos métodos NOAA e Petrobras para a zona costeira amazônica

<i>ISA</i>	<i>Domínios costeiros amazônicos</i>
1A	Costas rochosas expostas
1B	Estruturas sólidas expostas construídas pelo homem
1C	Falésias rochosas expostas, com talus na base
2	Escarpas expostas e declives íngremes em argila
3A	Praias com granulometria areia fina a média
3B	Escarpas expostas com declives íngremes em areia
4	Praias e planícies de marés arenosas com granulometria areia grossa

<i>ISA</i>	<i>Domínios costeiros amazônicos</i>
5	Praias e bancos de cascalhos com areia
6	Enrocamentos
7	Planícies de marés expostas
8A	Escarpas protegidas em leitos rochosos e sedimentos – Paleofalésias
8B	Estruturas sólidas protegidas construídas pelo homem
8C	Enrocamentos protegidos
8D	Costas com turfa
9A	Planícies de maré lamosas protegidas
9B	Bancos e planícies de marés lamosas vegetados.
9C	Campos herbáceos hipersalinos (Hypersalt marsh)
10A	Campos herbáceos salinos e salobros (Salt and brackish water marshes)
10B	Campos herbáceos doces e vegetação aquática (Freshwater marshes, aquatic, vegetation).
10C	Manguezais de intermaré
10D	Manguezais de supramaré

Fonte: Souza Filho et al. (2004).

A base para a definição do índice de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na zona costeira amazônica está relacionada à classificação da linha de costa (segundo critérios geomorfológicos, biológicos e sócio-econômicos). Essa escala foi construída com base na experiência de vários derramamentos ocorridos no passado, assim como em trabalhos de campo em cada tipo de ambiente. Assim foram distintos vários *habitats* nesta região, conforme apresentado na **Tabela 3.1**. Ao ambiente costeiro mais sensível ao derramamento, foi dado um índice de 10D, e as menos sensível, um índice de 1A.

3.3.3 Fontes de poluição por petróleo

A poluição por petróleo no mar tem seis origens, segundo Monteiro (2003):

- Fontes naturais: naturalmente o petróleo vem sendo liberado no ambiente marinho através de dois processos principais: escapes submarinos causados por processos geológicos tectônicos (terremotos, por exemplo) ou desgaste de rochas sedimentares causado por rios ou correntes submarinas (lixiviação).

- Poluição atmosférica: no consumo de petróleo, constata-se a emissão de efluentes líquidos derivados dos processos de refino e de produção nas indústrias, principalmente aquelas cujas localizações são próximas ao litoral. A combustão

incompleta de combustíveis fósseis, principalmente o óleo combustível dos navios, é outra fonte responsável pela incorporação de hidrocarbonetos de petróleo na atmosfera.

- Operações com petroleiros em terminais: as principais operações com risco de acidentes em terminais petroleiros, decorrem da carga e descarga de óleo, docagem para reparos e liberação de efluentes das casas de máquinas.

- Produção costa afora: os impactos ambientais marinhos relacionados à produção de petróleo não são causados somente pelos vazamentos de óleo. Na verdade, estes surgem no início das operações de exploração, cujas técnicas de perfuração sísmica utilizadas para a identificação dos campos produtores provocam grandes prejuízos às atividades de pesca comercial.

- Despejos industriais e urbanos no mar: são causados por fontes antropogênicas que ajudam na adição de resíduos urbanos e domésticos, resíduos agrícolas, resíduos de indústrias, como as químicas, e resíduos sólidos (plásticos e isopores).

-Acidentes com petroleiros (vazamentos): estes acidentes estão inteiramente associados a vazamentos de óleo e seus derivados. Os que estão situados próximos à costa são aqueles que mais contribuem para os danos ambientais. A maioria dos acidentes resulta da combinação de ações e circunstâncias e, por isso, sua análise envolve a incidência de acidentes por categoria em função do principal evento ou operação em andamento na hora do derramamento.

Entre todas as origens descritas, os despejos industriais e urbanos (**Figura 3.3**) são os que mais contribuem para contaminar e conseqüentemente, poluir o meio ambiente, em função do crescimento populacional e industrial.

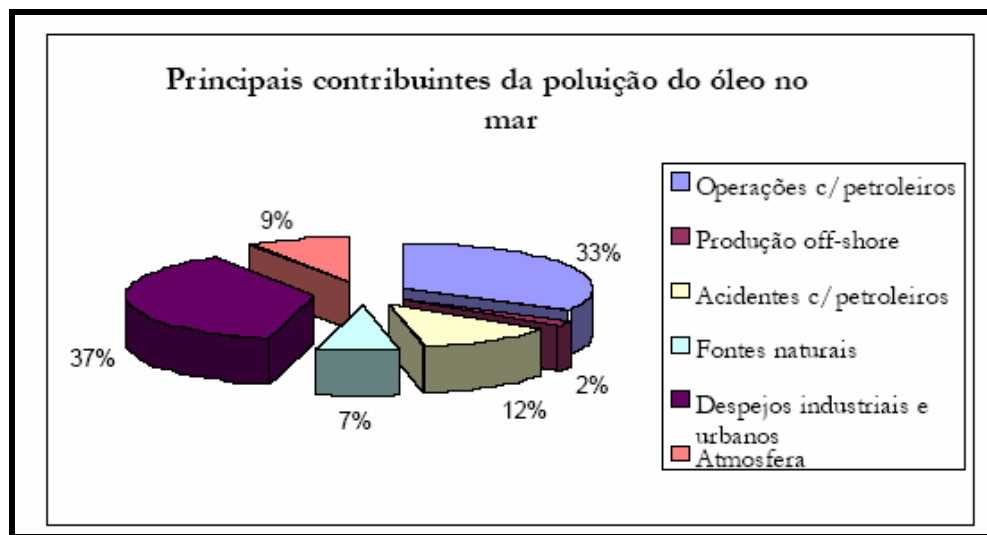


Figura 3.3: Fontes de introdução de óleo no mar (%)
Fonte: SIVAMAR (2001, apud MONTEIRO, 2003).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Com o intuito de estabelecer a fundamentação teórica para o desenvolvimento desta dissertação, foi realizado um levantamento e uma análise criteriosa de todo o material bibliográfico necessário para o desenvolvimento das diversas etapas de trabalho (aspectos fisiográficos, geológicos, oceanográficos e outros) disponível para a área em questão, incluindo pesquisa na *Internet*, principalmente no site www.periodicos.capes.gov.br.

4.2 ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM

As campanhas para amostragem dos perfis de praia e de sedimentos foram realizadas a cada três meses englobando os meses de junho e dezembro de 2005 (período solstício) e setembro de 2005 e março de 2006 (período equinocial), em condições de maré de sizígia.

Numa área central da praia (**Figura 4.1**), foram estabelecidos vinte e três transectos topográficos perpendiculares à linha de praia, espaçados 40 m entre si, estendendo-se desde as dunas frontais até 1,5m e meio de profundidade da zona de inframaré em condição de maré baixa de sizígia.

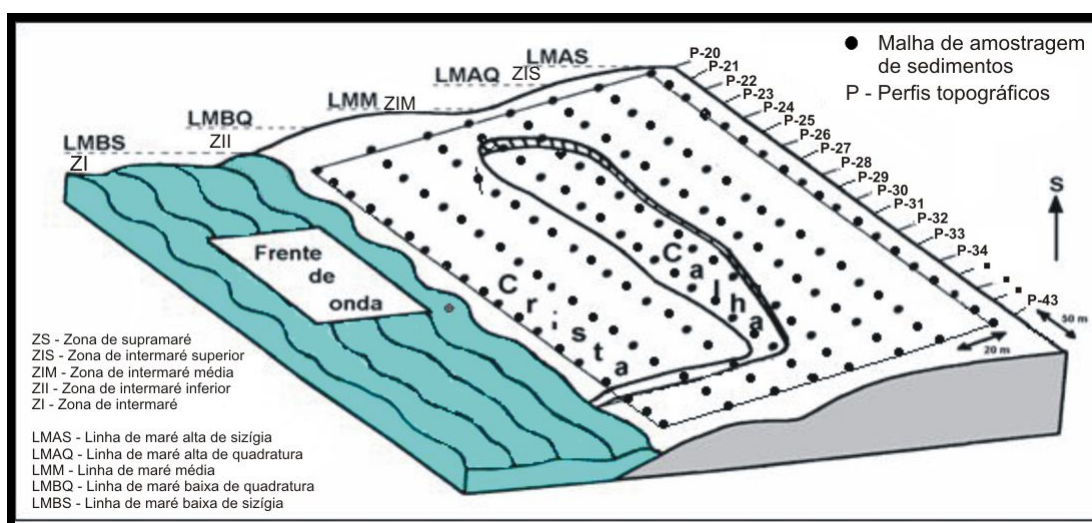


Figura 4.1: Mapa de amostragem dos perfis de praia e de sedimentos na zona de intermaré da praia de Ajuruteua.

4.3 TRABALHO DE CAMPO

4.3.1 Perfis topográficos

Os perfis topográficos foram levantados nas quatro campanhas, em situação de maré baixa de sizígia, mediante o uso de uma estação total - marca TOPCON, série GTS 210 e 220 (**Figura 4.2a**) – posicionados sobre bases de concretos em uma área central da praia. A Estação Total é um conjunto integrado constituído por: (i) um teodolito eletrônico, (ii) um distanciômetro, e (iii) um microprocessador que automaticamente monitoriza o funcionamento do equipamento. Deste modo, a Estação Total assume as funções de um teodolito comum, já que o equipamento tem capacidade de medir ângulos verticais e horizontais, além de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, informando ao operador, através de seu *display*, as coordenadas cartesianas de cada ponto coletado (**Figura 4.2b**).



Figura 4.2: Estação Total posicionada sobre uma base de concreto preparada para a visada (A); Perfil topográfico ao longo da zona de intermaré da praia de Ajuruteua sob vários ângulos (B); e (C) Leitura nos prismas nos pontos estabelecidos nos postes.

A leitura dos perfis foi feita a partir das bases de concretos estabelecidas nos postes da segunda rua da Vila de Ajuruteua (**Figura 4.2c**) que eram espaçadas aproximadamente 40 m entre si.

4.3.2 Amostragem superficial de sedimentos

As amostras de sedimentos foram coletadas nos meses de junho de 2005, com um total de 293 amostras, setembro, com 258, dezembro, com 292 e março de 2006 com 318 amostras. Todas as coletas foram realizadas sob condições de maré baixa de sizígia a partir do campo de dunas até a zona de inframaré, em uma malha de 20m. As coletas foram realizadas mediante o uso de uma tampa de tubo PVC de 2 cm de comprimento por 8cm de diâmetro, utilizada para coletar apenas os 2cm mais superficiais totalizando 100g (**Figura 4.3**). Isto garante uma padronização da amostragem no que diz respeito aos processos sedimentares diários que atuaram em escala de horas e minutos antes da amostragem (PEDREROS; HOWA; MICHEL, 1996).

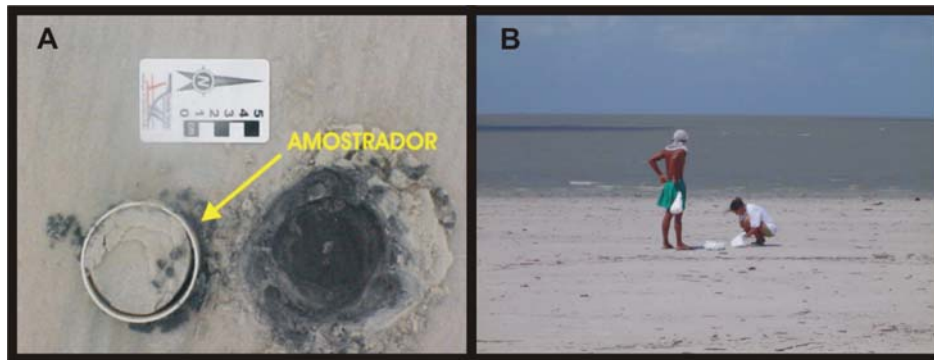


Figura 4.3: Coleta das amostras sob maré baixa de sizígia: (A) amostrador e (B) operação de coleta dos sedimentos.

4.3.3 Amostragem de testemunho para o ensaio geotécnico

Para caracterizar as propriedades físicas dos sedimentos, foram realizadas nove coletas em pontos representativos, três na zona de intermaré superior (ponto 22), três na zona de intermaré média (ponto 32) e três na zona de intermaré inferior (ponto 42) utilizando um tubo de ferro de 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro. Os sedimentos foram acondicionados em saco plástico para análise em laboratório.

4.4 TRABALHO DE LABORATÓRIO

4.4.1 Análise sedimentológica a *laser*

4.4.1.1 Preparação das amostras

Os sedimentos arenosos coletados foram lavados repetidas vezes para a remoção dos sais e em seguida foram secos em estufa a uma temperatura de 100 °C. Posteriormente, foi feito o quarteamento da amostra total, da qual se retiraram 50g de material. Estes foram submetidos ao ataque de 50 mL de ácido clorídrico (HCl) a 10%, para a remoção de fragmentos carbonáticos.

As amostras foram guardadas em sacos plásticos e cada uma etiquetada com seus respectivos códigos.

4.4.1.2 Granulômetro a *laser*

A medição do tamanho dos grãos dessas amostras foi realizada no Laboratório de Sedimentologia (LABSED) do Instituto de Geociências da USP através de um analisador por difração a *laser Mastersize 2000* da *Malvern*, que tem dois tipos de acessórios para análise granulométrica: o *Hydro 2000MU* (para amostras em suspensão) líquida e o *Scirocco* (para amostras secas). Este equipamento está conectado a um microcomputador de onde são extraídos os resultados da análise (**Figura 4.4**).

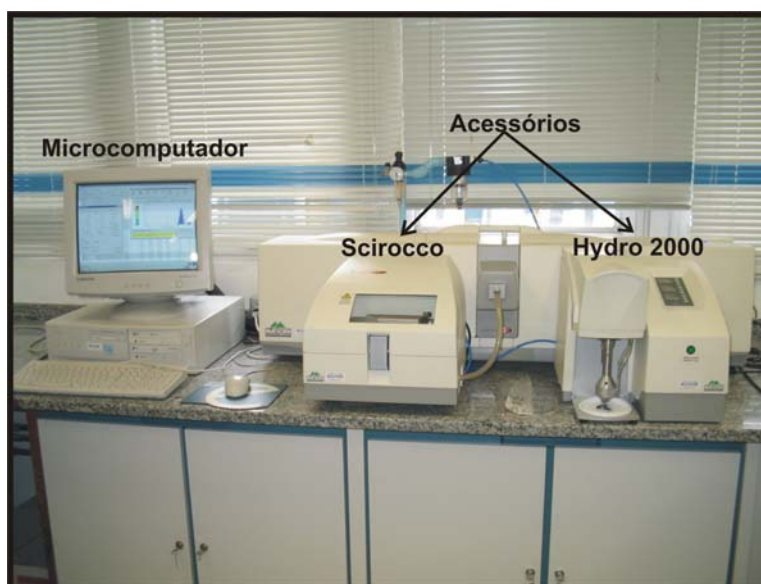


Figura 4.4: Difratômetro a laser *Malvern Mastersize 2000* conectado a um microcomputador.

O *Scirocco* é a unidade de dispersão a seco do granulômetro *Malvern*. Esta unidade é diretamente conectada a um sistema de ar comprimido e ar rarefeito (aspirador de pó), dimensionados respectivamente para produzir um fluxo de material passando em suspensão pelo sistema de medição a laser e para recolher a amostra analisada na saída da unidade óptica (MELO et al., 2004). São analisadas apenas sedimentos com granulometria de 62 μm a 2000 μm (**Figura 4.5**).



Figura 4.5: Unidade de dispersão a seco *Scirocco* do granulômetro *Malvern Mastersizer 2000*.

O *Hydro 2000MU* é a unidade de dispersão a úmido que calcula matematicamente a granulometria dos sedimentos (ou outras partículas) a partir da difração que as partículas provocam num feixe de raios *laser* (**Figura 4.6**). O modelo matemático adotado considera as partículas como esféricas, com o diâmetro da esfera equivalente à maior dimensão da partícula. O tamanho máximo de partículas admissível para análise é de 1,6 mm.



Figura 4.6: Unidade de dispersão a úmido *Hydro2000*.

A medição do tamanho das partículas e sua distribuição foram feitas em um intervalo de $1/8 \phi$. Os resultados são explicados por três fundamentos: (a) são baseados no volume, (b) são expressos em termos de esferas equivalentes e (c) são baseados em parâmetros de distribuição derivados, calculados a partir da distribuição fundamental. A análise é expressa num conjunto de classes de tamanho otimizado, para corresponder a geometria e configuração óptica do detector, oferecendo a melhor resolução.

A amostra foi colocada na bandeja da unidade de dispersão *Scirocco*. Primeiro foi feito a medida do *background* do equipamento no computador, em seguida foi dado o comando de início da vibração no software através de três comandos como mostra a **Figura 4.7**: (1) *Air pressure control* - usado para controlar o transporte e suspensão da partícula da amostra quando passa na célula de ar; (2) *Feed rate control* – usado para controlar o aporte de sedimento na bandeja de alimentação; a taxa de aporte é monitorada usando a obscuração lido no *display* de medidas, ou seja, determina quanto

de material passará pelo feixe de luz; (3) *Mode selection* - mostra o estágio de evolução da operação nos três modos: o *Standby*, quando o modo está inativo, o *Airflow*, checa o nível mínimo do vácuo e o *feed*, é onde se dá o processo de vibração da bandeja.

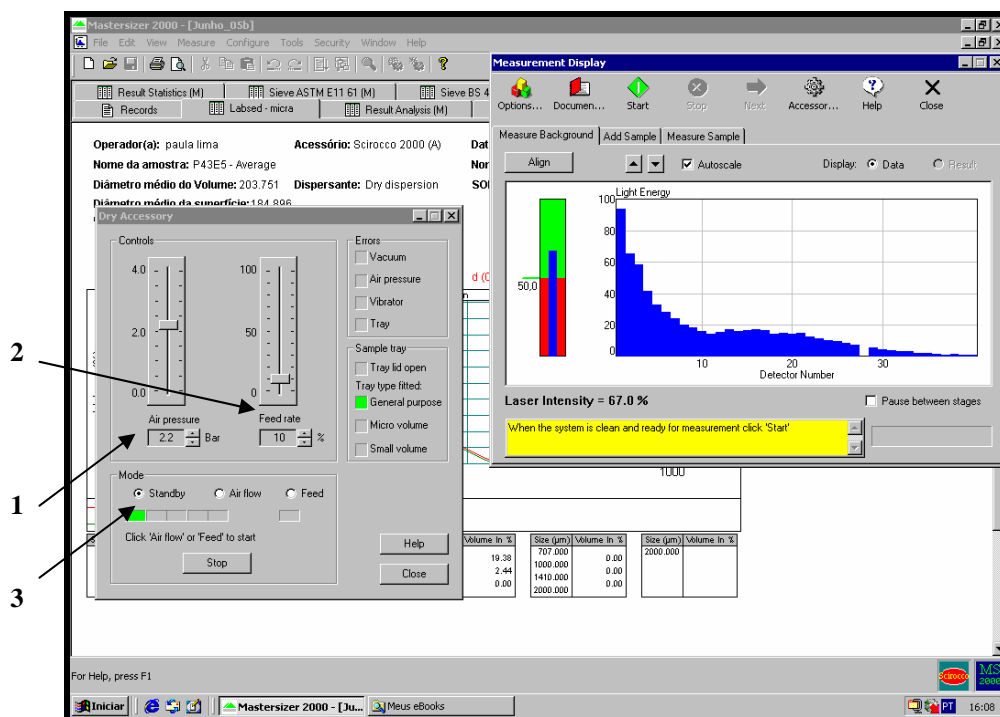


Figura 4.7: Imagem do software Mastersize 2000 iniciando a medição.

Após o resultado ter sido calculado, os dados foram visualizados de várias formas. Cada modo de visualização dos dados fornece um relatório. Cada tipo de relatório tem um separador na janela de medição, o qual se deve selecionar. A Malvern oferece vários relatórios pré-definidos com dado conjunto de informações para a saída de dados (Figura 4.8).

