

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

**MORFODINÂMICA DO “SACO DO LARANJAL”: COSTA
NOROESTE DO ESTUÁRIO DA LAGUNA DOS PATOS - RS**

ANDREA FISCHER

Dissertação apresentada à Comissão de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Lauro Júlio Calliari, Dr. em Ciências Marinhas.

Co-orientadora: Maria Ângela Vaz dos Santos, Dr^a em Engenharia Civil.

Rio Grande, abril de 2005.

**MORFODINÂMICA DO “SACO DO LARANJAL”: COSTA
NOROESTE DO ESTUÁRIO DA LAGUNA DOS PATOS - RS**

A todos que de alguma forma me mostraram que os sonhos são possíveis de serem realizados.

AGRADECIMENTOS

Seria impossível agradecer a todas as pessoas que, de alguma forma, me ajudaram para que este trabalho fosse possível de ser realizado. Desta forma, se por ventura alguém não for aqui citado, desde já vão meus agradecimentos.

Ao professor e orientador Dr. Lauro Julio Calliari, por todos os ensinamentos, pelo interesse a cada atendimento, pelos bons momentos, pelo apoio e presença a cada trabalho de campo e, principalmente, pela amizade.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, pelo apoio e amizade. A CAPES, pelo auxílio financeiro. Ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG), pela estrutura e por todo o apoio logístico que viabilizou o trabalho de campo.

A professora Angela Maestrini pelos ensinamentos, pela condução aos meus primeiros passos nas pesquisas científicas, mostrando que sempre é possível a aquisição de muitos conhecimentos, levando tudo de forma ética e organizada, e principalmente, pela grande amizade que ficou e que certamente permanecerá no futuro.

A professora e co-orientadora Maria Angela Vaz dos Santos pela orientação e pela condução a sugestão deste trabalho.

Ao Professor Carlos Tagliani pelos ensinamentos e pelo interesse no atendimento.

A todos que me ajudaram nos levantamentos de campo. Ao Antikeira “grande colega”, por todos os ensinamentos passados na operação da Estação Total, pelo material emprestado, pelo apoio nos mais diversos problemas que foram surgindo ao longo do trabalho, pelas receitas culinárias quando estávamos famintos e, claro, pela amizade. Ao “Milico”, por suportar o frio do inverno e por todos os levantamentos em que me ajudou. E, ainda, ao Fontoura, ao Pedro e ao Clabisnei, o meu grande agradecimento pela ajuda nas saídas de campo.

Aos colegas do LOG, o Pedro, o Alan, a Salette e o Renato Lélis, pelas sugestões, pela convivência e todas as boas conversas no Laboratório.

A Neusa do Laboratório de Sedimentologia por todas as análises de amostras e pela sua grande simpatia.

A Prefeitura Municipal de Pelotas, pelas fotografias aéreas emprestadas e também pela equipe de topografia da Secretaria de Urbanismo que nos auxiliou nos primeiros meses de trabalho.

Aos funcionários da Estação Agroclimatológica UFPel/EMBRAPA pela concessão dos dados de vento.

A todos os familiares e amigos, pelas palavras dadas, pelo apoio e carinho nos momentos difíceis e por me fazerem acreditar que os problemas são superados e sempre podemos retomar e fazer acontecer tudo de bom que havíamos deixado para traz.

Expresso minha gratidão especial ao Sandro, pela força, pela paciência, pelo convívio, pela ajuda, pelo amor e carinho.

A Deus, que me acompanha em todos os meus momentos.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar a morfodinâmica costeira do Saco do Laranjal localizado na costa noroeste da região estuarina da Laguna dos Patos para avaliar alterações recentes e atuais associadas aos processos morfológicos e sedimentares da linha de costa. Para isto foi realizado um estudo da evolução da linha de costa entre os anos de 1980 e 1995, levantamento topográfico e granulométrico das porções subaéreas e subaquosas, durante o período de maio de 2003 a agosto de 2004. Adicionalmente, usou-se um modelo para previsão de ondas geradas na área de pesquisa e observações visuais esporádicas. A caracterização da evolução morfológica, do comportamento morfodinâmico e os processos associados fornecem subsídios importantes para planos de gerenciamento costeiro que objetivem minimizar os problemas erosivos que vem ocorrendo na área. Através da análise da variação da linha de costa, foi possível observar que a praia do Barro Duro sofre taxas erosivas de 1,04 m/ano. A Colônia Z3 possui pontos com taxas erosivas, a praia do Totó apresenta pontos estáveis e outros com erosão. Contrariamente, a praia do Laranjal mostra acreção e estabilidade. As observações permitem inferir que as principais causas de erosão nas praias lagunares são as ondas de curto período geradas na própria laguna por ventos locais, o transporte litorâneo associado e o aumento do nível lagunar durante períodos de enchente. Foram verificados alturas e períodos significativos de onda, entre 0,10 e 0,35 m e 1,2 a 2,9 s, respectivamente. Os cinco perfis praias monitorados podem ser classificados como íngremes, devido à baixa energia de onda (≤ 25 m) e a presença de sedimentos grossos ao longo de toda a margem noroeste do estuário. Os parâmetros morfométricos indicam alto índice de mobilidade para a praia do Barro Duro decrescendo para as praias do Totó e Colônia Z3 e mínimo para a praia do Laranjal. Sugere-se engordamento de praia associado a outro método de fixação (solução mista) como o método mais aconselhável para minimizar a erosão e melhorar a qualidade das praias na região do Barro Duro. Fontes de areia de boa qualidade com características similares as amostras de sedimentos analisados no Barro Duro foram encontradas nos perfis batimétricos levantados nas proximidades dos locais onde a erosão é crítica.

Palavras-chave: Laguna dos Patos, Praias Estuarinas, Erosão Costeira, Morfodinâmica Praia, Engordamento de Praia.

ABSTRACT

The objective of the present work is to analyze the morphodynamic characteristics of the “Saco do Laranjal” an embayment located at the northwest portion of the Patos Lagoon estuary in order to evaluate recent and actual changes associated with the coastal sedimentary processes. The embayment is subdivided in four beaches: Laranjal, Barro Duro, Totó and Colônia de Pescadores Z3. Coastline evolution was based on aerial photographs obtained in 1980 and 1995. Beach profiles surveys and grain size analysis both at the sub aerial and sub aqueous portions of the beach associated were performed at monthly intervals. Additionally a wave forecast model and visual observations were done for specific energetic conditions. Characterization of its morphological evolution, morphodynamic behavior and associated processes will certainly provide important contributions to future plans of coastal management regarding the control and minimization of the erosive processes which occur on a significant portion of the area. Analysis of shoreline changes demonstrate that between 1980 and 1995, erosion rates for Barro Duro beach reached 1.04 m/year. Colônia Z3 beach display some erosional spots and Totó beach presents both erosive and accretional stretches. In contrast, Laranjal beach display accretion and stability. The studies allow to infer that the main erosion causes can be attributed to short period waves generated by local winds, the associated littoral drift and the frequent increase of the water level on the margin during periods of floods associated with winds from the southern quadrant. Significant wave heights and period varied between 0,10 and 0,35 m and 1,2 to 2,9 s, respectively. The five beaches profiles monitored during the study period can be classified as steep mainly due the low breaker height (≤ 0.25 m) and the coarse characteristics of the beach face sediments. The evaluation of the morphometrics parameters showed high mobility index for Barro Duro Beach, medium for Totó and Colonia Z3 beaches and very low for Laranjal beach. Beach nourishment or the use of a mixed solution (nourishment and groins) is suggested as the more convenient methods to control beach erosion along Barro Duro beach. Sources of good quality sand were found in the lagoon nearby the erosional sites.

Keywords: Patos Lagoon estuary, estuarine beaches, shoreline changes, beach morphodynamic, beach nourishment.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	09
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE QUADROS	14
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 ESTUÁRIOS E PRAIAS ESTUARINAS	15
1.2 HISTÓRICO DA REGIÃO E DO PROBLEMA	20
1.3 OBJETIVOS	30
1.3.1 Objetivo Geral	30
1.3.2 Objetivos Específicos	30
2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA	31
2.1 CLIMA	31
2.2 HIDROGRAFIA	32
2.3 GEOLOGIA – GEOMORFOLOGIA	34
3. MÉTODOS PARA RECUPERAÇÃO DOS LOCAIS EM PROCESSO DE EROÇÃO PRAIAL	41
3.1 MÉTODOS PARA PROTEÇÃO COSTEIRA	41
3.1.1 Quebra Mares (<i>Breakwaters</i>)	44
3.1.2 Espigões (<i>Groins</i>)	47
3.1.3 Revestimentos e Muros de Contenção (<i>Seawalls e Bulkheads</i>)	49
3.1.4 Engordamento de Praia	53
3.1.5 Outras Alternativas	58
4. METODOLOGIA	60
4.1 ESTUDO DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA	60
4.1.1 Tratamento das Fotos Aéreas	61
4.1.2 Construção do Mosaico	62
4.1.3 Digitalização das Feições Representativas da Posição da Linha de Costa	62
4.1.4 Erro de Amostragem	63
4.1.5 Cálculo das variações da linha de costa e determinação dos locais de erosão/acresção	64

4.2 ESTUDO DA VARIAÇÃO DOS PERFIS TOPOGRÁFICOS PRAIAIS	65
4.3 PERFIS BATIMÉTRICOS	68
4.4 ANÁLISE DE DADOS GRANULOMÉTRICOS	70
4.5 PREVISÃO DA AGITAÇÃO GERADA PELO VENTO	73
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
5.1 VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA	80
5.2 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E MORFODINÂMICA PRAIAL	87
5.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	113
5.4 PREVISÃO DA AGITAÇÃO GERADA PELO VENTO	119
5.5 PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO PARA OS LOCAIS EM PROCESSO DE EROSÃO PRAIAL	123
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
6.1 CONCLUSÕES	125
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	130
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
 ANEXO A - MOSAICOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS	 140
ANEXO B - LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS SEDIMENTOLÓGICAS NOS PERFIS BATIMÉTRICOS	151
ANEXO C - PERFIS BATIMÉTRICOS	156

LISTA DE SIMBOLOS

CV	Coefficiente de variação da largura média da praia
F	Pista de Vento (Fetch)
H	Altura da onda
H_s	Altura significativa da onda
$\bar{H}_s$	Média anual das ondas significativas
$H_{s0,137}$	Altura significativa de onda excedida somente 12 horas/ano.
L	Comprimento de onda
M_z	Média aritmética do tamanho do sedimento
N	Número de levantamentos topográficos
P	Perfil Digitalizado
R_L	Coefficiente de estabilidade
R_T	Fator de correção da estabilidade
SMB	Sverdrup-Munk-Bretschneider
T	Período da onda
T_s	Período significativo da onda
$\bar{T}_s$	Média anual do período significativo
U_A	Fator de tensão do vento (m/s)
V	Velocidade dos ventos (m/s)
V_v	Variação média do volume
Y_b	Largura média da praia
d	Profundidade do local
d_i	Diâmetro do sedimento em milímetros
d_1	Profundidade de fechamento do perfil
g	Aceleração da gravidade (m/s ²)
senh	Seno hiperbólico
tanh	Tangente hiperbólica
z	Altura de coleta de dados de vento
ϕ	Tamanho do sedimento
π	Constante matemática (3,14159)
σ	Desvio padrão
σV_v	Desvio padrão da variação de volume
σY_b	Desvio padrão da largura média da praia

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1	Cálculo das Faixas de Incerteza	pág. 64
TABELA 4.2	Setores analisados	65
TABELA 4.3	Localização dos Perfis Topográficos Praiais	65
TABELA 4.4	Dados de Levantamento dos Perfis Batimétricos	70
TABELA 4.5	Número de Amostras coletadas em cada perfil topográfico e em cada perfil batimétrico	71
TABELA 4.6	Dados de Fetch, Fetch Efetivo e Profundidade necessários para a caracterização de ondas	76
TABELA 5.1	Variação no posicionamento das feições localizadas no Setor 1 - entre a barra do canal São Gonçalo e o trapiche no Balneário Valverde.	80
TABELA 5.2	Variação no posicionamento das feições localizadas no Setor 2 – praia do Laranjal, entre os Balneários Valverde e Santo Antônio.	81
TABELA 5.3	Variação no posicionamento das feições localizadas no Setor 3 – entre a praia do Balneário Santo Antônio e a praia do Balneário dos Prazeres.	82
TABELA 5.4	Variação no posicionamento das feições localizadas no Setor 4 – entre a praia do Balneário dos Prazeres e as proximidades da ponte da praia do Totó.	83
TABELA 5.5	Variação no posicionamento das feições localizadas no Setor 5 – Praia do Totó.	84
TABELA 5.6	Variação no posicionamento das feições localizadas no Setor 6 – entre a Praia do Totó e a Colônia de Pescadores São Pedro (Z3).	85
TABELA 5.7	Parâmetros Morfométricos	87
TABELA 5.8	Comparação de dados obtidos pelo Programa SMB89 com os dados obtidos pelo levantamento de campo.	119

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1	Localização da área de estudo.	pág. 21
FIGURA 1.2	Praia do Laranjal, no sentido Sul-Norte.	22
FIGURA 1.3	Elevação do nível das águas e ondas no pós-praia da Praia do Laranjal, em outubro de 2001.	24
FIGURA 1.4	Elevação do nível das águas atingindo o calçadão da praia do Laranjal, em outubro de 2001.	24
FIGURA 1.5	Praia do Barro Duro no ano de 1979, no sentido Norte-Sul.	25
FIGURA 1.6	Praia do Barro Duro no ano de 1979, no sentido Sul-Norte.	25
FIGURA 1.7	Ginástica na Praia do Barro Duro em 1982, no sentido Sul-Norte. ...	26
FIGURA 1.8	Praia do Barro Duro em 2004, no sentido Sul-Norte.	26
FIGURA 1.9	Árvore que tombou devido ao processo erosivo na praia do Barro Duro.	27
FIGURA 1.10	Praia do Totó, no sentido Norte-Sul.	28
FIGURA 1.11	Vista aérea parcial da Colônia de Pescadores Z3.	29
FIGURA 2.1	Mapa Geológico da região em estudo.	38
FIGURA 3.1	Quebra mar segmentado na Baía de Chesapeake, EUA	46
FIGURA 3.2	Evolução da Linha de Costa em Chesapeake, EUA	46
FIGURA 3.3	Espigões na Baía de Chesapeake (suprimento de sedimentos insuficiente)	47
FIGURA 3.4	Espigões em Rappahannock River (Baía de Chesapeake, EUA)	49
FIGURA 3.5	Revestimento feito com sacos preenchidos com areia.	50
FIGURA 3.6	Muro de contenção “blukhead” na Baía de Chesapeake, EUA	51
FIGURA 3.7	Revestimento Subdimensionado em Chesapeake, EUA	52
FIGURA 3.8	Perda das Pedras na obra emergencial na Praia do Barro Duro.	52
FIGURA 3.9	Vista da praia de Piçarras antes do engordamento (Outubro de 1998).	55

FIGURA 3.10	Vista da praia de Piçarras após o engordamento (Janeiro de 1999) ...	55
FIGURA 3.11	Proteção de costa com “sill”, quebra mar e plantio de espécies vegetais em Choptank River (Baía de Chesapeake, EUA)	59
FIGURA 3.12	Choptank River (Baía de Chesapeake, EUA), após 5 anos	59
FIGURA 4.1A	Painel frontal da eco-sonda Hydrotrac.	69
FIGURA 4.1B	Seletores analógicos para controle de potência e sensibilidade.	69
FIGURA 4.2	Busca Fundo tipo “Mud Snapper”.	69
FIGURA 4.3	Medição de Ondas em 28/03/04 (Praia do Laranjal).	79
FIGURA 5.1	Praia do Laranjal (Perfil 1).	89
FIGURA 5.2	Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias. Perfil 1 – Balneário Valverde (Praia do Laranjal).	90
FIGURA 5.3	Evolução Morfológica espaço-temporal da praia do Balneário Valverde (Praia do Laranjal).	91
FIGURA 5.4	Ondas incidindo obliquamente na Praia do Laranjal (Balneário Santo Antônio).	92
FIGURA 5.5	Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias. Perfil 2 – Balneário Santo Antônio (Praia do Laranjal).	93
FIGURA 5.6	Evolução Morfológica espaço-temporal da praia do Balneário Santo Antônio (Praia do Laranjal).	94
FIGURA 5.7	Cúspides Praiaais na Praia do Barro Duro, na Primavera (19/11/03).	95
FIGURA 5.8	Cúspides Praiaais na Praia do Barro Duro, no Verão (05/01/04).	96
FIGURA 5.9	Cúspides Praiaais na Praia do Barro Duro, no Outono (24/05/03).	96
FIGURA 5.10	Cúspides Praiaais na Praia do Barro Duro, no Inverno (24/06/03). ...	96
FIGURA 5.11	Deposição de detritos Vegetais na Face da Praia do Laranjal (24/05/03).	97
FIGURA 5.12	Ondas incidindo obliquamente com ventos de Leste (05/01/04).	98
FIGURA 5.13	Formação de escarpas na Praia do Barro Duro em Janeiro/04 e Novembro/03.	98
FIGURA 5.14	Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias. Perfil 3 – Balneário dos Prazeres (Praia do Barro Duro).	99
FIGURA 5.15	Evolução Morfológica espaço-temporal da praia do Balneário dos Prazeres. (Praia do Barro Duro).	100

FIGURA 5.16	Rebentação de onda na Praia do Totó.	101
FIGURA 5.17	Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias. Perfil 4 – Praia do Totó (Em frente ao Ecocamping Municipal).	102
FIGURA 5.18	Evolução Morfológica espaço-temporal da praia do Totó. (Em frente ao Ecocamping Municipal).	103
FIGURA 5.19	Rebentação na Colônia de Pescadores Z3.	104
FIGURA 5.20	Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias. Perfil 5 – Colônia de Pescadores Z3.	105
FIGURA 5.21	Evolução Morfológica espaço-temporal da praia da Colônia de Pescadores Z3.	106
FIGURA 5.22	Perfis Identificados por Nordstron e Jackson (1992 <i>apud</i> JACKSON 2002) quando o domínio do transporte de sedimentos é transversal (cross-shore) ou paralelo (longshore) à costa.	109
FIGURA 5.23	Histograma da amostra granulométrica “22” que representa a camada compacta na porção subaquosa da praia do Barro Duro	110
FIGURA 5.24	Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 1.	114
FIGURA 5.25	Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 2.	115
FIGURA 5.26	Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 3.	116
FIGURA 5.27	Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 4.	117
FIGURA 5.28	Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 5.	118
FIGURA 5.29	Incidência Oblíqua de ondas, com ventos na direção NE e SE	120
FIGURA 5.30	Ondas de aproximadamente 0,40 m incidindo na Praia do Laranjal.	120
FIGURA 5.31	Influência da distância do fetch nas alturas de onda, em Great South Bay e em Delaware Bay, nos Estados Unidos, conforme Nordstron <i>et al.</i> (1996).	122

LISTA DE QUADROS

QUADRO 4.1	Rotina para interpolação dos dados no <i>software MatLab</i> .		pág. 66
QUADRO 4.2	Rotina utilizada para o cálculo das mudanças de volume no <i>software MatLab</i> .		67

1. INTRODUÇÃO

1.1 ESTUÁRIOS E PRAIAS ESTUARINAS

A Laguna dos Patos constitui a maior área lagunar da América do Sul conectando-se ao Oceano Atlântico através do Canal do Rio Grande e apresentando características ambientais nitidamente transicionais de uma laguna costeira. A mistura das águas provenientes da drenagem continental com as águas marinhas origina áreas de transição que caracterizam um ambiente estuarino no sul da laguna com uma superfície aproximada de 900 km².

A definição clássica de um estuário é: “Estuário é um corpo de água costeiro semifechado, com uma livre ligação com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental” (PRITCHARD, 1955; CAMERON e PRITCHARD, 1963 *apud* MIRANDA *et al.*, 2002).

Em média, as águas estuarinas são biologicamente mais produtivas do que as dos rios e do oceano adjacente, devido às características hidrodinâmicas de circulação que, aprisionando nutrientes, algas e outras plantas, estimula a produtividade desses corpos de água (MIRANDA *et al.*, 2002).

Komar (1976) observa que aproximadamente dois terços da população mundial vivem numa estreita faixa adjacente à costa, tendo sido as praias e os estuários os primeiros ambientes a sofrerem diretamente o impacto do crescimento demográfico mundial. Cerca de 60% das grandes cidades distribuídas ao redor da terra estão localizadas nas proximidades dos estuários, representando em proporção as suas dimensões uma das mais valiosas regiões do planeta (GEOPHISICS STUDY COMMITTEE, 1977 *apud* MIRANDA *et al.*, 2002).

No Brasil existem 17 estados costeiros, sendo que metade da população brasileira reside a menos de 200 km do mar, efetivando mais de 70 milhões de habitantes, cuja forma de vida influencia diretamente os ambientes costeiros (MORAES, 1996 *apud* BARLETTA, 2000).

O crescimento da atividade econômica sempre esteve intimamente relacionado aos estuários, pois são locais adequados para a navegação e a instalação de portos; são férteis e

podem produzir grandes quantidades de matéria orgânica; constituem uma via de acesso importante para o interior do continente; suas águas são periodicamente renovadas pela influência da maré, além da sua importância para as atividades pesqueiras.

Nos Estados Unidos 70% da pesca nacional incluem espécies dependentes de estuários e 65% do investimento em recreação aquática (NORDSTRON, 1992).

A linha de costa é um dos ambientes do estuário, e nela estão situadas as praias estuarinas. Praias estuarinas são depósitos de sedimentos inconsolidados (areias, cascalhos ou conchas) livremente retrabalhadas por ondas e ondas induzidas por correntes e são freqüentemente encontradas ao longo das linhas de costa onde a energia da onda é suficiente para mover material inconsolidado para a formação costeira (NORDSTRON, 1992).

Assim como em outros ambientes costeiros, as praias estuarinas promovem o interesse dos humanos para o desenvolvimento de atividades comerciais, imobiliárias, de lazer, turísticas, ecológicas, esportivas, entre outras. Independente do tamanho, da origem e da aparência, elas tem valor ecológico e humano, sendo também ambientes vulneráveis a depredação devido à ação do homem.

Segundo Nordstron (1992), é prática comum nos Estados Unidos serem construídas praias artificiais nas costas estuarinas tanto para recreação quando para a proteção de construções civis.

Existe uma grande variedade de tamanhos, formas e composições de praias ao redor de um mesmo estuário. Estas variações refletem variações na exposição aos ventos, ondas e correntes, bem como nas características dos materiais provenientes da área fonte das formações costeiras, da topografia pré-existente, dos padrões de crescimento da vegetação e das atividades antrópicas.

Assim como algumas praias oceânicas, as praias estuarinas também são passíveis de modificações morfológicas. Além disso, praias localizadas em estuários também podem sofrer processos erosivos. Cientistas, planejadores e governantes de todo o mundo tem despertado sua atenção para a erosão de praias, buscando a compreensão das causas e como agir para minimizar os prejuízos decorrentes do problema.

As causas da erosão costeira podem ser muito complexas uma vez que, na maior parte das vezes, envolvem a superposição de diferentes processos atuando em diferentes escalas temporais e espaciais. Os mecanismos que são reconhecidos no mundo inteiro como os principais fatores da erosão costeira, resultantes de processos naturais e/ou antrópicos, incluem: a redução do suprimento de sedimentos; a interrupção da deriva litorânea de

sedimentos; o aumento da energia das ondas e a elevação do nível do mar (TOMAZELLI e DILLENBURG, 1998).

A erosão torna-se um problema para o homem quando a dinâmica das linhas de costa interfere nas suas atividades ou nos recursos fornecidos pelas praias. Desta forma, o problema da erosão, conforme apontado por diversos autores, é de certa maneira causado pelo homem, pois se ele não morasse ou usufrísse dos recursos nas zonas costeiras o problema não existiria.

Diversos países como os Estados Unidos, Austrália, Inglaterra, Holanda e Alemanha, têm implementado estratégias para os ambientes costeiros. Estas estratégias estão voltadas ao desenvolvimento de planos nacionais de gerenciamento costeiro que se propõe a solucionar problemas, tais como: projeção da elevação do nível do mar; atenuação dos efeitos de tempestades tropicais sobre as costas; controle da erosão praial e utilização de técnicas adequadas para tanto; exploração de fontes de energia costeiras, cuidados no despejo de quaisquer formas de lixo nestes ambientes; sustento da produtividade e diversidade dos mesmos (CARTER, 1988 *apud* HOEFEL, 1995).

No Brasil, após planos anteriores, foi criado em 1988, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). Em 1997, este plano passou por uma revisão e atualização, passando a ser conhecido como PNGC II. Em relação à região do estuário da Lagoa dos Patos várias iniciativas já foram tomadas nas últimas décadas, em diferentes âmbitos (científico, legal, institucional e de capacitação de recursos humanos), produzindo condições favoráveis à elaboração da implantação de programas de gerenciamento costeiro.

Os agentes principais da erosão em praias estuarinas são as ondas geradas dentro do próprio estuário por ventos locais, as marés (quando o estuário é influenciado pela maré), o aumento do nível da água e as correntes induzidas por ondas (NORDSTRON, 1992). Além destes, a textura e o grau de compactação dos sedimentos, a dragagem dos canais de navegação, os aterros e as obras artificiais, a floculação, salinidade e temperatura; também são considerados controles para os processos ativos que ocorrem em um estuário (TAGLIANI, 1997).

As características das ondas dentro do estuário são determinadas pela velocidade e duração dos ventos e pela distância da pista que o vento percorre - o *fetch*. Nos estuários as ondas são ainda influenciadas pela profundidade da água, pela topografia que poderá causar variações no regime dos ventos e por estruturas construídas na bacia.

Nordstron e Roman (1996) observam que a energia de ondas em estuários é menor quando comparada à energia de ondas oceânicas. Analisando ondas nos estuários de Raritan e

Delaware Bays, verificou uma altura e um período médios de 0,01 m e 1,0 s, respectivamente. A maior onda observada ocorreu com um vento local de 17,9 m/s, com uma altura de 0,95 m e um período de 4,3 segundos. Verificou ainda que as ondas geradas dentro do estuário raramente excedem a altura de 1,0 m e o período geralmente é menor do que 4,5 segundos.

Segundo Carter (1980), a refração de ondas é menos efetiva em regimes ondulatórios que apresentam curto período e por isso ondas geradas localmente em baías quebram com um ângulo de inclinação em relação à linha de costa, diferente das ondas refratadas oceânicas. Este ângulo de inclinação das ondas incidentes incrementa a intensidade de correntes longitudinais que, por sua vez, causam o transporte de sedimentos ao longo da costa, conhecido como deriva litorânea (JACKSON *et al.*, 2002).

Nordstron e Jackson (1989) observaram a magnitude das correntes longitudinais nas praias estuarinas de Raritan Bay e Delaware Bay durante um ano, encontrando valores entre zero a 0,61 m/s. A direção destas correntes geralmente corresponde à direção do vento (NORDSTRON e ROMAN, 1996).

A influência das variações do nível da água afeta de maneira significativa as margens dos estuários, até mesmo mudando sua forma. O alcance das águas modifica a intensidade das correntes e a distribuição vertical da energia da onda no perfil praia, mudando a largura da praia. Níveis altos podem ser sustentados por longos períodos, pois geralmente a elevação é determinada pelos ventos (NORDSTRON, 1992).

Mudanças no nível do mar têm sido estudadas como um fator importante na determinação das características das linhas de costa estuarinas. A aceleração do aumento do nível do mar é provavelmente a causa de erosão ao longo das margens costeiras, acelerando o processo erosivo em praias que já estão erodindo e começando a erosão em praias estáveis até então.

Através de vários estudos de nível mundial acredita-se que o nível global do mar subiu cerca de 30 cm nos últimos 100 anos, e que atualmente está subindo com um taxa média de 1 a 2 mm/ano. Os registros maregráficos mais próximos da costa do Rio Grande do Sul, de maior cobertura, 90 anos, estão situados em Buenos Aires. A análise destes dados revelou que o nível relativo do mar vem subindo numa taxa média de 1,6 mm/ano (LANFREDI *et al.*, 1998 *apud* TOMAZELLI e DILLENBURG, 1998).

Praias estuarinas são vulneráveis ao crescimento erosivo devido ao aumento relativo do nível do mar, pois a profundidade das águas do estuário irá aumentar, resultando em um aumento de energia de onda. O relativo aumento da energia destas ondas é o efeito mais evidente na erosão de linhas de costa em ambientes de micro-maré. Com o aumento do nível

do mar as praias poderão tornar-se menos estáveis a cada dia, complicando os esforços de gerenciamento costeiro.

A Laguna dos Patos, devido ao seu tamanho e à sua conexão livre com o mar, também fornece importante evidências geomorfológicas quanto à variação do nível do mar. Ao longo de suas margens são registrados afloramentos de depósitos turfáceos, indicando erosão atual. A análise de sua batimetria fornece evidências importantes de variações do nível relativo do mar (Villwock, 1977 *apud* BARLETTA, 2000; Toldo Jr., 1994).

Muitas linhas de costa estuarinas estão em processo erosivo com taxas mais altas das que ocorrem em praias oceânicas (JARRETT, 1983; MAURMEYER, 1978; NORDSTRON, 1977; PHILLIPS, 1985 *apud* NORDSTRON, 1992). Taxas erosivas entre 2,0 a 3,0 m por ano são comuns em segmentos de vários estuários na costa leste da América do Norte. Estas taxas podem situar-se em torno de 7 a 10 m/ano em alguns locais. Já foram verificadas taxas de até 20 a 25 m/ano em pontos isolados devido a tempestades. Nos Estados Unidos as taxas observadas são menores, porém são suficientemente grandes para causarem transtornos (BYRNE e ANDERSON, 1977; DALRYMPLE *et al.*, 1975; KRAFT *et al.*, 1979; SINGLEWOD e SLAUGHTER, 1949 *apud* NORDSTRON, 1992). Na Baía de Chesapeake a taxa média de erosão é de aproximadamente 0,33 m/ano (HARDAWAY e ANDERSON, 1980 *apud* HARDAWAY e BYRNE, 1999).