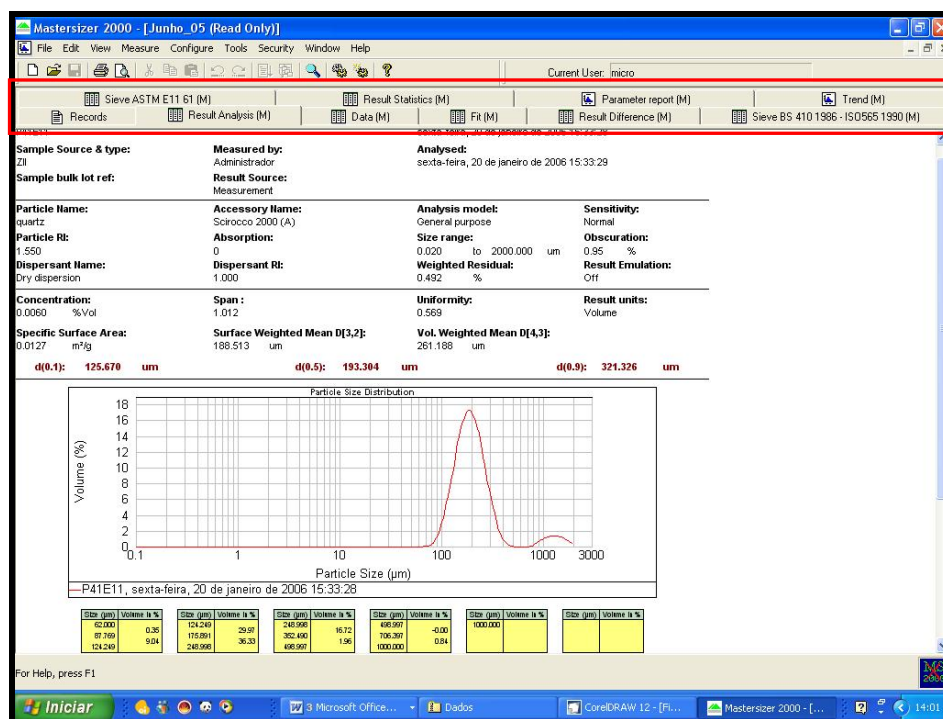


Figura 4.8: Um dos relatórios fornecidos pelo *software* mostrando a curva granulométrica e as classes granulométricas. Os relatórios são mostrados na janela de medição marcados pelo retângulo vermelho.

4.4.2 Ensaio geotécnico

Os ensaios geotécnicos foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFPA, com a finalidade de se conhecer as características físicas dos sedimentos. Para tal procedimento, foram realizados os seguintes ensaios: Índices de Vazios Máximos e Mínimos, Permeabilidade, Porosidade, Teor de Umidade e Grau de Saturação (NOGUEIRA, 1998; STANCATI; NOGUEIRA; VILAR, 1981;).

As amostras sedimentares usadas em ensaios no permeâmetro, para obter a permeabilidade, também serviram para obtenção dos resultados de índice de vazios máximos, assim como a obtenção do valor da porosidade e teor de umidade.

4.2.2.1 Índices de vazios máximos e mínimos

É a razão entre o volume de vazios e o volume ocupado pela parte sólida do solo. Tem aplicação direta, além do cálculo de outros índices físicos, no estudo da densificação de solos.

a) Índice de Vazios Máximos

Para a determinação do índice de vazios máximos, para uma massa específica seca mínima e correspondente ao estado de mínima compacidade do material, a amostra usada foi primeiramente seca (**Figura 4.9**).



Figura 4.9: Amostras secas coletados na praia.

O material foi colocado dentro de um cilindro com ajuda de uma pá pequena até formar uma camada com espessura uniforme, em um lugar que não sofresse vibrações durante seu enchimento, repetindo o processo até que o cilindro tivesse um excesso de material de 1 a 2 cm acima do seu topo, de tal forma que permanecesse no estado mais fofo possível. Este excesso foi retirado usando uma régua biselada de modo a se ter uma amostra com um volume bem definido. A determinação da massa do cilindro+amostra foi feita em balança apropriada (**Figura 4.10**).



Figura 4.10: Cilindro com os sedimentos pesados em balança.

O índice de vazios máximos foi calculado pela **equação 4.1**:

$$e_{\max} = \frac{\rho_s}{\rho_{d,\min}} - 1 \quad (\text{equação 4.1})$$

Onde:

$\rho_{d,\min}$: massa (amostra) dividida pelo volume do cilindro;

ρ_s : massa específica dos sólidos

b) Índice de Vazios Mínimos

O ensaio para determinação do índice de vazios mínimo veio em seqüência à obtenção do índice de vazios máximo, portanto, o ensaio foi feito com outra amostra feita à parte, também seca.

Com um martelo de borracha, aplicaram-se vários golpes na parte externa do cilindro provocando vibração do material e assentamento das partículas. Posteriormente, o cilindro foi colocado em mesa vibratória durante 15 min, à frequência de vibração de 50 Hz (**Figura 4.11**).



Figura 4.11: Mesa vibratória

A massa do conjunto (cilindro+material) foi determinada em balança apropriada ao cilindro usado. Subtraindo-se a massa do cilindro já conhecida, obteve-se a massa seca da amostra.

Para uma boa determinação do valor do índice de vazios mínimo, foram realizados três ensaios sem reusar as amostras.

4.2.2.2 Ensaio de permeabilidade

Permeabilidade é a propriedade que os solos têm de permitir o escoamento de água através dos seus vazios. A sua avaliação foi feita através do coeficiente de permeabilidade (K) determinado em laboratório através de permeômetros de carga constante (solos arenosos).

Para a realização deste ensaio, foi utilizado um permeâmetro, uma balança com capacidade de 1000g, um termômetro e um painel de permeabilidade a carga constante.

Determinou-se primeiramente o valor da carga, que é a distância dos níveis de água de montante e jusante os quais permaneceram constantes durante todo o ensaio (**Figura 4.12**).

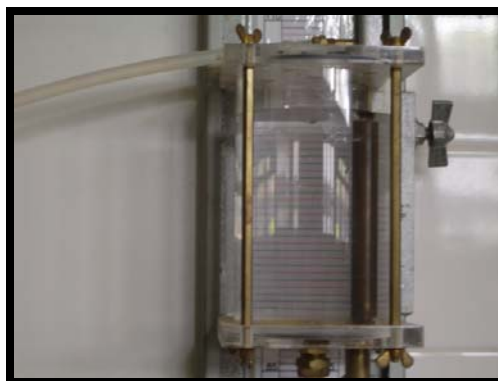


Figura 4.12: Níveis de água montante e jusante do painel de permeâmetro.

Ao iniciar o processo, foi necessário que a água percolasse através do corpo de prova durante certo tempo até saturar. Depois de saturado o corpo de prova, recolheu-se a água em um recipiente até um volume da ordem de 100 cm^3 , determinando o tempo necessário para este preenchimento (**Figura 4.13**). Por último, determinou-se a temperatura da água utilizada no ensaio. Este procedimento foi feito cinco vezes.



Figura 4.13: Detalhe do corpo de prova saturado no painel de permeâmetro.

4.2: Para o cálculo do Coeficiente de Permeabilidade da amostra, usou-se a **equação 4.2**:

$$K = \frac{VH}{ALt}$$

(equação 4.2)

Onde:

V: volume água percolado no tempo t, em cm³;

H: altura do corpo de prova, em cm;

A: área do corpo de prova em cm²;

L: altura da carga constante durante o ensaio, em cm;

T: tempo decorrido para percolar no volume V, em s.

4.2.2.3 Ensaio de porosidade

A porosidade é a percentagem de interstícios vazios ou preenchidos por fases líquidas e/ou gasosas com relação ao volume da rocha. É expressa pelas fórmulas de correlação (**equação 4.3**).

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad \text{ou} \quad n = \frac{\rho_s (1 + w) - \rho}{\rho_s (1 + w)}$$

(equação 4.3)

Onde:

e: índices de vazios

w: teor de umidade

ρ : massa específica do sedimento

ρ_s : massa específica seca do sedimento

4.2.2.4 Ensaio de teor de umidade

O objetivo deste ensaio foi determinar as massas de água e de sólidos existentes em um mesmo volume de sedimento, necessárias para o cálculo do teor de umidade. Para tal, foi necessário utilizar uma balança com capacidade de 200 g sensível a 0,01 g, três cápsulas de alumínio com tampas numeradas, espátula e estufa elétrica.

Para o ensaio, foi necessário separar um mínimo de três porções representativas de amostras de sedimentos úmidos em diferentes cápsulas (**Figura 4.14**).



Figura 4.14: Retirada do material úmido usado para a obtenção do teor de umidade.

Inicialmente foram pesadas as cápsulas de alumínio limpas e secas com as respectivas tampas em uma balança com resolução de 0,01g (**Figura 4.15**). Os valores foram anotados como a massa ou tara do recipiente. Após a obtenção das medidas das cápsulas, pesou-se o conjunto sedimento úmido-cápsula com tampa fechada, anotando-se os valores como massa bruta úmida.



Figura 4.15: Pesagem das cápsulas de alumínio em balança com capacidade de 200g.

As cápsulas foram colocadas abertas na estufa com a tampa em baixo para permitir a saída da água até que o material fosse seco. O conjunto cápsulas+amostra ficou 12 h de permanência na estufa a uma temperatura de 100°C, para perda de água. As amostras secas eram tampadas e guardadas até atingirem a temperatura ambiente, sem absorverem umidade do ar. Posteriormente, o conjunto foi pesado na balança, obtendo-se assim, a sua massa. Este procedimento foi feito em três diferentes determinações.

Com os valores das massas dos conjuntos sedimento-cápsula e sólidos-cápsulas, para uma mesma cápsula, calcularam-se o valor do teor de umidade através da **equação 4.4**.

$$W = \frac{M_w}{M_s}$$

(equação 4.4)

Onde:

$$M_w = M (\text{sedimento+cápsula}) - M (\text{sólido+cápsula})$$

$$M_s = M (\text{sólidos +cápsula}) - M (c)$$

4.2.2.5 Grau de saturação

É a relação entre a umidade de um solo e a umidade de saturação. Para determinar o grau de saturação dos sedimentos, foi necessário conhecer a massa específica do sedimento realizado mediante o uso de um funil e um Champman (balão volumétrico de 1000ml). Foram separados 500g do material para o teste. Estes foram colocados pausadamente no balão com 200ml de água até a saturação da amostra.

O grau de saturação foi determinado pelo cálculo obtido pela **equação 4.5**:

$$Sr = \frac{\rho_s w}{e \rho_w}$$

(equação 4.5)

Onde: ρ_s : massa específica seca do sedimento

e: índices de vazios

w: teor de umidade

 ρ_w : massa específica da água

4.4.3 Determinação e análise dos parâmetros estatísticos e modelo 3D dos perfis de praia

Os parâmetros estatísticos (diâmetro médio, desvio padrão e assimetria) e gráficos foram processados com auxílio do *software* SYSGRAN 3.0 (CAMARGO, 2005). A obtenção desses parâmetros da distribuição granulométrica foi determinada segundo as equações de Folk e Ward (1957), descritas abaixo:

1) média:

$$Mz = \frac{\phi_{84} + \phi_{50} + \phi_{16}}{3}$$

2) desvio padrão

$$\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

3) Assimetria

$$Sk_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16} + 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} - \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Os perfis topográficos foram analisados através do software TOPOGRAPH, e o mapa de distribuição dos sedimentos, o modelo de elevação da praia em 3D e o mapa ISA foram gerados através do programa SURFER 8.0.

5 MORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DA PRAIA DE MACROMARÉ DE AJURUTEUA

5.1 DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS

Para o estudo da distribuição granulométrica na zona de intermaré da Praia de Ajuruteua foram analisadas 1148 amostras superficiais de areia que foram coletadas nas três zonas da zona de intermaré: ZIS (Zona de Intermaré Superior), ZIM (Zona de Intermaré Média) e ZII (Zona de Intermaré Inferior). As distribuições granulométricas das amostras sedimentares foram classificadas de acordo com os parâmetros desenvolvidos por Folk e Ward (1957). Os parâmetros utilizados nesta dissertação foram: média, desvio padrão e assimetria. A média foi escolhida por fornecer o valor do diâmetro médio da distribuição de frequência e por apresentar uma correlação linear direta com a mediana (**Figura 5.1**).

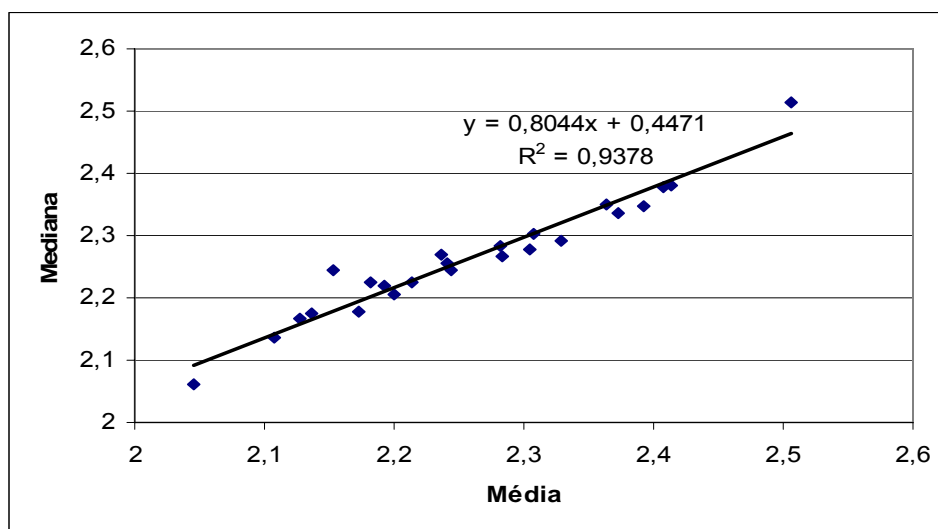


Figura 5.1: Grau de correlação linear entre os parâmetros média e mediana.

Os resultados obtidos mostram variações sazonais dos processos costeiros e conseqüentemente da distribuição granulométrica na zona de intermaré. Entre os perfis de junho, setembro, dezembro e março, o comportamento da granulometria dos sedimentos apresentou variações na zona de intermaré, as quais serão relatadas detalhadamente a seguir.

Comportamento da média

A **média** (Mz) determina a fração granulométrica que divide a amostra em duas partes iguais em peso (Suguio, 1973). Segundo Muehe (1994) a média gráfica proposta por Folk & Ward (1957) torna-se um parâmetro adequado para o estudo de processos, apresentando maior sensibilidade às variações da configuração da curva justamente por ser afetada pela configuração de suas extremidades. Também é comumente utilizada para a classificação geral dos sedimentos. A distribuição espacial do diâmetro-médio é mostrada na **Figura 5.2**.

Na ZIS, nos quatro meses estudados observou-se que a variação do tamanho do grão entre os períodos estudados é insignificante e foram caracterizados como areia fina. Em junho verificou-se a distribuição do tamanho do grão, dentro do intervalo de 2,5 a 2,65 ϕ , com homogeneidade na distribuição de grãos (variação interamostral muito pequena, com tamanho médio de 2,575 ϕ). Para o mês de setembro, os valores de diâmetro-médio são mais heterogêneos comparados ao mês de junho, variando de 2,2 a 2,7 ϕ . No mês de dezembro (final no período seco) observa-se que os grãos na zona de intermaré superior apresentam diâmetro-médio variando de 2,475 ϕ a 2,6 ϕ . Durante o mês de março, o diâmetro-médio varia de 2,425 ϕ a 2,65 ϕ .

Para a ZIM, no mês de junho os sedimentos tendem a engrossar com valores de diâmetro médio variando de 2,0 a 2,45 ϕ demonstrando aumento do tamanho médio dos grãos, cujo valor médio ficou em 2,25 ϕ . No mês de setembro, os valores são parecidos ao da ZIS. No mês de dezembro, os grãos apresentam tamanho médio de 2,4 ϕ (areia fina). Já os sedimentos do mês de março apresentaram granulometria mais fina (2,725 a 2,85 ϕ), porém com grãos mais grossos nas calhas (diâmetro-médio variando entre 2,275 ϕ a 1,9 ϕ) mostrando variação desde areia fina até areia média.

Já na ZII, a média referida ao mês de junho é similar ao da ZIS com diâmetros médios entre 2,5 a 2,6 ϕ . Para o mês de setembro, o diâmetro médio gira em torno de 2,35 ϕ . Já a granulometria do mês de dezembro, em relação à ZIS e ZIM, apresentaram tendência ao engrossamento do grão com valores de diâmetro médio de 2,35 ϕ a 1,85 ϕ . Para o mês de março, a granulometria também é similar ao da ZIS com diâmetros médios variando entre 2,4 ϕ a 2,525 ϕ .

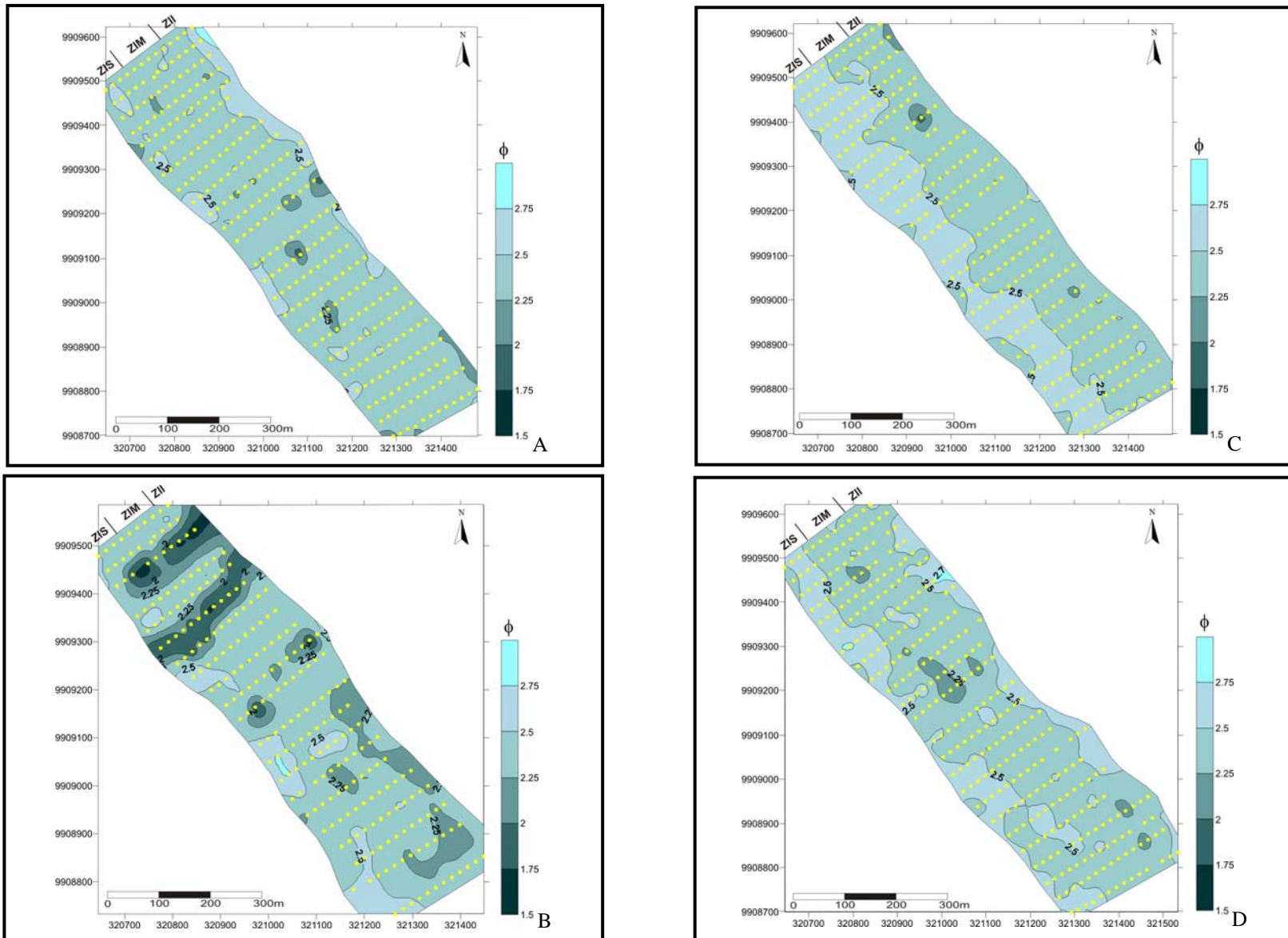


Figura 5.2: Comportamento da média nos quatro períodos: (A) junho, (B) setembro e (C) dezembro de 2005 e, (D) março de 2006.

Comportamento do desvio padrão

O **desvio padrão** (σ) descreve a dispersão em relação à média. Este parâmetro está intimamente associado ao selecionamento da amostra que nos dá informação a respeito das flutuações do nível energético do agente deposicional, e sua capacidade de classificar os materiais mobilizados (FOLK; WARD, 1957). Depósitos que contêm pequenas variações de tamanho de partículas são referidos como bem selecionados. Entretanto, se não houver uma disponibilidade da área fonte, em fornecer diferentes tamanhos de grão ao agente de deposição, as diferenças energéticas do meio não serão retratadas no material acumulado, o que mostra que a distribuição de tamanho dos materiais da área fonte influencia, de certo modo, o grau de seleção dos sedimentos depositados em um dado ambiente. A distribuição espacial da seleção é mostrada na **Figura 5.3**.

O comportamento do desvio padrão na ZIS no mês de junho e de dezembro é similar, com valor concentrado em 0,4 (bem selecionado). No mês de setembro, os valores variam em torno de $0,275\phi$, indicando sedimentos bem selecionados a, localmente, mal selecionados ($0,65$ a $1,025\phi$). Para o mês de março de 2006, a análise do desvio-padrão revela valores em torno de $0,5\phi$ a $0,75\phi$ (bem selecionado a moderadamente selecionado).

Na ZIM, os sedimentos do mês junho e de dezembro mostram selecionamento igual, com valores de desvio padrão em torno de 0,4 a $0,525\phi$ (bem a moderadamente selecionados). No mês de setembro, os sedimentos são bem selecionados a pobremente selecionados variando o desvio padrão de 0,4 a $1,025\phi$. No mês de março os sedimentos são moderadamente a pobremente selecionados nas calhas, com valores de desvio padrão em torno de $0,525$ a $1,025\phi$. No restante da ZIM, os sedimentos são mais bem selecionados.

Na ZII, o desvio padrão no mês junho e dezembro variou entre 0,65 e $0,775\phi$ (moderadamente selecionado). Em setembro, o desvio padrão está no intervalo de 0,65 a $0,725\phi$ (na parte sudeste do mapa) e de $0,525$ a $1,15\phi$, o que permite caracterizar os sedimentos entre bem e pobremente selecionado. No mês de março, coincidente com as cristas, os valores de desvio-padrão variam de $0,275$ a $0,4\phi$, sendo os

sedimentos bem seleccionados. No restante da ZII, os sedimentos caracterizam-se como moderadamente a bem seleccionados ($0,5\phi$ a $0,75\phi$).

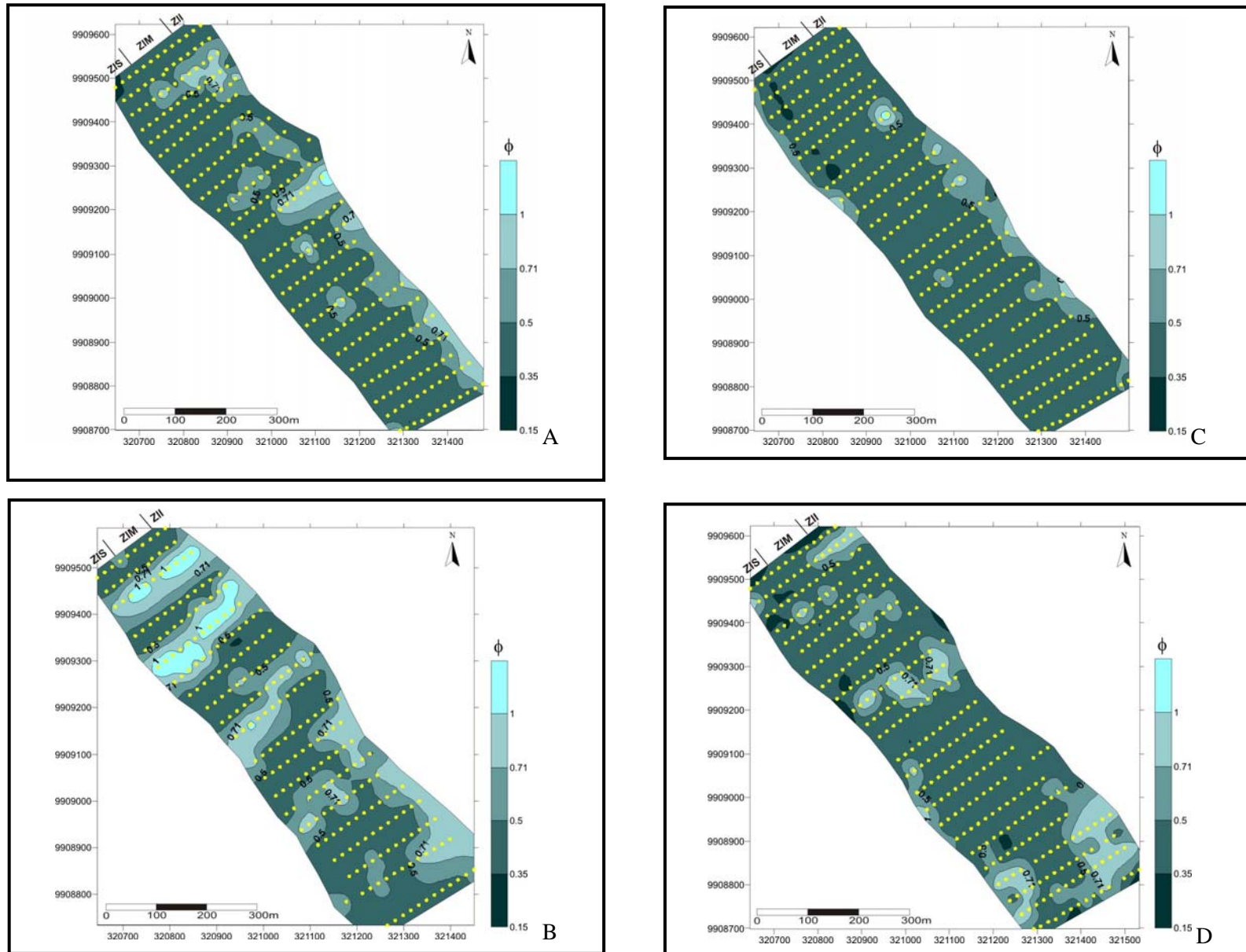


Figura 5.3: Comportamento do desvio padrão nos quatro períodos: (A) junho, (B) setembro e (C) dezembro de 2005 e, (D) março de 2006.

Comportamento da assimetria

A **assimetria** (S_{ki}) de uma distribuição granulométrica traduz a posição da mediana (M_d) em relação à média aritmética (M_z) (FOLK; WARD, 1957) e, portanto é adimensional. Ela é dita positiva para o enriquecimento do ambiente em sedimentos finos e, negativo para o enriquecimento da distribuição em partículas mais grossas. Em contraste, uma assimetria negativa significa um deslocamento da curva para esquerda da média e um enriquecimento de mais grossas. A utilização mais defendida da assimetria como parâmetro estatístico sensível aos processos sedimentares é sua característica de apresentar predominância de valores negativos nos sedimentos da face de praia (DUANE, 1964). Segundo este mesmo autor, valores negativos de assimetria são indicativos de áreas em processo de erosão, enquanto valores positivos indicam deposição. Todavia, vários são os autores que não encontraram resultados significativos nesse sentido (BIGARELLA; POPP¹, 1966; SHEPARD; YOUNG², 1961; MCLAREN³, 1981 apud BITTENCOURT, 1992). A distribuição espacial da assimetria é mostrada na **Figura 5.4**.

Na ZIS, o comportamento da assimetria no mês de junho e dezembro é similar com valores simétricos, com tendência positiva (0,1), onde se tem a predominância de material mais fino. No mês de setembro, a distribuição é bem heterogênea com valores variando localmente (zonas mais claras SE-NE) de -0,4 (assimetria negativa) a 0,1. No mês de março, os valores variam desde -0,225 (nas calhas) a 0,225 (nas cristas).

Na ZIM, os sedimentos do mês de junho e dezembro mostram também semelhança no comportamento da assimetria com valores que giram em torno de $0,1\phi$, sendo que localmente no mês de junho, os sedimentos tendem a assimetria negativa. No mês de setembro, a assimetria varia de -0,275 a 0,1. Em março, os sedimentos apresentam assimetria negativa nas calhas, enquanto que nas cristas e no restante da ZIM a assimetria é simétrica (0,1), com tendência a positiva.

¹ BIGARELLA, J.J.; POPP, J. H. Contribuição ao estudo dos sedimentos praias recentes. IV – Praia e dunas de Barrado Sul (SC). **Boi. Paran. Geogr.**, p.18-20. 1966.

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

³ SHEPARD, P.P.; YOUNG, R. Distinguishing between beach and dune sands. **Journal Sedimentary Petrology**, v.31, p.196-214. 1961.

Na ZII, a assimetria nos meses de junho e dezembro tende a ser negativa (-0,15). Em setembro, os sedimentos apresentam predominantemente assimetria negativa (-0,3) sendo que em alguns trechos os valores são simétricos com tendência positiva (0,1). Em março, os sedimentos coincidentes com as cristas mostram valores simétricos (0,1) com tendência a assimetria positiva e no restante da zona de intermaré inferior, os valores de assimetria tendem a ser negativo (-0,275).

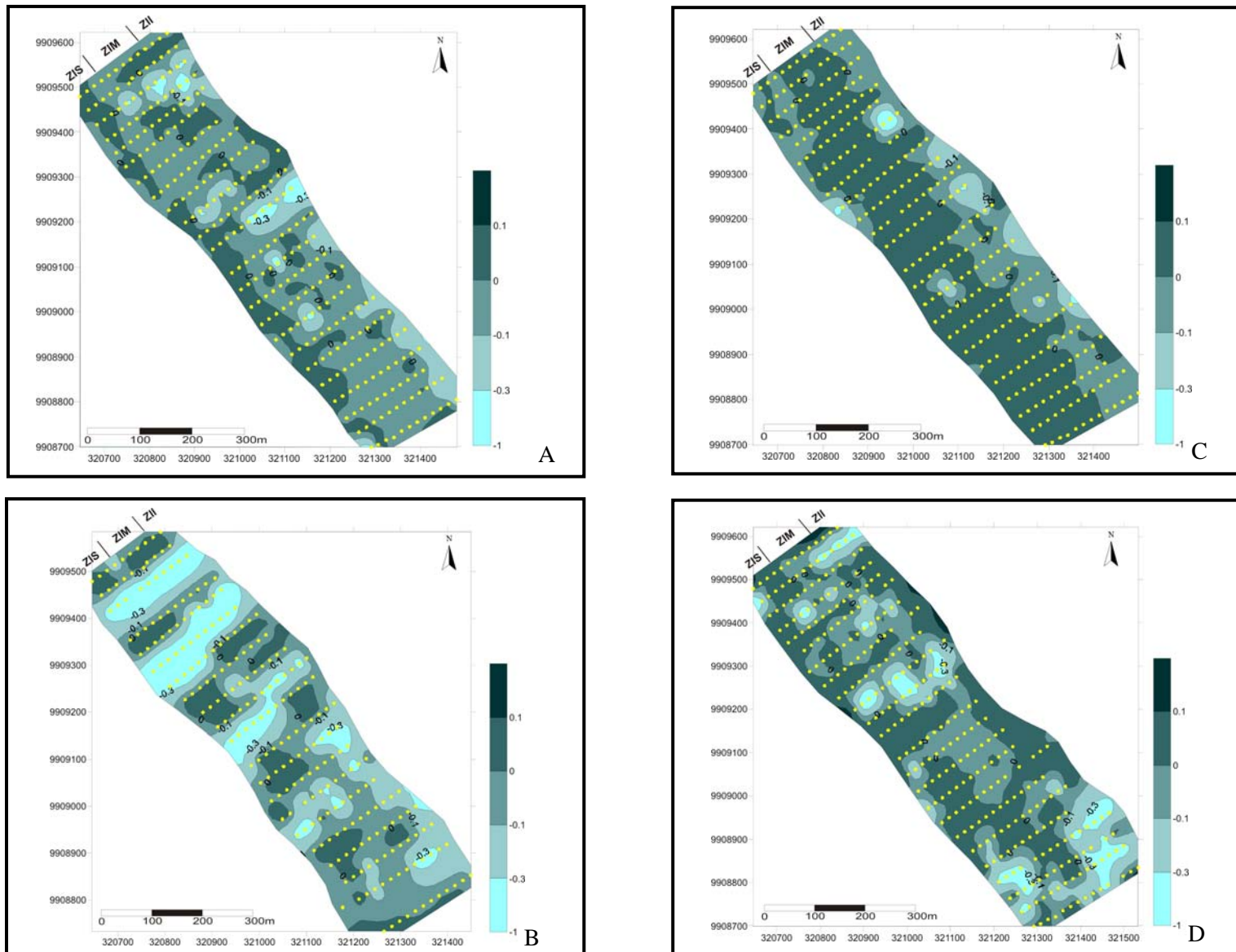


Figura 5.4: Comportamento da assimetria nos quatro períodos: (A) junho, (B) setembro e (C) dezembro de 2005 e, (D) março de 2006.

5.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

A Praia de Ajuruteua apresenta traçado retilíneo, sob orientação NW-SE. A área de estudo limitou-se a uma extensão de aproximadamente 1 km correspondente ao setor noroeste da praia, definido por Souza Filho et al. (2003) como um setor erosivo.

Por ser um ambiente altamente dinâmico, verificou-se que há mudanças tanto na morfologia, quanto na forma de dispersão sedimentar, controlada de modo sazonal por processos de alta energia, devidos, principalmente a macromarés associadas à ação de ondas. Essas mudanças morfológicas que ocorrem na praia são muito bem registradas em monitoramento de perfis praias perpendiculares à linha de costa realizada ao longo do ano durante as marés de sizígia (SOUZA FILHO; TOZZI; EL-ROBRINI, 2003).

Para esta dissertação, só foram analisadas os meses de junho e dezembro de 2005 e março de 2006. O mês de setembro não pôde ser analisado por problemas operacionais da estação total. Mas de acordo com trabalho já realizado anteriormente nesta área no mês de setembro por Lima (2004), somando-se a observações feitas *in situ*, a morfologia da praia neste período é constituída por um sistema de crista e calha paralelo a linha de costa. A área corresponde a 50% do setor estudado para este trabalho.

Nos meses de junho (**Figura 5.5**) e dezembro (**Figura 5.6**), observa-se que a zona de intermaré apresenta feição aplainada com declividade suave. Nos meses de março e setembro, verifica-se a presença de um sistema de cristas e calhas paralelas suaves a linha de costa, sendo que um deles de aproximadamente 500m de comprimento e 20 m de largura, como mostra a **Figuras 5.7 e 5.8**. Esta morfologia é construída por eventos de alta energia, como marés equinociais de sizígia, associadas às ondas altas, que removem grande parte destas areias, da praia para a zona de inframaré. Essas calhas estão ligadas a dois grandes canais de deltas de vazante: Chavascal e Barca.

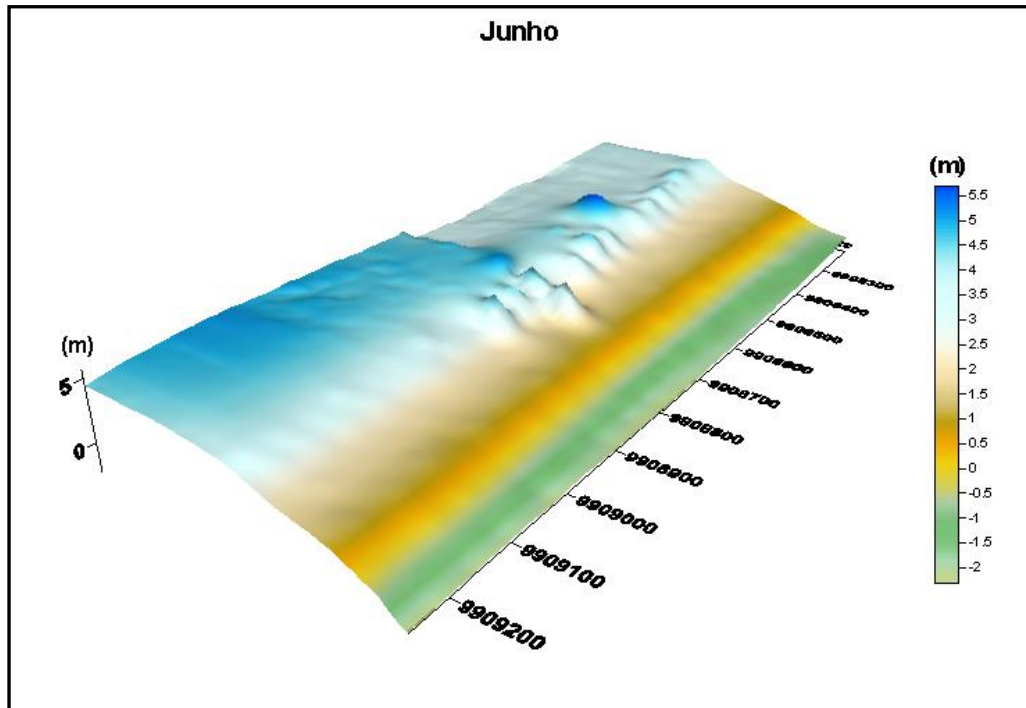


Figura 5.5: Morfologia praial do mês de junho de 2005.

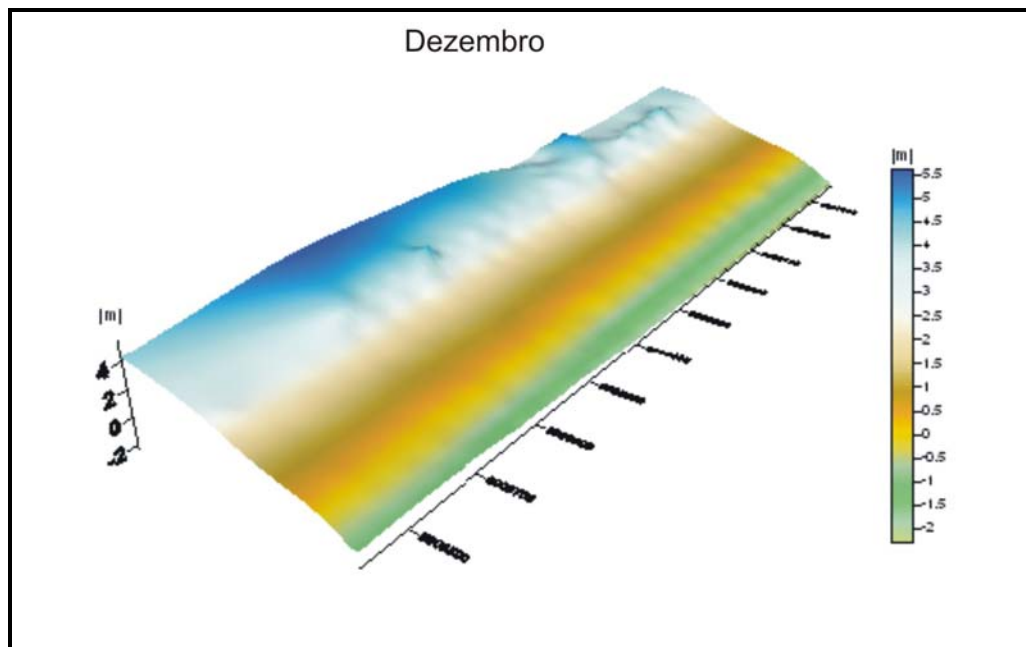


Figura 5.6: Morfologia praial do mês de dezembro de 2005.

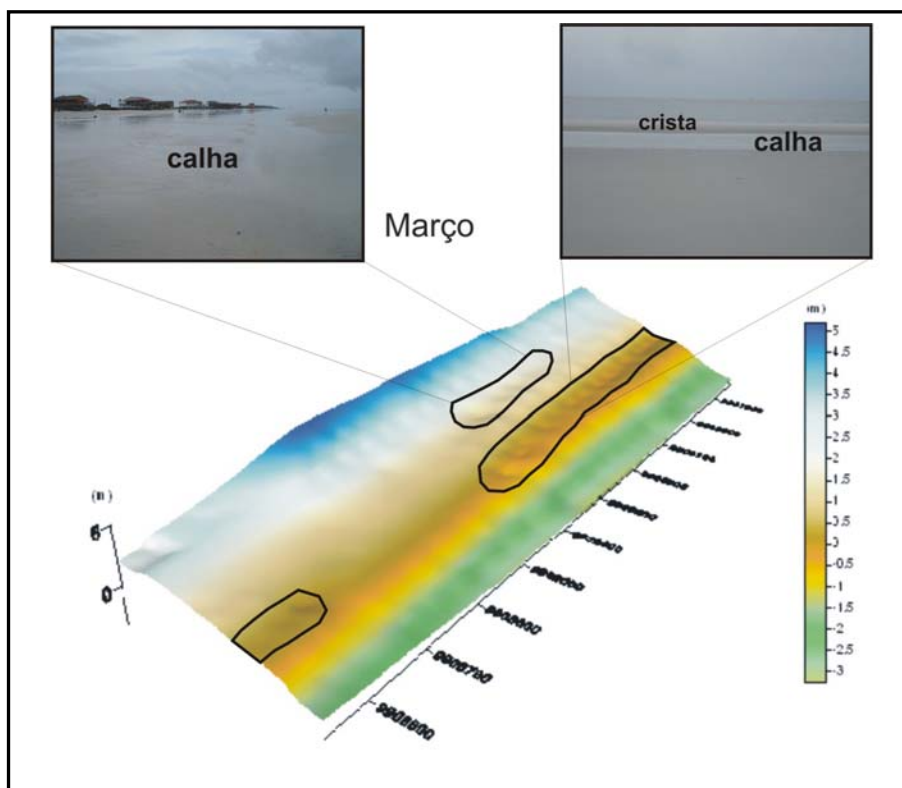


Figura 5.7: Morfologia praial do mês de março de 2006, com detalhe nos canais representados por linhas.