Em Mecklenburg, na Alemanha, onde 77% das linhas de costas estão situadas em baías, as taxas erosivas são maiores do que 2,0 m/ano (NIEDERMEYER *et al.*, 1987; REINICKE, 1989 *apud* NORDSTRON, 1992).

Nem todas as linhas costeiras de estuários estão em processo de erosão. Praias estuarinas também podem estar em crescimento. Acresção é comum de ocorrer próxima a desembocadura de rios ou canais, nos esporões arenosos que poderão levar a segmentação da lagoa, próximo a desembocaduras (*inlets*) onde geralmente há um abundante suprimento de sedimentos, dentro de pequenas baías onde a vegetação pode reter sedimentos ou fragmentos de conchas. Muitas das diferentes formas de acumulação de sedimentos são provenientes da convergência de correntes longitudinais ou são criadas nas terminações dos esporões arenosos (NORDSTRON, 1992).

Antiqueira (2003) estudou a evolução geomorfológica de um pontal próximo a desembocadura da Laguna dos Patos. Neste estudo, observou o crescimento deste pontal, concluindo que a causa deste crescimento estava relacionada com o suprimento de sedimentos que a hidrodinâmica decorrente dos processos oceânicos fornecia, onde a deposição se dava

através de leques de sobrelavagem que, por sua vez, eram condicionados principalmente pela direção dos ventos.

Para que haja compreensão dos mecanismos causadores de erosão ou de deposição em praias é fundamental o estudo da morfodinâmica. A morfodinâmica de praias envolve a interação entre ondas, correntes, marés e a topografia do perfil praiar. Já a interação dos ventos, ondas, marés, somando-se às características do material que compõe a praia, determina a variação morfológica do sistema praiar (WRIGHT e SHORT, 1984). A dinâmica determina a morfologia, e esta, depois de estabelecida, condiciona a dinâmica, ou seja, dinâmica e morfologia evoluem conjuntamente.

Neste contexto, um estudo morfodinâmico de ambientes costeiros é importante para que se possa avaliar as alterações da linha de costa, tanto do ponto de vista morfológico quanto sedimentológico. Tendo em vista que ainda não foram realizados levantamentos morfodinâmicos nos locais de estudo, este trabalho foi desenvolvido para caracterizar a morfodinâmica das praias do “Saco do Laranjal”. Os dados obtidos fornecerão subsídios a futuros planos de gerenciamento costeiro e, também, para a adoção de medidas de proteção contra os processos erosivos existentes no local.

1.2 HISTÓRICO DA REGIÃO E DO PROBLEMA

O estudo foi realizado na margem noroeste da Laguna dos Patos entre a Barra do Canal São Gonçalo estendendo-se até a Colônia de Pescadores Z3, localizada entre os paralelos 31°47' e 31°41' de latitude sul e entre os meridianos 52°16' e 52°5' de longitude oeste. Nas cartas de Hidrografia e Navegação (n^{os} 2140 e 2103) elaboradas pela Marinha do Brasil esta região, que se estende até a Ponta da Feitoria, é denominada “Saco do Laranjal”. O “Saco do Laranjal” está dividido em, pelo menos, quatro localidades distintas: praia do Laranjal (Balneário Valverde e Balneário Santo Antônio), praia do Barro Duro (Balneário dos Prazeres), praia do Totó e a Colônia de Pescadores Z3. A FIG. 1.1 mostra a localização da área de estudo.

A região está situada no município de Pelotas, localizado entre os paralelos 31° 20' e 31° 48' de latitude sul e entre os meridianos de 52° 00' e 52° 37' de longitude oeste, ocupando uma área de 1.647,90 km². A Laguna dos Patos tem um papel importante para o município de Pelotas, pois, além de fazer parte da rota de navegação do Porto de Pelotas e de

rotas de embarcações entre Porto Alegre - Rio Grande e vice-versa, tem um valor social, turístico, ecológico e econômico através das praias do Saco Laranjal.



FIGURA 1.1 - Localização da área de estudo.

FONTE: Fioravante Jaeckel dos Santos (Land Sat 7; Bandas 3, 2 e 1).

A praia do Laranjal é a praia que oferece a melhor infra-estrutura, tanto para os moradores dos balneários quanto para seus visitantes. Esta infra-estrutura é composta de um comércio bem desenvolvido, com lojas, restaurantes, padarias e outros pontos comerciais, de ruas pavimentadas em sua grande maioria, de praças, escola pública, de escola de windsurf (esporte bastante praticado no local) e de um calçadão à beira da lagoa que é utilizado tanto para a prática de esportes quanto para o lazer. Possui uma ampla largura arenosa funcionando como ambiente recreacional. Na FIG. 1.2, é mostrada uma das vistas da Praia do Laranjal.



FIGURA 1.2 - Praia do Laranjal, no sentido Sul-Norte.

FONTE: www.pelotas.com.br

A praia do Barro Duro localiza-se ao norte da praia do Laranjal e está situada junto ao Balneário dos Prazeres. Apesar da proximidade com a praia do Laranjal, tem características bastante distintas, possuindo uma grande área verde junto à praia, composta principalmente por figueiras de idades centenárias. Outra diferença é que esta praia está sofrendo um processo erosivo ao longo dos anos, perdendo gradativamente sua mata nativa e principalmente, perdendo largura de praia, ao contrário da ampla faixa arenosa verificada na praia do Laranjal.

Este processo vem sendo observado pelos moradores da região a mais de vinte anos. Pelo menos, desde o ano de 1979 a comunidade tem feito solicitações e abaixo assinados que são enviados para a Prefeitura Municipal de Pelotas e à Câmara de Vereadores do Município para que fossem tomadas providências que pudessem resolver o problema da erosão praial.

Além de diversas reuniões feitas entre a Associação dos Moradores do Barro Duro e autoridades locais, ao longo dos anos.

O primeiro abaixo assinado foi enviado ao Prefeito do Município de Pelotas em 1979, solicitando providências de melhoria da infra-estrutura do Balneário dos Prazeres e também a conservação da mata existente na orla, que estaria sendo degradada pela ação das águas. Após este primeiro abaixo assinado, muitos outros foram enviados aos novos Prefeitos e também para alguns Vereadores do Município: em 1984, 1985, 1986, 1992, 2000 e em 2001.

Além disso, notícias sobre os processos erosivos e a perda da mata têm sido publicadas nos jornais do Município. Em fevereiro de 1979, o Jornal “Diário Popular” publicou uma reportagem que trazia o título “Veranistas do Balneário dos Prazeres (Barro Duro) prometem fixar cartazes reivindicatórios na praia”, onde a comunidade passa a ter as primeiras informações sobre os processos erosivos que começam a influenciar nas atividades humanas que ocorrem na praia.

No ano de 1988, a manchete no “Jornal Diário Popular” era: “Figueira do Barro Duro pede socorro”, mostrando uma das grandes Figueiras do local com mais de 50% de suas raízes descobertas. Nesta mesma reportagem, um vereador defende a dragagem da laguna, entendendo que um aprofundamento do corpo aquoso diminuiria o avanço das águas.

Em outubro de 2000, o título da reportagem é “Figueira do Barro Duro”, onde a referida Figueira do ano de 1988, havia tombado. A reportagem trazia um tanto de indignação dos moradores do balneário devido à falta de vontade política para os problemas que já estavam sendo expostos a mais de 20 anos.

Ainda no ano de 2000, a Câmara de Vereadores do Município juntamente com a Associação de Moradores do Barro Duro reivindica junto a FURG – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, um estudo técnico e preliminar que pudesse apontar soluções para os problemas da erosão praial. O projeto preliminar de melhoria, feito no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG/FURG), indicou todos os levantamentos necessários para que se tivesse a compreensão do problema e propôs como solução o preenchimento da praia com areia, ou seja, o engordamento de praia. Após a entrega do projeto de estudo, ocorreram várias reuniões: com deputados estaduais, com o pessoal do DEPREC, FEPAM, UCPel, entre outros. Ainda em 2001, o “Diário Popular” traz uma notícia há muito tempo esperada pela comunidade: “Projeto pode Recuperar Barro Duro: Estudos de Técnicos da FURG aponta alternativa para minimizar problema de erosão”. Apesar de toda mobilização em torno do projeto apresentado, o mesmo não foi levado adiante até o presente momento.

Em 2001, no jornal “Diário da Manhã”, a reportagem “PRAZERES: Moradores preocupados com proteção ambiental” mostra a comunicação feita para o Prefeito do último mandato juntamente com o abaixo assinado dos moradores, onde são feitas as mesmas e antigas solicitações de melhoria.

O problema da erosão praial tornou-se ainda maior após a ocorrência da tempestade em outubro de 2001. Ventos na direção Leste estimados em aproximadamente 150 km/h, elevaram de maneira acentuada o nível da Laguna. Estas condições extremas fizeram com que as águas atingissem e danificassem várias residências e construções, além de agravar a erosão na praia, aumentando ainda mais os danos locais. As FIG. 1.3 e 1.4 mostram o comportamento das águas na Laguna no dia da tempestade na praia do Laranjal.



FIGURA 1.3 - Elevação do nível das águas e ondas no pós-praia da Praia do Laranjal, em outubro de 2001.

FONTE: Adriano Rochedo Conceição



FIGURA 1.4 - Elevação do nível das águas atingindo o calçadão da praia do Laranjal, em outubro de 2001.

FONTE: Adriano Rochedo Conceição

Relatos de moradores, que atualmente se encontram bastante apreensivos, indicaram que a praia possuía há uns vinte anos atrás uma largura de aproximadamente 70 metros. As FIG. 1.5, 1.6 e 1.7 mostram a praia do Barro Duro nos anos de 1979 e 1982, onde é observada uma largura maior do que a largura média atual, que se situa em torno de 18 metros, FIG. 1.8.



FIGURA 1.5 - Praia do Barro Duro no ano de 1979, no sentido Norte-Sul.

FONTE: Valdir Oliveira



FIGURA 1.6 - Praia do Barro Duro no ano de 1979, no sentido Sul-Norte.

FONTE: Valdir Oliveira



FIGURA 1.7 - Ginástica na Praia do Barro Duro em 1982, no sentido Sul-Norte.

FONTE: Valdir Oliveira



FIGURA 1.8 - Praia do Barro Duro em 2004, no sentido Sul-Norte.

A FIG. 1.9 mostra a situação atual da mata nativa na orla da praia do Barro Duro, evidenciando a real perda dos recursos ambientais existentes no local.



FIGURA 1.9 - Árvore que tombou devido ao processo erosivo na praia do Barro Duro.

A infra-estrutura da praia do Barro Duro não é tão desenvolvida quanto à da praia do Laranjal, somente a avenida principal de acesso ao balneário é pavimentada, as demais ruas não são pavimentadas e tem aspecto descuidado assim como as praças do balneário. O balneário possui um pequeno comércio local, uma escola pública e uma associação de moradores. Porém, nos meses de verão, o balneário recebe uma intensa movimentação de turistas residentes no próprio município e também de outros locais. No mês fevereiro, a praia do Barro Duro é conhecida pela celebração da Festa da Nossa Senhora dos Navegantes, ou Festa de Iemanjá, recebendo um grande número de visitantes na orla da praia.

A praia do Totó localiza-se entre a praia do Barro Duro e a Colônia de Pescadores Z3, é a praia mais extensa, com cerca de 4,0 km, seguindo uma orientação quase constante. Nela está localizado o Ecocamping Municipal que foi reestruturado com a atual administração municipal, possuindo locais para barracas, churrasqueiras, banheiros e cabanas. É uma praia não habitada que faz adjacência com uma área de preservação ambiental composta por mata nativa que é parte da “Mata Atlântica”. Também recebe um grande número de visitantes no verão.

A FIG. 1.10 mostra uma das vistas da praia do Totó, situada em frente ao Ecocamping municipal.



FIGURA 1.10 - Praia do Totó, no sentido Norte-Sul.

A Colônia de Pescadores Z3 é um distrito do município de Pelotas e caracteriza-se por ter atividades estritamente pesqueiras. O local está bastante habitado, observando-se que não houve um planejamento prévio de ocupação do território.

Neste local, existem significantes as alterações antrópicas, pois ao longo das margens e muito próximos ao corpo aquoso, foram verificadas uma grande quantidade de atracadouros e de construções civis, que servem tanto de moradia quanto de locais para coleta dos pescados.

A Colônia Z3 tem uma infra-estrutura precária, apesar de ser amplamente habitada e de possui escola pública, posto de saúde e um pequeno comércio local. Ao contrário dos moradores do Balneário dos Prazeres, as maiores reivindicações dos residentes da Colônia Z3 dizem respeito às atividades pesqueiras (fábrica de gelo, incentivos para o comércio de pescados...) e a infra-estrutura do local (água tratada, melhoramento e pavimentação de ruas...), não existindo uma grande preocupação em relação aos problemas erosivos na costa. A FIG. 1.11 mostra uma das vistas da Colônia Z3, mostrando o atracadouro da Divinéia que fica localizado próximo na parte central da colônia e é o local onde os pescadores protegem seus barcos.



FIGURA 1.11 - Vista aérea parcial da Colônia de Pescadores Z3.

FONTE: www.pelotas.com.br

Convém salientar que, além da Praia do Barro Duro e de alguns pontos na Colônia Z3, outras áreas estuarinas da Laguna dos Patos estão sofrendo processos erosivos em suas margens, tais como: Ilha da Torotama, Arambaré e São Lourenço.

A margem oeste da Laguna dos Patos possui um grande potencial turístico, sua orla está sujeita a uma intensa ocupação futura tanto por empreendimentos de lazer quanto por residências particulares e, ainda, possui áreas de preservação ambiental. Desta maneira, a degradação desse ambiente acabaria trazendo prejuízos ambientais e econômicos. Por isso, estudos de métodos de proteção para recuperação dos locais em processo de erosão praial e levantamentos de dados que possam levar a compreensão dos problemas ocorridos nestas regiões são importantes para futuros planos de ação de gerenciamentos costeiros que os governantes locais poderão adotar.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Caracterizar a morfodinâmica costeira do setor noroeste do Estuário da Laguna dos Patos para avaliar alterações recentes e atuais associadas aos processos morfológicos e sedimentares da linha de costa. O conjunto dos dados fornecerá subsídios a planos de gerenciamento costeiro que contemplem medidas mitigatórias dos processos erosivos e urbanização da orla lagunar.

1.3.2 Objetivos Específicos

Estudar a evolução da Linha de Costa através de levantamentos aerofotogramétricos em diferentes épocas;

Monitorar perfis praias com o objetivo de verificar as alterações sazonais e extremas ocorrentes nos mesmos.

Caracterização topográfica e granulométrica das porções subaéreas e subaquosas dos perfis monitorados.

Estudar as características das ondas, principalmente ondas geradas pela ação dos ventos leste, nordeste e sudeste. Neste estudo serão verificados o período e a altura de onda através de observações visuais com medições em campo e através do software SMB89.

Estudar métodos de soluções para a minimização dos problemas gerados pela erosão e para a recuperação das zonas afetadas por este processo.

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

2.1 CLIMA

O clima da Planície Costeira do Rio Grande do Sul é influenciado pela presença de dois tipos de anticiclones: o Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul e o Anticiclone Móvel Polar (HASENACK e FERRARO, 1989; NIMER, 1977 *apud* TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

O anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul é um ativo centro de alta pressão, formador de uma massa de ar tropical marítima de temperatura elevada e com elevado grau de umidade. Sua permanência na área de estudo leva à condição de estabilidade do tempo com ocorrência de dias ensolarados.

O anticiclone Móvel Polar é alimentado por massas frias provenientes da Antártica que se deslocam no sentido SW-NE, em direção ao território sul-brasileiro. O deslocamento destas massas frias implica no aparecimento de uma zona depressionária para onde convergem os ventos dos centros de alta pressão. Estes ventos convergentes (ciclônicos) normalmente são acompanhados de instabilidades e precipitações pluviométricas (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

O comportamento dinâmico das massas de ar provenientes destes dois anticiclones modifica-se ao longo das estações do ano. Nos meses de primavera-verão o anticiclone do Atlântico Sul fortalece-se e desloca-se para posições mais meridionais, trazendo como consequência dias com temperaturas mais elevadas e com ventos principalmente de NE e E. Durante o outono-inverno ocorre uma maior penetração do anticiclone móvel polar e a área da planície costeira é dominada por frentes frias que migram dos pólos em direção ao equador, gerando ventos SW (HASENACK e FERRARO, 1989; NIMER, 1977 *apud* TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

A forte influência do Anticiclone do Atlântico Sul determina um regime de ventos para a costa Sul do Brasil, com predominância de ventos do quadrante NE ao longo do ano, sendo mais intensos nos meses de primavera e verão. O vento secundário associado ao

Anticiclone Móvel Polar é de W-SW e torna-se mais marcante nos meses de outono e inverno (TOMAZELLI, 1993, *apud* TAGLIANI, 2002).

Os ventos capazes de gerar ondas no local de estudo são os dos quadrantes NE, SE e E. Sendo que ocorre a predominância de ventos NE ao longo do ano.

Segundo o IBGE (1986), o clima do Rio Grande do Sul caracteriza-se pela presença de chuvas abundantes sem que se defina a existência de um período seco ao longo do ano normal. Os totais médios anuais de precipitação distribuem-se de um modo geral desde os 1200 mm na faixa litorânea até os 1700 mm nos setores setentrionais do Estado.

Os estudos de Nimer (1977, *apud* TOMAZELLI E VILLWOCK, 2000) mostram o clima do Rio Grande do Sul como do tipo temperado, mesotérmico brando, superúmido, sem estação seca definida. A temperatura média anual oscila entre 16 e 20°C e a precipitação pluviométrica anual varia entre 1000 e 1500 mm.

Na classificação de Köppen, a planície costeira sul rio-grandense encontra-se incluída no tipo C (subtropical e úmido), caracterizado por uma temperatura média anual de 17,5°C, tendo Janeiro e Fevereiro como os meses mais quentes e Junho e Julho como os mais frios (MORENO, 1961, *apud* TAGLIANI, 2002).

2.2 HIDROGRAFIA

A Laguna dos Patos tem uma área de 9910 km². Sua profundidade oscila de 8 a 6 m nas partes centrais e nas margens varia de 3 a 0,50 m, atingindo de 10 a 12 m nos canais navegáveis (ALVAREZ *et al.*, 1981).

O escoamento natural da laguna acompanha o eixo principal, com orientação NE-SW. Este eixo tem aproximadamente 180 km de comprimento entre os Pontais de Itapuã e da Feitoria, correspondendo à parte lagunar e, aproximadamente 60 km de comprimento entre o Pontal da Feitoria e o canal de Rio Grande, correspondendo ao sistema estuarino (TOLDO Jr., 1994).

O pontal da Feitoria apresenta-se como um limite físico bastante significativo para a hidrodinâmica da laguna, pois a batimetria restringe a navegabilidade apenas a um estreito canal e, a circulação e as características estuarinas ficam menos evidenciadas, na direção mais interna da Laguna dos Patos.

O estuário pode ser enquadrado em quase todos os tipos de classificações. Analisando diferentes parâmetros, pode ser classificado como normalmente estratificado, porém com a passagem de frentes atmosféricas ou de fortes descargas fluviais pode assumir condições de um estuário bem misturado (HARTMANN, 1998, MÖLLER Jr. e CASTAING, 1995 *apud* BARBOSA e HARTMANN, 2000).

As características hidrodinâmicas da Laguna dos Patos são controladas pelas condições meteorológicas regionais e locais. O fato de estar localizada numa área de micro maré torna os regimes anemométricos e pluviométricos fatores determinantes da variação do nível das águas, bem como da circulação e salinidade na região estuarina.

O gradiente batimétrico da laguna é muito baixo (1 m em 120 km), sendo que a circulação das águas e a distribuição de salinidade são fortemente influenciadas pelo vento, que atua também na morfologia da lagoa. Esta apresenta características nítidas de estar em processo de segmentação devido a seus esporões arenosos recurvados, os quais apresentam uma altura média de 1 metro em relação ao nível da água e projeção para o interior da laguna (ALVAREZ *et al.*, 1981).

Os esporões são formações normalmente arenosas, representando uma continuação da linha de costa, na direção preferencial do transporte de sedimentos, sendo o produto da progradação dos depósitos de areia para o interior do corpo lagunar. Na margem oeste ocorrem seis esporões, na margem norte ocorrem dois e na margem leste desenvolvem-se cinco destes esporões (TOLDO Jr., 1994). Estes esporões são comumente formados em lagunas costeiras alongadas, como resposta a incidência das ondas dominantes. Calliari (1985) elaborou uma revisão sobre a formação e a gênese de esporões arenosos em lagoas costeiras. Nesta revisão, de acordo com os estudos de Rosen (1975) e de Zenkovitch (1959), a formação dos esporões dá-se pela existência de ventos paralelos bidirecionais ao eixo maior da laguna (ventos nordeste e sudoeste), pelo regime micro maré e pelo transporte de sedimentos devido ao processo de incidência oblíqua de ondas por refração.

Ventos NE favorecem o fluxo de vazante, já os ventos de S e SE fazem uma inversão de fluxo, facilitando a entrada de água marinha no estuário. Conforme a Diretoria de Hidrografia e Navegação (1988), os ventos NE e SE provocam abaixamento do nível da lâmina de água na margem Leste e, aumento na margem Oeste. Inversamente, os ventos de NW e SW acarretam abaixamento do nível junto à margem Oeste e aumento junto à margem Leste. Além destes efeitos de caráter imediato, os ventos de SW, provocam o represamento na Barra de Rio grande fazendo subir o nível em toda a Laguna dos Patos (SOUZA, 2002).

O sistema de drenagem da Laguna dos Patos recebe águas provenientes de oito bacias hidrográficas: do complexo Guaíba, cujos tributários são os rios Jacuí, Sinos, Gravataí, Caí e Velhaco; do rio Camaquã e do canal São Gonçalo que tem ligação com a Lagoa Mirim, onde deságuam os rios Piratini e o Jaguarão. As bacias mencionadas estão expostas a um regime de precipitações com máximas sazonais no Inverno e períodos de estiagem no Verão (ALVAREZ *et al.*, 1981).

Segundo Möller Jr. (2004, informação verbal) a variação de nível sazonal situa-se em torno de 1,0 m, com o aumento de nível durante as precipitações máximas ocorridas no Inverno. A variação de nível média fica em torno de 1,20 m durante as tempestades.

2.3 GEOLOGIA – GEOMORFOLOGIA

O município de Pelotas e a Laguna dos Patos estão situados na região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul que, por sua vez, está localizada entre os paralelos de 29°18' e 33° 48' de latitude sul. Esta se constitui na mais ampla planície litorânea do território brasileiro, cobrindo cerca de 33.000 km², ocupando uma faixa adjacente ao Oceano Atlântico, com 650 km de extensão e cerca de 70 km de largura média, alcançando, em alguns setores, mais de 100 km de largura (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

Segundo Tomazelli e Villwock (2000):

“a planície corresponde a uma região onde estão expostos os depósitos mais superficiais e proximais do pacote sedimentar acumulado em uma bacia marginal aberta – a Bacia de Pelotas. Desenvolvida sobre um embasamento constituído pelo complexo cristalino pré-cambriano e pelas seqüências sedimentares e vulcânicas, paleozóicas e mesozóicas, da Bacia do Paraná, esta bacia sedimentar teve sua origem nos eventos geotectônicos que, a partir do Cretáceo inferior, fragmentando o continente de Gondwana, conduziram à abertura do Atlântico Sul. Durante o Cretáceo e, principalmente, durante o cenozóico, os sedimentos erodidos das terras altas adjacentes acumularam-se nesta bacia marginal, em sistemas deposicionais continentais, transicionais e marinhos”.

A carga sedimentar acumulada na Bacia de Pelotas provém de duas áreas-fonte principais: na porção central e sul, as rochas ígneas e metamórficas do Escudo Uruguaio sul

rio-grandense e, mais ao norte pelas rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

Estudos têm demonstrado que a planície costeira cresceu durante o Quaternário, através de um amplo sistema deposicional de Leques Aluviais, situado em sua parte mais interna próximo às áreas fonte, e do acréscimo lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo “Laguna-Barreira” (VILLWOCK *et al.*, 1986; VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995 *apud* TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

A estruturação da Planície Costeira começou a se delinear com o transporte de sedimentos clásticos terrígenos, oriundos das partes mais elevadas, para o interior da Bacia de Pelotas. Aí, sob a ação dos processos físicos costeiros e influência da variação relativa do nível do mar, desde o Terceário até o Recente, acumulou-se em uma grande variedade de ambientes deposicionais compondo o mosaico geomorfológico que hoje é observado na região (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1994 *apud* TAGLIANI, 2002).

A evolução paleogeográfica da Planície Costeira foi controlada por eventos sucessivos de transgressão-regressão, a partir do grande evento transgressivo miocênico. Durante a regressão pliocênica subsequente, grandes leques deltaicos (leques aluviais) cobriram amplas áreas em exposição com depósitos grosseiros, associados aos sistemas de canais anastomosados, dando origem a “Formação Graxaim” (VILLWOCK, 1984 *apud* TAGLIANI, 2002).

O sistema deposicional de leques aluviais inclui as faces sedimentares formadas na borda leste do Escudo sul rio-grandense, transportados por processos gravitacionais. As litologias compreendem conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos, cujas idades variam do Terceário Superior ao Holoceno, tendo como característica a imaturidade textural e mineralógica (TAGLIANI, 2002; TOLDO Jr., 1994; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

Além do sistema deposicional de Leques Aluviais, a Planície Costeira progradou para leste através de quatro sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira”. Cada um destes sistemas registra o pico de uma transgressão seguida de um evento regressivo.

O primeiro ciclo de transgressão-regressão (Sistema Laguna-Barreira I) desenvolveu-se no período pleistocênico, com uma idade absoluta de aproximadamente 400.000 anos. Este evento foi responsável pela formação de uma barreira arenosa que isolou o sistema lagunar Guaíba-Gravataí, ao norte da Planície Costeira. Limita-se a porção noroeste da planície, conhecida como “Barreira das Lombas”, ocupa uma faixa com orientação NE-SW, com cerca de 250 km de extensão e uma largura média de 5 a 10 km. As fácies sedimentares da Barreira

I correspondem a areias quartzo-feldspáticas avermelhadas, de granulação fina a média, muito bem arredondadas, semi-consolidadas como matriz siltico-argilosa origem diagenética (TOLDO Jr., 1994; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

O sistema deposicional Laguna-Barreira II corresponde ao primeiro estágio na evolução da “Barreira Múltipla Complexa”, cuja individualização foi responsável pelo isolamento do “Sistema Lagunar Patos-Mirim”. Litologicamente, os depósitos correspondem a areias quartzo-feldspáticas, castanho-amareladas, bem arredondadas, envoltas por matriz argilosa de natureza diagenética (TOLDO Jr., 1994; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

A Barreira III, associada a um terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico, encontra-se muito bem preservada no presente e o seu desenvolvimento foi responsável pelo isolamento final do Sistema Lagunar Patos-Mirim. Constitui-se por fácies arenosas de origem praial e por depósitos eólicos sobrepostos. Os sedimentos praias são compostos por areias quartzosas finas, claras, bem selecionadas e com estratificações bem desenvolvidas. As areias eólicas de cobertura apresentam, em geral, uma coloração mais avermelhada e um aspecto maciço (TOLDO Jr., 1994; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

O mais recente sistema deposicional do tipo laguna-barreira, a Barreira IV, desenvolveu-se durante o Holoceno, como consequência da última grande Transgressão Glacial. Neste período, há cerca de 5000 anos, o nível do mar alcançou aproximadamente 4 a 5 metros acima do nível atual e possibilitou a formação de uma barreira transgressiva que progradiu durante a fase regressiva que se seguiu. As areias praias da barreira são quartzosas, de granulação fina a muito fina e em alguns setores mostram elevadas concentrações de minerais pesados. O campo de dunas que se desenvolveu sobre a barreira ocupa uma faixa com largura entre 2 e 8 km, estendendo-se ao longo de praticamente toda a linha de costa atual. (TOLDO Jr., 1994; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

O espaço de retrobarreira, situado entre a Barreira IV e os sedimentos da Barreira III foi ocupado por grandes corpos lagunares que, acompanhando a posterior progradação da barreira evoluíram para um complexo de sistemas deposicionais. Dentre o conjunto de lagoas, pode-se destacar a Lagoa Mangueira, a Lagoa do Peixe e as lagoas interligadas existentes no Litoral Norte do Estado (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000). Além disso, a ingressão marinha no pico transgressivo restabeleceu mais uma vez o sistema lagunar Patos-Mirim, sendo responsável pelo fechamento total do sistema lagunar (VILLWOCK, 1984 *apud* TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000). Os amplos terraços lagunares que hoje se observam às margens do Canal São Gonçalo, bem como uma grande parte da porção superficial dos esporões arenosos do Sistema Patos-Mirim, são resultados deste último evento regressivo.

A análise sedimentológica da Laguna dos Patos mostra: fácies arenosas ocupando as partes mais rasas (0,0 a 4,0 m); fácies silticas distribuindo-se pelas partes centrais e mais profundas (4,0 a 10,0 m); fácies argilosas que ocorrem nas zonas mais profundas e numa ampla faixa situada em frente ao delta do Rio Camaquã e; ainda, fácies mistas areno-silto-argilosas que tem ocorrência restrita a partes mais profundas das baías na porção mais meridional da Laguna. Nas frações grosseiras, fácies arenosas, a análise dos sedimentos mostra, quartzo e fragmentos de concha como constituintes essenciais. Nas fácies silticas e argilosas também predominam os fragmentos de concha e o quartzo (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

Os sedimentos que estão sendo acumulados na laguna têm fonte em rochas polimetamórficas, ígneas e sedimentares, pré-cambrianas e paleozóicas do embasamento cristalino, além das seqüências sedimentares e ígneas, paleozóicas e mesozóicas, da Bacia do Paraná, todas constituintes da Bacia de Pelotas.

Segundo Tomazelli e Villwock (2000) e Toldo Jr. (1994), a margem oeste da Laguna dos Patos sofre um retrabalhamento dos depósitos costeiros que constituem o sistema de leques aluviais e o sistema deposicional laguna-barreira I.

Um mapeamento geológico da Planície costeira foi desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no início da década de 80, no projeto “Evolução Paleográfica da Província Costeira do Rio Grande do Sul”. Tagliani (2002), tendo em vista novos conceitos de ambientes deposicionais, propôs um novo ordenamento estratigráfico utilizando e digitalizando o mapa original do CECO-UFRGS, mostrando as principais unidades geológico-geomorfológicas da região média-sul da planície costeira, compreendida entre os municípios de Pelotas, Rio Grande e São José do Norte. Parte deste mapeamento, mostrado na FIG. 2.1, foi utilizado neste trabalho com o objetivo de caracterizar os ambientes deposicionais adjacentes ao local de estudo.

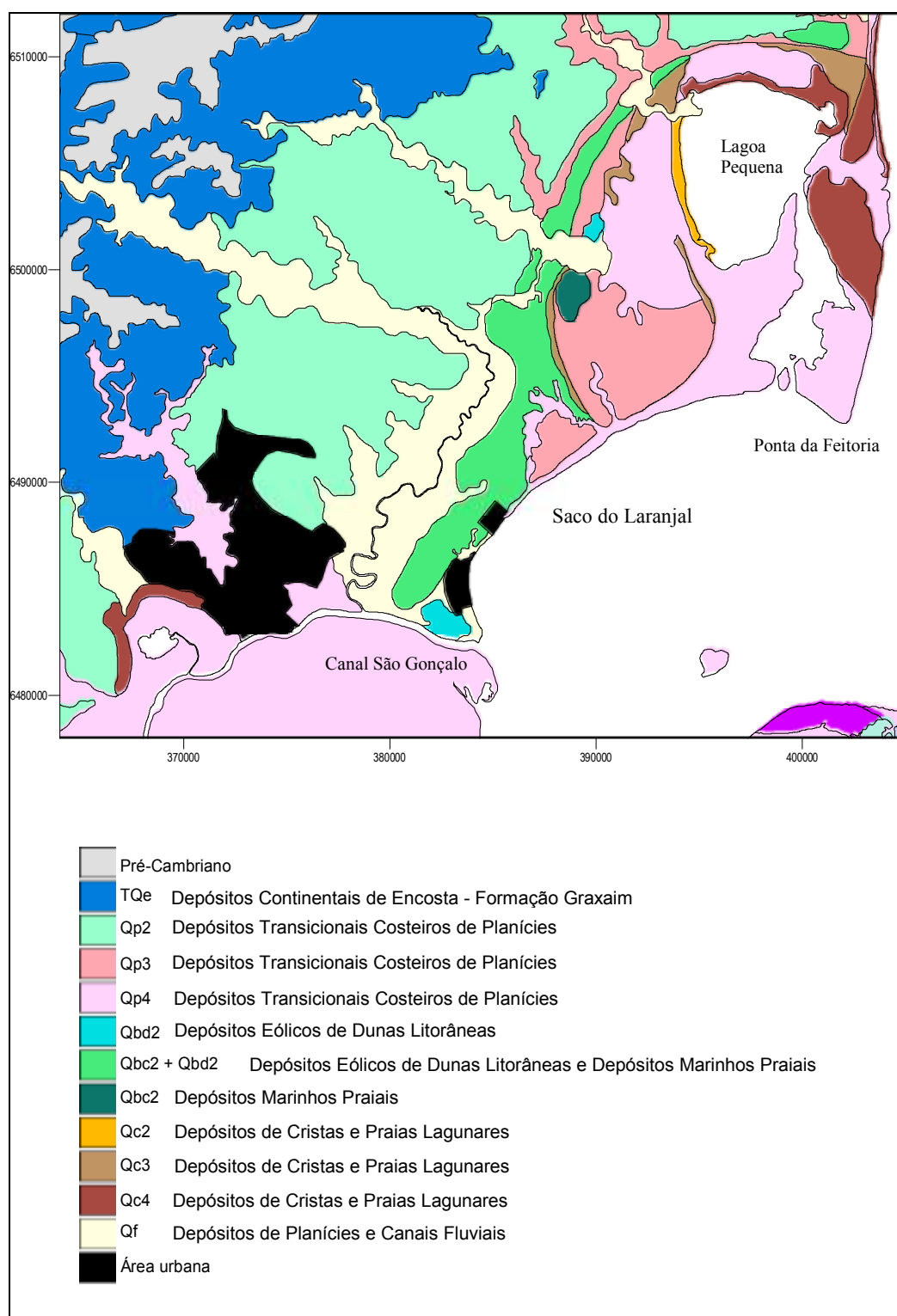


FIGURA 2.1 - Mapa Geológico da região em estudo.

FONTE: Tagliani (2002)

Conforme o mapa representado na FIG. 2.1, se observa que:

a) Na transição para a Planície Costeira afloram os depósitos continentais de encosta (TQe) compostos de eluviões e coluviões que gradam para sistemas de leques aluviais e canais anastomosados, a “Formação Graxaim”.

b) Na região mais Nordeste do local de estudo e ao longo das adjacências do Canal São Gonçalo, verifica-se depósitos transicionais costeiros de planícies lagunares (Qp2, Qp3 e Qp4). São depósitos lagunares, compostos de areias siltico-argilosas, mal selecionadas, cor creme, laminação plano-paralela incipiente, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas, cujas idades variam do Pleistoceno Inferior (Qp1) até o Holoceno (Qp4). Sendo que “Qp4” é considerada planície lagunar alagada, ou seja, é um ambiente de deposição atual.

c) Próximo a Barra do Canal do São Gonçalo, ocorrem remanescentes de depósitos eólicos de dunas litorâneas, associados ao desenvolvimento da Barreira II (Qbd2). São areias quartzosas finas a médias, bem selecionadas, de cores castanho-avermelhadas, bem arredondadas, com raras laminações plano-paralelas ou cruzadas de alto ângulo.

d) Ao longo de toda adjacência das praias do Saco do Laranjal verifica-se a ocorrência de depósitos marinhos praias (Qbc2) correspondem as Barreiras Pleistocênicas I, II e III. As áreas são planas e estão em um nível mais elevado em relação aos depósitos recentes. Compõe-se de areias quartzosas finas, claras, bem selecionadas, com laminações plano-paralelas e cruzadas mutuamente truncadas.

e) Os depósitos de planície e canal fluvial (Qf) sub-atuais e atuais, indiferenciados, aparecem bem desenvolvidos na região. Verifica-se sua ocorrência nas praias vizinhas ao Canal São Gonçalo e ao longo do Arroio Pelotas. Constituem depósitos isolados, não litificados, de cascalhos, areias e corpos tabulares siltico-argilosos com restos vegetais. Apresentam estratificação irregular e imbricação de seixos localizados. São áreas planas, levemente inclinadas, apresentando rupturas de declive em relação ao leito do rio e às várzeas recentes situadas em nível inferior, entalhadas devido às mudanças de condições de escoamento e conseqüente retomada de erosão.

Segundo Alvarez *et al.* (1981), as areias médias e grosseiras que compõe a margem oeste são originadas dos cursos fluviais que atravessam o Escudo Pré-cambriano sul rio-grandense que, por sua vez, é composto por um manto intempérico e pela formação Graxaim (Quaternário). A contribuição saliente está representada por areias grosseiras e médias, quartzosas com certa incidência de componentes lábeis (feldspatos e fragmentos de rocha) e alguma argila.

Os sedimentos grosseiros existentes na área em estudo provavelmente foram depositados através do transporte fluvial dos cursos de água, canal São Gonçalo e Rio Piratini, que cortavam e erodiam a formação Graxaim, antes da formação das barreiras I, II e III.

Calliari *et al.* (1980) analisaram 310 amostras coletadas na região estuarial da Laguna dos Patos verificando uma diminuição da fração grosseira com o aumento da profundidade, ocorrendo o inverso para a fração fina. Através do estudo da distribuição faciológica do estuário, visualizaram 6 tipos distintos de fundo: arenoso, areno-siltico, areno-argiloso, misto, siltico-argiloso e argilo-siltico. A fácies argilo-siltica predomina nas porções mais profundas e abrigadas do estuário, onde as condições de energia das águas sobrejacentes são baixas. As fácies siltico-argilosas, areno-argilosa, mista e areno-siltica ocorrem de maneira progressiva ou abrupta com a diminuição da profundidade. Já a fácies arenosa está localizada nas porções rasas que constituem a margem lagunar e os grandes bancos, onde a energia das ondas impede a deposição de sedimentos de granulometria fina, sendo também encontrada em canais onde atuam correntes sobre o fundo devido à intensa hidrodinâmica local. Cascalhos encontram-se com maiores porcentagens nas profundidades entre 1 a 3 metros devido a presença de biodetritos do molusco *Erodona mactroides*. As amostras coletadas na região marginal Norte e Sul do Canal São Gonçalo mostraram a contribuição de sedimentos grosseiros provenientes dos afluentes do mesmo canal e de outros cursos fluviais, como o Rio Piratini, que erodem a Formação Graxaim.

3. MÉTODOS PARA RECUPERAÇÃO DOS LOCAIS EM PROCESSO DE EROSÃO PRAIAL

3.1 MÉTODOS PARA PROTEÇÃO COSTEIRA

As razões tradicionais para aplicar medidas de proteção em praias estuarinas são para a proteção de propriedades privadas ou públicas contra a erosão ou contra cheias ou então, para criar praias com espaço suficiente para recursos recreacionais ou ecológicos.

No presente estudo, a razão para a busca de métodos para recuperação de erosão praial deve-se ao fato da Praia do Barro Duro estar sofrendo um processo erosivo a pelo menos uns 20 anos. Este problema está causando a perda da praia e da mata nativa local, interferindo nas atividades recreacionais e também no paisagismo, o qual também é um recurso natural que deve ser preservado.

Segundo Nordstron (1992), existem algumas medidas para a estabilização de praias, tais como: estabelecimento de uma faixa de recuo que forneça proteção para as construções locais contra a erosão e as cheias; construção de estruturas rígidas de engenharia costeira que possam dissipar a energia de ondas ou então reter os sedimentos e; aumentar as feições naturais usando vegetação ou engordamento artificial de praia.

Obras de engenharia costeira para conter a erosão praial não são um problema de simples resolução, estudos tem sido realizados em New Jersey, EUA, por mais de um século (BUSH *et al.*, 2001).

O gerenciamento para a estabilização costeira envolve alguns processos:

- Definição dos locais que serão protegidos e dos recursos das áreas adjacentes que podem ser afetados.
- Conhecimento dos processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos. Para qualquer obra de engenharia que vise proteger a costa é fundamental conhecer os processos costeiros que contribuem para problemas de erosão. Por isso é importante a coleta de dados de altura, período e ângulo de incidência de ondas, já que elas são o principal agente causador de erosão. Também é recomendado o levantamento de perfis praiais, de fotografias aéreas do local e, ainda, a coleta de sedimentos e sua análise granulométrica. Outro fator importante a

ser observado são as variações do nível da água. Em lagoas costeiras, as variações de nível podem ser devido a tempestades e a marés astronômicas, ou podem ser periódicas devido às precipitações ao longo do ano (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

- Conhecimento das direções do transporte de sedimentos. O suprimento de material litorâneo interfere na estabilidade de uma linha de costa. Quando existe um equilíbrio dinâmico, a linha de costa se mantém estável. As ondas mantêm o material litorâneo em constante movimento na mesma direção das correntes litorâneas, quando há suprimento de sedimentos as praias permanecem estáveis ou então, ocorre a progradação da linha praia, se o suprimento de sedimentos for deficiente, a linha de costa irá erodir. A direção do transporte, ou seja, a direção das ondas poderá variar de forma considerável de acordo com as estações do ano, principalmente devido a mudanças de direção dos ventos (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).
- Definição dos recursos financeiros disponíveis para a construção e a manutenção da obra a ser realizada.
- Conhecimento das regulamentações governamentais para ambientes costeiros.
- Seleção da alternativa mais adequada para o dado sistema, comparando o custo e a eficiência da obra com os benefícios que ela poderá trazer.

Nas praias estuarinas, as estratégias utilizadas para o controle da erosão são facilitadas quando comparadas a praias oceânicas, pois nos estuários as praias são menores estabelecendo-se em compartimentos isolados e a energia de onda geralmente é baixa (NORDSTRON, 1992).

Quando se tratam de obras de engenharia costeira, deve-se ter cuidado em se analisar o custo da obra. O baixo custo é um termo que reflete o custo da obra comparado com o valor da propriedade protegida, pois qualquer método de proteção costeira é caro quando implantado de maneira adequada. Outro fator a ser considerado é que uma vez que se começam obras de engenharia costeira não se pode interrompê-las, pois exigem manutenção constante, todavia a manutenção será sempre menor uma vez que o material já está retido na praia.

Segundo Bush *et al.* (2001), a erosão praial não é um desastre natural. A retração de linhas de costa é esperada, pois é uma parte da praia que responde ao aumento do nível do mar, ao aumento de energia de onda ou a diminuição de suprimento de areia. A erosão não cria problemas para as praias, elas simplesmente iram mudar de posição com a retração de suas linhas de costa. Os processos erosivos tornam-se problemas quando a dinâmica interfere

nas atividades humanas, nas construções civis ou nos recursos fornecidos pelas praias. Geralmente as atividades humanas estão relacionadas com o aumento da taxa de retração da linha de costa. Muitas das mudanças da linha de costa acontecem devido a modificações antrópicas, tais como: obras de engenharia costeira, destruição de dunas, construções destinadas à habitação costeira, canais de drenagem e outras obras que acabam por reduzir o suprimento de areia.

Na Baía de Chesapeake, nos Estados Unidos, os processos de evolução da linha de costa têm sido influenciados por empreendimentos comerciais e residenciais, além do uso da orla para atividades agrícolas (HARDAWAY e BYRNE, 1999).

Obras que venham a estabilizar a linha de costa e que não venham a interferir na porção recreacional da praia poderão conduzir a um intenso desenvolvimento do local. Este desenvolvimento implica no aumento de atividades comerciais, econômicas, recreacionais, de habitação, sociais, entre outras.

De uma maneira geral, as medidas que podem ser tomadas para conter a erosão da linha de costa são classificadas como intervenções de estabilização pesada, de estabilização leve e de relocação e desapropriação.

A estabilização pesada constitui o grupo de ações que envolvem a construção de obras de engenharia que empregam concreto, madeira, rochas ou qualquer outro tipo de material similar. As estruturas podem ser construídas paralelamente à linha de costa (muros e revestimentos), procurando bloquear a energia da onda, sendo conhecidas por defesas longitudinais. Quando construídas normalmente à costa, as obras são chamadas de defesas normais (espigões ou molhes), tendo como objetivo principal captar a areia transportada pela deriva litorânea, aumentando a área útil da praia. Quando as obras são efetuadas com blocos de rochas, independentemente da sua posição em relação à costa, tem-se utilizado o termo *enrocamento*. O uso da estabilização pesada tem sido a via mais comum de salvar as propriedades adjacentes à costa, apresentando como desvantagens a degradação da área recreativa da praia, um custo elevado, pouca estética, além de tornar o acesso à praia difícil.

A estabilização leve envolve a tomada de atitudes para a estabilização da linha de costa que não envolvam obras complexas de engenharia. Enquadra-se neste grupo o enchimento artificial de uma praia, também chamado de engordamento. Embora questionado por vários autores, este método é menos radical do que os empregados na estabilização pesada. A engorda artificial tem como principal vantagem o aumento da área útil da praia.

Já a relocação e desapropriação são atitudes empregadas sem envolver obras de engenharia. Relocação significa remover as construções para uma nova área e a desapropriação trata-se da indenização dos proprietários pela perda de suas propriedades. São atitudes politicamente difíceis, causando a perda de áreas nobres geralmente comerciais, podendo muitas vezes ser economicamente inviáveis.

Assim, os itens a seguir pretendem abordar de forma sintética algumas medidas, tanto de estabilização pesada quanto leve, que poderiam ser implementadas de uma maneira geral para minimizar problemas devido à erosão costeira.

3.1.1 Quebra Mares (*Breakwaters*)

Os Quebra Mares são estruturas construídas geralmente paralelas a linha de costa. Porém, em locais onde as ondas incidem muito obliquamente, com a formação de fortes correntes longitudinais, estas estruturas são orientadas paralelas as cristas das ondas. Tem a finalidade de dissipar ou refletir a energia de ondas incidentes, alterando a direção das ondas, diminuindo a altura pela difração e, desta forma, modificando o transporte de sedimentos ao longo da costa (U.S ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION, 1984). A capacidade de transporte de sedimento de uma onda é função de sua altura ao quadrado, então, se for possível diminuir a altura de onda, o efeito no transporte de sedimentos será reduzido (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

Os quebra mares são designados para retardar a erosão em uma praia existente, promover a sedimentação natural para a formação de uma nova praia quando há suprimento de areia, aumentar a longevidade de uma praia engordada e manter a praia protegida de tempestades (CHASTEN *et al.*, 1994).

Alguns aspectos devem ser observados no planejamento e no projeto da obra, pois a capacidade de um quebra mar de acumular areia na praia é função da sua distância à costa, do comprimento paralelo à linha de praia, da sua altura, da porosidade e, quando são utilizadas estruturas segmentadas, do espaçamento entre elas. Durante aproximadamente 18 anos tem sido realizados estudos quanto às dimensões e posições destas estruturas na Baía de Cheasepeake, além do detalhamento das características físicas e geológicas dos locais onde estão instalados (HARDAWAY e BYRNE, 1999).

Os quebra-mares podem ser fixos ou flutuantes. Os fixos são construídos com material pesado e os flutuantes com materiais leves, que bóiam, tais como: toras de madeira, caixas ocas de concreto, pneus, etc. Os pneus são bastante utilizados devido à durabilidade e por terem custo baixo. Os flutuantes são bastante utilizados em áreas protegidas, com ondas de curto período ($T < 5s$) (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

São bastante apropriados para a proteção da costa em lugares onde existe alta energia de onda, pois armazenam o sedimento ao seu redor, porém geralmente tem um custo elevado para a construção. Em regiões estuarinas, onde geralmente há combinação de baixa energia de onda e de baixa declividade, o trabalho de construção torna-se mais prático do que em ambientes oceânicos, pois menor quantidade de material é requerida, o material poderá ter um menor grau de qualidade e as águas são pouco profundas. Em muitas localidades estuarinas na Virgínia, Estados Unidos, foram utilizadas pedras brutas para a construção das estruturas. Também tem sido utilizados sacos de areia e blocos de concreto em numerosos estuários nos Estados Unidos (NORDSTRON, 1992).

No sistema estuarino da Baía de Chesapeake, Estados Unidos, a alternativa para estabilização costeira que vem sendo utilizada e amplamente estudada ao longo dos anos é o uso de quebra mares segmentados próximos à linha da costa em conjunto com o engordamento artificial de praia, chamada de “*Headland breakwater systems*” (FIG. 3.1 e 3.2). O material para o engordamento é retirado da dragagem dos canais de navegação (HARDAWAY e BYRNE, 1999). A FIG. 3.2 mostra a evolução da linha de costa de uma das praias da baía entre o mês de junho de 1996 e o mês de abril de 1997, com o uso deste sistema. O uso desta obra tem o objetivo de criar uma suave transição no nível de energia entre as costas protegidas e às áreas adjacentes que estão sem proteção. Antes deste projeto, obras anteriores aceleravam os processos erosivos nas costas adjacentes, pois alteravam as condições de onda ou então cortavam o suprimento de sedimentos. Além disso, o método aplicado em Chesapeake não visa somente fornecer uma proteção de longo período para a linha de costa, mas também criar um perfil praial estável. Este método tem possibilitado a estabilização das praias que sofrem erosão principalmente pela ação de ventos nas direções Sul-Sudoeste. É considerado que a erosão costeira que ocorre em alguns locais da Baía de Chesapeake está relacionada principalmente com o comprimento da pista de vento, nos locais onde a pista ultrapassa 16 km ocorre erosão severa da costa (HARDAWAY *et al.*, 1993; HARDAWAY e GUNN, 2000).



FIGURA 3.1 - Quebra mar segmentado construído na Baía de Chesapeake, EUA.

FONTE: HARDAWAY e BYRNE (1999).



FIGURA 3.2 - Evolução da linha de costa em Chesapeake, EUA.

FONTE: HARDAWAY e BYRNE (1999).

Em relação aos impactos ambientais, os quebra mares modificam a circulação podendo ocorrer problemas na qualidade da água, entretanto podem aumentar o número de organismos e de biomassa em áreas adjacentes, funcionando como recifes artificiais (COLEMAN e FULFORD, 1991).

Possuem uma boa estabilidade estrutural e uma boa performance funcional, geralmente oferecem um bom tempo de vida útil (NORDSTRON, 1992).

Segundo Coleman e Fulford (1991), o custo para a construção de um quebra-mar em Terrapin Beach, nos EUA, foi de US\$ 626 por metro linear de estrutura.

3.1.2 Espigões (*Groins*)

São construções que se prolongam perpendicularmente à linha de costa. Eles são construídos quando é conhecida a direção do transporte de sedimentos devido às correntes longitudinais.

Geralmente é construído um conjunto de espigões ou campo de espigões, “*groyne field*”, ao longo da costa, todavia também se pode construir somente um espigão. Nestas construções, a areia tende a acumular-se de um lado da estrutura e a erodir do outro. Porém, a taxa de transporte ao longo da costa decresce e a costa tende a estabilizar-se (BUSH *et al.*, 2001; U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

Este tipo de obra pode ser encontrada em praias do oeste da Florida, incluindo, Honeymoon Island, Sand Key, Madeira Beach, Treasure Island, Longboat Key, Anna Maria Key e Manasota Península (BUSH *et al.*, 2001). Hardway *et al.* (1992) estipulam que existam aproximadamente 640.000 m de espigões construídos ao longo da costa estuarina da Virginia.

Os espigões oferecem utilidade bastante limitada em alguns estuários onde a taxa de transporte ao longo da costa e o suprimento de areia são baixos (DOWNING, 1983; WARD *et al.*, 1989 *apud* NORDSTRON, 1992). Na Baía de Chesapeake (FIG. 3.3) observa-se que os espigões foram construídos em um local onde o suprimento de areia é inadequado, perdendo-se praia em um dos lados do campo de espigões.



FIGURA 3.3 - Espigões na Baía de Chesapeake (suprimento de sedimentos insuficiente).

FONTE: HARDAWAY e BYRNE (1999).

Eles também não possuem uma boa performance funcional em locais onde o material litorâneo é composto por material mais fino do que a areia, pois siltes e argilas tendem a se mover em suspensão, não sendo retidos pelos espigões (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

Entretanto, oferecem bons resultados onde o transporte ao longo da costa é intenso, como ocorre em praias com longos comprimentos da linha de costa com a mesma orientação e também, onde a energia de onda é relativamente alta possibilitando a mobilização dos sedimentos (NORDSTRON, 1992).

Estas estruturas são recomendadas para a retenção de sedimentos em praias que foram engordadas artificialmente ou então, para proteção de áreas naturais adjacentes as engordadas devido à excessiva sedimentação (U. S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

A desvantagem do uso destas estruturas é que elas poderão prejudicar as praias vizinhas, pois retêm a areia que iria suprir estas praias (BUSH *et al.*, 2001).

Os espigões podem ser construídos em alturas altas ou baixas. Os altos bloqueiam efetivamente o suprimento de areia para o outro lado da estrutura, não permitindo que a areia passe sobre ela. Já os baixos permitem que as ondas passem sobre ela, principalmente durante tempestades, permitindo que o sedimento a ultrapasse e preencha o outro lado.

O comprimento do espigão deve ser projetado para criar o formato desejado da praia. Se ele tiver uma boa extensão (comprimento), o sedimento que se desloca ao longo da estrutura talvez seja forçado a retornar das partes mais profundas para as mais rasas. Se o espigão for muito curto, talvez não se obtenha acumulação de sedimentos suficiente para a criação da largura de praia desejada.

Podem ser feitos de madeira, pedras, concreto, aço ou com sacos preenchidos com areia. Devendo ser resistente às forças produzidas por ondas e correntes, ao impacto de entulhos flutuantes e as pressões criadas pela diferença de altura da areia entre os lados da estrutura.

Em Chesapeake, nos Estados Unidos, foram construídos espigões de madeira “*wood groins*” em conjunto com o engordamento para resolver problemas de erosão praial. O custo médio desta estrutura foi de \$225,00 por metro. Os projetistas desta obra ressaltam a importância de um bom suprimento de sedimentos migrando ao longo da costa (HARDAWAY, 2005, comunicação eletrônica).

A FIG. 3.4 mostra um campo de espigões em Rappahannock River (Baía de Chesapeake, EUA) onde a obra tem uma boa performance funcional devido ao amplo suprimento de sedimentos.



FIGURA 3.4 – Espigões em Rappahannock River (Baía de Chesapeake, EUA).

FONTE: HARDAWAY e BYRNE (1999).

3.1.3 Revestimentos e Muros de Contenção (*Seawalls e Bulkheads*)

O revestimento consiste em uma camada de proteção no perfil praial. Estas construções têm a propriedade de proteger o espaço pós-praia e não a própria praia. Eles ajudam somente a prevenir a retração da linha de costa.

Os revestimentos dissipam a energia da onda em uma superfície inclinada e rugosa, sendo eficientes na proteção, porém limitam o acesso e o uso da praia, além do efeito estético negativo. Depende da capacidade de suporte do solo, e deve ser construído com uma declividade estável. Podem ser feitos de pedras, de blocos de concreto, na forma de gabiões (pedras envolvidas em telas de arame), sacos preenchidos com areia (FIG. 3.5) e de outros materiais.



FIGURA 3.5 - Revestimento feito com sacos preenchidos com areia

FONTE: www.waterways.nsw.gov.br

Eles protegem a área onde foram construídos, não protegendo áreas adjacentes. Os problemas de erosão podem continuar em costas adjacentes. Em áreas próximas aos locais revestidos, a erosão pode ser acelerada e mais acentuada devido à reflexão de onda causada pela estrutura. As correntes longitudinais também podem incrementar a erosão em áreas vizinhas se o suprimento de material era proveniente da área protegida (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

Em certos casos também é necessária à construção de espigões ou quebra-mares, juntamente ao revestimento de praia.

Os *Seawalls* e os *Bulkheads* são muros de contenção paralelos à costa e são as estruturas mais comuns para o controle da erosão em muitos estuários (DOWNING, 1983; TERICH, 1987; WARD *et al.*, 1989 *apud* NORDSTRON, 1992).

Os *Seawalls* são estruturas de engenharia construídas paralelas à linha de costa. Sendo designados para oporem-se as forças diretas de alta energia de onda, sendo geralmente construídos com concreto (HARDAWAY e BYRNE, 1999).

Já os *Bulkheads* são muros construídos na linha da praia para proteger o pós-praia ou construções locais. Tem como função principal reter os sedimentos do pós-praia contra deslizamentos e como função secundária fornecer uma defesa contra a ação de ondas. São feitos normalmente em estruturas de madeira, fornecendo mínima proteção contra condições severas de energia de onda (HARDAWAY e BYRNE, 1999). A FIG. 3.6 mostra um *bulkhead* construído na Baía de Chesapeake.



FIGURA 3.6 - Muro de Contenção “*bulkhead*” em Chesapeake, EUA.

FONTE: HARDAWAY e BYRNE (1999).

Na Baía da Virginia, Estados Unidos, em 1990 foi computado um total de 113.600 m de linha de costa com estruturas de revestimentos e *bulkheads* (HARDAWAY *et al.*, 1992 *apud* HARDAWAY e BYRNE, 1999).

Segundo Bush *et al.* (2001), assim como os revestimentos, os muros de contenção degradam a parte recreativa da praia devido a três motivos principais:

- Caso ocorra a migração de dunas e dos sedimentos do pós-praia, a estrutura irá conter esta migração.
- A perda da praia, que ocorre imediatamente, devido às obras.
- Erosão do sedimento em frente à estrutura devido à reflexão de onda e a intensificação de correntes formadas pela quebra de ondas.

Simples princípios de engenharia devem ser observados na construção destas estruturas. É essencial o uso de um filtro têxtil “geotextil ou bidim” abaixo das estruturas. O “geotextil” faz com que a areia não seja levada pela água e não permite que as pedras utilizadas na estrutura afundem na areia. Após o “geotextil”, deve ser colocada uma camada de cascalho. O tamanho e o peso das pedras que irão compor a parte superior da estrutura devem ser calculados de acordo com a energia de onda. A inclinação do talude geralmente é de 2:1. Além de pedras, podem ser feitos muros ou revestimentos com sacos de areia ou concreto pré-moldado. A altura dos muros devem ser superiores ao maior nível da água. A

FIG. 3.7 mostra um revestimento feito na Baía de Chesapeake que foi destruído devido ao tamanho das pedras estar subdimensionado, além de ter sido feita somente uma camada de pedras com uma declividade acentuada.