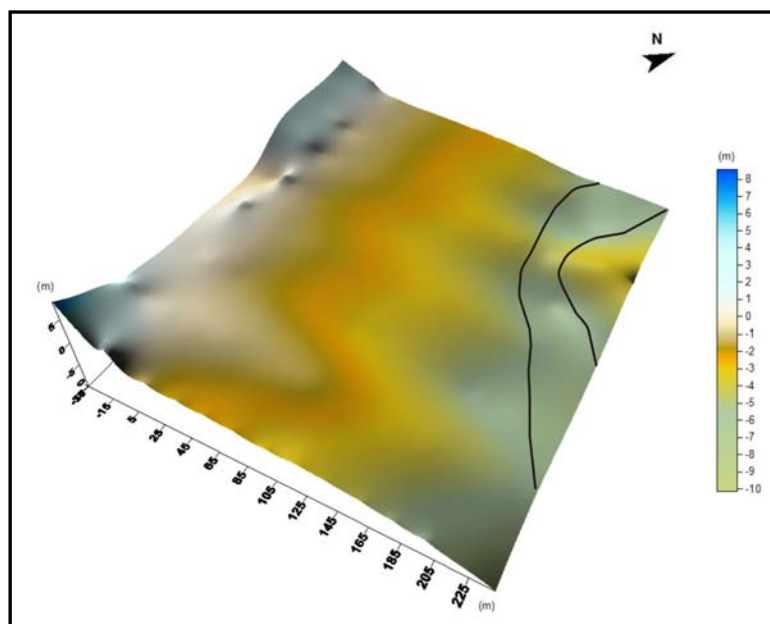


Figura 5.8: Morfologia praial do mês de setembro de 2004, com detalhe no canal representado por linhas.
Fonte: Lima, 2004.

Alves e El-Robrini (2003), aplicaram os modelos morfodinâmicos de Guza e Inmam⁴ (1975), Komar⁵ (1983), Wright e Short⁶ (1984) e, Masselink e Short (1993) para estudar as condições morfodinâmicas da praia de Ajuruteua, no período seco e chuvoso. Os valores encontrados a partir desses modelos evidenciam o comportamento da praia como tipicamente dissipativa, relacionada aos processos de energia moderada e alta (Banco e Calha Longitudinal) (**Tabela 5.1**).

Tabela 5.1 – Características das condições morfodinâmicas da praia de Ajuruteua.

Modelos	Período seco <i>(formação de um sistema de cristas e calhas suaves na zona de intermaré)</i>	Período chuvoso <i>(aplainamento da zona de intermaré)</i>
Guza e Inmam⁴ (1975)	$\varepsilon = 31,05$	$\varepsilon = 25,28$
Komar⁵ (1983)	$\epsilon = 1,25$	$\epsilon = 1,8$
Wright e Short⁶(1984)	$\Omega = 8,3$	$\Omega = 6,95$
Masselink e Short (1993)	RTR = 4,79	RTR = 4,79

Fonte: Alves e El-Robrini (2003)

Ao longo destes segmentos praias, suas larguras médias de zona de intermaré, desde a base das dunas frontais até a linha de maré baixa média, variam entre 200m e 250m, partindo sempre dos mesmos pontos. As únicas irregularidades que interrompem a homogeneidade das praias são os canais de maré, que configuram deltas de maré vazante (ALVES, 2001; SOUZA FILHO, 2001).

Corroborando a proposta de Souza Filho et al. (2003) a partir de análise de visualização 3D gerado neste trabalho, a praia de Ajuruteua foi classificada como uma “*barrier-beach ridges*” que se estende da linha de maré baixa de sizígia até as escarpas das dunas que representa a linha de maré alta de sizígia.

⁴ GUZA, R. T.; INMAN, D. L. Edge waves and beach cusps. **Journal of Geophysical Research**, v. 80, n.21. p. 2997-3012, 1975.

⁵ KOMAR, P. D., Beach processes and erosion – An introduction. In: **CRC Handbook of Coastal Process and Erosion**. USA: CRC Press, p. 1-18, 1983.

⁶ WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, v.56. p.93-118, 1984.

Do ponto de vista morfológico, a praia foi subdividida em três zonas com as seguintes características (ALVES; EL-ROBRINI, 2003):

(1) zona de supramaré: estende-se do nível de maré alta de sizígia, que coincide com a escarpa das dunas, até o limite de áreas vegetadas de aproximadamente 7m de altura, seguidas ao interior por uma planície arenosa;

(2) zona de intermaré: ocorre entre os níveis de maré alta e baixa de sizígia, é subdividida em três zonas: (a) zona de intermaré superior - possui largura média de 43m e declividade média de 1:46 ($\text{tg}\beta = 0,021$); (b) zona de intermaré média - com largura aproximada de 110m e declividade de 1:60 ($\text{tg}\beta = 0,016$) e; (c) zona de intermaré inferior - é apresentada por uma declividade média suave de 1:33 ($\text{tg}\beta = 0,030$) e largura aproximada de 65m;

5.3 DISCUSSÕES

5.3.1 Aspectos da variação granulométrica

5.3.1.1 Tamanho médio de grão da face praial e declividade

Os resultados obtidos evidenciam que a declividade da face praial de Ajuruteua é proporcional ao tamanho do grão, corroborando o que Komar (1976) já havia estudado.

Este resultado é em parte explicado por Komar (op. cit.), quando afirma que a declividade da face praial é determinada pela assimetria da intensidade do fluxo das ondas e da assimetria resultante do transporte em direção ao mar e em direção ao continente. Devido à percolação da água na face de praia no momento do fluxo da onda, o refluxo resultante tende a ser mais fraco. Desta forma, menor quantidade de sedimento é transportada em direção ao mar. Quando a mesma quantidade de sedimento é transportada em direção ao continente a ao oceano, a declividade da face praial torna-se constante e em equilíbrio dinâmico. A declividade deste equilíbrio dinâmico dependerá da quantidade de água perdida na percolação, a qual é governada pelo tamanho de grão dos sedimentos e quantidade de energia da onda que atinge o determinado ponto, pois a água percola muito mais rapidamente em praias mais reflexivas que dissipativas. O resultado é que praias com menor tamanho de grão apresentam maior intensidade de refluxo da onda, comparadas com praias de

sedimentos grosseiros, sendo a declividade da face de praias compostas por sedimentos finos, menor que em praias compostas por sedimentos grosseiros.

Bascom⁷ (1951 apud SILVA, 2000) conclui a partir de um estudo feito em 40 praias arenosas da Costa Pacífica Americana, que o tamanho da partícula, juntamente com a intensidade de ação de ondas, controla a declividade da face praial.

A praia de Ajuruteua é composta na sua grande maioria por sedimentos finos e são mais planas e reflete em uma praia dissipativa (**Figura 5.9**). É possível observar que esta classificação é concordada com os resultados de Bascom (Ibid) que mostram valores de declividade diretamente proporcional ao aumento do tamanho de grão.



Figura 5.9: Ajuruteua, praia do tipo dissipativa, com baixa declividade e composta por sedimentos predominantemente finos.

A **Figura 5.10** mostra a variação de diâmetro médio e desvio padrão na face praial relacionada à declividade, nas três zonas estudadas em perfis representativos para cada mês.

⁷ BASCOM, W. N., The relationship between sand-size and beach face slope. **Transactions American Geophysical Union**. USA, v. 32, p. 866-874, 1951.

Pode-se observar em um modo geral, que na ZIS nos quatro meses estudados, os valores do tamanho médio do grão em ϕ são altos, ou seja, os sedimentos são finos. Dois fatores podem ter causado o aumento nos valores: (a) podem ter sido depositados da erosão das dunas na ZIS e como leques de lavagem na zona de supramaré (ZS) (**Figura 5.11**). A maré de sizígia é um dos processos que contribui para que ocorra a erosão, principalmente em março, com um enriquecimento de grãos grossos nas dunas e finos na ZIS; (b) os sedimentos depositados na ZIS, também podem ser oriundos do transporte de sedimentos da ZIM devido à grande energia dos ventos no período seco (e.g. setembro) (**Figura 5.12**).

As manchas de areia mais grossa com orientação ortogonal mais ao norte da praia, vista nas **Figuras 5.2B; 5.3B e 5.4B** correspondem à seleção pior e assimetria negativa. Estas manchas possivelmente podem ter sido causadas pela erosão que são mais proeminentes nesta área da praia, somadas a fortes ventos. Os sedimentos são transportados, em sua grande maioria para a pós-praia, e um aumento residual de grãos grossos, mal selecionados e assimetria negativa, ficam concentrados e formam este tipo de distribuição (**Figura 5.11**).

Na ZIM, a variação da granulometria é maior nos meses de setembro e março quando os valores de diâmetro médio tendem a ser menores (**Figuras 5.10A2 e 5.10A4**). Este comportamento atribui-se a uma relação estrita com as calhas existentes. Já na ZII, nas campanhas de junho e dezembro, os grãos apresentam valores mais baixos em relação aos outros meses, configurando tendência da diminuição dos grãos (engrossamento) no sentido da ZIS para a ZII (**Figuras 5.10A1 e 5.10A3**).

Short (1999) cita a importância do tipo de quebra de onda na praia. No caso de Ajuruteua, a quebra de onda é preferencialmente deslizante. O tipo de quebra, juntamente com o tamanho do grão, determinará a morfologia da praia. Komar (1976), também aciona estes fatores com o grau de seleção dos sedimentos, nível do lençol freático e estágio da maré que produzirá uma considerável variação da declividade.

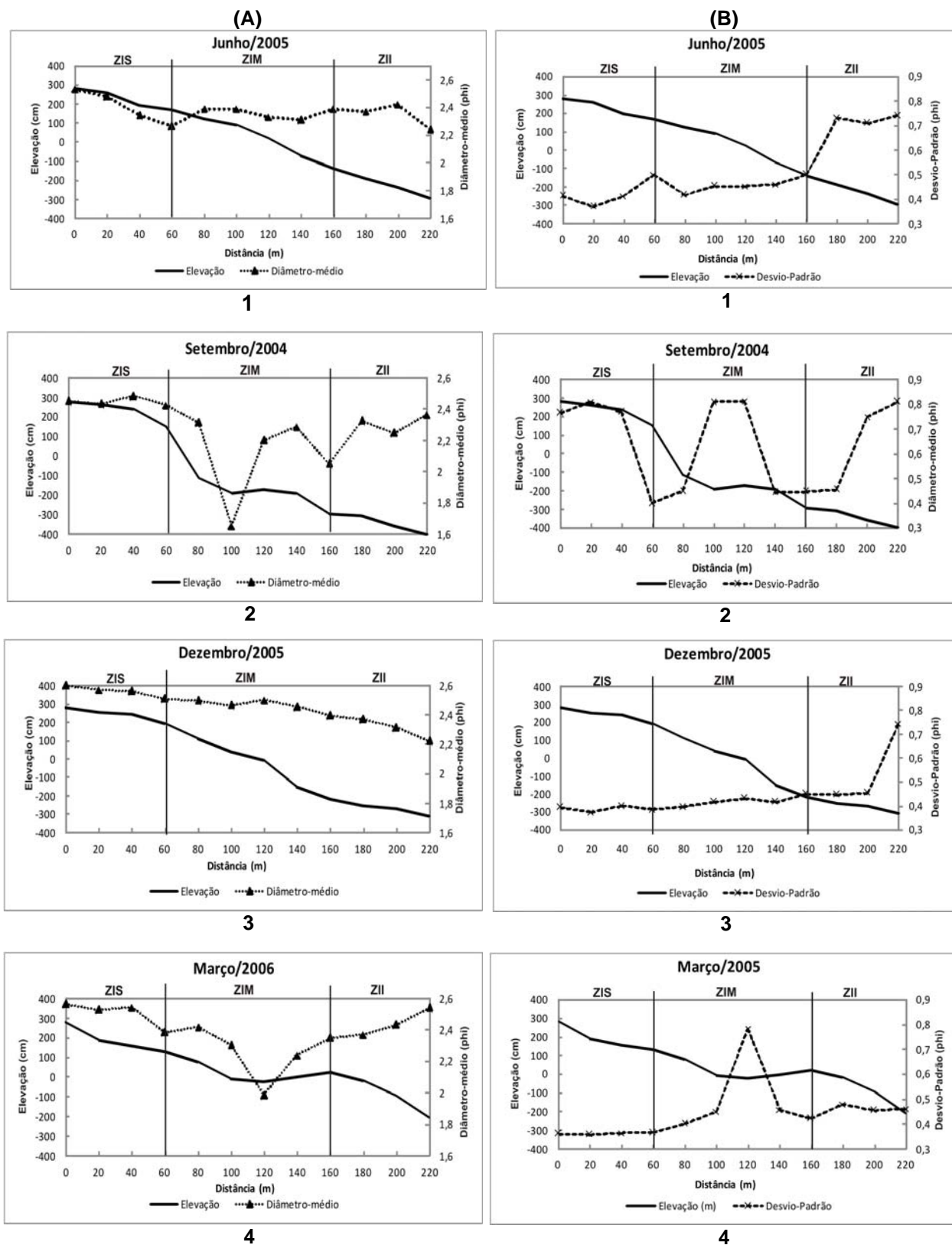


Figura 5.10: Relação entre morfologia e distribuição granulométrica. (A) Diâmetro médio e (B) Desvio padrão em perfis representativos nas quatro campanhas.



Figura 5.11: Setas que mostram as ondas erodindo as dunas e depositando os sedimentos em leques de lavagem. Tais sedimentos também são erodidos das dunas e depositados na ZIS.



Figura 5.12: Sedimentos transportados e depositados na ZIS. Detalhe que mostra a direção dos ventos.

Segundo Edwards (2001), a tendência dos sedimentos para tamanho mais grosso na ZII, aparentemente indica um aumento na mistura dos processos que induz um aumento no valor do desvio padrão indicando mal selecionamento dos sedimentos da praia.

5.3.1.2 Relação entre tamanho médio do grão e o desvio padrão

Há uma diferença no comportamento da distribuição do grau de seleção para os meses estudados, com sedimentos muitos bem selecionados até moderadamente selecionados (**Figura 5.13**). Dentre esses meses, aquele que apresentou maior variação nos valores de desvio padrão em todas as zonas foi o mês de setembro, apresentando três famílias: grãos muito finos e muito bem selecionados; grãos finos bem a moderadamente selecionados e grãos mais grossos (granulometria areia média) e pobremente selecionados. O mês com menor variação nos valores de desvio padrão foi dezembro, que apresenta uma tendência de sedimentos moderadamente selecionados no sentido da ZIS para a ZII. A **Figura 5.10B3** mostra a relação da morfologia com o desvio-padrão a qual podemos atribuir esta distribuição. Quanto mais declive a praia e próximo da ZII, maior o valor do desvio padrão e, portanto, menor o grau de seleção.

Junho e dezembro apresentam o selecionamento similar. Sendo que no mês de dezembro há uma homogeneização interamostral com sedimentos mais bem selecionados que os sedimentos de junho havendo uma concentração maior de areias finas. Isto acontece devido aos movimentos de *swash* e *backswash* que ocorrem nesta zona, enquanto que em junho, os sedimentos tendem a grãos mais grossos e moderadamente selecionados.

A presença das calhas e o fluxo unidirecional nelas existente fazem com que a ZIM do mês de março e setembro apresente tendência para grãos mais grossos e pobremente selecionados (principalmente em setembro onde a energia de ventos e ondas é maior) (**Figuras 5.10A2; 5.10A4; 5.10B2 e 5.10B4**). Deve-se frisar que dentro desta mesma zona há cristas com sedimentos mais finos e melhor selecionados. Contrastando, o mês de junho e dezembro, principalmente este último, quando os sedimentos são bem selecionados, com concentração maior de grãos finos, o padrão textural deve-se possivelmente à homogeneização que ocorre nestes períodos durante o aplainamento da zona.

A ZII nos quatro meses estudados é igual, porém a variação é maior no mês de setembro, o qual terá os grãos pior selecionados (**Figura 5.10B3**).

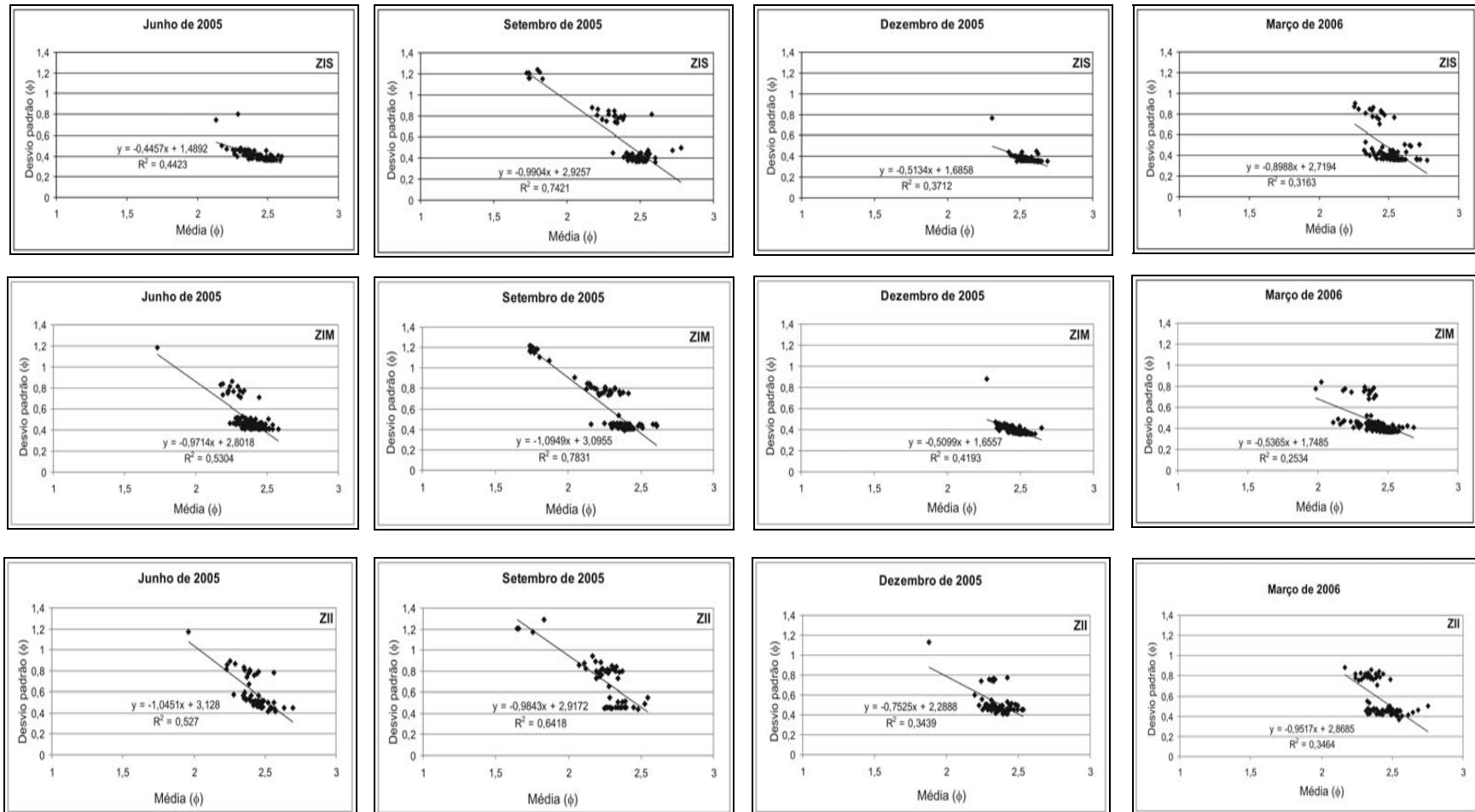


Figura 5.13: Relação da média e desvio padrão nas três zonas (superior, média e inferior) durante os quatro períodos estudados.

5.3.1.3 Relação entre tamanho médio do grão e assimetria

Os resultados obtidos indicam de uma maneira geral que o comportamento da assimetria variou sensivelmente entre os meses analisados, apresentando valores aproximadamente simétricos, apesar da existência de valores positivos e negativos. Entre as zonas da ZI, o mês que menos variou quanto a este parâmetro foi dezembro (**Figura 5.14**). Os valores praticamente são simétricos na ZIS E ZIM, enquanto que na ZII os valores passam a tender a assimetria negativa.

No mês de junho, predomina valores simétricos na ZIS com tendência a assimetria positiva. Nos meses de setembro e março, os valores tendem a ser negativos, onde é vista a relação com a presença de areia média.

Na ZIM, a variação dos valores é maior em setembro mostrando a presença de três famílias de assimetria: valores muito negativos, simétricos e valores muito positivos. O primeiro é atribuído primeiramente a alta energia dos ventos nesta época e a existência de um sistema de crista e calha, onde os valores muito negativos estariam ligados ao fluxo unidirecional nas calhas transportando os mais finos e depositando os mais grossos. Nos meses de junho e março, os sedimentos concentram-se no intervalo de valores simétricos, sendo que neste último há uma dispersão no tamanho do grão (tendendo a mais grosso) que também reflete a existência de calhas e predominância da atuação das marés. Na ZII, nos quatro casos estudados, a variação é bem parecida, o que talvez possa ser explicado pela menor atuação das ondas e dos ventos nesta zona, suplantada pela ação das marés o que levaria à homogeneização dos sedimentos.

De acordo com Bittencourt et al. (1992), a assimetria é bastante sensível a qualquer mudança na quantidade de sedimentos grossos ou finos.

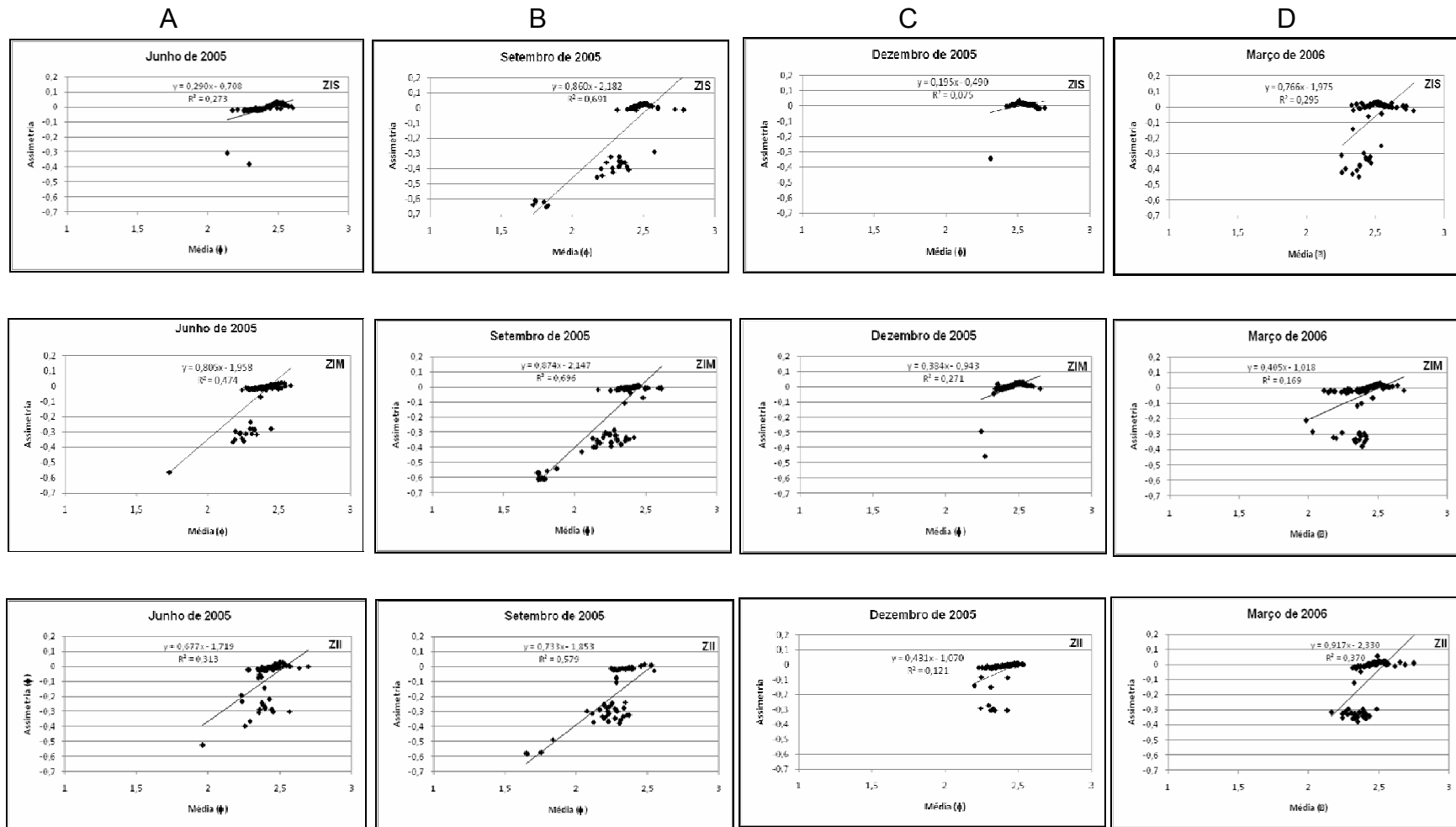


Figura 5.14: Relação entre média e assimetria para as três zonas da zona de intermaré (superior, média e inferior).

5.3.1.4 Análise da variação granulométrica entre os meses

Os parâmetros estatísticos (média, desvio padrão e assimetria) mostraram-se adequados na determinação do padrão de distribuição do tamanho dos sedimentos e seu grau de homogeneização nas praias analisadas pelo presente trabalho. O estudo mostrou que existe variação granulométrica entre os meses estudados.

O comportamento da média, seleção e assimetria nos subambientes da praia nos quatro períodos revela que há dois diferentes padrões de distribuição de sedimentos, que serão designados Padrão 1 e Padrão 2.

Padrão 1

O padrão 1 engloba os meses de junho e dezembro, os quais apresentam distribuição espacial similar dos parâmetros estatísticos. É caracterizado por apresentar areias finas, bem selecionadas e assimetria positiva na ZIS com tendência a engrossamento e piora de seleção e assimetria mais negativa em direção a ZII, mais expressiva no mês de dezembro. Neste padrão, a atuação das ondas e dos ventos é menor, sendo suplantado pela das marés, o que leva a maior homogeneização dos sedimentos.

Padrão 2

O padrão 2 envolve o mês de março e setembro quando existe controle sazonal dos sedimentos, devido à presença de sistema de cristas e calhas. Nestes períodos, predominam valores simétricos a positivos na ZIS, havendo uma tendência para grãos finos e melhor selecionados. A ação das ondas e ventos atua com mais intensidade em setembro, e marés de maiores amplitudes operam com mais força em março (mês de maior intensidade pluviométrica) fazendo com que sedimentos oriundos da erosão das dunas, depositem na ZIS. Na ZIM há um engrossamento dos grãos em direção à calha, que os tornam mais mal selecionados e negativamente assimétricos. A baixa energia atuante no canal causado pelo fluxo unidirecional da água e a predominância da maré, configura esta distribuição. Nas calhas, os sedimentos na ZII torna-se semelhantes aos da ZIS.

Segundo Duane (1964), valores negativos de assimetria indicam remoção de sedimentos finos das dunas devido à erosão, predominando material residual (no caso, areia média para este trabalho), enquanto que valores positivos são típicos de deposição. No entanto, Bittencourt (1992) defende a não relação entre o nível de energia e os valores de assimetria.

5.3.2 Aspectos morfológicos

A compartimentação morfológica da zona de intermaré de praias arenosas está intimamente relacionada com o desnível da topografia e com a granulometria. Em função das variações das marés de sizígia e quadratura e da migração diária das diferentes zonas hidrodinâmicas da praia durante um ciclo de maré, diferentes compartimentos morfológicos são desenvolvidos na praia em decorrência da ação das ondas e dos processos de espraiamento (*swash e back-wash*). Tais processos são responsáveis pelo desenvolvimento das rupturas de declive nas linhas de maré alta e baixa de sizígia, e nas linhas de maré alta e baixa de quadratura.

Quando se comparam as cotas de níveis dos meses estudados, percebe-se que o gradiente nos meses de junho e dezembro é contínuo (**Figuras 5.15 e 5.16**), mas se pode observar que o nível do perfil praial do mês de junho em relação ao nível do mar é maior que do mês de dezembro, o qual por sua vez é maior que o de março (gradiente descontínuo, desenvolvido pelo aparecimento de sistema de cristas e calhas). Percebe-se que o perfil praial do mês de março de 2006 perdeu sedimentos quando comparado aos outros meses (**Figura 5.17**). As dunas existentes no mês de junho foram interrompidas pelas marés dos outros meses monitorados e, portanto já não aparecem mais nos meses de dezembro e principalmente no mês de março, onde se observa um leque de lavagem depositando sedimentos na pós-praia (**Figuras 5.18; 5.19 e 5.20**). Este fato ocorre porque, durante as marés de sizígia, a amplitude somada a intensidade de chuvas leva as grandes descargas dos rios para o oceano, como no caso de março, que configura até mesmo um sistema de cristas e calhas (**Figura 5.18**).

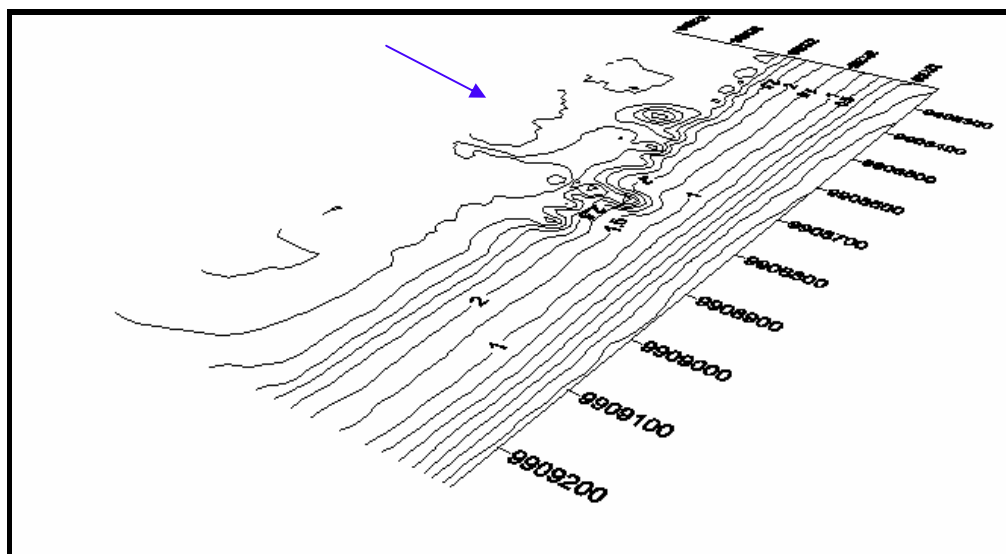
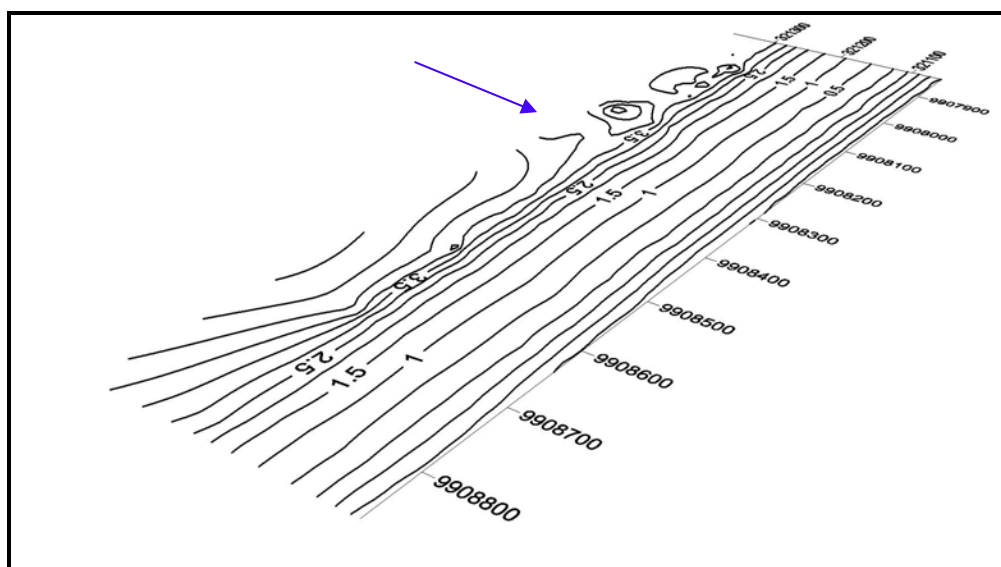


Figura 5.15: Cotas de níveis do mês de junho de 2005. A seta indica a existência de dunas na zona de supamaré.



Figuras 5.16: Cotas de níveis do mês de dezembro de 2005. Note que a presença de dunas diminui.

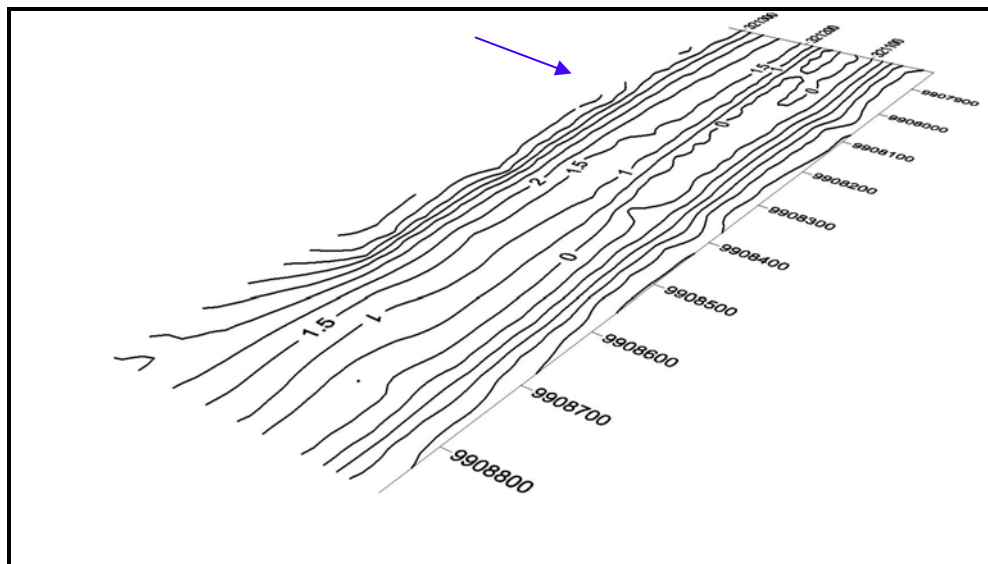


Figura 5.17: Cotas de níveis do mês de março de 2006. Observa-se um leque de lavagem na zona de supramaré, apontado pela seta, que indica a inexistência das dunas.

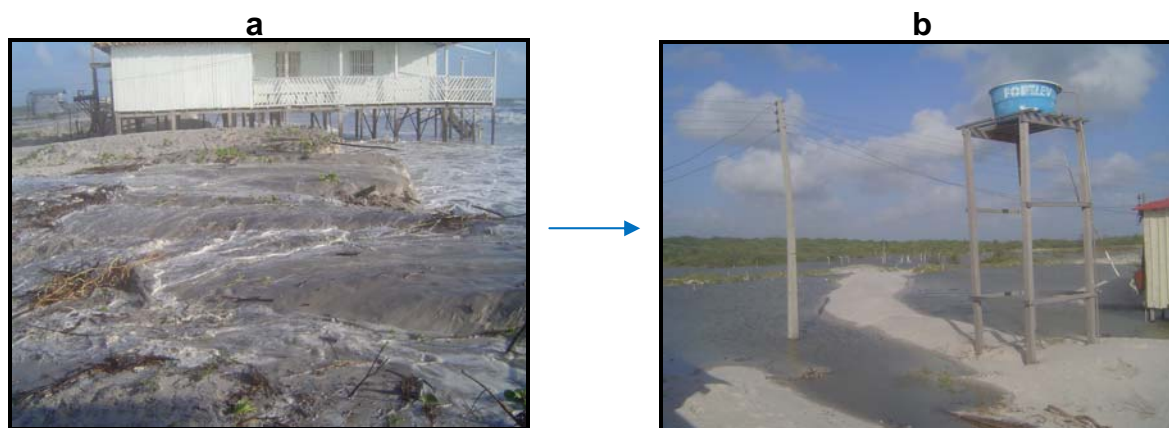


Figura 5.18: Ruptura das dunas (a) e deposição dos sedimentos na pós-praia (b).



Figura 5.19: Leques de lavagem produzidos por efeito da maré de sizígia no mês de março de 2006.



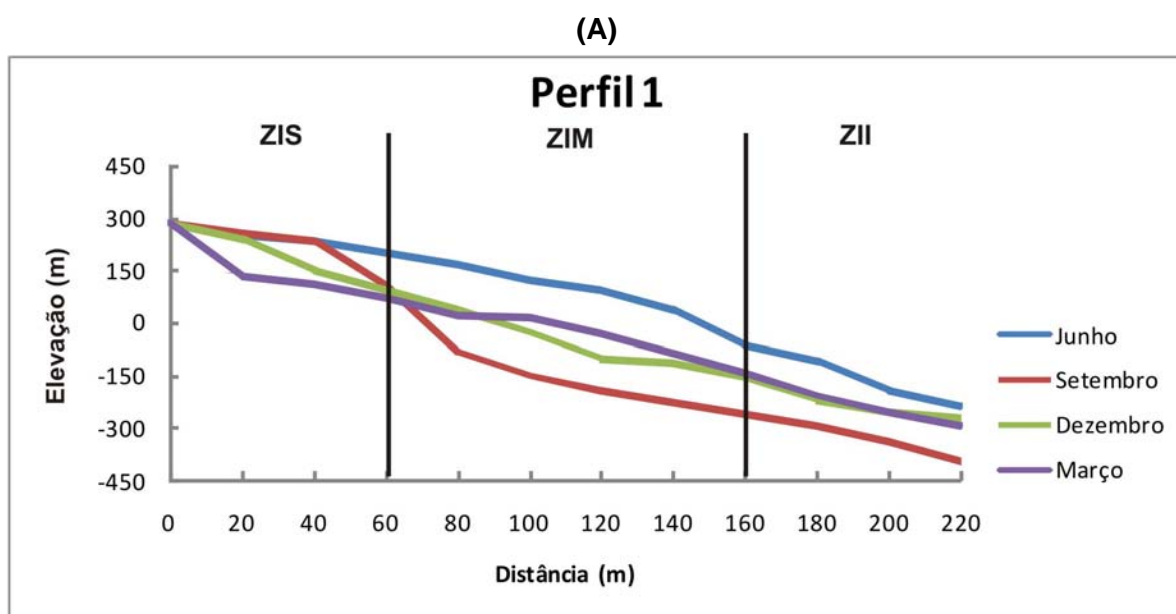
Figura 5.20: Diferenças na morfologia praial encontradas em um intervalo de seis meses. A casa circulada é o ponto de referência escolhido para a comparação e as setas mostram a posição de dunas eólicas que passam a não existir mais no mês de março.

As praias podem perder areia para o transporte mar afora durante a estação mais chuvosa, quando estuários e canais de marés apresentam maior volume de água e as ondas tendem a ser mais energéticas que as da estação menos chuvosa.

Durante os períodos menos chuvosos, a massa de água na zona de espraiamento, são menos energéticas, sendo que as areias removidas para além da zona de arrebentação tendem a migrar novamente, agora em direção a zona de espraiamento (MASSELINK; SHORT, 1993).

As **Figuras 5.21a e 5.21b** mostram dois perfis representativos perpendiculares a linha de praia nos quatro meses estudados que indicam onde há maior erosão e deposição de sedimentos em cada zona. Tanto no perfil 1 quanto no 2, pode-se verificar um padrão hierárquico de deposição de sedimentos na ZIS. O mês de março de 2006, apoiando as afirmações ditas sobre as cotas de níveis nesta zona, sofreu maior retirada de sedimentos.