FIGURA 3.7 - Revestimento subdimensionado em Chesapeake, EUA.

FONTE: HARDAWAY e BYRNE (1999).

Um muro de contenção foi construído em parte da praia do Barro Duro e também em parte da Colônia de Pescadores Z3. Esta obra foi de caráter emergencial para amenizar os problemas ocorridos após a tempestade de outubro de 2001. O muro foi construído com pedras de tamanhos variados e sem o filtro geotextil. Atualmente, as pedras que compõe o muro estão sendo deslocadas para dentro da laguna devido à ação das ondas, provavelmente por não ter sido feito nenhum cálculo de tamanho destas pedras. As pedras dentro da laguna ocasionam riscos de acidentes para os banhistas, FIG. 3.8. A falta do filtro geotextil faz com que estas pedras se enterrem na areia. Este tipo de obra não seria adequado para o local, pois causa a perda da praia para atividades recreacionais e também faz com que aumente a reflexão de ondas, aumentando os processos erosivos nas adjacências.



FIGURA 3.8 - Perda das pedras na obra emergencial na Praia do Barro Duro

3.1.4 Engordamento de Praia

O engordamento de praia consiste no preenchimento de areia na linha de costa colocada através de meios mecânicos. A fonte de areia poderá estar no interior do corpo aquoso, de forma que deverá ser dragada ou, então, a fonte poderá estar situada em outro local onde a areia deverá ser transportada até a obra. É a medida de proteção costeira que mais se assemelha com o estado natural da praia ao contrário das estruturas rígidas de engenharia costeira.

Operações de engordamento têm sido documentadas desde 1920, sendo que um grande número de operações têm sido feitas em praias estuarinas (HEALY *et al.*, 1990; KOIKE, 1990). A realização de um engordamento geralmente tem o objetivo de aumentar as dimensões de uma praia, fornecer uma melhor estética, restaurar ou revitalizar as partes recreacionais das praias, proteger construções civis através da diminuição dos processos erosivos, ou, ainda, de criar novas praias. Segundo Bush *et al.* (2001), os motivos que levam muitas comunidades a aplicar este tipo de obra são devido à melhoria da parte recreacional da praia, à diminuição da erosão da linha de costa e para a proteção das construções civis existentes na costa.

Segundo Dean (1995), para que o engordamento torne-se mais efetivo e economicamente viável é preciso que a erosão já esteja avançada, que a taxa de erosão seja baixa e que o valor do investimento seja compensado.

Antes da realização da obra é importante se fazer uma análise do custo do projeto comparando-o com o potencial econômico da praia a ser engordada, pois geralmente o custo é alto. A vida útil deste tipo de obra depende do quão rapidamente erode a praia, de forma que rápidos e sucessivos eventos de tempestades poderão eliminar rapidamente o preenchimento em um curto espaço de tempo. Este tipo de obra requer uma manutenção periódica e, o custo desta manutenção deverá ser adicionado ao projeto (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

O engordamento é altamente valorizado em praias localizadas em áreas urbanas onde existe a necessidade de recreação e de proteção das construções civis, podendo conduzir a um intenso desenvolvimento, não sendo recomendado em costas onde a demanda recreacional é pequena (ANDERSON, 1987; HEATWOLE e WEST, 1980; WRIGHT e BUTLER, 1984 *apud* NORDSTRON, 1992).

Projetos de engordamento são menos custosos em baías e enseadas do que em áreas oceânicas, pois geralmente uma pequena quantidade de preenchimento é requerida e, se forem utilizadas dragas, elas são mais fáceis de operar devido à baixa energia de onda (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

Estudos conduzidos pelo Programa de Estudos para Desenvolvimento de Costas da Universidade de Duke, nos Estados Unidos, resultaram na dificuldade de obter o custo total para uma obra de engordamento. Os gastos desde 1996 no oeste da Florida totalizaram mais do que 225 milhões de dólares. Já o custo total para o engordamento de duas praias pequenas situadas no Alabama, foi menor do que 2 milhões de dólares em 1996, onde foi utilizado um volume de areia de aproximadamente 520000 metros cúbicos (BUSH *et al.*, 2001).

No Brasil, foram efetuados engordamentos em diversas praias, principalmente em praias oceânicas, onde existe o interesse de investimentos na área turística.

A praia de Sepetiba, que possui uma extensão de 2000 metros foi engordada através da dragagem de 150.000 metros cúbicos de areia. A dragagem permitiu uma bacia de navegação para pequenos barcos pesqueiros e turísticos. O custo desta obra ultrapassou 5 milhões de reais.

No município de Barra Velha, no estado de Santa Catarina foi feito o engordamento da praia central do balneário da Lagoa da Barra Velha através da dragagem da areia da própria lagoa.

Recentemente, no litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina técnicas de recuperação da faixa de praia através do engordamento artificial têm sido consideradas como uma alternativa viável frente a outras ações mitigadoras e vem sendo cada vez mais adotadas como solução para este problema ambiental.

O Município de Piçarras, no litoral Catarinense, realizou, de forma pioneira, a recuperação da praia utilizando-se de areia da plataforma interna adjacente para a reconstrução parcial do seu segmento praial. Foram utilizados cerca de 880.000 m³ de areia para aterrar um trecho de 2200 m de praia.

A praia de Piçarras, antes da realimentação, era composta por areias de granulometria fina a média (ABREU e KLEIN *apud* CALLIARI *et al.*, 2001). Os sedimentos dragados de um local distante de 15 a 18 quilômetros da costa e a uma profundidade de 20 m caracterizavam-se por serem ligeiramente mais grosseiros que os naturais, possibilitando uma maior estabilidade do material e sua permanência por maior período de tempo. As FIG. 3.9 e 3.10 mostram a vista da Praia de Piçarras antes e depois do engordamento artificial, respectivamente.



FIGURA 3.9 - Vista da praia de Piçarras antes do engordamento (Outubro de 1998).

FONTE: ABREU e KLEIN *apud* CALLIARI *et al.*, 2001.

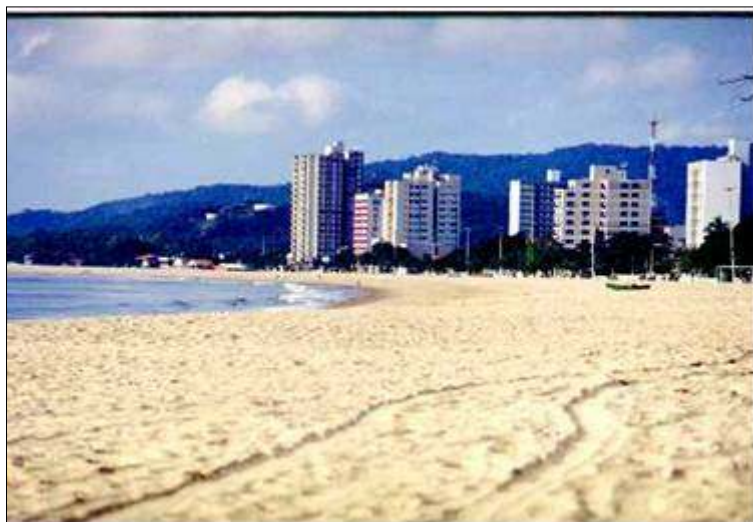


FIGURA 3.10 - Vista da praia de Piçarras após o engordamento (Janeiro de 1999).

FONTE: ABREU e KLEIN *apud* CALLIARI *et al.*, 2001.

Outro exemplo de engordamento no Estado de Santa Catarina, é o que foi feito na praia Alegre, localizada no prolongamento da praia de Piçarras, ambas situadas na enseada de Itapocorói. Onde foram utilizados 70.000 m³ de aterro hidráulico para recuperação do segmento praial. O material foi dragado da região submersa muito próxima à praia, a uma profundidade inferior a 10 metros.

Ainda no estado de Santa Catarina, outra obra a ser mencionada é a do engordamento feito na praia de Gravatá, que está localizada ao norte da desembocadura do rio Itajaí-Açu e

correspondente à extremidade norte da praia de Navegantes com uma extensão de aproximadamente 430 metros. Esta praia vinha sofrendo processos erosivos que se intensificaram nos últimos anos. A administração municipal optou pela utilização de uma jazida continental para recuperação da praia. Para a obra foram utilizados aproximadamente 80.000 m³ de areia que foram transportados por caminhões do areal localizado a aproximadamente 3,0 km da praia.

A praia de Copacabana, no Rio de Janeiro, foi aumentada através de engordamento com areia levemente mais grossa do que a original. Tal obra estabilizou a praia e permitiu a duplicação da avenida atrás da praia. Entretanto, o perfil da praia resultante se modificou, tornando a praia mais inclinada. Como consequência, as características da praia mudaram: a profundidade aumenta rapidamente e as ondas quebram em cima da praia com um tipo de arrebentação mergulhante que pode provocar acidentes com banhistas.

Com o engordamento, somente a porção subaérea da praia é coberta com areia nova, de forma que é criada uma praia com um novo perfil praial que, por sua vez, possui um determinado degrau. Este novo perfil é retrabalhado pela ação das ondas e tende a voltar a sua forma original. Isto faz com que se tenha uma taxa de erosão aumentada logo que a praia é engordada.

Todavia, em zonas de baixa energia de onda este aumento na taxa de erosão é uma exceção à regra geral, como ocorre no oeste da Florida. A reposição de areia ao longo da costa oeste da Florida geralmente utiliza menos do que 191.150 m³ de areia por milha (1609 metros) de praia, em contraste com a costa leste, que possui alta energia de onda, onde mais de 750.000 m³ de areia por milha é normal. Em Miami Beach foram repostos 3.823.000 m³ de areia entre 1979 e 1981. Os dois maiores projetos no Golfo da Florida são: Panamá City, onde aproximadamente 2.293.800 m³ por milha foram utilizadas e, Perdido Key onde 1.911.500 m³ de areia foram colocadas (BUSH *et al.*, 2001).

Praias estuarinas engordadas podem retroceder em taxas mais baixas do que em condições naturais, entretanto estas taxas podem ser altas se as correntes longitudinais à costa forem fortes ou onde há ocorrência de sedimentos finos no pós-praia (LUDWICK, 1987; WRIGHT e BUTLER, 1984 *apud* NORDSTRON, 1992). Os sedimentos finos poderão mover-se para o terraço de baixa maré e permanecer nas vizinhanças na forma de bancos, porém estas feições tem um pequeno efeito na atenuação da energia de onda principalmente quando o nível da água está alto (ANDERSON, 1985; BIRD, 1983 *apud* NORDSTRON, 1992). Baixas taxas de retração após o engordamento também podem ocorrer quando o

material de preenchimento é composto por sedimento grosso, que são menos prováveis de se moverem em condições de baixa energia de onda (JOHNSON e BAUER, 1987). Praias localizadas em costas amplas e que seguem sempre a mesma orientação, onde geralmente as correntes longitudinais são altas, tem chances de perder o material de preenchimento mais rapidamente, sendo indicada a construção de estruturas que possam conter o engordamento, tais como espigões. (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

Poderá ocorrer um aumento da turbidez da água durante a execução da obra, principalmente se o material usado para o preenchimento for composto por sedimentos finos, silte e argila, podendo prejudicar temporariamente certas espécies animais (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981).

Em algumas situações, é construído um quebra onda submerso no pé do aterro de preenchimento que atua como uma proteção contra a perda do material de preenchimento pelo escoamento excessivo através do efeito das águas. Esta solução é conhecida como “*perched beach*” ou praia estaqueada, sendo apropriada para ambientes de baixa a moderada energia de onda e com baixa declividade.

Segundo Bush *et al.* (2001), alguns aspectos devem ser considerados no engordamento de praia:

- Engordamento é uma obra cara.
- Não é uma solução definitiva, requer manutenção de tempos em tempos ou uma reposição contínua de areia.
- O impacto ambiental causado pelo engordamento de praia ainda é pouco conhecido. Organismos podem ser sugados devido à dragagem e o bombeamento de areia. Quando o material de preenchimento é composto por sedimentos finos geralmente ocorre a turbidez da água, causando a morte de peixes e de outros organismos. Estes impactos precisam ser estudados e avaliados antes de novos engordamentos para serem melhor entendidos.
- Nos EUA geralmente os engordamentos são realizados mais por uma questão de proteção da costa contra tempestades do que para fins recreacionais.
- Cada projeto de engordamento tem suas peculiaridades, porém na maioria dos casos o custo do projeto é pago pela própria comunidade residente no local a ser engordado ou, então, os governos municipal, estadual ou federal, financiam as obras.
- Mesmo sofisticados estudos que agrupam dados de onda com modelos matemáticos raramente conseguem prever com segurança o custo e a durabilidade do engordamento de

uma praia. Ninguém sabe ao certo quando uma grande tempestade irá ocorrer, o que é o maior determinante da longevidade da obra na praia.

- A melhor estimativa da durabilidade, do custo e do volume de areia para o projeto de uma praia pode ser obtido pela experiência em outras praias engordadas. Esta aproximação não é precisa, porém é mais realista do que a previsão feita por modelos não reais e muito simplificados.
- A taxa de erosão geralmente aumenta logo que a praia é engordada, pois aumenta o estado de desequilíbrio do perfil praial devido à formação de um degrau. Esta maior taxa de erosão também poderá ocorrer pela introdução de materiais que diferem do sedimento natural da praia em termos de tamanho e composição.
- Baseado na experiência de Virginia Beach, pequenos e freqüentes engordamentos são mais efetivos do que obras grandes e menos freqüentes, mantendo a largura da praia com maior durabilidade.
- É importante a verificação do tempo de suprimento da fonte de areia.
- O monitoramento do engordamento pós feito é essencial. Poderá ser feito através de fotos aéreas ou então do levantamento de perfis praiais.

3.1.5 Outras Alternativas

O uso de vegetação também poderá ajudar a reter o sedimento das praias e a amenizar os efeitos das ondas. Um programa de plantio de espécies vegetais para proteção da costa e controle da erosão é uma alternativa praticamente sem custo. Tem como pontos negativos a perda recreacional da praia, pois o acesso a praia torna-se restrito e, é deficiente em locais com incidência de ondas de energia considerável.

Hardaway *et al.* (1999) considera que o plantio de espécies vegetais para efeitos de retenção de sedimentos nas margens só é efetivo onde a pista não ultrapassa 0,5 milhas náuticas, ou seja, aproximadamente 800 m.

Nos Estados Unidos, um novo método de se fixar a areia da praia através do plantio da vegetação nativa é chamado de Linha de Costa Viva “*living shorelines*” onde, além do plantio de espécies vegetais que sejam adequadas para o ambiente é feita a fixação de enrocamentos no interior do corpo aquoso (BERMAN, 2005, comunicação eletrônica).

Na Baía de Chesapeake, EUA, estruturas chamadas de “sills”, em conjunto com muros de contenção (FIG. 3.11 e 3.12), tem sido construídas juntamente com o plantio de vegetação. São estruturas próprias para ambientes de baixa energia e para margens que não possuem fins recreacionais.



FIGURA 3.11 - Proteção da costa com “sill”, quebra mar e plantio de espécies vegetais, em Choptank River (Baía de Chesapeake, EUA).

FONTE: HARDAWAY e BYRNE (1999).



FIGURA 3.12 - Choptank River (Baía de Chesapeake, EUA), após cinco anos.

FONTE: HARDAWAY e BYRNE (1999).

A utilização dos chamados recifes artificiais feitos de blocos de concreto dissipam os efeitos da energia de ondas e também servem como áreas de abrigo e procriação de espécies animais aquáticas (ESTEVES, 2004, informação verbal).

Outra alternativa que tem sido utilizada é a retração controlada da linha de costa, aumentando-se a largura da praia (ESTEVES, 2004, informação verbal). Se este método fosse aplicado na Praia do Barro Duro certamente aumentaria a largura da praia, todavia seriam perdidas as árvores nativas do local.

4. METODOLOGIA

A metodologia empregada para a realização deste trabalho dividiu-se nas seguintes etapas:

- Estudo da Variação da Linha de Costa
- Levantamento e análise de Perfis Topográficos
- Levantamento e análise de Perfis Batimétricos
- Coleta de amostras de sedimentos e análise granulométrica
- Observações visuais de altura e período de ondas
- Uso de um software para verificar o regime ondulatório de acordo com dados de intensidade e direção do vento e de comprimento da pista do vento - *fetch*.

4.1 ESTUDO DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

A determinação do posicionamento da linha de costa e sua variabilidade podem ser feitas por várias técnicas, sendo que a escolha do método depende da disponibilidade de dados, da logística e das escalas espacial e temporal que se pretende analisar. Fotografias aéreas, imagens de satélite, levantamentos topográficos e batimétricos são exemplos de técnicas utilizadas para esse tipo de estudo (GORMAN *et al.*, 1998).

A metodologia mais comum utilizada para quantificar variações históricas da linha de costa é determinando a sua posição através de várias fontes: aerofotogrametria, ortofotografias e mapas, e posteriormente sobrepô-las para produzir cartas de evolução histórica (CROWELL *et al.*, 1993).

Segundo Lélis (2003), fotografias aéreas são utilizadas para estudos de evolução costeira desde o início do século. Os estudos mais antigos e pioneiros encontrados são de Lucke (1934), Eardley (1941), Shepard *et al.* (1941) e Smith (1943) (*apud* DOLAN *et al.*, 1978), quando a partir de 1927, os levantamentos aerofotogramétricos efetuados nos EUA já apresentavam qualidade para as análises.

Desde a década de setenta, acompanhando a evolução da informática, as técnicas manuais foram sendo transferidas para o formato digital, ampliando a qualidade e precisão das análises.

Neste estudo, foram utilizadas aerofotografias para verificar a evolução da linha de costa e, com estas, foram construídos 3 mosaicos aerofotogramétricos, que são mostrados no ANEXO A. O “Mosaico 1” compreendido entre a barra do Canal São Gonçalo e o final da praia do Laranjal (Balneários Santo Antônio e Valverde), o “Mosaico 2” dá continuidade ao primeiro, passando pela praia do Barro Duro (Balneário dos Prazeres) estendo-se até o começo da praia do Totó e o “Mosaico 3”, parte do começo da praia do Totó até a Colônia de Pescadores Z3. Desta forma, conseguiu-se abranger toda a área em estudo.

Os levantamentos aerofotogramétricos utilizados neste trabalho foram efetuados nos anos de 1971, 1980 e 1995, todos na escala 1:8000. O levantamento aéreo do ano de 1971 foi utilizado somente na confecção do “Mosaico 1”, pois era composto de apenas duas aerofotografias que, por sua vez, cobriam parte da área que compreende a praia do Laranjal. As fotos aéreas foram obtidas junto a Secretaria de Urbanismo (SEURB) da Prefeitura Municipal de Pelotas.

4.1.1 Tratamento das Fotos Aéreas

O levantamento aéreo de 1980 foi obtido no formato impresso em preto-e-branco, na escala 1:8000. As fotos foram digitalizadas em um *scanner* de mesa modelo *GENIUS Color Page Vivid III*, de resolução ótica 600x1200 d.p.i (pontos por polegada). A digitalização foi feita com resolução de 300 d.p.i, a qual apresenta a melhor relação qualidade/tamanho do arquivo digital. Todos os arquivos foram convertidos para o formato *.TIF, que permite a divisão do arquivo em três bandas de cores, mantendo uma boa resolução.

O levantamento do ano de 1995 foi obtido com fotos aéreas na escala 1:8000, no formato digital em preto-e-branco, arquivadas em *CD-Room* no formato *.TIF.

Com o objetivo de melhorar a visualização das feições praiais foi feito um tratamento digital em cada aerofotografia. O procedimento realizado foi uma equalização dos canais de cores e a correção do contraste, da saturação e da nitidez.

Através de um método computacional, as bordas das aerofotografias foram cortadas, utilizando-se apenas o centro para a sobreposição, eliminando-se as distorções. A distorção

existe em função de alguns fatores, tais como: a distorção radial devido ao equipamento aerofotográfico e a variação da escala (LÉLIS, 2003).

4.1.2 Construção do Mosaico

Após o processamento individual das aerofotografias, iniciou-se a etapa de construção do mosaico aerofotogramétrico. O processo foi feito com o auxílio de um CAD (Computer Aided Design), onde utilizando os pontos centrais das aerofotografias e as feições visíveis no solo, fez-se a união e a criação de uma única foto – o mosaico.

O procedimento utilizado neste trabalho foi sobrepor as aerofotografias sobre uma planta previamente geo-referenciada que serviu de base cartográfica, considerada como referencial verdadeiro. Esta planta geo-referenciada na escala 1:1 no formato digital (*.dwg), obtida junto a Prefeitura Municipal de Pelotas, foi elaborada a partir do levantamento aéreo de 1995, no laboratório de Geo-processamento da UFPel.

Para verificação do geo-referenciamento da planta utilizada, foram adquiridos 46 pontos de controle. Estes pontos foram obtidos com o auxílio de um receptor GPS, modelo GARMIM III PLUS, com precisão horizontal de 10 metros e adotando como padrão o sistema de coordenadas planas UTM (Universal Transverse of Mercator), com datum horizontal de referência o sistema SAD 69. Procurou-se coletar pontos de controle utilizando construções civis identificadas e não modificadas nos dois levantamentos aéreos (1980 e 1995), pois feições naturais são sujeitas à dinâmica ambiental, causando um maior erro de posicionamento. Qualquer estudo de monitoramento da linha de costa deverá passar por esse procedimento de verificação, independentemente da natureza dos dados, para que as séries temporais de dados possam ser comparadas com segurança (GORMAM *et al.*, 1998).

4.1.3 Digitalização das feições representativas da posição da linha de costa

Morton (1997) recomenda que todas as feições praias visíveis nas aerofotografias devam ser digitalizadas e comparadas entre si, pois cada uma apresenta uma dinâmica

diferenciada, e deve-se descobrir a mais confiável para indicar as variações da linha de costa, calibrando o método com monitoramentos de campo.

A linha da água é a feição menos confiável para esse tipo de estudo, sendo a mais suscetível às variações de curto período. No local de estudo, a linha da água varia, principalmente devido a alterações de nível da laguna.

Estudos de campo indicam que a linha de vegetação costeira é uma das feições mais estáveis, sendo pouco variável às oscilações de curto período, somente sendo alterada com variações elevadas do nível da água (MORTON, 1997).

Neste trabalho, as feições utilizadas corresponderam à linha da vegetação costeira e, em locais de difícil visualização, utilizou-se a linha da calçada e a linha da água.

No “Mosaico 1” utilizou-se a linha de vegetação até o local do trapiche do Balneário Valverde (Perfis Transversais P1 a P10, FIG. A 1 - ANEXO A). Após, devido à dificuldade de visualização das feições, utilizou-se a linha da calçada (visível e não variável em todos os levantamentos aerofotogramétricos) e o contorno do corpo aquoso para efetuar os cálculos das variações (Perfis transversais P11 a P28, com a utilização dos três levantamentos (1971, 1980 e 1995). No final do “Mosaico 1” e nos demais mosaicos (2 e 3), a feição utilizada para comparação foi à linha de vegetação nativa, pois esta feição é de fácil visualização (Perfis transversais P29 a P124, levantamentos de 1980 e 1995, FIG A 2 e A 3 - ANEXO A).

Através do *software Auto CAD*, utilizou-se a entidade gráfica *polyline* para digitalizar as feições visíveis nos mosaicos.

4.1.4 Erro de Amostragem

O erro introduzido nesse tipo de estudo poderá ter duas origens: metodológica ou dependente da dinâmica natural das feições.

O erro metodológico pode ser introduzido por: dados originais de baixa qualidade (excesso de distorção nas aerofotografias); problemas na confecção do mosaico e na correção das escalas das aerofotografias; erros no processo de geo-referenciamento, de digitalização ou, ainda de cálculo. Segundo Tanner (1978, *apud* DIEHL, 1987) a probabilidade de erro em fotografias aéreas na escala 1: 24.000 pode ser de até 12 metros.

O erro causado pela dinâmica natural das feições deve-se as variações de curto período que interferem na interpretação. Esse tipo de erro pode ser minimizado utilizando-se as feições mais estáveis.

Na prática, é quase impossível determinar o valor exato do erro em cada etapa de processamento. Entretanto, os resultados obtidos devem apresentar nas medições todos os erros acumulados.

Para determinar o erro neste trabalho, foi efetuada a medição de uma distância em campo entre dois pontos conhecidos e que aparecem em todos os aerolevantamentos. Essa distância foi chamada de L. A mesma distância foi aferida sobre os aerolevantamentos já processados, e os valores chamados de L₁, L₂ e L₃. A diferença de valores representa os erros de posicionamento. A maior dessas diferenças foi considerada a faixa de incerteza. Então, valores abaixo da faixa de incerteza foram desconsiderados para o cálculo das taxas de erosão ou acreção, sendo considerados valores de estabilidade, os valores dentro da faixa de incerteza também foram considerados estáveis e os valores acima desta faixa foram utilizados para a interpretação da dinâmica de cada feição praial.

A TAB. 4.1 mostra o cálculo das faixas de incerteza nos três mosaicos com o valor L (medido em campo) e os valores de L₁, L₂ e L₃ (medidos sobre os aerolevantamentos já processados) e a faixa de incerteza.

TABELA 4.1
Cálculo das Faixas de Incerteza

MOSAICO	L (M)	L ₁ (M) Ano 1995	L ₂ (M) Ano 1980	L ₃ (M) Ano 1971	FAIXA DE INCERTEZA (M)
Mosaico 1	75,20	78,63	76,22	77,70	3,43
Mosaico 2	109,80	107,20	109,48	-	2,60
Mosaico 3	75,30	74,96	72,68	-	2,62

4.1.5 Cálculo das variações da linha de costa e determinação dos locais de erosão/acresção

Com o auxílio do *software Auto Cad*, foi feita a sobreposição dos mosaicos de cada ano e com as feições devidamente digitalizadas. Sobre os mosaicos foram geradas linhas representativas da orientação da linha de costa e foram traçados perfis digitais perpendiculares

a esta linha em intervalos regulares de 100 em 100 metros, totalizando 124 perfis, conforme ANEXO A.

Sobre estes perfis e, através da sobreposição das feições digitalizadas foram calculadas as distâncias entre feições. Com estas distâncias foi calculada a média aritmética e dividiu-se esta pelo número de anos entre os levantamentos, obtendo-se a taxa de erosão ou de acreção dos locais analisados.

Para melhor interpretação dos dados, o local foi dividido em 6 setores (TAB. 4.2).

TABELA 4.2
Setores analisados

SETOR	PERFIS	FEIÇÕES MONITORADAS	ORIENTAÇÃO PREDOMINANTE DA LINHA DE COSTA
1	P1 a P10	Linha da Vegetação	NNW – SSE
2	P11 a P28	Linha da Água	NNW – SSE
3	P29 a P42	Linha da Vegetação	NNE – SSW
4	P43 a P73	Linha da Vegetação	NE – SW e NNE – SSW
5	P74 a P84	Linha da Vegetação	ENE – WSW
6	P85 a P124	Linha da Vegetação	ENE – WSW

4.2 ESTUDO DA VARIAÇÃO DOS PERFIS TOPOGRÁFICOS PRAIAIS

Baseando-se em saídas de campo e no conhecimento empírico da região, foram estabelecidos cinco locais de monitoramento através do levantamento de perfis topográficos, ao longo das praias da região. A TAB. 4.3 mostra o local e as orientações dos perfis considerados.

TABELA 4.3
Localização dos Perfis Topográficos Praiais

Perfil	Localização	Orientação
1	Praia do Laranjal – Balneário Valverde (ao lado do Trapiche)	237° SW - NE
2	Praia do Laranjal – Balneário Santo Antônio	252° SW - NE
3	Praia do Barro Duro – Balneário dos Prazeres	302° NW - SE
4	Praia do Totó – Em frente ao Ecocamping Municipal	303° NW - SE
5	Praia do Junquinho – Colônia de Pescadores Z3	327° NW - SE

A localização detalhada destes perfis pode ser visualizada nos ANEXOS A e B.

Neste trabalho foram efetuadas 10 campanhas, no período entre maio de 2003 e agosto de 2004, especificamente nos seguintes dias: 20/05/03; 24/06/03; 05/08/03; 04/09/03; 27/10/03; 01/12/03; 05/01/04; 04/03/04, 30/04/04 e 12/08/04.

O levantamento topográfico foi realizado com uma Estação Total, Marca Nikon, Modelo DTM - 330. Nos primeiros meses de levantamento houve o apoio de uma equipe de topografia da Prefeitura Municipal de Pelotas que trabalhou em parceria com a equipe da FURG. Nos últimos meses de levantamento o trabalho foi efetuado somente pela equipe da FURG.

O RN (nível de referencia geodésico, *datum*) do Perfil 1 foi um marco situado próximo ao perfil com cota 1,956 m, cuja informação foi obtida junto à equipe do Porto de Pelotas. No primeiro mês de levantamento foram tomados os RN's dos demais perfis, pois não haviam marcos próximos aos locais escolhidos e de outros existentes não foram encontradas informações precisas sobre suas cotas.

Os dados gerados na Estação Total foram inseridos no programa de computador *Geoffice*. Após, foi realizada uma interpolação dos dados no *software MatLab* para permitir a análise do perfil a cada metro, interpolando os dados de comprimento confrontados com os dados de cota. Um exemplo da rotina utilizada está indicado na QUADRO 3.1, onde o “perfillmaio.txt” representa o arquivo que contém os dados de comprimento e cota levantados no formato de texto, “xi” indica que a interpolação será feita a cada metro até o comprimento total do perfil, que neste caso está representado por 300m e, “yi” fornece o resultado final da interpolação.