Na ZIM, nos perfis 1 e 2, a deposição de sedimentos nas calhas existentes em setembro favoreceu o seu aplainamento nos meses de junho, dezembro de 2005 e março de 2006. Na ZII, ao contrário da ZIS, o mês de setembro apresentou maior erosão.



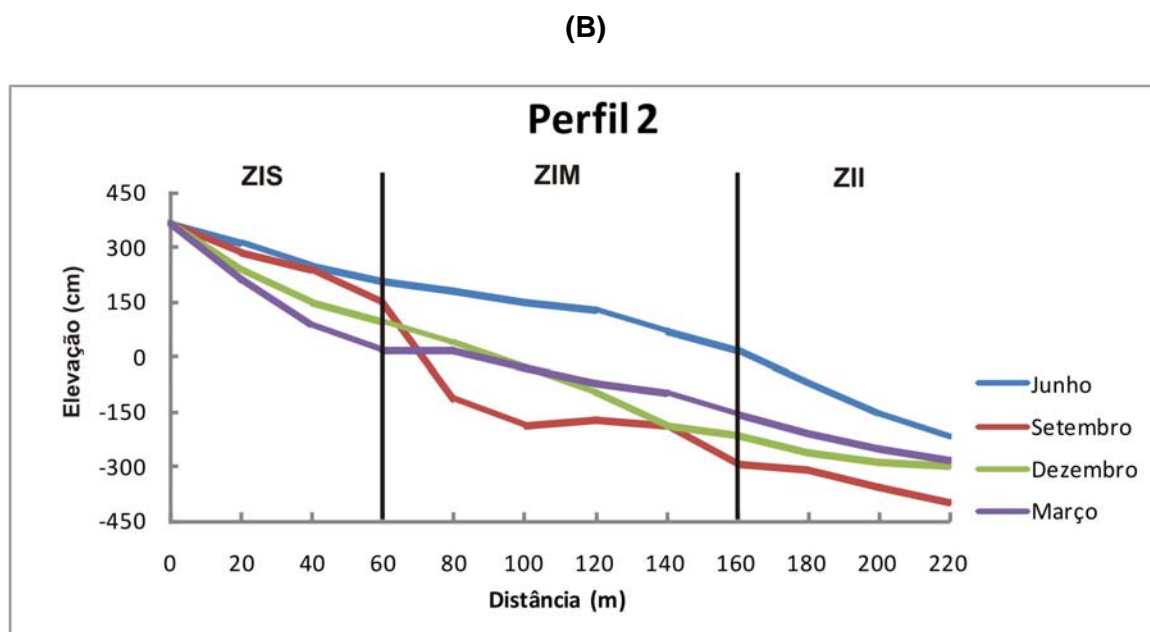


Figura 5.21: Perfis multitemporais de erosão e deposição de sedimentos em diferentes períodos. (A) Perfil 1 e (B) Perfil 2.

5.3 CONCLUSÕES

A variabilidade dos parâmetros granulométricos estudados neste trabalho foi satisfatória, uma vez que foi utilizado um granulômetro a laser com intervalos de $1/8 \phi$, possibilitando a obtenção de resultados expressivos em relação ao comportamento dos parâmetros granulométricos.

Os parâmetros estatísticos mostraram-se satisfatório na análise das características de tamanho, seleção e assimetria da Praia de Ajuruteua.

A análise dos sedimentos mostrou que existem variações granulométricas sazonais nos sedimentos da zona de intermaré entre os meses estudados, na Praia de Ajuruteua nos períodos seco e chuvoso.

É possível observar que há dois padrões de distribuição espacial de parâmetros estatísticos. O padrão 1, englobando os meses de junho e dezembro, caracteriza-se por apresentar areias finas, bem selecionadas e assimetria positiva na ZIS e tendência a engrossamento dos grãos, tornando-se mais mal selecionados e negativos, em direção a ZII. O padrão 2, que envolve o mês de março e setembro, evidencia um controle

sazonal dos sedimentos devido a presença de sistema de cristas e calhas que vai desde areia fina até areia média.

De forma geral, os sedimentos analisados que compõem a ZIS nos meses estudados são finos, bem selecionados e simétricos, apesar da existência eventual de valores de assimetria positivos e negativos (como no caso de setembro e março). Na ZIM, alguns meses apresentaram variações bem significativas, com areia fina a média (setembro e março), valores de assimetria positiva e negativa, e de seleção moderada a boa. Na ZII, em todos os meses estudados, apresentou sedimentos tendendo a mais grossos, de bem a moderadamente selecionados e negativamente assimétricos.

Analisando a assimetria e seleção de todos os meses aqui estudados, pode-se constatar que para este trabalho existe uma relação entre esses dois parâmetros. Sedimentos bem selecionados geralmente apresentam valores simétricos que tendem a assimetria positiva e sedimentos pobremente selecionados apresentam valores negativos. Apesar de alguns autores defenderem a questão da predominância ou não de valores negativos na face de praia (BITTENCOURT, 1992; MACLAREN, 1981), o comportamento da assimetria aqui encontrado mostrou boa relação com a granulometria média do sedimento praias. Grãos mais grossos apresentaram valores de assimetria negativa na sua grande maioria, enquanto que sedimentos finos, valores simétricos com expressiva tendência positiva.

Constatou-se também que o mês que menos apresentou variação, tanto no diâmetro-médio, como no desvio padrão e na assimetria, foi dezembro. Em contraposição, o mês que apresentou maior heterogeneidade na variação desses valores foi setembro, o que se atribui à grande energia de ventos e ondas e a pouca pluviosidade existente neste período, com maior remobilização dos grãos na Zona de Intermaré.

As variações sazonais dos processos costeiros controlam a morfologia da praia. A declividade mostrou boa relação com o tamanho dos sedimentos baseado no que foi

sugerido por Short (1999) e Muehe (1998). A praia de Ajuruteua apresenta sedimentos finos e uma pequena variação para sedimentos de tamanho médio produzindo uma baixa e suave declividade e quanto à morfodinâmica é considerada dissipativa. Por apresentar esse estado morfodinâmico, possui maior estabilidade temporal devido ao seu baixo gradiente de declividade, o que as torna menos frágil frente aos processos costeiros.

A análise dos perfis multitemporais, nas três zonas, indicou que no período estudado, setembro foi o mês que apresentou retirada mais expressiva do sedimento e mostrou maior variação nos parâmetros granulométricos. Enquanto que o mês de junho apresentou maior deposição de sedimentos.

6 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE AMBIENTAL DA PRAIA DE MACROMARÉ DE AJURUTEUA AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO

6.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1.1 Ensaios de permeabilidade com água

Os ensaios realizados em laboratório, das amostras sedimentares coletadas nos três subambientes da praia (ZIS, ZIM e ZII), mostraram valores diferentes para cada uma delas (**Tabela 6.1**).

Tabela 6.1 – Coeficientes de permeabilidade (K) encontrados para ensaios realizados nas três zonas da Zona de Intermaré.

Zona/Perfil	ZIS	ZIM	ZII
P22	$1,55 \times 10^{-3}$	$2,08 \times 10^{-3}$	$3,83 \times 10^{-3}$
P32	$3,08 \times 10^{-3}$	$3,52 \times 10^{-3}$	$3,56 \times 10^{-3}$
P42	$3,09 \times 10^{-3}$	$4,77 \times 10^{-3}$	$3,79 \times 10^{-3}$
MÉDIA	$2,80 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^{-3}$

De acordo com Krumbein e Monk (1942 apud PEREIRA, 2005), a permeabilidade em sedimentos arenosos é controlada basicamente pelo tamanho médio dos sedimentos e desvio padrão. Este modelo é encontrado na praia de Ajuruteua, onde valores mais elevados de permeabilidade encontrados aumentam com o tamanho do grão e desvio padrão (**Figura 6.1**).

Através da análise da **Figura 6.1**, fica nítido que nos perfis 22 e 32, os sedimentos da ZIS, de areia fina e bem selecionada, apresentam valores baixos de permeabilidade, podendo ser classificados como semipermeáveis. Em direção a ZII, os sedimentos tendem a engrossar e tornar-se mal selecionados, e associam-se a valores de coeficientes de permeabilidade mais altos. No perfil 42, o valor mais alto encontra-se na ZIM. Este aumento pode ser atribuído à calha existente durante o mês de coleta (março de 2006), que possui sedimentos classificados como areias média e moderadamente selecionados (discutidos no Capítulo 5). Neste caso, a calha é mais permeável que as zonas vizinhas.

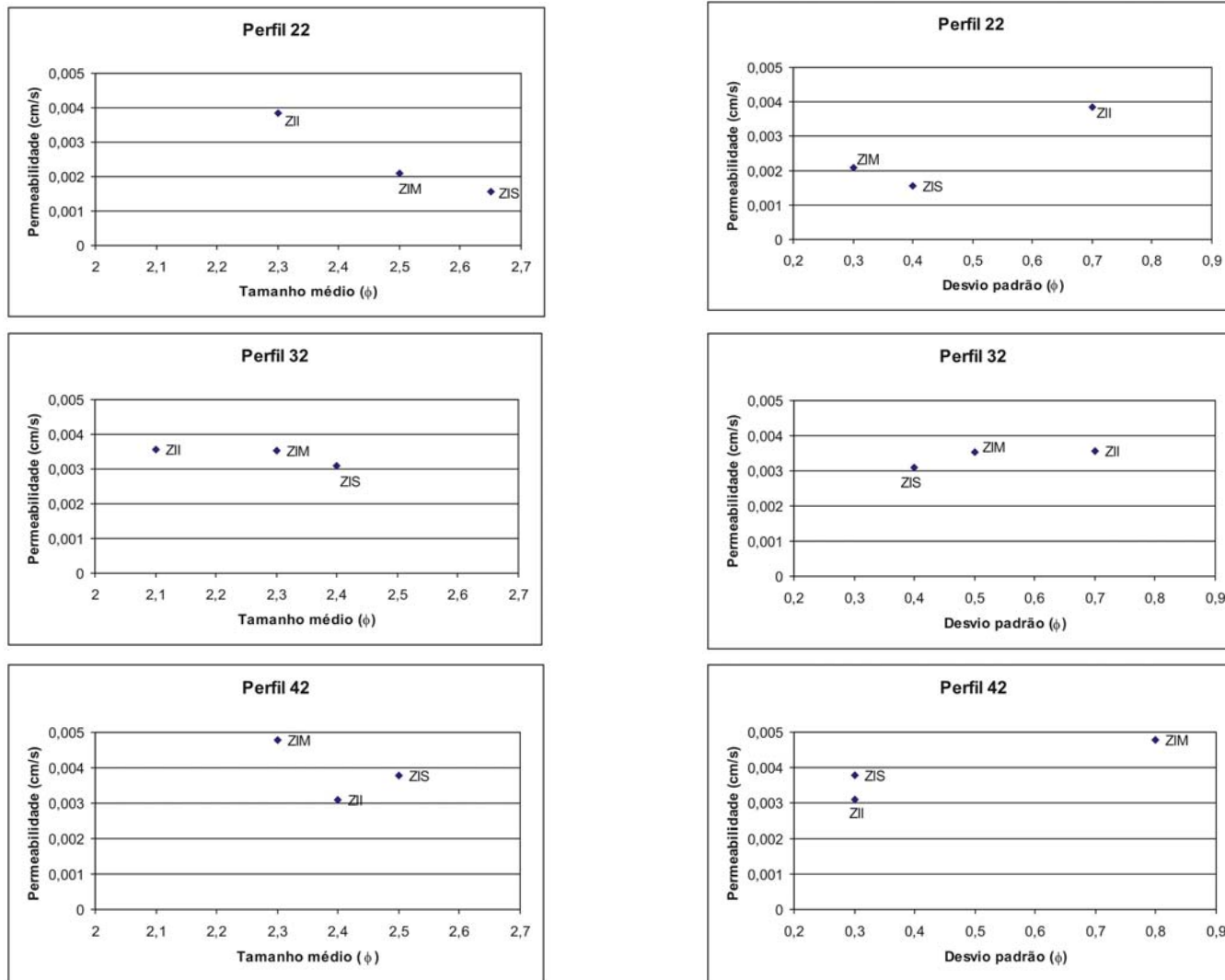


Figura 6.1: Desvio padrão e Tamanho médio *versus* permeabilidade ao longo dos três perfis nas três zonas (ZIS, ZIM e ZII).

6.1.1 Classificação dos índices de sensibilidade a derramamento de óleo na zona de intermaré

A vulnerabilidade do ambiente ao derramamento de óleo pode ser avaliada por meio do Índice de Sensibilidade Ambiental, desenvolvido pela companhia *Research Planning, Inc.'s International* (RPI) e patrocinado pela agência americana de monitoramento oceânico e atmosférico (Hazardous Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA). O índice de vulnerabilidade ambiental tradicional é baseado nas investigações científicas de alguns dos maiores derramamentos de óleo da história, entre eles o de Amoco Cadiz, em 1978, nas costas da Inglaterra e da França (223 mil toneladas), o de Urquiola, em 1976, na Espanha (100 mil toneladas) e o de Metula, em 1974, no Chile (50 mil toneladas) (IPIECA, 2002). Muitos autores têm tentado para investigações dos derramamentos de óleos em ambientes marinhos principalmente no que concerne ao impacto ambiental desses habitats. Dentro deste contexto, temos as praias que são ambientes expostos e sensíveis.

Sob a perspectiva do comportamento do óleo derramado em uma praia, existem três fatores básicos:

- a profundidade a penetração do óleo nos sedimentos;
- o potencial soterramento das camadas com óleo, dificultando na limpeza dos sedimentos;
- a habilidade do sedimento para suportar os equipamentos.

Para definir um índice de sensibilidade ambiental foram levados em consideração vários fatores provenientes de múltiplas áreas do conhecimento. Os fatores físicos que controlam a sensibilidade considerada para este trabalho foram:

1) Declividade

- Alta: menos sensível
- Baixa: mais sensível

A importância principal do tipo de inclinação é o seu efeito na reflexão e quebra das ondas.

2) Granulometria

- Mais fino: menos sensível
- Mais grosso: mais sensível

3) Permeabilidade e infiltração

- Mais permeável: mais sensível
- Menos permeável: menos sensível

4) Segurança e limpeza envolvendo a trafegabilidade

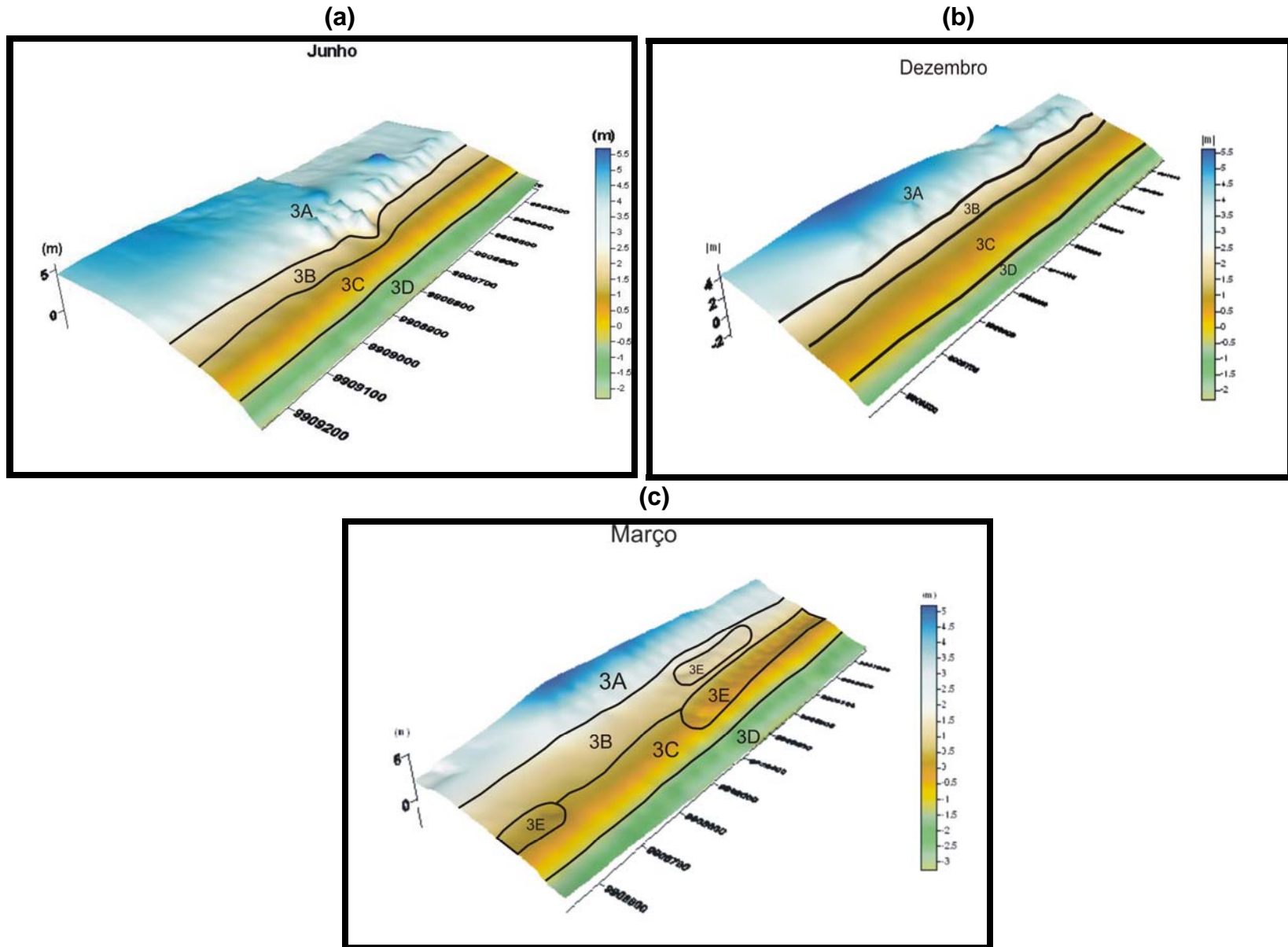
McLachlan (1990) percebeu que grandes volumes de água são filtrados pelas praias arenosas. Ainda segundo este autor, praias com baixa declividade e pequeno tamanho de grão (dissipativas) apresentam baixa capacidade de infiltração e alto tempo de residência. O volume filtrado nessas praias é função direta da amplitude da maré e, sobretudo, da altura das ondas.

De acordo com a classificação proposta pela NOAA (2002a), a praia de Ajuruteua apresenta um índice 3, pois apresenta um comportamento dissipativo, composta por areia média a fina e com larga faixa intermareal. A definição do índice para este trabalho foi analisada por zona considerando os quatro meses estudados, baseados na metodologia da NOAA (2002a). Cada zona mostrou relativa sensibilidade ao derramamento de óleo, conforme as **Figuras 6.2a, 6.2b e 6.2c**. A classificação das zonas segundo Índice de Sensibilidade Ambiental determinou uma escala, adaptada para as feições encontradas na praia de Ajuruteua, apresentada na **Tabela 6.2**.

Tabela 6.2 - Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA) adaptado para a praia de Ajuruteua.

ISA	Subambiente praial
3A	Zona de Supramaré
3B	Zona de Intermaré Superior
3C	Zona de Intermaré Média
3D	Zona de Intermaré Inferior
3E	Calhas

Neste trabalho, classifica-se o índice 3A, como menos sensível, e o 3E, como o mais sensível.



6.1.1.1 Índice 3A – Zona de Supramaré

Esta zona encontra-se na parte mais superior do perfil praiial e coincide com a escarpa das dunas, até o limite das dunas vegetadas.

As principais características verificadas foram:

- A zona é constituída por sedimentos finos e muito bem selecionados;
- A superfície está sujeita ao processo erosivo;
- A permanência do óleo será mínima devido ao processo erosivo;
- Não há tráfego de veículos;
- Trata-se de área com pouco risco de ser atingida por derramamento de óleo, a não ser nas marés de sizígia e quadratura.

6.1.1.2 Índice 3B - Zona de Intermaré Superior

Esta zona encontra-se na porção superior do perfil praiial, apresenta largura média de 50m e está delimitada entre a linha de maré alta de sizígia e a linha de maré alta de quadratura.

As principais características verificadas foram:

- Os sedimentos que a compõem são finos, com variações mínimas para muito fina, apenas no mês de setembro os grãos aumentam de tamanho (1,5 ϕ).
- Os sedimentos são bem selecionados e compactos.
- Os sedimentos apresenta média porosidade de 65 a 66% (**Anexos 1, 2 e 3**) e são semi-permeáveis (**Anexos 5, 6 e 7**);
- A superfície está sujeita ao retrabalhamento regular por fluxo e refluxo das ondas (principalmente em setembro) o que possibilitaria uma auto-limpeza.
- A declividade é na ordem de 2°.
- Alta mobilidade do perfil praiial com alto potencial de soterramento principalmente após a erosão das dunas;
- O tempo de permanência do óleo será, provavelmente, mínimo;
- A penetração do óleo é geralmente menor que 10 cm;
- A trafegabilidade de veículos nesta zona é razoável, pois nela encontram-se muitas construções, o que poderá dificultar o trabalho de limpeza.

6.1.1.3 Índice 3C – Zona de Intermaré Média

Esta zona apresenta a faixa mais larga, em média 150m, e está delimitada entre a linha de maré alta de quadratura e a linha baixa de quadratura.

As principais características verificadas foram:

- A granulometria varia de fina a média e de moderadamente a bem selecionado.
- Os sedimentos apresentam 60 a 66% de porosidade (**Anexos 1, 2 e 3**) e são semipermeáveis (**Anexos 4, 5 e 6**);
- A declividade é da ordem de 1° 52' (ALVES, 2001).
- A mobilidade praial é baixa, aumentando o tempo de residência do óleo;
- A limpeza é necessária;
- A penetração do óleo é geralmente menor que 10 cm;
- A trafegabilidade de veículos é alta nesta zona respeitando o ciclo de maré, uma vez que não há construções e os substratos são compactados;

6.1.1.4 Índice 3D – Zona de Intermaré Inferior

Esta zona compõe a porção inferior do perfil praial e é delimitada pela linha de maré baixa de quadratura e linha de maré baixa de sizígia. Apresenta largura média de 65 m.

As principais características verificadas foram:

- A granulometria nesta zona varia de fina a grossa nos meses de dezembro e junho, e com grau de seleção variando de moderadamente a pobremente selecionado. Nos meses de março e setembro, os sedimentos são mais finos e moderadamente a bem selecionados.
- A porosidade nesta zona é de 62 a 68% (**Anexos 1, 2 e 3**) e sua permeabilidade é considerada média (**Anexos 4, 5 e 6**).
- A declividade é da ordem de 1°;
- A trafegabilidade de veículos torna-se difícil devido ao substrato úmido e saturado.
- O tempo de permanência do óleo será maior pela baixa mobilidade dos sedimentos;
- A limpeza é necessária.

6.1.1.5 Índice 3E – Calhas

As calhas fazem parte do sistema de cristas e calhas na zona de intermaré média existente no mês de março. Ao todo foram registrados três canais e cristas que são paralelas à linha de praia, apresentando extensão de aproximadamente 500m por 20 m de largura.

As principais características verificadas foram:

- Os grãos nas calhas são grossos e mal selecionados e nas cristas são mais finos e mais bem selecionados. Este fato deve-se pelo fluxo unidirecional;

- A permeabilidade é média (**Anexos 4, 5 e 6**) e bem como a porosidade (**Anexos 1, 2 e 3**); quando se leva em conta as características do fluido e do meio, a penetração do óleo pode ocorrer entre 10 e 25cm, por analogia com os estudos feitos nas calhas da *Urquiola*, Espanha (IPIECA, 2002);

- O soterramento é rápido, portanto o tempo de residência do óleo é maior, tornando difícil a limpeza nessa área.

- O acesso de veículos torna-se difícil, devido ao substrato muito úmido e bastante saturado.

- As calhas podem servir como uma espécie de armadilhas, acumulando grande quantidade de óleo pela impossibilidade de drenar fora da praia em marés baixas, o que dificulta a limpeza.

6.1.3 Plano de contingência em caso de derramamento de óleo na praia de Ajuruteua

6.1.3.1. Tipo de óleo

Dos vários fatores individuais que determinam a seriedade e então o custo ambiental de um derramamento de óleo, um dos mais importantes é o tipo de óleo (ITOPF, 2001).

Quando o óleo é derramado no mar, sofre processos de intemperismo, tais como evaporação, dispersão, dissolução e sedimentação que conduzem ao desaparecimento do óleo da superfície do mar. Mas a viscosidade faz com que se forme o que se chama emulsão água e óleo (*mousse*), promovendo a persistência do óleo no mar. Ultimamente o ambiente marinho tem assimilado o derramamento de óleo através dos

processos de longo prazo de biodegradação. Os efeitos e o destino de alguns óleos em particular, e a condição de limpeza, dependem primariamente da combinação das propriedades físicas e químicas destes componentes.

Quando o óleo atinge a praia, pode também sofrer processos tais como evaporação, biodegradação, penetração no solo e escoamento (**Figura 6.3**). A natureza do dano causado por um derramamento varia de acordo com o tipo e a quantidade de óleo envolvido na areia, a determinação do tempo, prevalência das condições intempéricas e outros fatores que podem também influenciar na facilitação com que o volume de óleo pode ser removido.

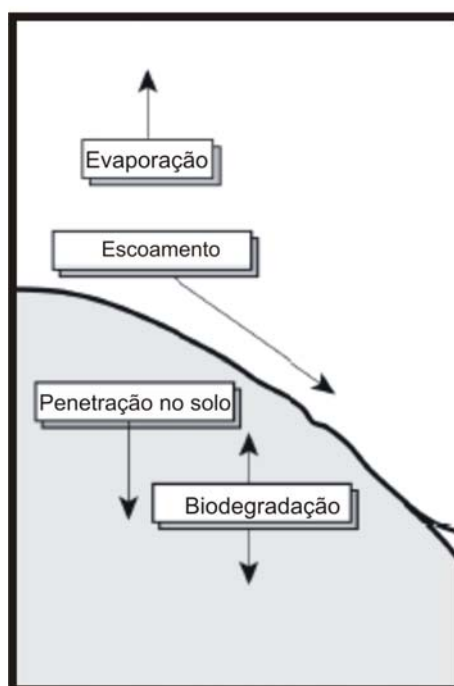


Figura 6.3: Perfil dos processos de destino do óleo que ocorrem na praia.

6.1.3.2 Ações remediadoras

Para diminuir os danos ambientais causados pelos derramamentos, diversos métodos de limpeza são utilizados internacionalmente. A aplicabilidade dos métodos de limpeza depende não só de fatores técnicos, como acesso e tipo de equipamento a ser utilizado, mas também o tipo de óleo, custo da operação e fatores ecológicos, os quais

estão relacionados com a vulnerabilidade de cada ambiente ao impacto do óleo e ao próprio processo de limpeza (MILANELLI¹, 1994 apud DEMORE, 2001).

Em muitos casos, na ocorrência de um eventual derramamento, defende-se que os processos naturais de limpeza devam ser priorizados. Uma vez que, a maioria dos métodos causa algum tipo de impacto ambiental e muitas vezes mais prejudicial que o próprio derramamento, como o exemplo do acidente do navio Arrow que carregava 16.000 t de óleo combustível tipo C, onde as praias mais oleadas foram limpas com tratores, pás-carregadeiras e caminhões, o que provocou sérios danos ambientais (GC, 2005). O processo de intemperismo do óleo ainda é o processo que não prejudica tanto o ambiente, pois a degradação reduz gradualmente a sua quantidade e toxicidade (NOOA, 2002b).

A amplitude de marés na época e local do acidente é um importante fator a ser considerado no comportamento do óleo. Na praia de Ajuruteua, onde a amplitude é superior a 4m (ambiente de macromaré), as marés de sizígia atingem as porções mais internas da zona praial. No entanto, o movimento periódico é um importante fator de limpeza natural. Associado às variações de maré, a declividade da praia, por ser suave, promove a contaminação do óleo por maior área.

O grau de hidrodinamismo pode determinar a permanência do óleo nos sedimentos, o que é determinado pela quantidade, intensidade e força das ondas e correntes que atuam no ambiente (CETESB, 2006). A altura significativa da arrebentação na praia de Ajuruteua mostrou que durante o período chuvoso, as ondas apresentam uma altura (1,5m) maior que na estação seca (1,0m) com período de 11s. Isso deve-se ao fato dos ventos serem mais fortes, com velocidades máximas de 8,0 m/s, durante este período. De acordo com Alves (2001), a praia de Ajuruteua é um ambiente altamente dinâmico. Sua morfologia está relacionada aos processos de moderada a alta energia, principalmente de macromarés associados com ação de ventos fortes. Neste caso, a tendência a dispersar o óleo é rápida. Mas, segundo Milanelli² (1994 apud DEMORE, 2001), o impacto de um derramamento de óleo é reduzido. Nestas condições o óleo pode permanecer poucos dias.

¹ MILANELLI, J.C.C. **Efeitos do Petróleo e da limpeza por jateamento de um Costão rochoso da praia de Baraqueçaba , São Sebastião, S. P.** São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico. 1994. (Dissertação de mestrado).

A entrada e saída de areia em diferentes períodos do ano também é um fator importante no grau de impacto do óleo nas praias. O estágio do ciclo das praias determina a taxa e a quantidade de acumulação de sedimentos na praia e então se pode dizer qual o potencial do soterramento de camadas com óleo para a limpeza dos sedimentos ou para sua remoção por erosão (ITOPF, 2005).

No período seco, ocorre a fase de deposição de areia da praia de Ajuruteua com +1.46 m/mês (SOUZA FILHO; TOZZI; EL-ROBRINI, 2003). Se um eventual derramamento viesse a acontecer, nesse período o óleo poderia sofrer um maior soterramento pelo sedimento, principalmente nas calhas, dando inclusive, a impressão de que a praia está limpa. Isto se baseia nas observações feitas em um derramamento de óleo na *Urquiola*, Espanha, em 1976. Quando coberto por areia limpa, devido ao ciclo das praias, dependendo do tipo de óleo derramado, ele persistirá por longos períodos de tempo, adquirindo gradualmente consistência mais espessa. No período chuvoso, ocorre a fase destrutiva (remoção da areia) com taxas de -2,21 m/mês. Grande quantidade de sedimentos é retirada e ambientes poderão ser recontaminados.

Na ocorrência de um derramamento, a primeira ação deve ser no sentido de impedir que ele atinja a praia. Para isso, devem ser utilizados equipamentos que façam a contenção e retirada do óleo.

De acordo com Kennish², (1997 apud DEMORE, 2001), quando se retira areia contaminada da praia, deve-se ter o cuidado de se remover a mínima quantidade de areia necessária para a limpeza, pois a remoção de uma quantidade excessiva pode gerar sérios danos; além de propiciar a erosão da praia, gera uma maior quantidade de resíduos para o posterior tratamento ou rejeite.

Em praias de areia fina a muito fina, como a de Ajuruteua, este processo se torna mais fácil nas zonas de supramaré e intermaré superior, havendo um aumento na dificuldade do processo de limpeza nas zonas de intermaré média e inferior e principalmente nas calhas (areia média a grossa). Neste subambiente, o óleo pode penetrar profundamente, fazendo com que sua completa remoção resulte em outros problemas que podem durar por muito tempo.

² KENNISH, M. J. **Practical handbook of estuarine and marine pollution**. Marine Science Series, New York, 1997.

Porém, os processos de alta energia tenderiam a remover o óleo da face de praia em um curto período de tempo, de semanas e meses. Mesmo assim, é necessária a retirada dos sedimentos contaminados manualmente ou com equipamentos na faixa de intermaré.

6.2 CONCLUSÕES

Como se pôde ver neste capítulo a importância da integração das informações sedimentológicas, morfológicas e de trafegabilidade e limpeza da área, foram de fundamental importância para se obter a análise da sensibilidade ambiental da praia de Ajuruteua, pois possibilitou a geração de mapas ISA (**Figura 6.2**).

Os ensaios feitos com os sedimentos mostraram que há pouca diferença dos valores de permeabilidade entre as zonas estudadas. Ainda assim, verificou-se que nos três perfis, o canal na ZIM do perfil 42, apresentou maior permeabilidade seguido da ZII, e menor permeabilidade na ZIS. Nota-se uma clara associação entre os valores de tamanho médio e desvio padrão com valores de coeficiente de permeabilidade, onde os valores mais altos de permeabilidade aumentam com o tamanho do grão e desvio padrão.

De uma forma geral, a praia de Ajuruteua mostra relativa sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo devido a suas características peculiares no que se diz respeito à granulometria, que varia consideravelmente nas zonas da Zona de Intermaré, morfologia, permeabilidade e porosidade. Estes dois últimos variaram pouco nas zonas.

No mês de junho e dezembro, verificou-se que a sensibilidade ao derramamento de óleo aumenta no sentido da zona de intermaré superior para a zona de intermaré inferior.

No mês de setembro e março, a sensibilidade ao derramamento de óleo é maior principalmente nas calhas e haveria tendência maior de acúmulo de óleo nestas áreas. Estes canais serviriam como uma espécie de armadilhas dificultando a limpeza.

Se houvesse um derramamento na praia, seu alto hidrodinamismo faria com que o óleo permanecesse por pouco tempo nas zonas estudadas, mas nas calhas o perigo se tornaria maior. Devido ao soterramento, a permanência do óleo seria de semanas a meses, respeitando a entrada e saída de sedimentos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É crescente a preocupação da sociedade com relação aos impactos ambientais decorrentes da ação da atividade do próprio homem principalmente quando envolve acidentes ambientais decorridas de produção e transporte de óleo, pelas companhias de petróleo. Por isso torna-se necessário o conhecimento de medidas e ações contínuas para uma efetiva minimização dos impactos causados pelos derramamentos.

A conjugação das informações sedimentológicas, morfológicas e geotécnicas permitiram o conhecimento um pouco mais profundo sobre a sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo em praias de macromarés, contribuindo na prevenção de um derramamento de óleo nesses tipos de ambiente. A análise dessas informações também permitiu definir claramente os níveis mais susceptíveis dentro da Zona de Intermaré. O estudo apontou as calhas como as mais sensíveis (Índice 3E), e a Zona de Supramaré, como a menos sensível (Índice 3A). A permeabilidade, neste caso, mostrou-se dependente do tamanho médio do grão e grau de seleção encontrada em cada subambiente da Zona de Intermaré. Essas informações foram peças importantes na elaboração do mapa de Índice de Sensibilidade Ambiental da praia de Ajuruteua.

Além disso, sugere-se para trabalhos futuros, de grande importância para o conhecimento da dinâmica deste ambiente, o estudo da hidrodinâmica da praia de Ajuruteua que envolve os parâmetros meteoceanográficos (direção e velocidade do vento e direção, sentido e velocidade das correntes de marés). O estudo do transporte litorâneo também é uma importante ferramenta para análise do comportamento do óleo em praias de macromarés, para que se possam definir com mais detalhes, ações remediáveis diante de um derramamento de óleo.

Outro importante trabalho indispensável para se ter uma melhor análise da permeabilidade na zona de intermaré superior, média e inferior, é obter a taxa de infiltração do óleo o que fornece maior precisão do mapa ISA de Ajuruteua.

Em relação à elaboração de planos de contingência e limpeza de praias, as informações referentes à permeabilidade podem ser de grande proveito na redução de impactos causados por derrames. Os mapas de ISA gerados podem ser interpretados

como mapas de prioridades de medidas emergências, principalmente no que se refere à limpeza da praia.

Esta dissertação mostrou um conjunto de resultados que poderão ser de grande valia para a população que reside na zona costeira, uma vez que esta é uma área de grande importância econômica e social para a região.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. M. S. **Morfodinâmica e sedimentologia da praia de Ajuruteua – NE do Pará**. 2001. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

ALVES, M. M. S.; EL-ROBRINI, M. Morphodynamics of a macrotidal beach: Ajuruteua, bragança – North Brazil. IN: Proceedings of the 8th Internacioanal Coastal Symposium. **Journal of Coastal Research**, v.39. Itajaí, SC – Brasil. 2003.

BERREDO, J.F.; MENDES, A.C.; SALES, M.E.C.; SARMENTO, J.P. Nível de Contaminação por óleo nos sedimentos de fundo e na água do Rio Pará, decorrente do acidente com a Balsa Miss Rondônia. In: PROST, M.T.R.C.; MENDES, A.C. (Ed.) **Ecosistemas Costeiros: Impactos e gestão ambiental**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. CNPq. SECTAM. 2001, p: 153-165.

BITTENCOURT, A. C. S. P. A questão da predominância ou não de valores negativos de assimetria das distribuições granulométricas para os depósitos da face da praia – Uma polêmica revisitada. **Revista Brasileira de Geociências**, v.22 n.1, p.107-111. 1992.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; VILAS BOAS, G. S.; FARIAS, F. F. Variações Direcionais Nos Parâmetros Granulométricos: Um Indicador Adequado Para O Sentido da Deriva Litorânea? **Revista Brasileira de Geociências**, v.22, n.1, p. 100-106. 1992.

BRASIL.MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo (cartas SAO)**. Rio de Janeiro: MMA, 2002.62p.

CAMARGO, M. G. **SYSGRAN para Windows versão 3.2**: Sistema de análises granulométricas. [mcamargo@cem.ufpr.br]. 2005.

CETESB. 2006. **Prevenção à poluição** [on line]. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em: 02 maio 2007.

DEMORE, P. J. **Aspectos sedimentares do Estuário da Lagoa de Patos e sua interação com a poluição por petróleo**: Subsídios para um plano de contingência. 2001. 30f. Trabalho de Conclusão do Curso - Departamento de Geociências, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2001.

DUANE, D. B. Significance of skewness in recent sediments. **Journal of Sedimentary petrology**, v.34, n.4, p. 864-874. 1964.

EDWARDS, A. C. Grain Size and Sorting in Mordern Beach Sands. **Journal Coastal Research**. v.17, n.1, p.38-52, 2001.

EPA. **Understanding oil spills and oil spill response:** understanding oil spills in freshwater environments. United States: Environmental Protection Agency. 1999. p 44.

ESA (European Space Agency). **ERS and it´s Marine Application.** Noordwijk: 1998.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos Rives Bar: a study in the significance of grain parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, n.1, p. 3-26, 1957.

GOVERNMENT CANADA - GC. 2005. **The Sinking of the Oil Tanker Arrow.** Página eletrônica mantida pelo programa Canada's Digital Collections. Disponível em: <http://collections.ic.gc.ca/tanker_arrow/frame.html>. Acesso em: 02 maio 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. 2005. Site Cidades@:Pará. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> - Acesso em: 04 nov. 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA –**Parâmetros meteorológicos do Estado do Pará:** Estação Tracuateua. Disponível em: <http://reia.inmet.gov.br/climatologia/ger_mapa11.php>. Acesso em: 04 nov. 2005.

IPIECA. **Oil spill responder safety guide**, versão 11. Seattle: Londres, Reino Unido. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, 2002. 32p.

ITOPF. International Tanker Owners Pollution Federation. **Accidental Tanker Oil Spill Statistics.** International Tanker Owners Pollution Federation. London. Ltd., 2001.

ITOPF. **Factors affecting the cost of oil spill.** London. Ltd 2005. Disponível em: <www.itopf.com>. Acesso em: 02 maio 2007.

KOMAR, P.D. **Beach Processes and Sedimentation.** New Jersey: Prentice-Hall, 1976, 129p.

LIMA, F. P. S. **Padrão de distribuição sedimentar na zona de intermaré da praia de Ajuruteua, Bragança, Pará.** 2004. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

MARTORANO, L.G.; PERREIRA, L.C.; CÉZAR, E.G.M.; PEREIRA, I.C.B. **Estudos Climáticos do Estado do Pará, Classificação Climática (KÖPPEN) e Deficiência Hídrica (THORNTHWHITE, MATHER).** Belém: SUDAM/ EMBRAPA, SNLCS, 1993. 53p.

MASSELINK, G.; SHORT, A.D. The effect of the tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. **Journal of Coastal Research**, v.9, n.3, p.785-800, 1993.

MCLACHLAN, A. Dissipative Beaches and Macrofauna Communities on exposed Intertidal Sands. **Journal of Coastal Research.** v.6, n.1, p. 57-71, 1990.

McLAREN, P. Na interpretation of trends in grain-size measures. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.51, p.611-624, 1981.

MELO, M.S.; SINFRÔNIO, E. A .S.; GIANNINI, P. C. F.; FACHINI, M.; VICTORINO, M. C. **Manual de Procedimentos Análíticos**. São Paulo: Instituto de Geociências da USP. Laboratório de Sedimentologia, 2004. 45p.

MONTEIRO, A. G. **Metodologia de Avaliação de custos ambientais provocados por vazamento de óleo: O estudo do caso do complexo REDUC-DTSE**. 2003. 270f Tese (Doutorado em Planejamento Energético e Ambiental) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

MUEHE, D. O Litoral brasileiro e sua Compartimentação. In: CUNHA, S.B; GUERRA, A. J. T., (ed). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil S. A., 1998, p.273-349.