QUADRO 4.1

Rotina para interpolação dos dados no *software MatLab*

```
load perfillmaio.txt
xi=0:1:300;
yi=interp1(perfillmaio(:,1),perfillmaio,xi,'linear');
```

Após a interpolação, os dados foram organizados em arquivos no utilitário *Excel* (*Microsoft*, 2003), onde gráficos do envelope dos perfis, da máxima variação vertical do

pacote sedimentar e desvio padrão desta variação foram desenvolvidos. Também foram avaliados a variação da largura da praia e o cálculo da variação do volume.

A largura da praia foi medida no local, em cada dia de levantamento, sendo os dados organizados em planilhas no *software Excel*, onde foram efetuados os cálculos dos parâmetros estatísticos: média (Y_b), desvio padrão (σ_b) e o coeficiente de variação (CV).

O cálculo da variação do volume do pacote sedimentar foi feito através de rotina no *software MatLab*. Foi calculado o volume da porção subaérea e subaquosa dos perfis praias, obtendo-se mudanças de volume para distâncias comuns a 2 perfis (m^3/m). A rotina utilizada, visualizada no QUADRO 3.2 calcula a integral da área perfil transversal e depois faz a diferença entre as duas funções, ou entre dois levantamentos, fornecendo os valores representativos da diferença entre áreas que após são multiplicados por uma unidade de largura (1 metro).

QUADRO 4.2

Rotina utilizada para o cálculo das mudanças de volume no *software MatLab*

```
clear aream diferenca dad
a=length(nomedoarquivo);
coluna=size(nomedoarquivo);

for k=1:coluna(2)
    aream=[aream; integral(nomedoarquivo(:,k),1)];
end
for l=1:coluna(2)-1
    dad=[dad; aream(l*a)]
end
k=0
for j=1:coluna(2)-1
    if k==j
        return
    end
    diferenca=[diferenca; dad(j)-dad(j+1)]
    k=coluna(2)-1
end
```

Foram calculadas as máximas variações verticais do envelope dos perfis levantados para visualização das máximas mudanças que ocorreram para diferentes ambientes da praia (pós-praia, face da praia e porção subaquosa).

4.3 PERFIS BATIMÉTRICOS

Foram levantados cinco perfis batimétricos ao longo das praias do Saco do Laranjal. A localização e a orientação de cada perfil batimétrico foram as mesmas utilizadas nos levantamentos dos perfis topográficos praias.

A equipe que efetuou o levantamento foi formada por quatro pessoas a bordo de uma lancha de propriedade do LOG/FURG modelo “Boston Whaler” de 4 metros de comprimento, feita de fibra de vidro e com motor de 20 HP.

Para a obtenção dos dados batimétricos foi utilizada uma eco-sonda Hydrotrac (FIG. 4.1-A), operando na frequência de 200 kHz, com uma resolução de 0,01 m e acurácia de 0,01 m. Para controle da potência de operação e da sensibilidade, a eco-sonda permite diferentes combinações, através de seletores analógicos (FIG. 4.1-B). Com relação à potência de operação, as posições *LOW* (baixa), *MED* (média) e *HIGH* (alta) controlam a amplitude e largura do pulso acústico transmitido. No presente trabalho, foi utilizada a posição *MED* (média) para a potência de operação. Já o controle de sensibilidade determina quão sensível o receptor será ao sinal que chega do transdutor. A sensibilidade é controlada variando-se a quantidade de ganho aplicada pelo circuito receptor, entre *MIN* e *MAX* (HYDROTRAC - INSTALLATION/OPERATION MANUAL v. 2.18, 2003 *apud* MADUREIRA *et al.*, 2003).

Os registros batimétricos foram efetuados a cada 30 segundos. A impressão do registro se deu termicamente, em papel de fax, 216 mm. Para cada registro foram obtidas, simultaneamente, as coordenadas geográficas do local com um receptor GPS, modelo GARMIM III PLUS, com precisão horizontal de 10 metros. Adotando como padrão o sistema de coordenadas planas UTM (Universal Transverse of Mercator), com datum horizontal de referência SAD 69.

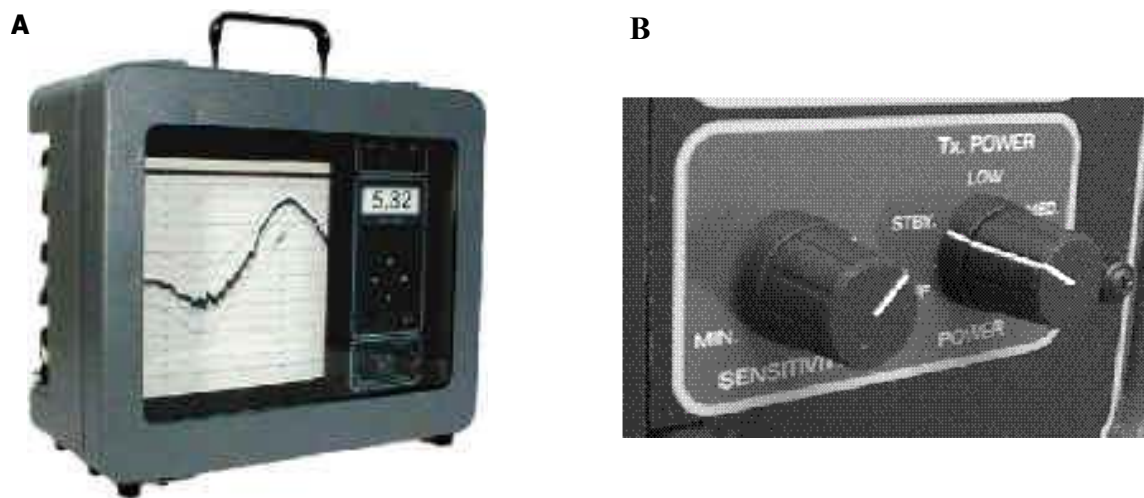


FIGURA 4.1 A - painel frontal da eco-sonda Hydrotrac; B - seletores analógicos para controle de potência e sensibilidade.

Foram coletadas amostras dos sedimentos ao longo de cada perfil, em pontos determinados onde eram conhecidas a profundidade e as coordenadas geográficas do local. Para a coleta das amostras foi utilizado um busca fundo operado manualmente, do tipo “Mud Snapper”, FIG. 4.2. À medida que iam sendo coletadas, as amostras eram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas para posterior análise granulométrica no Laboratório de Sedimentologia da FURG.



FIGURA 4.2 - Busca Fundo tipo “Mud Snapper”

A TAB. 4.4 identifica a localização de cada perfil, sua orientação e o comprimento:

TABELA 4.4
Dados de Levantamento dos Perfis Batimétricos

Perfil	Local	Orientação	Comprimento (m)
1	Praia do Laranjal – Balneário Valverde (ao lado do Trapiche)	237°	884,35
2	Praia do Laranjal – Balneário Santo Antônio	252°	913,41
3	Praia do Barro Duro – Balneário dos Prazeres	302°	1370,02
4	Praia do Totó – Em frente ao Ecocamping Municipal	303°	1026,44
5	Praia do Junquinho – Colônia de Pescadores Z3	327°	1630,65

As posições de cada perfil encontram-se no ANEXO B. Os pontos coletados com o receptor GPS foram graficados em plantas geo-referenciadas (ANEXO B) através do *software Auto Cad*. Com os pontos inseridos na planta foi possível saber a distância entre os pontos, assim como a distância total percorrida pela lancha ao longo do perfil.

Com os registros impressos os dados foram interpolados e obtiveram-se as profundidades ao longo do perfil e as respectivas distâncias. Os dados de profundidade e distância foram digitados no *software Auto Cad*, sob a forma de coordenadas e, com isto confeccionados os gráficos batimétricos de cada perfil, que se encontram no ANEXO C.

4.4 ANÁLISE DE DADOS GRANULOMÉTRICOS

Foram coletadas amostras de sedimentos do pós-praia e da face da praia em cada um dos cinco perfis praias durante as dez campanhas de medições topográficas efetuadas. Ao longo dos perfis batimétricos também foram coletadas amostras. A TAB. 4.5 indica o total de amostras sedimentológicas obtidas em cada perfil.

TABELA 4.5

Número de Amostras coletadas em cada perfil topográfico e em cada perfil batimétrico

Perfil	Total de Amostras	
	Pós-praia e Face da Praia	Ao longo do Perfil Batimétrico
Perfil 1	25	10
Perfil 2	24	08
Perfil 3	28	16
Perfil 4	23	09
Perfil 5	23	13

Os sedimentos coletados foram processados segundo métodos clássicos de sedimentologia no Setor de Sedimentologia do Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG) da FURG. As amostras, que estavam acondicionadas em sacos plásticos e identificadas foram lavadas para a retirada dos sais solúveis e, depois, foram secas em estufa. As amostras constituídas de areia foram secadas com temperaturas entre 80 a 100°C, já os sedimentos compostos de material mais fino foram submetidos a temperaturas de aproximadamente 60°C.

O sedimento seco foi submetido à desagregação em almofariz de porcelana com pistilo de borracha. Com isto, o material foi dividido em um quarteador de câmara do tipo Jones até um peso conveniente. Os sedimentos grosseiros foram analisados com um peso aproximado de 30 gramas enquanto que os sedimentos mais finos ficaram com aproximadamente 20 gramas.

O total de amostras coletadas na face da praia e no pós-praia e algumas das amostras obtidas ao longo dos perfis batimétricos na porção subaquosa, não mostraram a presença de sedimentos finos, sendo compostas de sedimentos essencialmente grosseiros. A análise granulométrica destas amostras com sedimentos grosseiros foi feita mediante o processo de peneiramento mecânico para partículas maiores do que 0,062 mm ($<4\phi$) de diâmetro, com intervalos de $\frac{1}{4}\phi$, de acordo com a escala de Wentworth (1922) (SUGUIO, 1973).

O símbolo ϕ (phi) foi introduzido por Krumbein (1934), sendo o logaritmo negativo de base 2 da granulometria em milímetro.

$$\phi = -\log_2 di \quad (4.1)$$

Na expressão (4.1), ϕ significa o tamanho do sedimento, $-\log_2$ é o logaritmo negativo na base dois e di é o diâmetro do sedimento em milímetros.

Nesta escala, a granulação 1 mm possui um valor de $\phi = 0$, granulações mais finas têm valores de ϕ positivos e granulações mais grosseiras tem valores de ϕ negativos. Desta forma,

é permitido trabalhar-se com números inteiros nesta escala, ao invés de medidas absolutas em milímetros. Esses valores de ϕ , que são números inteiros, coincidem com os limites das classes da escala de Wentworth (SUGUIO, 1973).

O sedimento fino composto por partículas menores do que 0,062 mm ($>4\phi$) foram analisados mediante o método de pipetagem, baseado na Lei de Stokes, em intervalos de tempo definidos e em profundidades correspondentes ao material sedimentado. O tamanho de grão foi verificado com intervalos correspondentes a escala de Wentworth (1922).

O material retido em cada fração granulométrica foi pesado em balança analítica, com o peso de cada uma destas frações foi possível calcular as porcentagens simples e acumulada em cada intervalo granulométrico.

Os dados de porcentagens simples de cada fração granulométrica das amostras foram digitados e processados para caracterização granulométrica no *software* de análise estatística e textural *SysGran 2.4* (Sistema de Análise Granulométrica). Foram utilizados os parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) para a caracterização dos sedimentos de cada uma das amostras (SUGUIO, 1973). Os dados analisados nesta caracterização foram: a média, a classificação por tamanho e a porcentagem de cada classe granulométrica. Também foram feitos histogramas para verificação da classe modal de cada uma das amostras analisadas.

A Média Aritmética (M_z) é uma medida de tendência central da distribuição e representa o tamanho médio dos grãos. É a melhor medida para fornecer o diâmetro médio, pois é obtida de um grupo de tamanhos e não de um único ponto da curva de distribuição. Ela é controlada pela combinação de dois fatores: a competência de uma corrente em transportar e depositar naquele local um determinado tamanho de grão, e o tamanho inicial do sedimento na área fonte. Desta forma, a média granulométrica de um depósito sedimentar está diretamente relacionada com a área fonte e com a energia do fluxo, que transportou este sedimento. Pode ser usada para determinação de direções e variação de correntes, influência de várias fontes de material e, ainda, variações da competência do agente de transporte.

Existem outros dois parâmetros estatísticos, a mediana e a moda, que também são medidas de tendência central da distribuição. A mediana é o ponto relacionado com a porcentagem de 50% da distribuição granulométrica e a moda é o valor de ϕ (phi) no centro do intervalo da classe mais abundante da distribuição.

Neste trabalho, a moda foi analisada através da visualização de histogramas. Os histogramas foram feitos com o auxílio do *software Sysgran* através de dados tabelados de

intervalos e frequências de cada classe, como porcentagem do peso total. O histograma é um instrumento estatístico usado para representar frequências granulométricas, de fácil compreensão e é capaz de esclarecer diferenças e similaridades entre amostras. Nele pode ser observado, por exemplo, que uma determinada classe é mais abundante. Esta classe mais abundante é chamada “classe modal”. Pela extensão do espalhamento (número de classes granulométricas) pode-se ter idéia da variação granulométrica e, portanto, do grau de seleção das amostras. Finalmente, pode-se verificar se as frequências de distribuição são simétricas ou não (SUGUIO, 1973).

Após a análise das amostras no *software SysGran*, os dados foram salvos em planilhas no *software Excel* onde foram feitos diagramas circulares indicando a porcentagem de cada classe granulométrica. A confecção dos diagramas circulares teve o objetivo de comparação entre amostras. Através destas comparações, pode-se avaliar onde são encontradas areias com características granulométricas semelhantes em diferentes locais, indicando fontes de sedimentos para possíveis obras de engordamento de praia nos locais que apresentaram erosão, tal como a Praia do Barro Duro. As amostras coletadas ao longo dos perfis batimétricos foram denominadas pela letra “A” com seu respectivo número (por exemplo, “A10” indica que é a Amostra 10). Os diagramas das amostras coletadas ao longo dos perfis batimétricos se encontram no ANEXO C, juntamente aos gráficos dos perfis batimétricos e, também, gráficos do tamanho médio do grão e da moda de cada amostra. A localização das amostras, com a indicação de suas coordenadas em UTM está no ANEXO B.

4.5 PREVISÃO DA AGITAÇÃO GERADA PELO VENTO

Neste trabalho, o modelo matemático utilizado para calcular a agitação gerada pelo vento baseou-se nas curvas SMB, método Sverdrup-Munk-Bretschneider. Este modelo foi chamado de Programa SMB89 e foi desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, em Portugal, no ano de 1989, na linguagem *Fortran* (Fórmula Translation). O objetivo do Programa SMB89 é a realização de previsões e reconstituições da agitação marítima, em águas profundas e em águas rasas.

O estudo para o desenvolvimento deste modelo apoiou-se no artigo dos autores Hurdle e Stive (1989), que revisaram o método apresentado pelo Shore Protection Manual na edição de 1984. Neste método, o conjunto de equações utilizadas para o cálculo das

características de agitação marítima quando a zona de geração localiza-se em águas profundas difere do conjunto de equações utilizadas quando a zona de geração se encontra em águas rasas. Estas equações não são válidas para pontos que se situem em zonas de transição. Então, os autores mostraram um conjunto de equações para o cálculo da altura significativa (H_s) e período significativo (T_s) de onda que se ajustam assintoticamente às equações da edição 1984 do Shore Protection Manual e permitem obter resultados mais coerentes nos pontos de transição entre águas profundas e rasas.

As equações para o desenvolvimento do Programa SMB89 são mostradas a seguir:

$$H_s = \left(\frac{U_A^2}{g} \right) * 0.25 * \tanh \left(0.6 * \left(\frac{dg}{U_A^2} \right)^{0.75} \right) * \tanh^{0.5} \left[\frac{4.3 * 10^{-5} * \frac{Fg}{U_A^2}}{\tanh^2 \left(0.6 * \left(\frac{dg}{U_A^2} \right)^{0.75} \right)} \right] \quad (4.2)$$

$$T_s = \left(\frac{U_A}{g} \right) * 8.3 * \tanh \left(0.76 * \left(\frac{dg}{U_A^2} \right)^{0.375} \right) * \tanh^{\frac{1}{3}} \left[\frac{4.1 * 10^{-5} * \frac{Fg}{U_A^2}}{\tanh^3 \left(0.76 * \left(\frac{dg}{U_A^2} \right)^{0.375} \right)} \right] \quad (4.3)$$

Nas expressões (4.2) e (4.3), H_s é a altura significativa da onda (m), g é a aceleração da gravidade (m/s^2), U_A é o fator de tensão do vento (m/s), $\tanh$ é a tangente hiperbólica, F é o fetch (m), T_s é o período significativo da onda (s), d é a profundidade local (m).

A caracterização de altura e período significativos de onda foi feita mediante a entrada de dados no Programa SMB e também com observações visuais nos locais de previsão, durante o período de fevereiro/2003 a agosto/2004.

Os dados de entrada necessários para caracterizar ondas no SMB89 foram:

- Fetch* ou, então, o programa calcula o *fetch* efetivo se foram fornecidas as medidas dos raios projetados a cada 6°.
- Duração do vento (segundos).
- Profundidade.
- Direção do vento.
- Fator de tensão do vento em m/s, calculado a partir do tratamento dos dados de velocidade do vento.

Os *fetchs* foram traçados manualmente nas cartas de números 2112 e 2140 de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Foram considerados três pontos de previsão: na praia do Laranjal (Balneários Valverde e Santo Antônio), na Praia do Barro Duro (Balneário dos Prazeres) e na Colônia de Pescadores Z3. Os traçados de cada *fetch* corresponderam as diferentes direções dos ventos que foram analisadas, além disso, foram traçados raios a cada 6° até chegar aos 45° para cada lado da direção principal para o cálculo do *fetch* efetivo. As medidas obtidas da direção principal do vento, ou seja, do comprimento do *fetch*, e dos raios traçados a cada 6° foram inseridas no Programa SMB para o cálculo do *Fetch* Efetivo.

Em baías, lagos ou estuários, a duração do vento não constitui em regra um fator limitativo do crescimento do estado de agitação. Considera-se que a duração do vento é suficiente para atingir o “Estado de Completo Desenvolvimento”, ou seja, quando a agitação atinge suas características máximas. A duração do vento foi obtida junto aos dados de vento, com valores variando entre 3600 e 21600 segundos.

Outro fator importante para a previsão de altura e período de ondas em locais de águas rasas é a profundidade do local, sendo esta um dado de entrada para o Programa SMB89. Calculou-se a profundidade de cada local através da média ponderada das cotas batimétricas em relação ao comprimento do *fetch* traçado nas cartas. A profundidade limita o processo de crescimento de onda por algumas razões. Primeiramente, ela faz diminuir a declividade limite da onda e, portanto, a altura H para determinado período T . Ela também influencia na dissipação de energia da onda, pois em pequenas profundidades, além dos fenômenos de rebentação parcial, turbulência e atrito interno, somam-se os efeitos do atrito e da percolação no fundo.

A TAB. 4.6 mostra os *fetchs* que foram traçados em cada ponto de previsão, sua medida na direção principal do vento, o *fetch* efetivo que foi calculado através do Programa SMB e também a profundidade média.

TABELA 4.6

Dados de Fetch, Fetch Efetivo e Profundidade necessários para a caracterização de ondas

Local	Direção	Fetch (m)	Fetch Efetivo (m)	Profundidade Média (m)
Laranjal	SE	29440,00	20261,02	3,11
Laranjal	E	54602,25	43659,77	2,61
Laranjal	ENE	105944,67	48605,09	4,68
Laranjal	NE	10594,47	25515,21	1,61
Barro Duro	S	15680,00	11868,22	1,23
Barro Duro	SE	15360,00	24112,04	2,37
Barro Duro	E	55688,86	32962,03	2,85
Barro Duro	ENE	105673,02	39919,31	4,77
Z3	S	13600,00	17462,19	2,48
Z3	SE	17840,00	24033,21	1,12
Z3	E	54058,95	28866,53	3,43
Z3	ENE	101054,92	29927,54	5,08

Não foi realizado um estudo estatístico dos ventos, a análise para caracterização de ondas foi feita somente nos dias de observação e nos dias com ventos intensos.

Para a previsão da agitação gerada por ventos, o ideal é que se tenham estações com anemógrafos próximos aos locais de predição de ondas para obtenção dos dados locais de vento. Neste trabalho, devido a ausência de estações anemográficas mais próximas, a obtenção de dados de vento foi feita na Estação Agroclimatológica UFPel/EMBRAPA de Pelotas, que se encontra a uma distância de aproximadamente 30 km dos locais de estudo. Segundo o Shore Protection Manual (1984) é possível o estudo de previsões de onda com dados de ventos obtidos a partir de estações anemográficas instaladas até 100 km de distância, de modo que os dados utilizados neste trabalho são válidos.

Os dados dos ventos foram ajustados segundo a metodologia proposta pelo Shore Protection Manual (1984), conforme a seguir:

a) Elevação

Os dados de ventos foram coletados a uma altura de 7 metros, de modo a ser necessário o ajuste para uma velocidade de vento a uma altura (z) de 10 metros, através da seguinte expressão matemática:

$$V_{(10)} = V_{(z)} \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (4.4)$$

Na expressão (4.4), V é a velocidade do vento (m/s) e z é a altura em que foram coletados os dados de vento. A expressão tem validade para valores de z coletados a uma altura até 20 metros.

b) Velocidade do vento em termos de duração média

Os valores foram definidos para uma velocidade de vento média, para um intervalo de tempo de 60 minutos, ou seja, os dados de vento foram tratados manualmente a partir de anemogramas e, a partir destes registros foi obtida a velocidade do vento média (m/s), para cada hora.

Foram obtidos dados dos dias em que foram realizados levantamentos ou que foram feitas observações visuais ou, ainda, de dias em que os ventos atingiram velocidades mais elevadas.

c) Correção da Estabilidade

O fator de correção da estabilidade (R_T) é em função da diferença de temperatura entre o ar e a água, caracterizando o estado da camada limite entre o ar e a água que, por sua vez, indica uma maior ou menor influência no crescimento da onda pela ação da velocidade do vento. Se a camada limite é neutra, a diferença de temperatura entre o ar e a água é zero, não sendo necessárias correções das velocidades dos ventos. Se a diferença de temperatura é positiva, diz-se que a camada limite é estável e a velocidade do vento é menos efetiva. Caso a diferença de temperatura for negativa, a camada limite é instável e a velocidade do vento é mais efetiva no crescimento da onda.

A velocidade do vento que considera este efeito é obtida através da expressão:

$$V = R_T V_{(10)} \quad (4.5)$$

Na expressão (4.5), V é a velocidade do vento, R_T é o fator de correção e $V_{(10)}$ é a velocidade do vento na elevação de 10 metros.

No presente estudo, não foi feito este ajuste, pois eram necessários dados de temperatura da água que, por sua vez, são inexistentes no local.

d) Efeitos Locais

Este ajuste é necessário quando se deseja analisar ventos que sopram do continente para o interior do corpo lagunar. O ajuste é feito através do coeficiente de estabilidade (R_L)

que é dado pela relação entre a velocidade do vento sobre a água (V_A) e da velocidade do vento sobre o continente (V_c), conforme a expressão (3.6).

$$R_L = \frac{V_A}{V_c} \quad (4.6)$$

Na expressão (4.6), R_L é o coeficiente de estabilidade, V_A é a velocidade do vento sobre a água em (m/s) e V_c é a velocidade do vento sobre o continente em (m/s).

Como foram analisados somente os registros de ventos correspondentes aos ventos que sopram da laguna em direção a margem oeste, ou seja, para o local de estudo, este ajuste tornou-se desnecessário.

e) Fator de tensão do vento

Após os demais ajustes feitos nos dados brutos de vento, calcula-se o fator de tensão do vento, onde a velocidade é ajustada através da seguinte expressão:

$$U_A = 0,71V^{1,23} \quad (4.7)$$

Na expressão (4.7), U_A é o fator de tensão do vento em (m/s) e V é a velocidade do vento em (m/s).

As equações utilizadas no Programa SMB89 para a obtenção das características de onda utilizam a velocidade ajustada em termos do fator de tensão do vento (U_A).

Concomitantemente aos levantamentos topográficos dos perfis praias, foram efetuadas observações visuais de altura e período de ondas, bem como a obtenção de fotografias para verificar a direção das incidências de chegada de onda em cada dia de levantamento.

Também foram realizadas medições em campo de altura e período significativos de onda, no mês de março de 2004, durante três dias. A medição em campo permitiu que fossem feitas comparações dos dados observados com os dados obtidos através do programa SMB89.

O dado de altura de onda é obtido utilizando-se uma régua graduada onde se lê a diferença entre a altura da crista e da cava da onda. O número total de leituras é dividido em três grupos, sendo que um destes grupos é o terço com os valores máximos medidos. Com o terço dos valores máximos é feita a média aritmética para a obtenção da altura significativa (H_s).

O período significativo de onda é obtido com o auxílio de uma régua graduada onde se contam 11 ondas consecutivas, verificando-se o tempo de incidência destas ondas com um

cronômetro. O tempo registrado é dividido por 10, obtendo-se o período. Com o número total calculado de períodos, divide-se o terço com os valores máximos, se faz a média aritmética deste terço, obtendo-se o período significativo (T_s).

Estas medições foram feitas em uma profundidade de 0,5 m.

A FIG. 4.3 mostra o trabalho de campo realizado em 28/03/04, na Praia do Laranjal.



FIGURA 4.3 - Medição de Ondas em 28/03/04 (Praia do Laranjal)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

A variação da linha de costa, analisada ao longo do local de estudo, foi dividida por setores para melhor interpretação dos dados. As TAB. 5.1 a 5.6, indicam a diferença entre as feições digitalizadas em cada mosaico. Se a diferença indicada for negativa, mostra erosão, se positiva, acresção e se o valor estiver na faixa de incerteza considera-se que o local está estável.

TABELA 5.1

Variação no posicionamento das feições localizadas no **Setor 1** - entre a barra do canal São Gonçalo e o trapiche no Balneário Valverde.

Perfis	Diferença entre as feições de 1980 e 1995 (m)	Interpretação
P1	- 3.64	Erosão
P2	3.42	Estabilidade
P3	0.84	Estabilidade
P4	-	Estabilidade
P5	0.48	Estabilidade
P6	1.96	Estabilidade
P7	1.43	Estabilidade
P8	-	Estabilidade
P9	2.86	Estabilidade
P10	1.43	Estabilidade

No “setor 1” foi verificada uma praia estável entre os perfis P2 a P10. A erosão verificada no perfil P1 poderá ocorrer pela proximidade com a barra do canal São Gonçalo que, conforme pode ser visualizado no “Mosaico 1” (ANEXO A), é um local de grande dinâmica.

TABELA 5.2

Variação no posicionamento das feições localizadas no **Setor 2** – praia do Laranjal, entre os Balneários Valverde e Santo Antônio.

Perfis	1971	1980	1995	Diferença entre 71 e 80 (m)	Diferença entre 71 e 95 (m)	Diferença entre 80 e 95 (m)	Interpretação
P11	67.03	76.51	75.40	9.40	8.37	- 1.11	-
P12	65.89	73.82	72.77	7.93	6.88	- 1.05	-
P13	65.95	73.58	72.67	7.63	6.72	-0.91	-
P14	68.06	72.64	72.64	4.58	4.58	-	Estabilidade
P15	73.81	77.02	77.02	3.21	3.21	-	Estabilidade
P16	79.29	82.69	82.69	3.40	3.40	-	Estabilidade
P17	75.65	78.21	78.21	2.56	2.56	-	Estabilidade
P18	69.20	74.30	74.87	5.1	5.67	0.57	Acresção
P19	68.47	74.56	74.56	6.09	6.09	-	Estabilidade
P20	70.42	77.29	77.29	6.87	6.87	-	Estabilidade
P21	76.04	84.19	84.19	7.16	7.16	-	Estabilidade
P22	77.03	84.07	85.45	7.04	8.42	1.38	Acresção
P23	76.63	83.98	86.95	7.35	10.32	2.97	Acresção
P24	75.37	81.46	86.28	6.09	10.91	4.82	Acresção
P25	78.16	80.01	84.82	1.85	6.66	4.81	Acresção
P26	76.43	81.05	86.45	4.62	10.91	5.40	Acresção
P27	81.84	83.62	88.02	1.78	6.18	4.40	Acresção
P28	78.05	81.13	82.42	3.08	4.37	1.29	Acresção

Mesmo sabendo-se que a linha da água é a feição menos confiável para esse tipo de análise, a mesma foi utilizada neste setor, devido à dificuldade de visualização de linha de berma e pela inexistência de vegetação próxima a praia. Desta forma, foram comparadas as distâncias entre linha do corpo aquoso e a linha da calçada que é visível e invariável em todos os levantamentos.

Foi verificado que a taxa de crescimento desta praia foi maior entre os anos de 1971 e 1980, com um valor de 0,60m/ano. Já entre os anos de 1971 e 1995 a praia continuou crescendo, porém com uma taxa menor, de 0,28 m/ano e, ainda, entre 1980 e 1995 a taxa de acresção ficou menor, com 0,21 m/ano.

TABELA 5.3

Variação no posicionamento das feições localizadas no **Setor 3** – entre a praia do Balneário Santo Antônio e a praia do Balneário dos Prazeres.

Perfis	Diferença entre as feições de 80 e 95 (m)	Interpretação
P29	11.30	Acréscimo
P30	9.16	Acréscimo
P31	11.14	Acréscimo
P32	11.66	Acréscimo
P33	12.06	Acréscimo
P34	16.63	Acréscimo
P35	17.92	Acréscimo
P36	14.89	Acréscimo
P37	4.33	Acréscimo
P38	8.63	Acréscimo
P39	12.64	Acréscimo
P40	13.59	Acréscimo
P41	7.93	Acréscimo
P42	2.70	Acréscimo

No setor 3, localizado entre o Balneário Santo Antônio e o Balneário dos Prazeres verificou-se uma taxa de acreção de 0,74 m/ano, entre os anos de 1980 e 1995. Ao sul do perfil P29 há um canal de drenagem do balneário onde se observou um maior valor na taxa de acreção, talvez devida à própria existência deste canal. Também existe um canal de drenagem entre os perfis P38 e P39, onde os perfis P38 e P37, estando localizados mais ao sul, mostram valores de acreção menores do que o perfil P39. A ocorrência de maiores valores de acreção em perfis localizados ao norte de barreiras hidráulicas, como é o caso dos perfis P29 e P39, poderá estar indicando uma migração de sedimentos em direção ao sul da laguna.

TABELA 5.4

Variação no posicionamento das feições localizadas no **Setor 4** – entre a praia do Balneário dos Prazeres e as proximidades da ponte da praia do Totó.

Perfis	Diferença entre as feições de 80 e 95 (m)	Interpretação
P43	- 6.70	Erosão
P44	- 5.33	Erosão
P45	-	Estabilidade
P46	- 4.60	Erosão
P47	-	Estabilidade
P48	- 7.78	Erosão
P49	- 6.93	Erosão
P50	- 1.80	Estabilidade
P51	- 4.07	Erosão
P52	- 12.83	Erosão
P53	- 19.41	Erosão
P54	- 11.49	Erosão
P55	- 16.74	Erosão
P56	- 15.84	Erosão
P57	- 12.01	Erosão
P58	- 18.54	Erosão
P59	- 18.18	Erosão
P60	1.57	Estabilidade
P61	7.99	Acresção
P62	- 12.54	Erosão
P63	- 2.25	Estabilidade
P64	- 6.73	Erosão
P65	- 5.70	Erosão
P66	- 7.75	Erosão
P67	- 4.53	Erosão
P68	- 5.25	Erosão
P69	- 4.22	Erosão
P70	- 4.03	Erosão
P71	- 3.41	Erosão
P72	- 1.70	Erosão
P73	- 2.74	Erosão

A análise dos perfis no setor 5, na praia do Balneário dos Prazeres, indica que o mesmo foi submetido a taxas de erosão que atingiram 0,55 m/ano. Esta taxa é mais acentuada entre os perfis P52 e P59, com um valor de 1,04 m/ano, dado bastante representativo da tendência erosiva do local. Estes perfis situam-se na área de maior utilização recreativa e

turística da praia, podendo-se aí verificar os efeitos da erosão e de diminuição da faixa de praia.

Os perfis P60 e P61 estão localizados em uma área que faz uma curvatura, com uma mudança de orientação de NE – SW para E – W como pode ser visualizado no “Mosaico 2”, do ANEXO A, mostrando valores estáveis e de acreção.

Os perfis P62 a P73 estão localizados na área entre a praia do Totó e a praia do Balneário dos Prazeres e mostram valores erosivos bem menores do que os perfis mais ao sul deste setor, com uma taxa erosiva de 0,36 m/ano, com exceção do P62 que está localizado no começo da curvatura do local de estudo.

TABELA 5.5

Variação no posicionamento das feições localizadas no **Setor 5** – Praia do Totó.

Perfis	Diferença entre as feições de 80 e 95 (m)	Interpretação
P74	0.69	Estabilidade
P75	3.20	Acreção
P76	-	Estabilidade
P77	6.36	Acreção
P78	3.46	Acreção
P79	3.45	Acreção
P80	-	Estabilidade
P81	-	Estabilidade
P82	-	Estabilidade
P83	2.16	Estabilidade
P84	-	Estabilidade

Neste setor ocorreu uma pequena taxa de acreção, 0,22 m/ano, mostrando que o local possui características de estabilidade. O perfil P77 está localizado ao norte do deságüe do Arroio Totó, que passa sob a ponte do começo da Praia do Totó, mostrando um valor acrescivo de 6,36 metros ao longo de 15 anos, evidenciado novamente que poderá estar ocorrendo a migração de sedimentos para o sul do local.

TABELA 5.6

Variação no posicionamento das feições localizadas no **Setor 6** – entre a Praia do Totó e a Colônia de Pescadores São Pedro (Z3).

Perfis	Diferença entre as feições de 80 e 95	Interpretação
P85	- 0.85	Estabilidade
P86	- 2.26	Estabilidade
P87	-	Estabilidade
P88	- 2.37	Estabilidade
P89	-	Estabilidade
P90	- 1.99	Estabilidade
P91	- 2.86	Erosão
P92	- 6.19	Erosão
P93	- 4.43	Erosão
P94	- 6.34	Erosão
P95	-	Estabilidade
P96	-	Estabilidade
P97	-	Estabilidade
P98	- 2.01	Estabilidade
P99	- 3.68	Erosão
P100	- 4.77	Erosão
P101	- 2.98	Erosão
P102	- 3.34	Erosão
P103	- 4.63	Erosão
P104	- 4.88	Erosão
P105	- 2.99	Erosão
P106	- 4.05	Erosão
P107	2.90	Acresção
P108	5.10	Acresção
P109	4.93	Acresção
P110	1.31	Estabilidade
P111	-	Estabilidade
P112	- 8.02	Erosão
P113	3.85	Acresção
P114	-	Estabilidade
P115	- 7.34	Erosão
P116	-	Estabilidade
P117	- 1.69	Estabilidade
P118	- 24.21	Erosão
P119	- 13.56	Erosão
P120	3.55	Acresção
P121	20.51	Acresção
P122	9.96	Acresção
P123	6.01	Acresção
P124	- 4.65	Erosão

Neste setor verifica-se erosão, acreção e estabilidade em locais distintos. Foi observado que as taxas de erosão e de acreção possuem valores muito próximos, ou seja, a taxa de erosão ficou em 0,43 m/ano e, acreção em 0,47 m/ano, ocorrendo, talvez, uma movimentação de sedimentos ao longo da costa.

Fazendo-se uma análise mais detalhada, conforme indicado na FIGURA A 3 do ANEXO A, entre os perfis P111 e P112, foi construído um “enrocamento” com aproximadamente 430 metros, e por isso, não foi considerado nenhum perfil neste local devido à impossibilidade de comparação entre feições.

A diferença significativa entre os perfis P118 e P121 ocorre, pois os mesmos estão localizados entre o “Atracadouro da Divinéia” que é uma reentrância que abriga os barcos de pesca. O perfil P118, localizado ao sul, mostra uma erosão de 24,21 metros ao longo de 15 anos enquanto que o perfil P121 apresentou uma deposição de 20,51 metros, estando ao norte do atracadouro, evidenciando que o atracadouro funciona como uma espécie de barreira hidráulica retendo os sedimentos que migram para o sul. Comportamento semelhante ocorre nos perfis P123 e P124, porém com valores não tão significativos, pois os mesmos estão localizados antes e após um riacho. Ao contrário do que ocorreu no perfil P118, que estando localizado ao sul do atracadouro mostrou erosão, o perfil P123, também localizado ao sul de um riacho mostrou acreção, enquanto que o perfil P124, localizado ao norte do riacho apresenta valores erosivos.

É importante salientar que os perfis localizados neste setor estão em uma área de intensa ocupação, seja por residências, pontos comerciais e pequenos atracadouros. Toda esta ocupação sem planejamento poderá afetar os valores e interpretações discutidas, que poderão estar modificados por alterações antrópicas.

De maneira geral, com a análise feita nos mosaicos, pode-se considerar que a Praia do Laranjal (Balneários Valverde e Santo Antônio) está em processo de acreção e possui pontos estáveis. A Praia do Barro Duro (Balneário dos Prazeres) está sofrendo um processo erosivo, bem como alguns locais da Colônia de Pescadores Z3. Já a Praia do Totó mostrou características de estabilidade e alguns pontos com erosão.

5.2 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E MORFODINÂMICA PRAIAL

A partir dos estudos de Dolan *et al.* (1978), Short e Hesp (1982) estudaram perfis de praias oceânicas na costa Sudeste da Austrália, compostas por sedimentos médios e finos. Neste estudo, definiram que a mobilidade de uma praia (movimento perpendicular à linha de costa) pode ser medida em termos dos parâmetros morfométricos de desvio padrão (σYb) e que o índice de mobilidade do pós-praia pode ser verificado pelo coeficiente de variação (CV) da posição significativa da linha de praia. Quando estes parâmetros apresentam valores baixos indicam baixa mobilidade e quando mostram valores altos indicam uma praia com mobilidade e, por isso com alta susceptibilidade à episódios de erosão ou acresção. Desta forma, as zonas de depósitos de sedimentos serão reflexos da mobilidade e da forma da praia, sendo, em última análise, as trocas de sedimentos entre a porção subaquosa próxima à praia, a zona de arrebentação e a zona da face da praia que determinam a forma e mobilidade.

A partir da análise dos parâmetros morfométricos propostos por Short e Hesp (1982), foram calculados os parâmetros para cada perfil praial levantado nas praias estuarinas estudadas, conforme TAB. 5.7.

TABELA 5.7
Parâmetros Morfométricos

Parâmetros	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
N	9	10	10	10	9
Meses	15	15	15	15	15
Mz (phi)	-0,49	0,13	-0,068	-0,199	0,1602
Declividade Porção Subaérea	2° 15' 35"	1° 24' 8"	3° 53' 13"	3° 34' 19"	2° 55' 38"
Declividade Face da Praia	4° 35' 55"	6° 52' 47"	6° 15' 45"	5° 50' 50"	7° 16' 7"
Yb (m)	46,02	64,90	19,3	21,8	15,6
σYb (m)	1,9	2,7	4,8	1,9	1,6
CV (%)	4	4	25	8,5	10
Vv (m ³ /m)	0,82	1,15	0,37	0,35	0,22
Porção Subaérea σVv (m ³ /m)	0,67	0,75	0,36	0,29	0,13
Porção Subaérea Vv (m ³ /m)	4,72	1,98	1,36	0,50	2,83
Porção Subaquosa σVv (m ³ /m)	2,55	2,51	1,51	0,32	1,51
Porção Subaquosa					

N – Número de levantamentos; Mz – Tamanho Médio do Sedimento no pós-praia; Yb – Largura média da praia; σYb – índice de mobilidade da praia (desvio padrão da largura média da praia); CV – índice de mobilidade do pós-praia (coeficiente de variação da largura média da praia); Vv – variação média do volume; σVv – desvio padrão da variação de volume.

Calliari e Klein (1993) analisaram, sob o enfoque morfodinâmico proposto por Short (1980) e Wright e Short (1984), as variações espaciais e temporais de praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, no Sul do país, com base em dados obtidos durante um ano. Utilizando-se dos parâmetros morfométricos propostos por Short e Hesp (1982), eles estudaram em cada perfil praial a variação máxima do envelope, a variação do volume médio do envelope e seu desvio padrão, a declividade do estirâncio, a largura média da praia e seu desvio padrão e, ainda, o coeficiente de variação da posição média da praia. Concluíram que estes são parâmetros que permitem diferenciar cada tipo de praia, principalmente pelas características de envelope das mesmas.

Barletta (2000) estudou a morfodinâmica das praias oceânicas do litoral central do Rio Grande do Sul, utilizando em parte dos seus estudos os parâmetros sugeridos por Short e Hesp (1982), tendo por objetivo determinar as diferenças entre os estágios morfológicos praiais.

Tabajara (2003) avaliou os mesmos parâmetros morfométricos para as praias oceânicas de Atlântida Sul e Mariópolis, no litoral Norte do Rio Grande do Sul, determinado a mobilidade da praia e do pós-praia.

Em vista disso, os parâmetros morfométricos obtidos neste trabalho, em praias estuarinas, poderá levar as conclusões de mobilidade do pós-praia e também a diferenciação de cada envelope de perfis praiais levantados.

Segundo Komar (1976) as dimensões físicas do perfil são tão importantes quanto a composição sedimentar para definir o grau de retrabalhamento e mobilidade de um praia (BARLETTA, 2000). Por isso, foi feito o levantamento dos perfis praiais na área de estudo e a análise de suas características para que se possa entender o comportamento de cada ambiente praial e quais são os controles atuantes na morfodinâmica local.

O Perfil 1 localizado ao lado do trapiche do Balneário Valverde (Praia do Laranjal) foi levantado até 275 m de comprimento. Apresentou um pós-praia largo quando comparado a outras praias estuarinas que geralmente possuem estreitas faixas de praia (NORDSTRON, 1992), com largura média de aproximadamente 46,02 m. A maior largura observada ocorreu no mês de abril de 2004 atingindo 49,07 m enquanto que a menor ocorreu no mês de junho de 2003 com 42,95 m. A maior largura observada no mês de abril pode ser devido à predominância de ventos do quadrante Oeste, que faz com que a água retroceda em relação à margem. A declividade calculada para a face da praia ficou em torno de 4° (TAB. 5.7). De todos os perfis levantados, o Perfil 1 apresentou a maior largura média de face de praia, em torno de 7 m. O coeficiente de variação (CV) calculado para o pós-praia foi igual a 4, indicando uma baixa mobilidade, logo é uma praia com características de estabilidade. Esta

estabilidade também foi verificada no estudo da evolução da linha de costa, onde a Praia do Laranjal mostrou características de estabilidade e até pequeno crescimento em alguns pontos.

Através da análise granulométrica de 26 amostras coletadas no pós-praia, caracterizou-se o tipo de sedimento como areia muito grossa com tamanho médio de $-0,65 \phi$.

Ocorre incidência oblíqua de ondas, um exemplo é mostrado na FIG. 5.1, no dia 05/08/03 com vento soprando de Nordeste.



FIGURA 5.1 - Praia do Laranjal (Perfil 1)

A máxima variação vertical do volume do pacote de sedimentos foi de 33,8 cm, na porção subaquosa da praia, localizada em aproximadamente 42,8 metros da linha da praia. Esta variação máxima verificada na porção subaquosa ocorreu devido à existência de vários bancos paralelos a praia. A formação destes bancos pode ser explicada pela existência de areia com granulometria fina e muito fina nesta parte do perfil, conforme pode ser analisado no perfil batimétrico 1, no ANEXO C. A segunda maior variação ocorreu na face da praia, com uma variação máxima de 28 cm, não ocorrendo mudanças significativas no pós-praia.

A variação do volume na porção subaquosa foi a maior de todos os demais perfis, com um valor de $4,72 \text{ m}^3/\text{m}$ (TAB. 5.7), também devido a formação de bancos de areia. Os envelopes dos perfis praias e as variações verticais de volume de sedimentos do perfil são mostrados na FIG. 5.2.

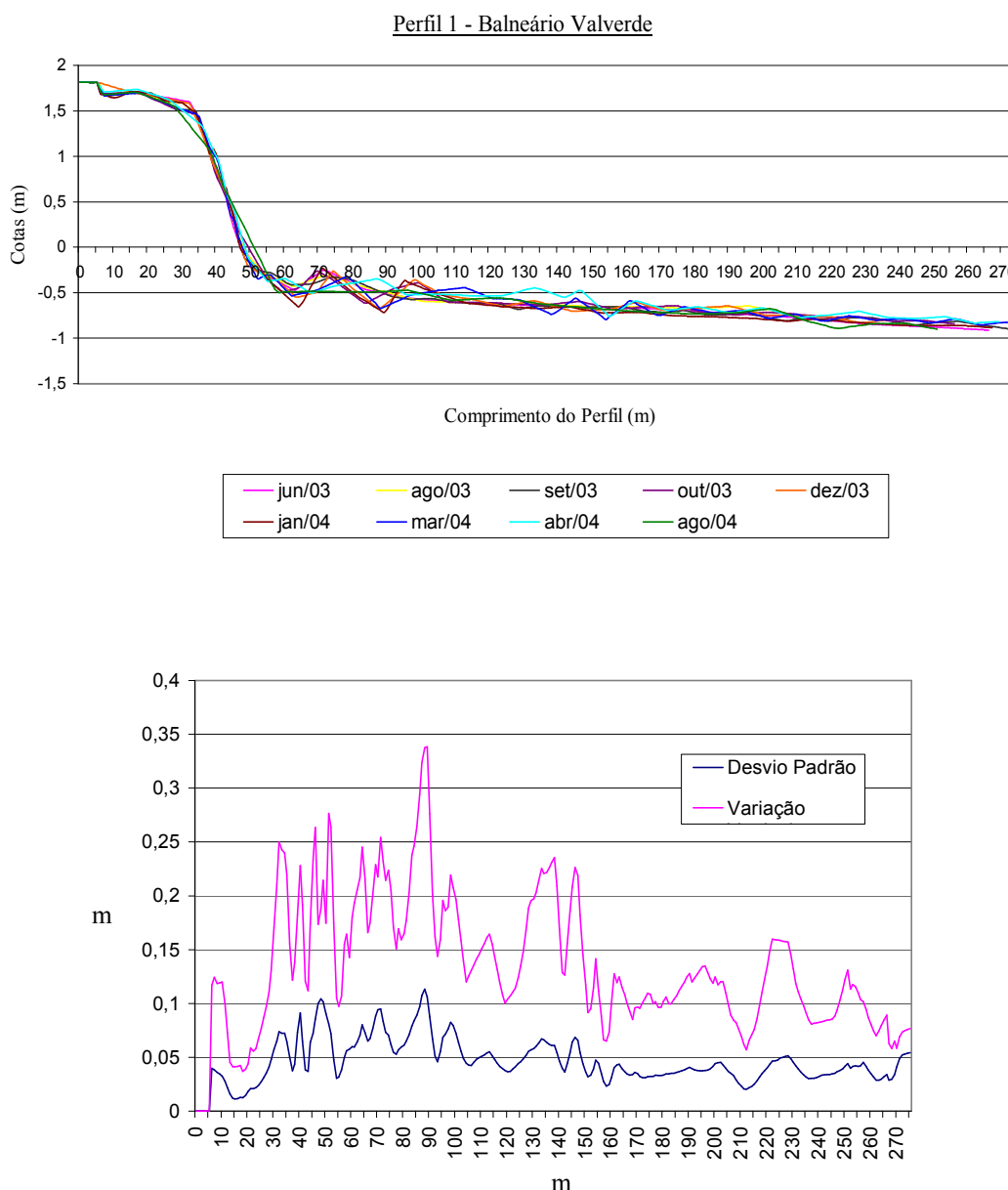


FIGURA 5.2 - Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias.
Perfil 1 – Balneário Valverde (Praia do Laranjal).

A evolução morfológica espaço-temporal da Praia do Laranjal (Balneário Valverde) “Perfil 1” pode ser observada na FIG. 5.3, onde ficam evidenciadas as mudanças sofridas na face da praia e a formação e movimentação de bancos paralelos à linha da praia, principalmente nos meses de outubro/03 até abril/04.

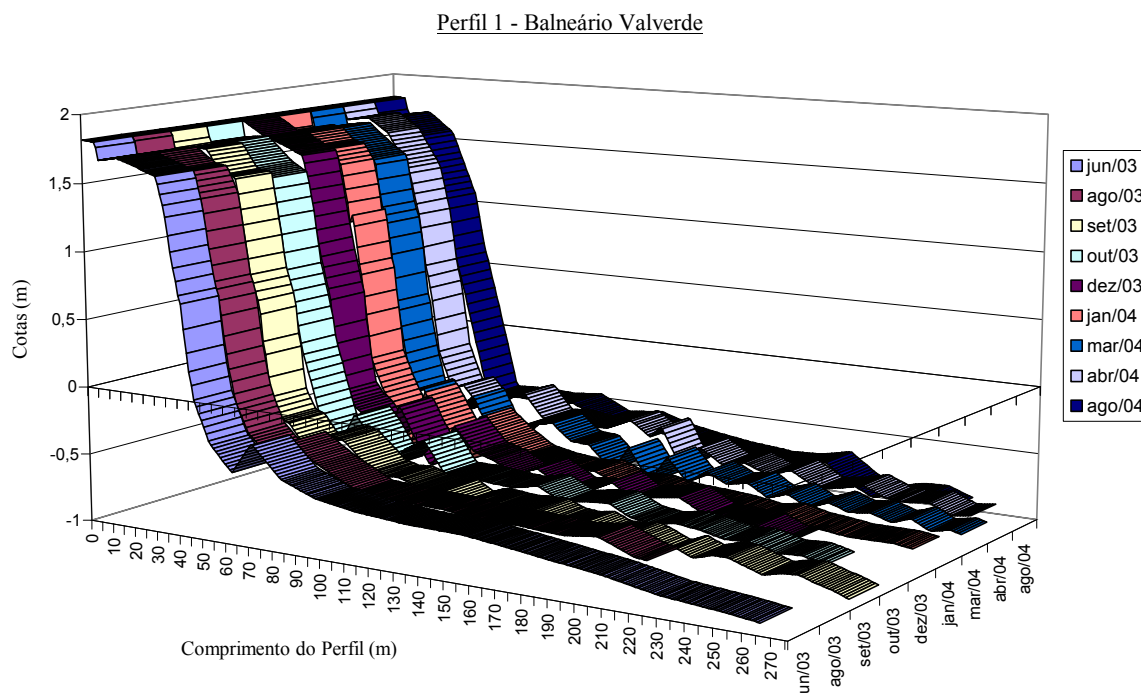


FIGURA 5.3 - Evolução Morfológica espaço-temporal da praia do Balneário Valverde (Praia do Laranjal)

O Perfil 2 está localizado ao norte da Praia do Laranjal (Balneário Santo Antônio), com comprimento de 264 m. Possui um pós-praia mais largo do que o Perfil 1, com largura média de aproximadamente 64 m. Assim como ocorreu no Perfil 1, a maior largura observada ocorreu no mês de abril de 2004 atingindo 67,89 m enquanto que a menor ocorreu no mês de junho de 2003 com 60,98 m.

A declividade e a largura médias da face da praia são aproximadamente, 6° e 5 m, respectivamente. Através da análise de 24 amostras granulométricas, verificou-se que o tipo de sedimento do pós-praia caracteriza-se por possuir areia grossa com tamanho médio de 0,1 phi.

É um pós-praia de baixa mobilidade com coeficiente de variação (CV) igual a 4. Esta baixa mobilidade pode ser relacionada com a evolução da linha de costa, onde este local cresceu de maneira não muito acentuada.

Foi observada incidência oblíqua de onda, como ocorreu no dia 05/08/03, com ventos de Nordeste e ondas incidindo com aproximadamente 45° em relação à linha da praia (FIG. 5.4).



FIGURA 5.4 - Ondas incidindo obliquamente na Praia do Laranjal (Balneário Santo Antônio)

A máxima variação vertical do volume do pacote de sedimentos foi de 47,25 cm, na face da praia. Nesta praia também se verifica a formação de bancos paralelos à praia na porção subaquosa, porém estes bancos não são tão acentuados quando comparados aos bancos existentes no Perfil 1. A granulometria dos sedimentos da porção subaquosa onde ocorrem os bancos, de 50 a 100 m da linha da praia, é composta por areia fina a muito fina, com uma pequena porcentagem de areia média, favorecendo a formação de bancos.

Os envelopes dos perfis praias e as variações verticais de volume de sedimentos do perfil são mostrados na FIG. 5.5, bem como a evolução morfológica espaço-temporal na FIG. 5.6.

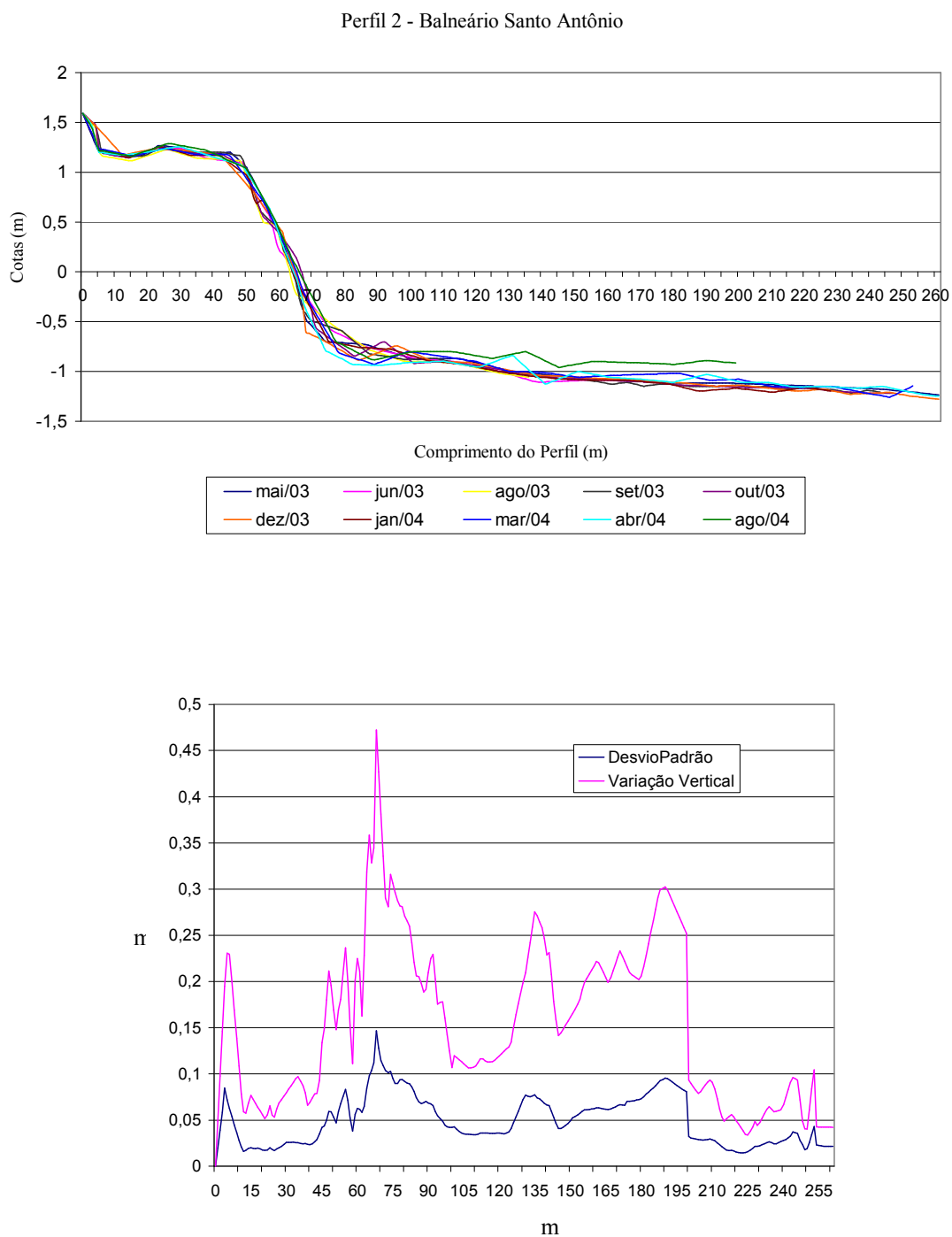


FIGURA 5.5 - Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias.
Perfil 2 – Balneário Santo Antônio (Praia do Laranjal).

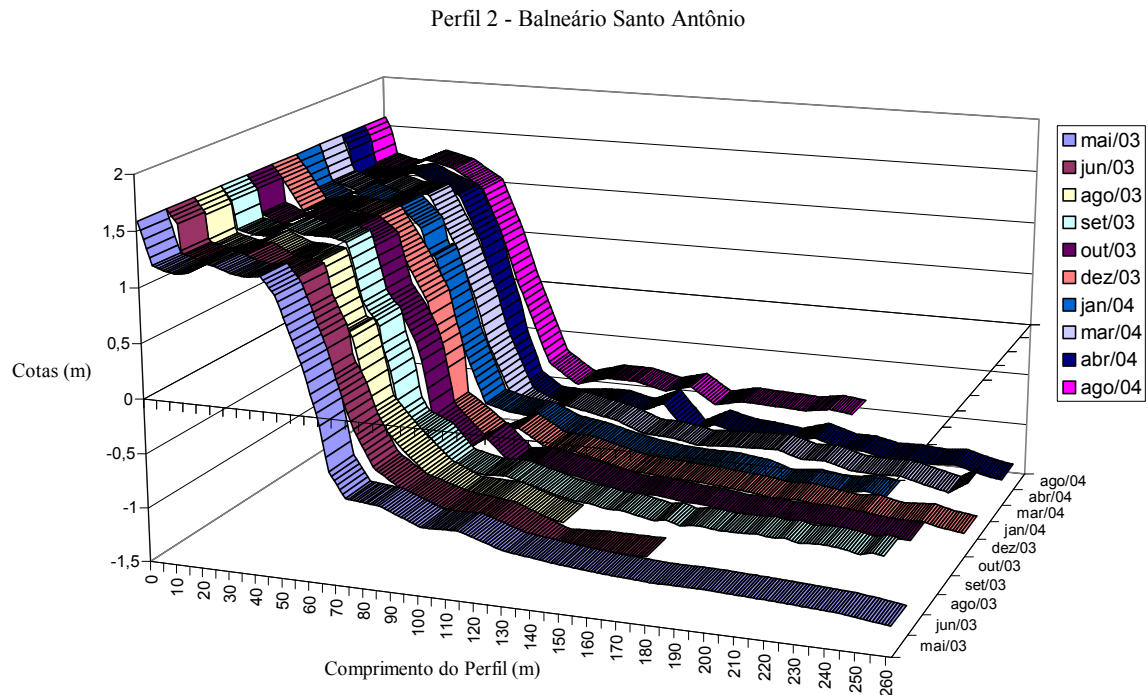


FIGURA 5.6 - Evolução Morfológica espaço-temporal da praia do Balneário Santo Antônio (Praia do Laranjal)

O Perfil 3 situa-se na Praia do Barro Duro, sendo levantado até um comprimento de 228 m. A largura média do pós-praia é de 17,92 m, sendo um praia mais estreita quando comparada a praia do Laranjal. Assim como ocorreu nos Perfis 1 e 2, a maior largura observada ocorreu no mês de abril de 2004 atingindo 28,26 m enquanto que a menor ocorreu no mês de junho de 2003 com 13,09 m.