MUEHE, D.; CORRÊA, C.H.T. Dinâmica de praia e transporte de sedimentos na Restinga de Macambamba, RJ. **Revista Brasileira de Geociências**, v.19, n.3, p.387-392, 1989.

NOAA. **Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 3.0**. NOAA. Technical Memorandum NOS OR&A 11. Seattle: Washington. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2002a, 173p.

NOAA. **Oil spills in mangroves. Office of Response e Restoration**. Seattle: Washington. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2002b, 70p.

NOERNBERG, M. A.; LANA, P. C. A Sensibilidade de manguezais e marismas a impactos por óleo: Fato ou Mito? Uma ferramenta para a avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo. **Geografares**. Vitória, nº 3, 2002, p. 109-122.

NOGUEIRA, J. B. Índices físicos. In: NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos Solos: Ensaio de laboratório**. São Carlos: Departamento de Geotecnia, USP, 1998, p.69-82.

NORDSTRON, K. F. The use of grain size statistics to distinguish between high and moderate energy beach environments. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.47, n.3, p.1287-1294, 1977.

NUBER, E. **Processos de deposição e erosão na zona de espraiamento de praias oceânicas. Caso de estudo: Concheiros do Albardão**. 2004. 118f. Trabalho de Conclusão de Curso em Oceanografia – CTTMAR, Universidade do Vale do Itajaí-UNIVALI, Itajaí, 2004.

PEDREROS, R.; HOWA, H.; MICHEL, D. Application of grain-size-trend analysis for the determination of sediment transport pathway in intertidal areas. **Marine geology**, v.135, p. 35-49, 1996.

PEREIRA, F.C. **Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência:** aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos. 2005. 161f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005.

PEREIRA, L.C.C; GUIMARÃES, D. O; COSTA, V. B; COSTA, R. M; ROSA FILHO, J. S.; SOUZA FILHO, P. W. M. **Guidelines for an integrated coastal management at Ajuruteua macrotidal beach, Amazon, Northern Brazil.**(No prelo).

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. **Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Sistema Petrobras:** Ambientes Costeiros e estuarinos. Rio de Janeiro, 2002.134p.

REINECK, H. E.; SINGH, I. B. **Depositional sedimentary Environments.** New York: Springer-Verlag, 1980. 449 p.

SHORT, A. **Beach and Shoreface Morphodynamics.** United States: John Wiley & Sons, 1999. 419p.

SILVA, C. G.; PATCHINEELAM, S. M.;BATISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A. Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: BATISTA NETO, J. A.; PONZI,V. R. A.; SICHEL, S. E. **Introdução à Geologia Marinha.** Rio de Janeiro. Editora Interciência, 2004, p.175-218.

SILVA, G. M.. **Estudo do Padrão de distribuição dos sedimentos das Praias arenosas do Litoral Centro-Norte de Santa Catarina.** 2000.102f. Trabalho de Conclusão de Curso em Oceanografia – CTTMAR, Universidade do Vale do Itajaí-UNIVALI, Itajaí, 2000.

SILVA, M.G.L. **Avaliação multitemporal da dinâmica costeira da Praia do Pescador. Bragança (norte do Brasil).** 2001. 113f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

SOUZA FILHO, P.W.M. Impactos naturais e antrópicos na Planície Costeira de Bragança. In: PROST, Maria Tereza; MENDES, Amilcar Carvalho. (Org.). **Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental.** Belém, 2001, p. 133-144.

SOUZA FILHO, P.W.M. **A Planície Costeira Bragantina (NE do Pará): Influência das Variações do Nível do Mar na Morfoestratigrafia Costeira durante o Holoceno.** 1995. 123f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.

SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M.. M. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfosedimentares da Planície Costeira Bragantina - Nordeste do Para (Brasil). **Geonomos**, v.4, n.2, p.1-16, 1996.

SOUZA FILHO, P.W.M.; TOZZI, H.A.M.; EL-ROBRINI, M. Geomorphology, land-use and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal sand beach, Northern Brazil. **Journal of Coastal Research**. v.35, p. 580-589. 2003.

SOUZA FILHO, P.W.M.; MIRANDA, F.P.; BEISL, C.H.; ALMEIDA, E.F.; GONÇALVES, F.D. Environmental sensitivity mapping for oil spill in the Amazon coast using remote sensing and GIS technology. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM – IGARSS 2004, Anchorage, Alaska. **Proceedings...**: IEEE Geoscience and Remote Sensing. 2004.

STANCATI, G.; NOGUEIRA, J. B.; VILAR, O. M. Determinação dos índices físicos. In: Universidade de São Paulo. Departamento de Geotecnia, São Carlos, 1981, p.23-30.

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

WRIGHT, L.D.; NIELSEN, P.; SHORT, A.D.; GREEN, M.O. Morphodynamics of a macrotidal beach. **Marine Geology**, n.50, p. 97-128, 1982.

WRIGHT, L.D; SHORT, A.D. Morphodynamics variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, n.56, p. 93-118, 1984.

ANEXOS

ANEXO A – Índices físicos dos sedimentos na ZIS, ZIM e ZII do ponto 22.

Índices Físicos da Zona de Intermaré Superior – P22			
Porosidade (%)	Grau de Saturação (%)	Teor de Umidade (%)	Índices de Vazios Min.
58,52	38,30	19,44	1,41

DADOS DO CORPO DE PROVA				
				Média
Altura (cm)	24	24	24	24
Diâmetro (cm)	15,05	15,05	15,05	15,05
Área (cm ²)	177,89			
Volume (cm ³)	4269,36			
Massa (g)	5880			
Massa espec. dos sólidos (g/cm ²)	2,78			
M. espec. dos solos (g/cm ²)	1,38			
M. espec. seca (g/cm ²)	1,15			
Índice de Vazios Máximos	1,41			

Índices Físicos da Zona de Intermaré Média – P22			
Porosidade (%)	Grau de Saturação (%)	Teor de Umidade (%)	Índices de Vazios Min.
66,34	39,56	28	1,97

DADOS DO CORPO DE PROVA				
				Média
Altura (cm)	24	24	24	24
Diâmetro (cm)	15,05	15,05	15,05	15,05
Área (cm ²)	177,89			
Volume (cm ³)	4269,36			
Massa (g)	5115			
Massa espec. dos sólidos (g/cm ²)	2,78			
M. espec. dos solos (g/cm ²)	1,20			
M. espec. seca (g/cm ²)	0,94			
Índice de Vazios Máximos	1,97			

Índices Físicos da Zona de Intemaré Inferior – P22			
Porosidade (%)	Grau de Saturação (%)	Teor de Umidade (%)	Índices de Vazios Min.
68,65	39,36	30,1	2,19

DADOS DO CORPO DE PROVA				
				Média
Altura (cm)	24	24	24	24
Diâmetro (cm)	15,05	15,05	15,05	15,05
Área (cm ²)	177,89			
Volume (cm ³)	4269,36			
Massa (g)	4875			
Massa espec. dos sólidos (g/cm ²)	2,78			
M. espec. dos solos (g/cm ²)	1,14			
M. espec. seca (g/cm ²)	0,87			
Índice de Vazios Máximos	2,19			

ANEXO B - Índices físicos dos sedimentos na ZIS, ZIM e ZII do ponto 32.

Índices Físicos da Zona de Intermaré Superior – P32			
Porosidade (%)	Grau de Saturação (%)	Teor de Umidade (%)	Índices de Vazios Min.
68,53	38,11	29,85	2,18

DADOS DO CORPO DE PROVA				
				Média
Altura (cm)	24	24	24	24
Diâmetro (cm)	15,05	15,05	15,05	15,05
Área (cm ²)	177,89			
Volume (cm ³)	4269,36			
Massa (g)	4850			
Massa espec. dos sólidos (g/cm ²)	2,78			
M. espec. dos solos (g/cm ²)	1,14			
M. espec. seca (g/cm ²)	0,87			
Índice de Vazios Máximos	2,18			

Índices Físicos da Zona de Intermaré Média – P32			
Porosidade (%)	Grau de Saturação (%)	Teor de Umidade (%)	Índices de Vazios Min.
63,86	37,99	24,15	1,77

DADOS DO CORPO DE PROVA				
				Média
Altura (cm)	24	24	24	24
Diâmetro (cm)	15,05	15,05	15,05	15,05
Área (cm ²)	177,89			
Volume (cm ³)	4269,36			
Massa (g)	5325			
Massa espec. dos sólidos (g/cm ²)	2,78			
M. espec. dos solos (g/cm ²)	1,25			
M. espec. seca (g/cm ²)	1,00			
Índice de Vazios Máximos	1,77			

Índices Físicos da Zona de Inter-maré Inferior – P32			
Porosidade (%)	Grau de Saturação (%)	Teor de Umidade (%)	Índices de Vazios Min.
65,64	29,16	20,04	1,91

DADOS DO CORPO DE PROVA				
				Média
Altura (cm)	24	24	24	24
Diâmetro (cm)	15,05	15,05	15,05	15,05
Área (cm ²)	177,89			
Volume (cm ³)	4269,36			
Massa (g)	4895			
Massa espec. dos sólidos (g/cm ²)	2,78			
M. espec. dos solos (g/cm ²)	1,15			
M. espec. seca (g/cm ²)	0,96			
Índice de Vazios Máximos	1,91			

ANEXO C - Índices físicos dos sedimentos na ZIS, ZIM e ZII do ponto 42.

Índices Físicos da Zona de Intermaré Superior – P42			
Porosidade (%)	Grau de Saturação (%)	Teor de Umidade (%)	Índices de Vazios Min.
65,07	35,97	24,1	1,86

DADOS DO CORPO DE PROVA				
				Média
Altura (cm)	24	24	24	24
Diâmetro (cm)	15,05	15,05	15,05	15,05
Área (cm ²)	177,89			
Volume (cm ³)	4269,36			
Massa (g)	5145			
Massa espec. dos sólidos (g/cm ²)	2,78			
M. espec. dos solos (g/cm ²)	1,21			
M. espec. seca (g/cm ²)	0,97			
Índice de Vazios Máximos	1,86			

Índices Físicos da Zona de Intermaré Média – P42			
Porosidade (%)	Grau de Saturação (%)	Teor de Umidade (%)	Índices de Vazios Min.
60,73	43,73	24,32	1,55

DADOS DO CORPO DE PROVA				
				Média
Altura (cm)	24	24	24	24
Diâmetro (cm)	15,05	15,05	15,05	15,05
Área (cm ²)	177,89			
Volume (cm ³)	4269,36			
Massa (g)	5795			
Massa espec. dos sólidos (g/cm ²)	2,78			
M. espec. dos solos (g/cm ²)	1,36			
M. espec. seca (g/cm ²)	1,09			
Índice de Vazios Máximos	1,55			

Índices Físicos da Zona de Intermaré Inferior – P42			
Porosidade (%)	Grau de Saturação (%)	Teor de Umidade (%)	Índices de Vazios Min.
62,81	36,59	22,23	1,69

DADOS DO CORPO DE PROVA				
	Média			
Altura (cm)	24	24	24	24
Diâmetro (cm)	15,05	15,05	15,05	15,05
Área (cm ²)	177,89			
Volume (cm ³)	4269,36			
Massa (g)	5395			
Massa espec. dos sólidos (g/cm ²)	2,78			
M. espec. dos solos (g/cm ²)	1,26			
M. espec. seca (g/cm ²)	1,03			
Índice de Vazios Máximos	1,69			

ANEXO D: Permeabilidade das ZIS, ZIM e ZII do ponto 22

Determinação	Data	V. de água percolada	Alt. De C. disponível	Tempo de ensaio (s)	Coefficiente De permeabilidade e KT (cm/s)	Temperatura T (°C)	Viscosidade Din. Da água T (μ)	Viscosidade Din. Da água T 20°	Correção CK	C. de Permeabilidade K20 (cm/s)
1	10/11/2005	100	104	68	$1,91 \times 10^{-3}$	29,2	8,173117	10,07490	0,811236	0,001549
2	10/11/2005	100	104	71	$1,83 \times 10^{-3}$	29,2	8,173117	10,07490	0,811236	0,001485
3	10/11/2005	100	104	71	$1,83 \times 10^{-3}$	29,2	8,173117	10,07490	0,811236	0,001485
4	10/11/2005	100	104	71	$1,83 \times 10^{-3}$	29,2	8,173117	10,07490	0,811236	0,001485
5	10/11/2005	100	104	60	$2,16 \times 10^{-3}$	29,9	8,051855	10,07490	0,799199	0,001726

Coefficiente de Permeabilidade média (K20) da ZIS: $1,55E-03$ cm/s

Determinação	Data	V. de água percolada	Alt. De C. disponível	Tempo de ensaio (s)	Coefficiente De permeabilidade e KT (cm/s)	Temperatura T (°C)	Viscosidade Din. Da água T (μ)	Viscosidade Din. Da água T 20°	Correção CK	C. de Permeabilidade K20 (cm/s)
1	10/11/2005	100	104	38	$3,41E-03$	23	9,38473	10,0749	0,931496	$3,18E-03$
2	10/11/2005	100	104	42	$3,09E-03$	23	9,38473	10,0749	0,931496	$2,88E-03$
3	10/11/2005	100	104	46	$2,82E-03$	23	9,38473	10,0749	0,931496	$2,63E-03$
4	10/11/2005	100	104	45	$2,88E-03$	23	9,38473	10,0749	0,931496	$2,69E-03$
5	10/11/2005	100	104	46	$2,82E-03$	23	9,38473	10,0749	0,931496	$2,63E-03$

Coefficiente de Permeabilidade média (K20): $2,80E-03$ cm/s

Determinação	Data	V. de água percolada	Alt. De C. disponível	Tempo de ensaio (s)	Coefficiente De permeabilidade e KT (cm/s)	Temperatura T (°C)	Viscosidade Din. Da água T (μ)	Viscosidade Din. Da água T 20°	Correção CK	C. de Permeabilidade K20 (cm/s)
1	10/11/2005	100	104	30	4,32E-03	23	9,3847333	10,0749	0,931496	4,03E-03
2	10/11/2005	100	104	31	4,18E-03	23	9,3847333	10,0749	0,931496	3,90E-03
3	10/11/2005	100	104	31	4,18E-03	23	9,3847333	10,0749	0,931496	3,90E-03
4	10/11/2005	100	104	32	4,05E-03	23	9,3847333	10,0749	0,931496	3,78E-03
5	10/11/2005	100	104	34	3,82E-03	23	9,3847333	10,0749	0,931496	3,55E-03

Coefficiente de Permeabilidade média (K20) da ZII – P22: 3,83E-03 cm/s

ANEXO E: Permeabilidade das ZIS, ZIM e ZII do ponto 32

Determinação	Data	V. de água percolada	Alt. De C. disponível	Tempo de ensaio (s)	Coefficiente De permeabilidade e KT (cm/s)	Temperatura T (°C)	Viscosidade Din. Da água T (μ)	Viscosidade Din. Da água T 20°	Correção CK	C. de Permeabilidade K20 (cm/s)
1	10/11/2005	100	104	30	4,32E-03	24	9,1710328	10,0749	0,910285	3,94E-03
2	10/11/2005	100	104	38	3,41E-03	24	9,1710328	10,0749	0,910285	3,11E-03
3	10/11/2005	100	104	42	3,09E-03	24	9,1710328	10,0749	0,910285	2,81E-03
4	10/11/2005	100	104	43	3,02E-03	24	9,1710328	10,0749	0,910285	2,75E-03
5	10/11/2005	100	104	42	3,09E-03	24	9,1710328	10,0749	0,910285	2,81E-03

Coefficiente de Permeabilidade média (K20) da ZIS – P32: 3,08E-03 cm/s

Determinação	Data	V. de água percolada	Alt. De C. disponível	Tempo de ensaio (s)	Coefficiente De permeabilidade e KT (cm/s)	Temperatura T (°C)	Viscosidade Din. Da água T (μ)	Viscosidade Din. Da água T 20°	Correção CK	C. de Permeabilidade K20 (cm/s)
1	10/11/2005	100	104	25	5,19E-03	21	9,8362417	10,0749	0,976311	5,07E-03
2	10/11/2005	100	104	37	3,51E-03	21	9,8362417	10,0749	0,976311	3,42E-03
3	10/11/2005	100	104	40	3,24E-03	21	9,8362417	10,0749	0,976311	3,17E-03
4	10/11/2005	100	104	42	3,09E-03	21	9,8362417	10,0749	0,976311	3,02E-03
5	10/11/2005	100	104	43	3,02E-03	21	9,8362417	10,0749	0,976311	2,95E-03

Coefficiente de Permeabilidade média (K20) da ZIM – P32: 3,52E-03 cm/s

Determinação	Data	V. de água percolada	Alt. De C. disponível	Tempo de ensaio (s)	Coefficiente De permeabilidade e KT (cm/s)	Temperatura T (°C)	Viscosidade Din. Da água T (μ)	Viscosidade Din. Da água T 20°	Correção CK	C. de Permeabilidade K20 (cm/s)
1	10/11/2005	100	104	32	4,05E-03	22	9,6063329	10,0749	0,953491	3,87E-03
2	10/11/2005	100	104	34	3,82E-03	22	9,6063329	10,0749	0,953491	3,64E-03
3	10/11/2005	100	104	36	3,60E-03	22	9,6063329	10,0749	0,953491	3,44E-03
4	10/11/2005	100	104	36	3,60E-03	22	9,6063329	10,0749	0,953491	3,44E-03
5	10/11/2005	100	104	36	3,60E-03	22	9,6063329	10,0749	0,953491	3,44E-03

Coefficiente de Permeabilidade média (K20) da ZII – P32: 3,56E-03 cm/s

ANEXO F: Permeabilidade das ZIS, ZIM e ZII do ponto 42

Determinação	Data	V. de água percolada	Alt. De C. disponível	Tempo de ensaio (s)	Coefficiente De permeabilidade e KT (cm/s)	Temperatura T (°C)	Viscosidade Din. Da água T (μ)	Viscosidade Din. Da água T 20°	Correção CK	C. de Permeabilidade K20 (cm/s)
1	10/11/2005	100	104	37	3,51E-03	25	8,96484695	10,0749	0,889819	3,12E-03
2	10/11/2005	100	104	31	4,18E-03	25	8,96484695	10,0749	0,889819	3,72E-03
3	10/11/2005	100	104	31	4,18E-03	25	8,96484695	10,0749	0,889819	3,72E-03
4	10/11/2005	100	104	27	4,80E-03	25	8,96484695	10,0749	0,889819	4,28E-03
5	10/11/2005	100	104	28	4,63E-03	25	8,96484695	10,0749	0,889819	4,12E-03

Coefficiente de Permeabilidade média (K20) da ZIS – P42: 3,09E -03 cm/s

Determinação	Data	V. de água percolada	Alt. De C. disponível	Tempo de ensaio (s)	Coefficiente De permeabilidade e KT (cm/s)	Temperatura T (°C)	Viscosidade Din. Da água T (μ)	Viscosidade Din. Da água T 20°	Correção CK	C. de Permeabilidade K20 (cm/s)
1	10/11/2005	100	104	20	6,49E-03	21	9,83624175	10,0749	0,976311	6,33E-03
2	10/11/2005	100	104	22	5,90E-03	21	9,83624175	10,0749	0,976311	5,76E-03
3	10/11/2005	100	104	31	4,18E-03	21	9,83624175	10,0749	0,976311	4,09E-03
4	10/11/2005	100	104	32	4,05E-03	21	9,83624175	10,0749	0,976311	3,96E-03
5	10/11/2005	100	104	34	3,82E-03	21	9,83624175	10,0749	0,976311	3,73E-03

Coefficiente de Permeabilidade média (K20) da ZIM – P42 (calha): 4,77E-03 cm/s

Determi- nação	Data	V. de água percola da	Alt. De C. disponível	Tempo de ensaio (s)	Coefficiente De permeabilidad e KT (cm/s)	Temper atura T (°C)	Viscosidade Din. Da água T (μ)	Viscosidade Din. Da água T 20°	Corre- ção CK	C. de Permeabili dade K20 (cm/s)
1	10/11/2005	100	104	39	3,33E-03	21	9,83624175	10,0749	0,976311	3,25E-03
2	10/11/2005	100	104	39	3,33E-03	21	9,83624175	10,0749	0,976311	3,25E-03
3	10/11/2005	100	104	41	3,16E-03	21	9,83624175	10,0749	0,976311	3,09E-03
4	10/11/2005	100	104	43	3,02E-03	21	9,83624175	10,0749	0,976311	2,95E-03
5	10/11/2005	100	104	43	3,02E-03	21	9,83624175	10,0749	0,976311	2,95E-03

Coefficiente de Permeabilidade média (K20) da ZII – P42: 3,79E -03 cm/s