Esta praia é caracterizada por possuir uma face praial com declividade média em torno de 6° (TAB. 5.7) e uma largura reduzida, entre 2 a 3 m. Sendo a face de praia mais estreita de todos os perfis analisados.

A granulometria dos sedimentos do pós-praia foi classificada, através de 28 amostras coletadas, como areia muito grossa com tamanho médio de -0,06 phi.

Foi o perfil que apresentou um pós-praia com a maior mobilidade, com um coeficiente de variação (CV) de 25, portanto mostrando-se como uma praia fortemente sujeita a episódios de erosão. O valor deste coeficiente de variação nesta praia estuarina, mostrou-se maior do que em algumas praias oceânicas que vem sofrendo forte processo erosivo, tal como a Praia do Hermenegildo (Chuí), onde Calliari e Klein (1993) calcularam um “CV” de 15.

Relacionando esta alta mobilidade com a variação da linha de costa nesta praia fica evidenciada a forte erosão que o local vem sofrendo ao longo dos anos.

A alta mobilidade mostrada pelo cálculo do coeficiente de variação pode estar relacionada com a forma rítmica desta praia devido à formação de cúspides praias ao longo da linha da costa. Sonu (1973 *apud* MAKASKE e AUGUSTINUS, 1998) mostrou que a migração da topografia rítmica poderá causar consideráveis variações no perfil da face da praia.

A formação de cúspides tem sido observada em outras praias estuarinas. Na Baía de Fire Island em Nova Iorque, que atualmente mostra evidências de erosão, pequenos cúspides tem crescido como um resultado dos processos que ocorrem no local (ARMBRUSTER *et al.*, 1995; NORDSTRON, 1992 *apud* NORDSTRON, 1996).

Em New Jersey, nos Estados Unidos, a praia de Island Beach State Park mostra uma complexa topografia rítmica que é frequentemente encontrada na face de praias em ambientes de micromaré. Estas praias mostram dramáticas diferenças em distâncias curtas nas condições de deposição e erosão que podem ocorrer em praias estuarinas de baixa energia (NORDSTRON, 1992).

Na Praia do Delta do Rhône, na França, também foi observada topografia rítmica, com promontórios espaçados de 80 a 100 m (MAKASKE e AUGUSTINUS, 1998).

A mobilidade de bancos, bermas e cúspides, representa a variação no acúmulo de sedimentos ao longo do perfil em um dado período de tempo, como resposta morfológica ao regime energético (WRIGHT *et al.*, 1984 *apud* BARLETTA, 2000).

As diferentes formações destes cúspides durante os meses de Primavera, Verão, Outono e Inverno podem ser observadas nas FIG. 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10, respectivamente.



FIGURA 5.7 - Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, na Primavera (19/11/03).



FIGURA 5.8 - Cúspides Praiaais na Praia do Barro Duro, no Verão (05/01/04).



FIGURA 5.9 - Cúspides Praiaais na Praia do Barro Duro, no Outono (24/05/03).



FIGURA 5.10 - Cúspides Praiaais na Praia do Barro Duro, no Inverno (24/06/03).

Segundo Jackson (2002), outra feição bastante comum encontrada em praias estuarinas de micromaré em ambientes de baixa energia é o acumulo de detritos de vegetação na berma. Esta deposição de detritos vegetais que ocorre durante tempestades nas praias de baixa energia pode consistir em importante substrato para formação de dunas e para a colonização de vegetação no pós-praia. Além disso, efeitos na cobertura com plantas têm sido examinados em termos de volume e duração de uma praia, existindo a necessidade de conhecer a relação entre a densidade da cobertura vegetal, a energia de onda e a posição do plantio para identificar quando a vegetação torna-se um significativo agente morfológico. (SCHÜLTE, 1968 *apud* JACKSON, 2002).

Durante o período de estudo foi possível observar estas deposições nas linhas de berma das praias (FIG. 5.10), principalmente nos meses de outono e inverno. A face da praia também sofreu um grande acumulo de detritos (FIG. 5.11), modificando a energia da quebra de ondas na linha da praia.



FIGURA 5.11 - Deposição de detritos Vegetais na Face da Praia do Laranjal (24/05/03).

Foram observadas ondas incidindo obliquamente à praia em praticamente todas as direções do vento. Como as ondas dentro da Laguna têm um curto período, são menos afetadas pelo efeito da refração, incidindo com um ângulo de inclinação em relação à linha de costa. Este ângulo de inclinação aumenta o potencial de correntes paralelas à costa e, desta forma, aumenta o transporte de sedimentos ao longo da praia (CARTER, 1980; JACKSON, 2002).

A rebentação observada foi do tipo mergulhante (FIG. 5.12). Este tipo de rebentação que ocorre na face da praia, associada à existência de areia muito grossa, são característicos de praia refletiva.



FIGURA 5.12 - Ondas incidindo obliquamente com ventos de Leste (05/01/04)

A praia de Fire Island, em Nova Iorque, nos Estados Unidos também foi caracterizada como uma praia morfologicamente refletiva devido a baixa amplitude de onda e por ter uma face praial íngreme, com cerca de 8° de declividade. Nesta praia as ondas também quebram diretamente na face da praia, sendo logo convertidas para o movimento no estirâncio (swash) sem uma transição na zona de surfe (SHERMAN *et al.*, 1994).

A análise de outras praias estuarinas, como Raritan Bay e Delaware Bay, nos Estados Unidos, também levou as características de praias refletivas (JACKSON e NORDSTRON, 1992).

A máxima variação vertical do volume do pacote de sedimentos foi de 86,73 cm, na face da praia. Na face da praia ocorreram as maiores variações, observando-se até mesmo a formação de escarpas na linha da praia em dois meses, novembro/03 e janeiro/04, conforme visualização na figura 5.13.



FIGURA 5.13 - Formação de escarpas na Praia do Barro Duro em Janeiro/04 e Novembro/03.

Quando aumenta o nível da água, principalmente pela ação dos ventos que sopram de leste e nordeste, a excursão vertical (run-up) se eleva, retirando sedimentos e formando as escarpas que, por sua vez, ocorrem em praias inclinadas com granulometria grosseira e com pequena extensão horizontal do estirâncio.

Na evolução espaço-temporal e no gráfico do envelope de perfis da praia do Perfil 3 (FIG. 5.14 e 5.15), pode ser observado que a porção subaquosa é bastante estável, sem ocorrência de formação de bancos paralelos à praia, contrariando o que ocorre nos perfis 1 e 2.

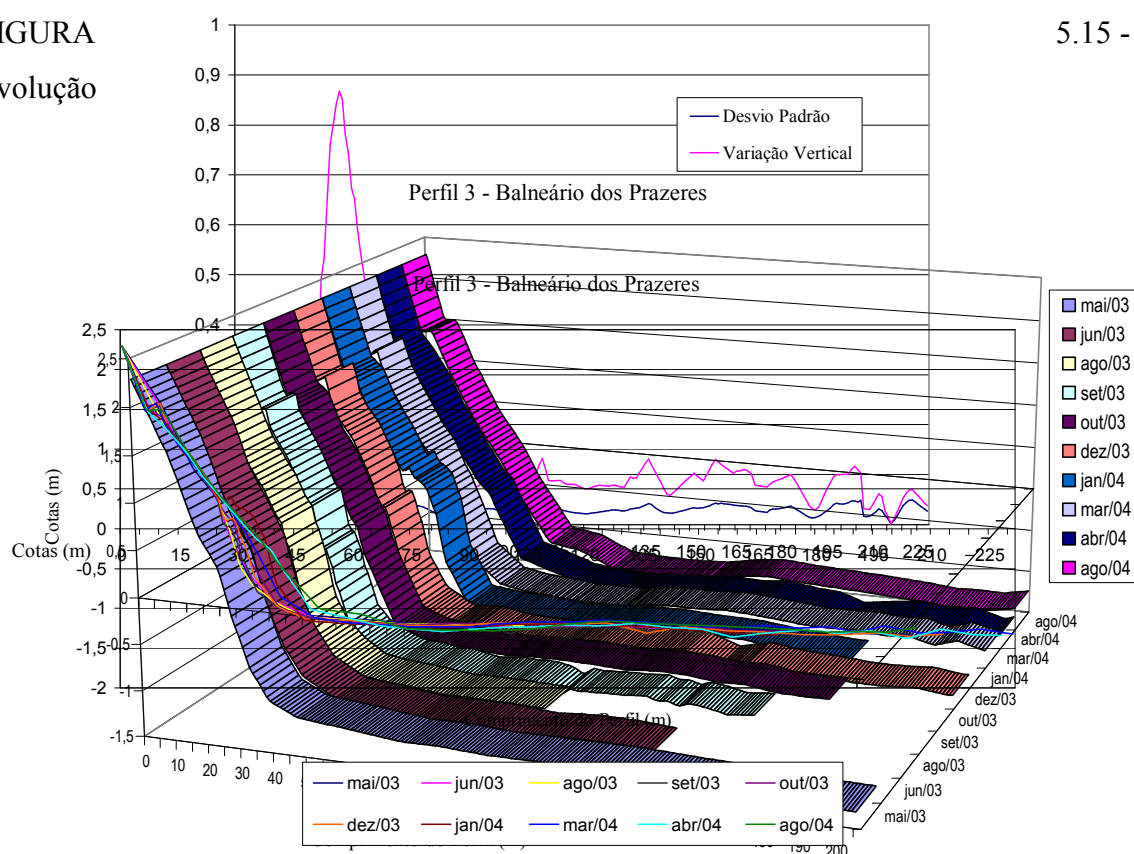
n

m

FIGURA 5.14 - Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias. Perfil 3 – Balneário dos Prazeres (Praia do Barro Duro)

FIGURA
Evolução

5.15 -



Morfológica espaço-temporal da praia do Balneário dos Prazeres. (Praia do Barro Duro)

O perfil levantado na Praia do Totó, em frente ao Ecocamping Municipal foi chamado de Perfil 4, tendo 120 m de comprimento. A largura média do pós-praia é de 21,44 m. A maior largura observada ocorreu no mês de março de 2004 atingindo 24,32 m enquanto que a menor ocorreu no mês de junho de 2003 com 18,05 m.

A face da praia apresenta uma declividade média de aproximadamente 5° (TAB. 5.7) e a largura média situa-se em torno de 4 m. O pós-praia é composto por areia muito grossa com tamanho médio de -0,125 phi, através da análise de 23 amostras coletadas.

Apresentando um coeficiente de variação (CV) de 8,5, mostrou-se uma praia com menor mobilidade do que a Praia do Barro Duro e maior mobilidade do que as praias do Laranjal. Na evolução da linha de costa para esta praia foram verificados locais erosivos e locais estáveis.

Foram observadas ondas incidindo obliquamente à praia em praticamente todas as direções do vento e o tipo de rebentação das ondas é a mergulhante (FIG. 5.16). Esta incidência oblíqua de onda e também a extensão desta praia, cerca de 4,0 km, que possui sempre a mesma orientação faz com que a intensidade das correntes longitudinais seja incrementada, que por sua vez, poderão ocasionar o transporte de sedimentos ao longo da costa.



FIGURA 5.16 - Rebentação de onda na Praia do Totó.

A máxima variação vertical do volume do pacote de sedimentos foi de 33,19 cm, na face da praia. Embora não tenha sido observada a formação de bancos ao longo do período de levantamento, ocorreram variações verticais na porção subaquosa principalmente próximo a linha da praia e, em maio/03, foi verificada a existência de um banco a aproximadamente 50

m da praia, mostrando um pequeno suprimento de sedimentos na porção subaquosa. Conforme pode ser visualizado nas figuras 5.17 e 5.18, a seguir.

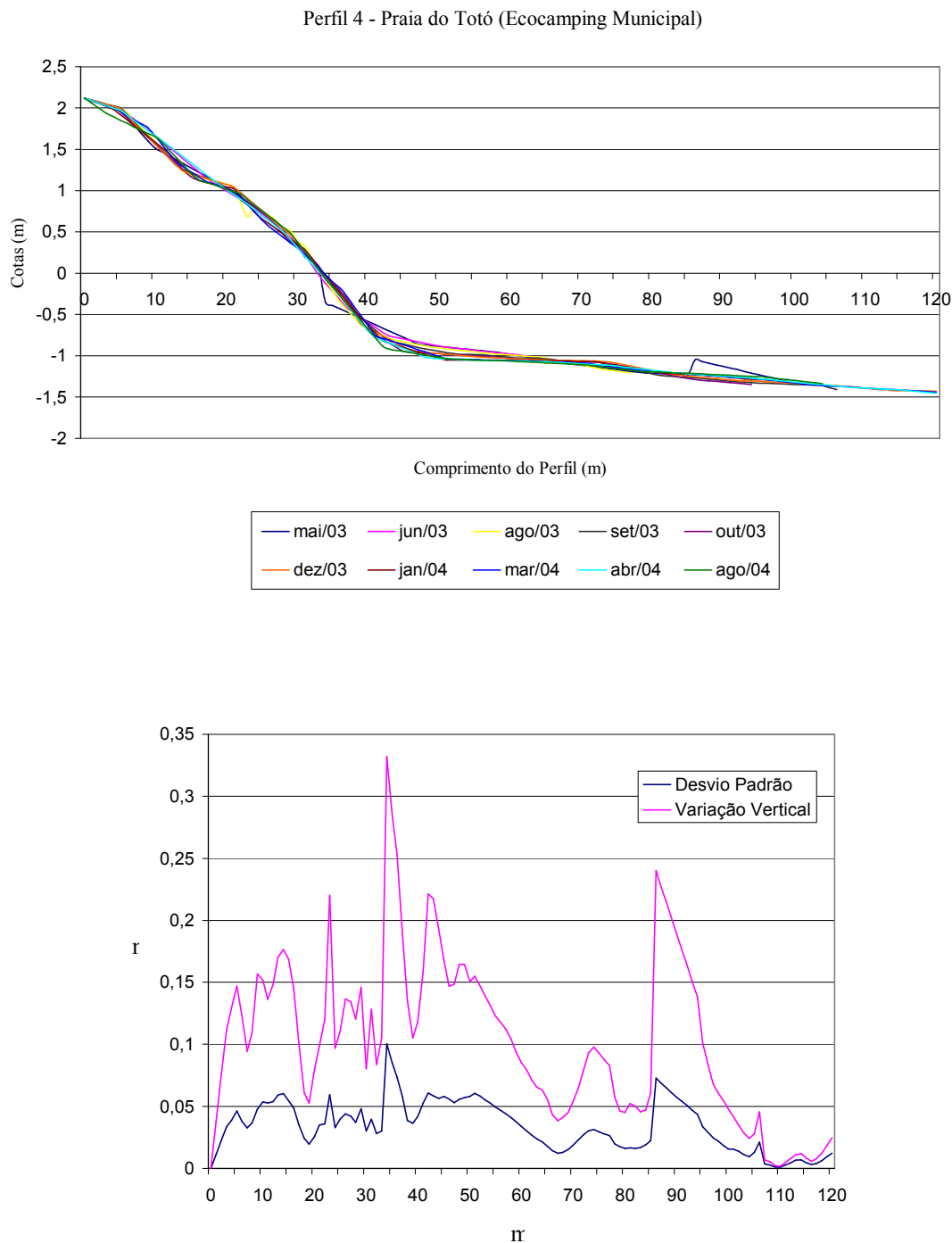


FIGURA 5.17 - Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias. Perfil 4 – Praia do Totó (Em frente ao Ecocamping Municipal)

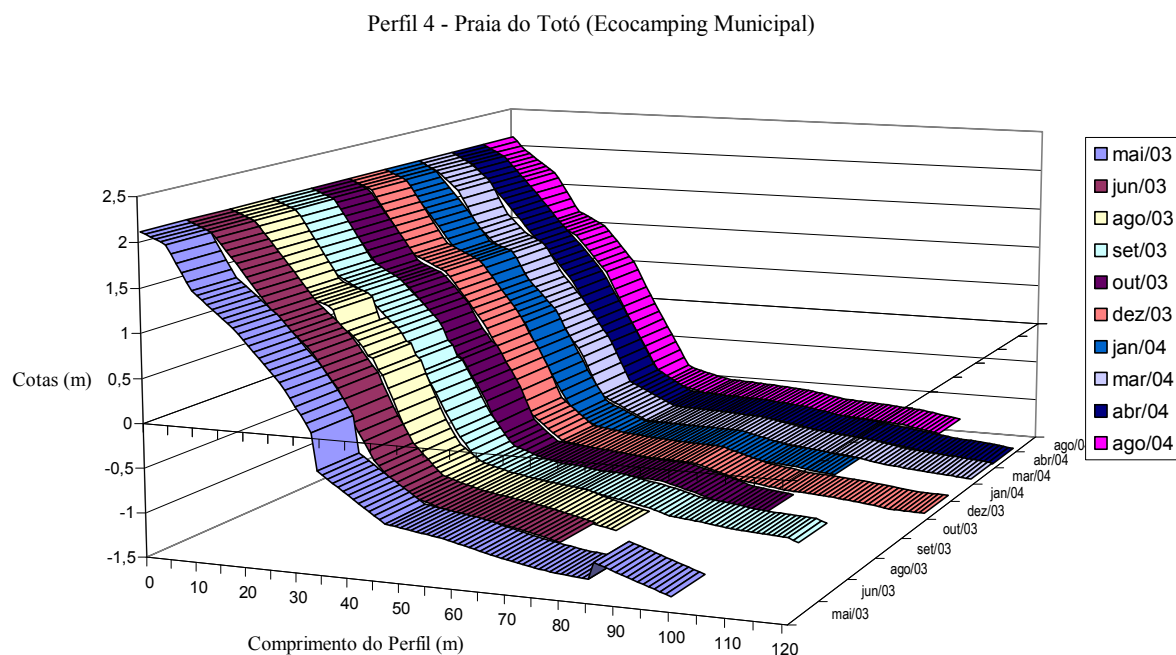


FIGURA 5.18 - Evolução Morfológica espaço-temporal da praia do Totó.
(Em frente ao Ecocamping Municipal).

O Perfil 5 está situado ao norte da Colônia de Pescadores Z3, tendo um comprimento de 229 m. Caracterizou-se pelo pós-praia com a menor largura média de 15,41 m. A maior largura observada ocorreu no mês de abril de 2004 atingindo 17,98 m enquanto que a menor, como ocorreu em todos os demais perfis, foi verificada no mês de junho de 2003, com 12,45 m.

A largura média da face de praia é de aproximadamente 4 m e a declividade média calculada é de aproximadamente 7° (TAB. 5.7), mostrando-se a face praial com a maior declividade se comparada com os demais perfis levantados.

Com a análise granulométrica de 23 amostras, verificou-se que o pós-praia é composto por areia grossa com tamanho médio de 0,34 phi.

Apresentando um coeficiente de variação (CV) de 10, mostra-se com um pós-praia com certa mobilidade. Através da evolução da linha de costa na Colônia Z3 podem-se verificar pontos que apresentaram fortes tendências erosivas e, em alguns locais, houve um crescimento acentuado da praia, porém deve-se considerar a interferência das diversas estruturas construídas ao longo da costa.

As ondas que geralmente incidem na praia são oblíquas e o tipo de arrebentação observado é mergulhante (FIG. 5.19).



FIGURA 5.19 - Rebentação na Colônia de Pescadores Z3.

A presença de fragmentos de conchas de *Erodona* sp é bastante pronunciada ao longo da costa da Colônia Z3, ficando depositadas na linha da berma. Segundo Jackson (2002) a presença de conchas é bastante comum em praias estuarinas.

A máxima variação vertical do volume do pacote de sedimentos foi de 35,42 cm, na face da praia. Mostrou-se um perfil estável na porção subaquosa com variações verticais muito pequenas. Conforme pode ser observado nas FIG. 5.20 e 5.21.

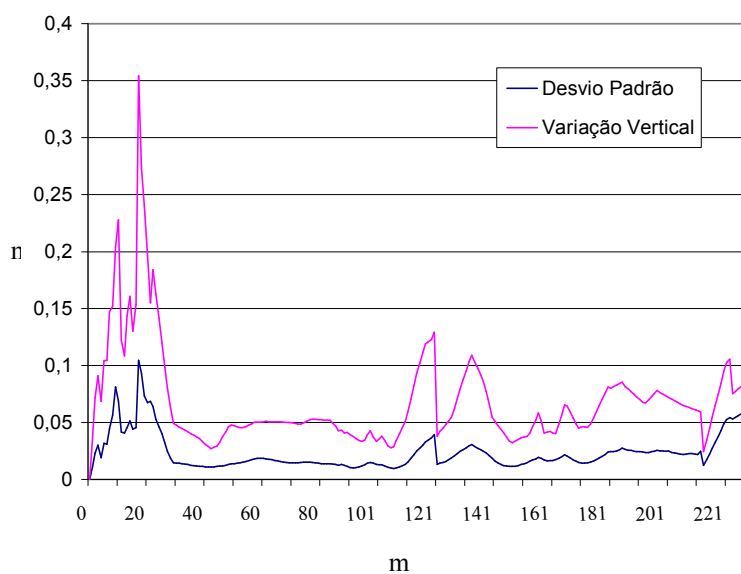
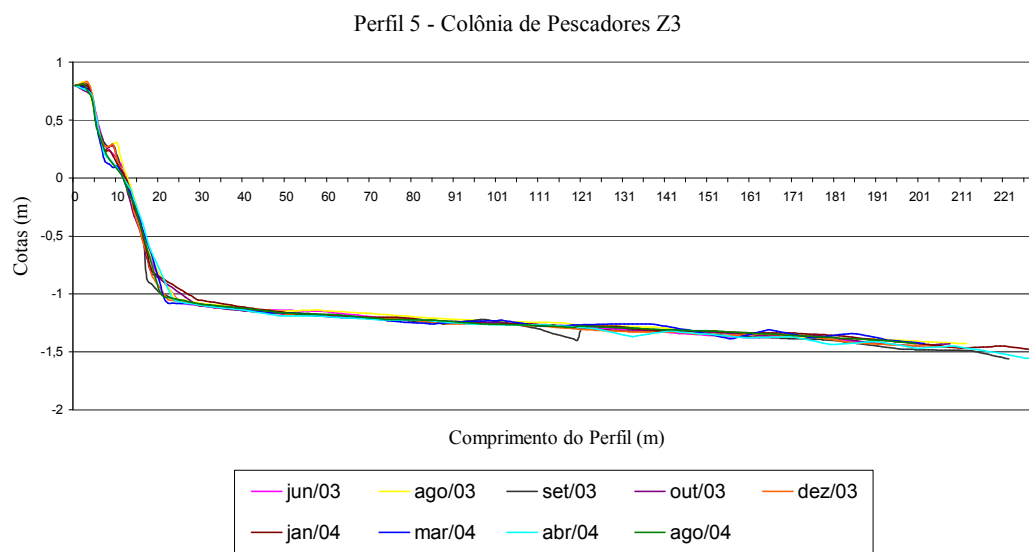


FIGURA 5.20 - Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias.
Perfil 5 – Colônia de Pescadores Z3

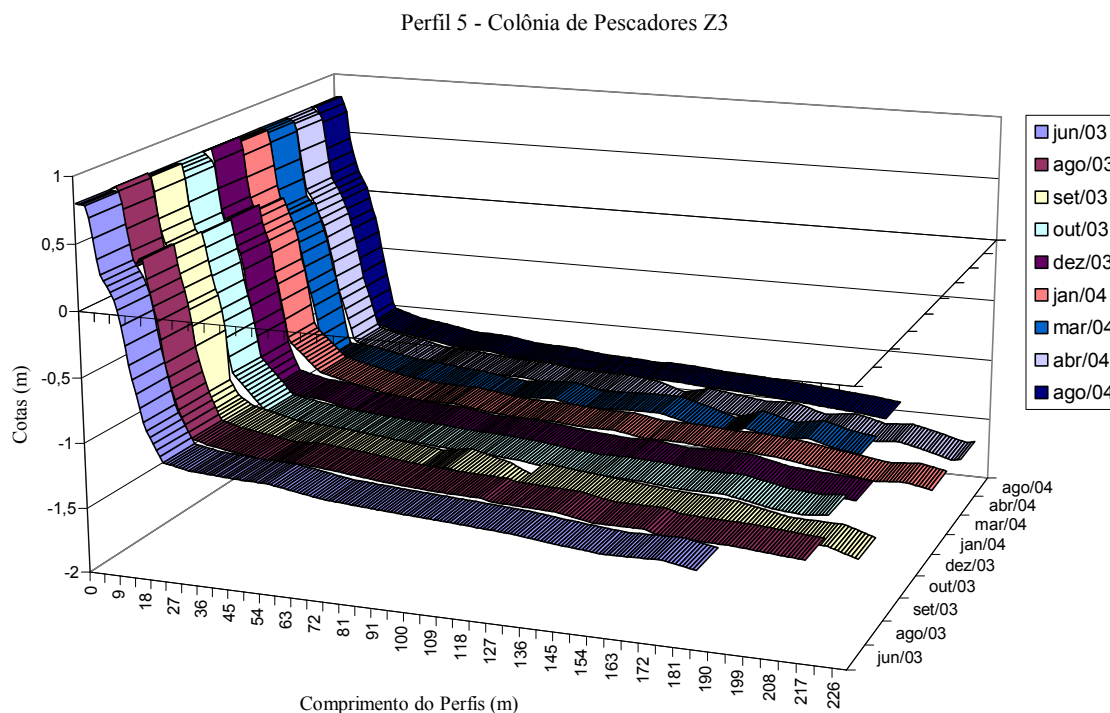


FIGURA 5.21 - Evolução Morfológica espaço-temporal da praia da Colônia de Pescadores Z3.

Jackson *et al.* (2002) propuseram que o termo baixa energia fosse utilizado em locais onde: (1) a altura significativa de onda em condições normais, sem eventos de tempestade, seja menor do que 0,25 m; (2) a altura significativa da onda durante ventos fortes que sopram em direção a costa seja menor do que 0,50 m; (3) a face da praia seja estreita, menor do que 20 m em ambientes de micro maré e (4) as feições morfodinâmicas sejam herdadas de ambientes de alta energia.

Hegge *et al.* (1996) considera ambientes de baixa energia quando a média anual da altura significativa de onda é menor do que 1,0 m e alta energia quando excede a 2,0 m.

Davies (1964), citado por Hegge *et al.* (1996), classificou os ambientes costeiros em relação à altura das marés sendo: micro maré (< 2,0 m); meso maré (2,0 a 4,0 m) e macro maré (> 4,0 m). Sendo que muitos outros autores tem apontado ambientes de micromaré quando a altura de maré é inferior a 1,0 m.

Deste modo, pode-se dizer que pelas características das praias aqui estudadas elas podem ser classificadas como de baixa energia em ambiente de micro maré na classificação de sistemas costeiros.

As pesquisas feitas por Nordstron (1977, 1992), Owens (1977) e Nordstron e Jackson (1992) (*apud* HEGGE *et al.*, 1996) demonstram que praias sujeitas a condições de baixa energia respondem de forma bastante diferenciada às variações de energia de onda do que as praias expostas a alta energia de onda. Praias expostas a energias de onda relativamente altas sofrem alta erosão e deposição em resposta às tempestades. Já praias abrigadas tendem a exibir uma resposta de baixa frequência correspondente às variações sazonais de energia de onda.

Praias localizadas em ambientes de micro maré podem sofrer significantes variações geomorfológicas na face da praia por pequenas mudanças nos parâmetros de ondas, pois os processos da zona do estirâncio (*swash e backswash*) estão continuamente ativos nesta porção da praia (MAKASKE e AUGUSTINUS, 1998).

Os efeitos das flutuações de nível da água são importantes para as variações na morfologia e também nos processos que ocorrem na praia. A mudança do nível da água faz com que migrem diferentes zonas hidrodinâmicas (estirâncio, surfe e de empolamento) para a parte superior ou inferior do perfil praial (NORDSTRON e ROMAN, 1996).

Antiqueira (2003) estudou a evolução geomorfológica de um pontal próximo a desembocadura da Laguna dos Patos, fazendo uma série de levantamentos de perfis praiais em três áreas distintas deste pontal. Duas destas áreas sofrem a influência de ondas oceânicas e de marés meteorológicas. Desta forma, verificou episódios sazonais de erosão quando o nível da águas do estuário sofria elevação. A elevação do nível das águas, por sua vez, ocorria em função de ventos provenientes do quadrante sul e pela influência oceânica devido às marés meteorológicas.

Makaske e Augustinos (1998) apresentaram um modelo de perfis de face praial em uma praia de micro maré no Delta do Rhône, França. Três tipos de morfologia de face de praia foram identificados e dados de onda obtidos para um ciclo entre maré de sizígia e de quadratura: (1) perfis retos e íngremes que tendem a ser curtos, e com uma declividade maior do que 3° na zona de estirâncio. (2) perfis côncavos com uma declividade menor do que 3° na face da praia e (3) perfis convexo-concavo que são largos e planos principalmente na porção inferior da face da praia com uma declividade $< 3^\circ$. A ocorrência de cada tipo de morfologia de face praial se dava devido às mudanças na altura de quebra da onda. Os perfis retos resultaram de ondas com $H_b < 0,25\text{m}$, os perfis côncavo-convexos com $H_b > 0,35\text{m}$ e os perfis côncavos ficavam com altura de onda intermediária. As mudanças morfológicas medidas em cada praia ocorrem em um curto período, de horas, apesar da baixa altura de onda. Estes estudos implicam que: mudanças no nível da água associado às tempestades exercem um

grande papel na morfodinâmica de praias de micromaré, ocorrendo o movimento de translação da face praial ao longo do perfil.

Hegge *et al.* (1996) desenvolveram uma classificação de perfis baseada no levantamento de 52 perfis em 15 praias protegidas e de baixa energia situadas na costa sudoeste da Austrália. Quatro morfotipos foram identificados: Côncavo, Moderadamente Côncavo, Moderadamente Íngreme e Íngreme.

As praias com perfis côncavos são caracterizadas por uma face de praia íngreme, com a porção subaquosa quase plana. A face da praia é estreita, menor do que 10 metros e a zona do estirâncio não ultrapassa os 5 metros. Pequenos degraus, menores do que 0,5 metros ocorrem nestas praias. O sedimento que compõe este tipo de perfil é areia média com tamanho médio de $1,9\phi$ (0,26 mm), que vão de pobremente a muito bem selecionados.

Perfis moderadamente côncavos são similares aos côncavos, porém tem uma declividade menor. As zonas de estirâncio são menores do que 10 metros. Os perfis são compostos por areias médias, com tamanho médio de $1,9\phi$ (0,26 mm), moderadamente selecionadas.

Os classificados como moderadamente íngremes caracterizam-se por faces de praia largas e com uma inclinação linear, inclusive na porção subaquosa. A zona do estirâncio situa-se em torno de 10 metros. Os sedimentos são moderadamente bem selecionados, consistindo de areia média de tamanho $1,5\phi$ (0,35 mm).

Os perfis íngremes têm uma declividade linear, possuem um degrau e a face da praia é bastante estreita. O sedimento é composto por areia grossa, com tamanho médio do grão de $0,85\phi$ (0,56 mm).

Os Autores concluíram que as diferentes formas dos perfis estão geralmente associadas com o tipo de sedimento, considerando o tamanho do sedimento como um fator de controle morfodinâmico. As praias mais íngremes eram compostas por sedimentos mais grosseiros, enquanto que as mais planas mostravam uma sedimentologia mais fina. Como o experimento foi realizado durante um dia em cada praia analisada, os dados não foram suficientes para relacionar cada morfotipo de perfil com os controles hidrodinâmicos atuantes nas praias.

Nordstron e Jackson (1992 *apud* JACKSON 2002) apresentaram um modelo de variação de perfil para praias estuarinas baseado em diferenças nas características de onda e

conseqüente transporte de sedimento. O estudo foi feito em 21 praias arenosas com uma taxa de maré próxima a 2,0 m, ambiente de meso-maré.

Dois tipos de perfis foram identificados (FIG. 5.22), dependendo se o domínio do transporte de sedimentos era transversal (cross-shore) ou paralelo a praia (longshore). Em ambos os casos a troca de sedimento era limitada pela zona entre o limite máximo do estirâncio e a quebra de declividade que separa a face da praia do terraço. O predomínio por processo de transporte transversal ou paralelo é função da orientação da linha de costa em relação aos ventos e as pistas (*fetchs*) dominantes e a presença de obstáculos (obras de proteção da linha de costa) que retêm os sedimentos.

Nas praias onde o transporte transversal era o processo dominante, a troca de sedimentos na face da praia, era efetuada pelas mudanças de energia de ondas geradas localmente devido às variações na velocidade do vento. Um aumento na altura de onda causa erosão na porção superior da face da praia e deposição na porção inferior. Na medida em que a altura de onda vai diminuindo, o perfil se recupera com o sedimento retornando à parte superior da face praial.

Já as mudanças na direção do vento e no ângulo de incidência das ondas são responsáveis para induzir o transporte paralelo de sedimentos. Geralmente este é o transporte responsável pela retração paralela da face da praia que, ao mesmo tempo não muda significativamente a sua declividade.

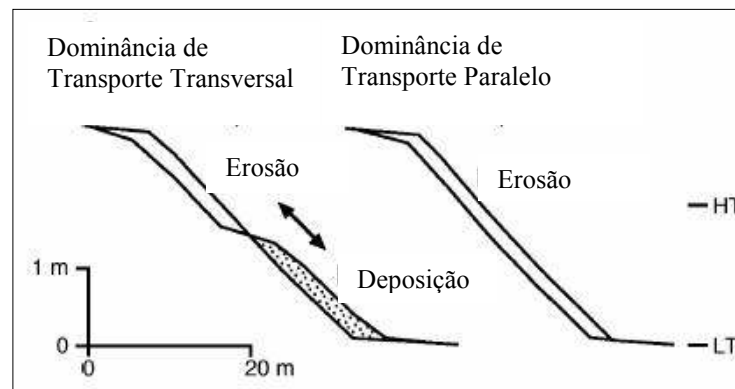


FIGURA 5.22 - Perfis Identificados por Nordstron e Jackson (1992 *apud* JACKSON 2002) quando o domínio do transporte de sedimentos é transversal (cross-shore) ou paralelo (longshore) à costa.

Desta maneira, a distância do fetch, a orientação e a morfologia da linha de costa, a altura de maré e a taxa de submergência devido às flutuações de nível são identificados como

os principais controles que operam na morfodinâmica de praias estuarinas (PHILLIPS, 1985, 1986; ROSEN, 1977, 1978, 1980 *apud* JACKSON *et al.*, 1992).

A mobilidade e as mudanças morfodinâmicas ocorridas em uma praia estuarina de baixa energia, em um ambiente de micro maré, geralmente ocorrem na porção subaquosa próxima a porção subaérea da praia e de maneira mais acentuada na face praial.

Conforme a classificação proposta por Makaske e Augustinos (1998) e Hegge *et al.* (1996) para perfis de praias em ambientes de baixa energia, todos os cinco perfis praias levantados neste estudo podem ser classificados como íngremes, já que a altura de onda não ultrapassa 0,25 m em condições normais, sem ventos fortes e ocorrência de tempestades e, também pelos dados granulométricos e de declividade da face de praia encontrados.

Em relação ao Perfil 3, a estabilidade da região subaquosa provavelmente indica que o transporte transversal a praia “cross-shore” seja mínimo ou inexistente. Isto ocorre, pois a porção subaquosa apresenta uma camada compacta (Barro Duro). A análise granulométrica de uma amostra desta camada indica uma porcentagem significativa de silte e argila (FIG. 5.23).

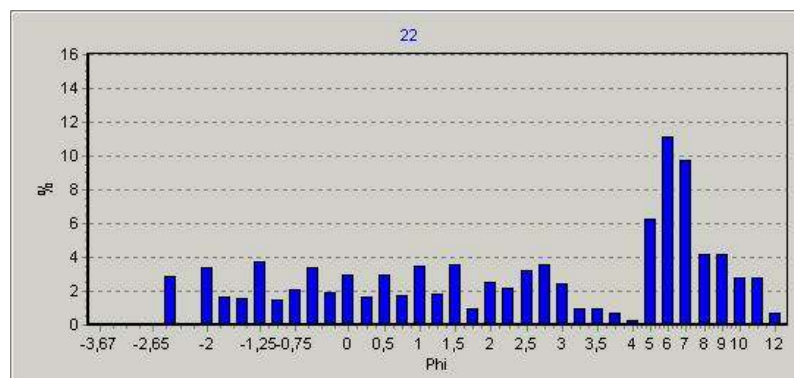


FIGURA 23 - Histograma da amostra granulométrica “22” que representa a camada compacta na porção subaquosa da praia do Barro Duro.

Acredita-se que esta camada compacta pode estar representando afloramentos da Formação Graxaim, cuja origem pode ser verificada no Mapa Geológico (FIG. 2.1). Desta forma a energia de onda do local não é capaz de remover este sedimento, fazendo com que o transporte transversal de sedimentos da praia seja mínimo. É verificada somente uma pequena camada de areia sobre a zona compacta, que pode ser o resultado dos sedimentos que estão em movimento ocasionando transporte ao longo da costa. Acredita-se que ocorre a predominância de transporte paralelo a praia “longshore” que provavelmente fornece e retira sedimentos, e por fim causa um balanço negativo, entendendo-se que não existe um estoque de sedimentos na porção subaquosa.

Os perfis propostos por Nordstron e Jackson (1992), na FIG. 5.22, evidenciam esta situação de domínio de transporte paralelo à costa. Onde ocorre a retração da linha da praia, sem a troca de sedimentos entre a porção inferior e superior da face da praia que só ocorre quando existe transporte transversal de sedimentos.

A mudança na geometria do perfil é caracterizada por um ciclo de corte no volume de sedimentos do pós-praia e posterior recuperação. Este movimento claramente representa um transporte de sedimentos transversal à costa. A demora na recuperação de um perfil em praias de baixa energia pode ser influenciada pela disponibilidade de sedimentos. A não recuperação poderá ocorrer em lugares onde o transporte paralelo é dominante e, quando as correntes que vem da direção das fontes de sedimentos são restritas (JACKSON, 2002).

A praia de Fire Island, Estados Unidos, tem sofrido retração devido ao transporte ao longo da praia, causado pelas correntes paralelas à costa (NORDSTRON, 1996).

Desta forma, o envelope dos perfis na Praia do Barro Duro (Perfil 3, FIG. 5.14) é o que mostra as maiores variações na face da praia ao longo do período de estudo principalmente pela formação dos cúspides praias e também por se acreditar que a dominância é a do transporte paralelo ao longo da praia.

Na visualização dos gráficos dos envelopes dos perfis topográficos praias, de todas as praias analisadas (FIG. 5.2, 5.5, 5.14, 5.17 e 5.20) verifica-se que na profundidade de aproximadamente 1,0 m, não ocorre movimentação significativa de sedimento. Apesar de não terem sido utilizadas ferramentas estatísticas no estudo de dados de onda para o cálculo, acredita-se que a profundidade de fechamento dos perfis topográficos levantados possa estar situada próxima a este valor.

A profundidade de fechamento ou limite litorâneo, sob o ponto de vista estatístico, é o parâmetro que melhor define uma avaliação rápida e relativamente segura, da possibilidade de movimentação dos fundos arenosos, sob a ação das ondas. Esta profundidade identifica a fronteira da zona de transporte arenoso longitudinal e transversal ativo, ou seja, é a profundidade para a qual já não ocorrem alterações significativas da cota do fundo (ALMEIDA *et al.*, 1999). É um parâmetro importante a ser considerado quando existem problemas de engenharia nas áreas costeiras.

Hallermeier (1981a *apud* ALMEIDA *et al.*, 1999) propôs um equacionamento para a profundidade de fechamento em termos de altura e período de onda e da densidade do sedimento, conforme equação (5.1) a seguir.

$$\left(\frac{2\pi d_1}{L}\right) \sinh^2\left(\frac{2\pi d_1}{L}\right) \tanh\left(\frac{2\pi d_1}{L}\right) = \frac{\pi^2 \bar{H}_{s0,137}^2}{0,03\rho' \left(\frac{g\bar{T}_s^2}{2\pi}\right)^2} \quad (5.1)$$

Como simplificação do cálculo, Hallermeier (1981a e 1981b *apud* ALMEIDA *et al.*, 1999), propôs ainda as expressões (5.2) e (5.3) para a profundidade de fechamento:

$$d_1 = 2,28 H_{s0,137} - 68,9 \frac{H_{s0,137}^2}{g\bar{T}_s^2} \quad (5.2)$$

$$d_1 = 2\bar{H}_s + 11\sigma \quad (5.3)$$

Birkemeier (1985 *apud* ALMEIDA *et al.*, 1999), propõem duas expressões para avaliar a profundidade de fechamento, ajustadas a partir da comparação entre diversos levantamentos de perfis de praia:

$$d_1 = 1,75 H_{s0,137} - 57,9 \frac{H_{s0,137}^2}{g\bar{T}_s^2} \quad (5.4)$$

$$d_1 = 1,57 \bar{H}_{s0,137} \quad (5.5)$$

Nas expressões (5.1) a (5.5) d_1 é a profundidade de fechamento (m), L é o comprimento de onda relativo à profundidade d_1 (m), $\rho' = \frac{\rho_s - \rho_{as}}{\rho_{as}}$ é a densidade do material submerso, ρ_s é a massa específica da areia (2650 kg/m³), ρ_{as} é a massa específica da água salgada (1026 kg/m³), g é a aceleração da gravidade, $\bar{T}_s$ = média anual do período significativo, $H_{s0,137} = \bar{H}_s + 5,6\sigma$ é a altura da onda significativa excedida somente 12 horas por ano (0,137 %), sendo $\bar{H}_s$ a média anual das ondas significativas e σ o desvio padrão.

Utilizando a equação (5.1) e considerando uma altura de onda significativa excedida somente 12 horas por ano igual a 0,5 m, um período significativo de 3 segundos e a densidade da areia igual a 2,65, a profundidade de fechamento calculada é de 0,96 m. Já as equações (5.2) e (5.4), utilizando os mesmos valores de ondas, mostram valores de 0,94 e 0,72 m para a profundidade de fechamento, respectivamente. Entretanto, para a validação destes valores é importante que sejam trabalhos dados estatísticos de altura e período significativos de onda.

De maneira geral, pode-se verificar que os Perfis 1 e 2, na Praia do Laranjal mostraram-se estáveis ou com tendências acrescivas. O Perfil 3, na Praia do Barro Duro apresentou características erosivas. Nos Perfis 4 e 5, na Praia do Totó e na Colônia de Pescadores Z3 verificou-se certa mobilidade. Isto talvez possa ser explicado pela presença de bancos paralelos a praia na porção subaquosa da praia nos Perfis 1 e 2 e por tal fato não ocorrer nos demais Perfis. Tais bancos poderiam estar funcionando como fontes de suprimento de areia.

Durante o período de estudo não ocorreram tempestades anormais e a precipitação pluviométrica ao longo da bacia hidrográfica não foi acentuada, de modo que a elevação do nível do estuário ocorreu pela atuação de ventos locais, principalmente por ventos soprando do quadrante Leste e Nordeste, que tendem a “empilhar” a água nas margens dos locais estudados. Foi verificado que a elevação do nível exerce influência nas feições morfológicas praias, causando modificações na posição das linhas de berma e na formação de escarpas.

Acredita-se que ocorra uma deriva litorânea de sedimentos para o Sul, principalmente pela ocorrência freqüente de incidência oblíqua de ondas geradas por ventos Nordeste. Com isto, as praias mais ao Norte estariam “perdendo” sedimentos e que, parte destes sedimentos, estaria ficando retida na Barra do Canal São Gonçalo ou suprimindo a Praia do Laranjal. Outra hipótese a ser analisada é a da ocorrência de um transporte bidirecional ao longo da costa, onde ventos de SE, que também causam incidência oblíqua de ondas, estariam fazendo com que migrassem sedimentos para a direção Norte, causando o crescimento de feições ao Norte (Ponta da Feitoria) e o fechamento da Lagoa Pequena (FIG. 2.1). Todavia, não foi realizado um estudo para verificar e quantificar transporte ao longo da costa.

5.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Geralmente as amostras compostas por sedimentos arenosos, apresentam-se unimodais, com poucas classes granulométricas, pois as condições energéticas foram capazes de selecionar o sedimento. Deste modo, um sedimento unimodal apresenta-se como um sedimento bem selecionado. Neste estudo, nas amostras do pós-praia e da face da praia nos cinco pontos de coleta, ficou evidenciada a ocorrência de sedimentos com um grande número de classes de tamanho de grão, sendo estes polimodais. Nestes sedimentos ocorrem várias

sub-populações, cada uma com sua própria moda, representando misturas de sedimento, com uma classe mais representativa que as demais chamadas de classe modal secundária, pois apresenta uma menor frequência que a classe modal principal. O grau de seleção das amostras variou entre sedimentos moderadamente a pobremente selecionados, mostrando uma tendência polimodal.

Pela análise feita nas 25 amostras coletadas no pós-praia e na face da praia do Perfil 1, na Praia do Laranjal no Balneário Valverde, foi verificado que o tamanho médio do grão é de $-0,49 \phi$ ($\approx 1,4\text{mm}$), a mediana situou-se em $-0,621 \phi$ ($\approx 1,54\text{mm}$) e mostraram-se moderadamente selecionadas quanto ao grau de seleção. Estes valores indicaram que o ambiente subaéreo da praia, ou seja, o pós-praia e a face da praia deste perfil possuem uma areia muito grossa, onde não foi encontrada a presença de sedimentos finos (silte e argila). Houve bastante variação dos valores das médias relacionados aos valores das modas, os histogramas mostraram uma distribuição bastante espalhada, indicando um sedimento polimodal. A porcentagem granulométrica indica uma praia composta em grande parte (67%) pela presença de grânulo e de areia muito grossa, sem a presença de silte e argila.

Na FIG. 5.24 pode ser observada a distribuição da porcentagem granulométrica da análise das 25 amostras coletadas no pós-praia e na face da praia do Perfil 1.

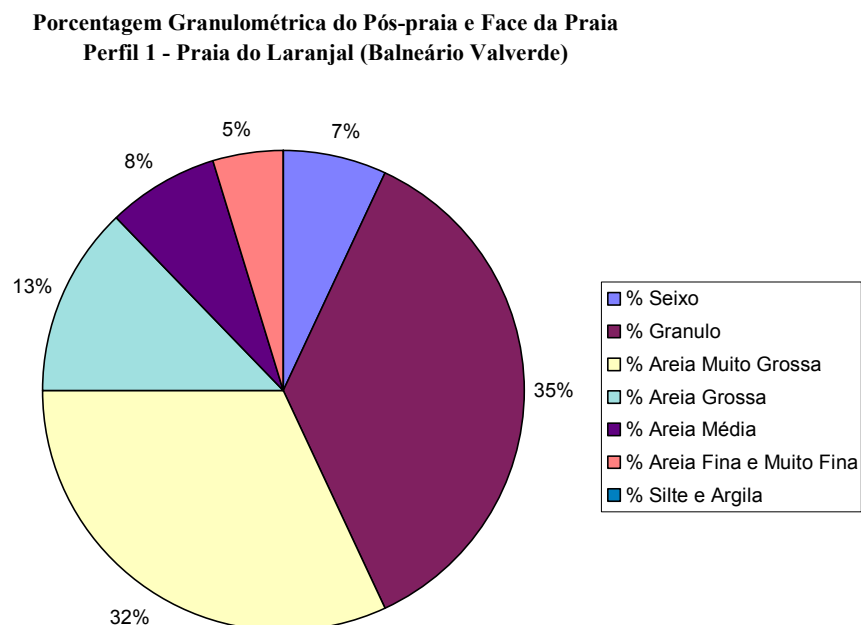


FIGURA 5.24 - Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 1.

A análise feita nas amostras da porção subaquosa ao longo do Perfil Batimétrico 1 mostrou que a porcentagem de areia fina e muito fina foi a maior em praticamente todas as amostras, com exceção da amostra A48 onde o silte e a argila ficaram com 44% do total da amostra. As amostras localizadas entre a linha da praia e a cerca de 400 metros em direção ao interior da laguna tiveram um grau de seleção variando de bem a muito bem selecionado. As amostras mais afastadas mostraram-se pobremente a muito pobremente selecionadas. A diferença entre média e moda de cada amostra ocorre, de maneira mais acentuada, nas três amostras mais afastadas da linha da praia (amostras A49, A48 e A47) do perfil batimétrico, explicando o pobre grau de seleção, com histogramas exibindo distribuições bastante espalhadas. O Perfil Batimétrico 1 e sua distribuição granulométrica e, ainda, a comparação entre média e moda de cada amostra podem ser visualizados no ANEXO C. A localização das amostras se encontra no ANEXO B.

No Perfil 2, no Balneário Santo Antônio foram analisadas 24 amostras do ambiente subaéreo da praia, coletadas no pós-praia e na face da praia. A areia ficou classificada como areia grossa, com média de 0,13 phi ($\approx 0,93\text{mm}$), mediana de 0,16 phi ($\approx 0,90\text{mm}$) e moderadamente selecionada. Comparando-se a média com a moda foi verificada variação. Nesta praia foi verificada uma maior porcentagem de areia grossa e muito grossa (59%), a porcentagem de areia fina e muito fina é muito pequena (2%) e não há presença de silte e argila, conforme indicado na FIG. 5.25.

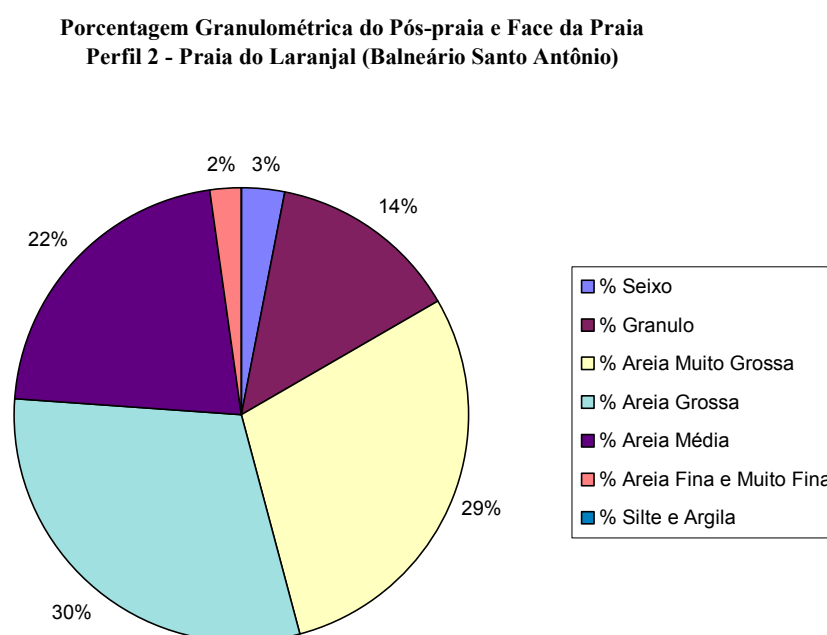


FIGURA 5.25 - Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 2.

Foram analisadas 8 amostras ao longo do levantamento batimétrico do Perfil 2. As duas amostras coletadas mais próximas à linha da praia (A46 e A45) foram classificadas como areia fina de bem a muito bem selecionadas, não apresentando variação acentuada entre média e moda. Foi verificada uma porcentagem bastante expressiva de areia fina e muito fina em todas as amostras. Estes dados podem ser visto nos gráficos e diagramas circulares do ANEXO C. A localização das amostras se encontra no ANEXO B.

O Perfil 3, correspondente à praia do Barro Duro, onde se verifica a erosão praial, é caracterizado texturalmente como areia muito grossa, com tamanho médio do grão de $-0,068$ phi ($\approx 1,01\text{mm}$), mediana de $-0,1$ phi ($\approx 1,09\text{mm}$) e com grau de seleção moderado, através da análise de 28 amostras. Também apresenta características de bimodalidade mostrando classes modais com valores diferentes do tamanho médio do grão. Pela porcentagem granulométrica, FIG. 5.26, vê-se que a porção subaérea da praia é composta por areias muito grossas e grossas em sua maior parte (60%), não existindo finos (silte e argila).

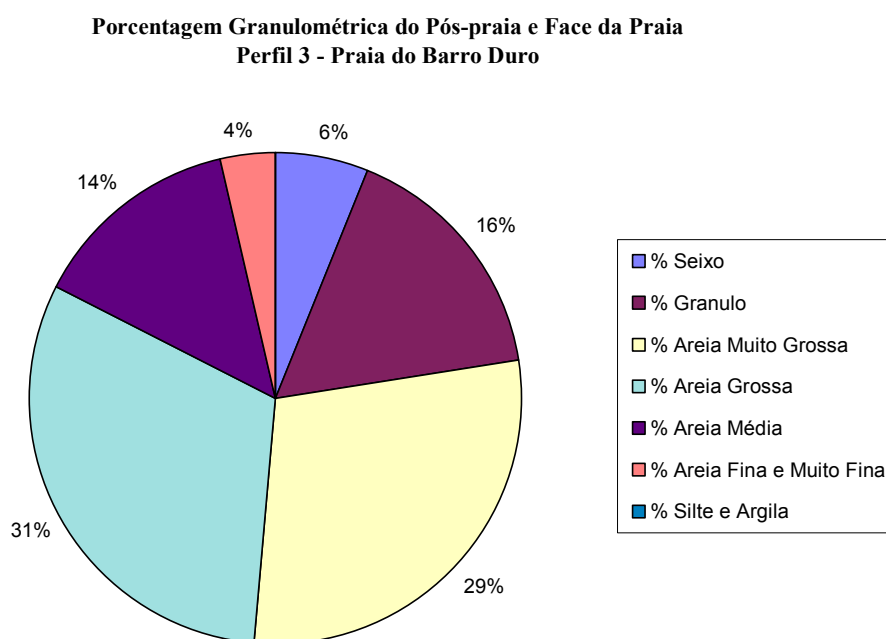


FIGURA 5.26 - Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 3.

Ao longo do Perfil Batimétrico 3, foram coletadas 16 amostras. As amostras A35, A36 e A37, a aproximadamente 300, 200 e 100 metros da praia, respectivamente, apresentaram areia fina bem selecionada. As amostras apresentaram grande porcentagem de areia fina e

muito fina e algumas, mostraram valores de até 12% de silte e argila, mostrando que a porção subaquosa do Perfil 3 tem características granulométricas diferentes do que a porção subaérea. A visualização das amostras ao longo do Perfil Batimétrico 3 pode ser feita nos ANEXOS B e C.

O Perfil 4 apresentou no pós-praia e face da praia areia muito grossa, pobremente selecionada, com tamanho médio de $-0,199 \phi$ ($\approx 1,15\text{mm}$) e com mediana de $-0,34 \phi$ ($\approx 1,27\text{mm}$), através da análise de 23 amostras. Tal como o tamanho médio do grão indicou areia muito grossa, na porcentagem granulométrica também ficou evidenciada a presença em maior quantidade de areia muito grossa (32%), seguida pela presença de granulo (27%), sem a ocorrência de finos(silte e argila).

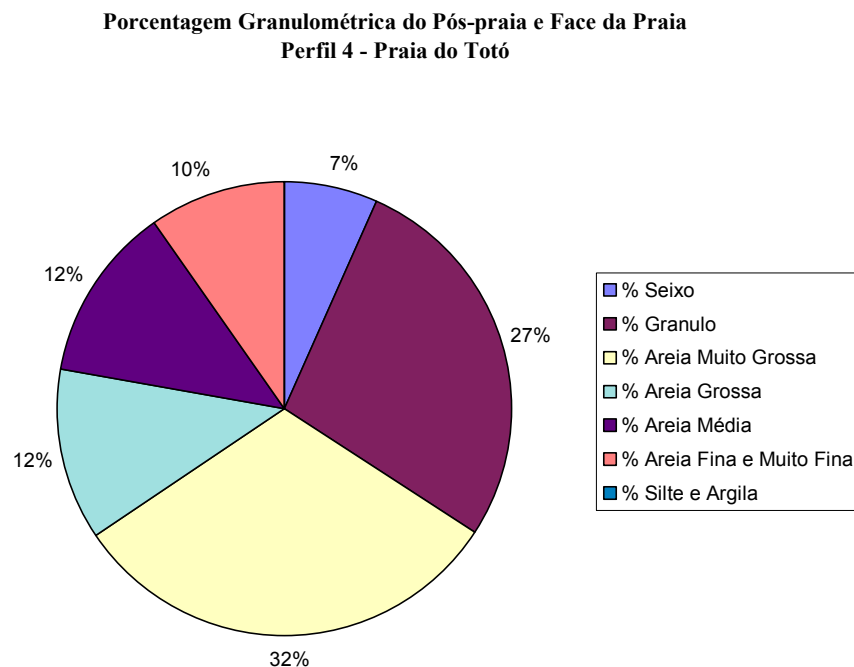


FIGURA 5.27 - Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 4.

Ao longo do levantamento batimétrico do Perfil 4, na Praia do Totó, foram obtidas 9 amostras. Neste perfil foram encontradas as amostras com características semelhantes a amostras da porção subaérea do Perfil 3, ao contrário de todos os demais perfis batimétricos. A amostra A18 localizada a 519 metros da face da praia poderia ser indicada como uma fonte de sedimento para o preenchimento da praia do Barro Duro (Perfil 3), pois mostra 23% de granulo, 33% de areia muito grossa e 16% de areia grossa, sem a presença de silte e argila. A amostra A15, que fica a 887 metros da face da praia também apresenta características bastante

aceitáveis, sem a presença de finos, com 32% de granulo, 27% de areia muito grossa e 12% de areia grossa. Estes valores percentuais indicam um sedimento com características semelhantes à da amostra da porção subaérea do Perfil 3. Com exceção da amostra A22, localizada a 75 metros da face da praia que mostrou uma grande quantidade de finos (42%), todas as demais amostras do perfil batimétrico 4 mostraram sedimentos com características compatíveis para o preenchimento da praia do Barro Duro, com pequenas quantidades de finos, variando de 0 a 7% nas amostras, como pode ser observado no ANEXO C. Já a localização de cada amostra se encontra no ANEXO B.

Foram coletadas 23 amostras do pós-praia e da face da praia no Perfil 5 na Colônia de Pescadores Z3. A análise destas amostras mostrou um sedimento pobremente selecionado com tamanho médio de 0,1602 phi ($\approx 0,09\text{mm}$) caracterizando areia grossa e com mediana de 0,22 phi ($\approx 0,86\text{ mm}$). A análise da porcentagem granulométrica das amostras do pós-praia e da face da praia, mostrou a presença mais acentuada de areia média (27%) do que nas outras praias analisadas. Mas também fica evidenciada a presença de granulo, areia grossa e muito grossa, conforme FIG. 5.28.

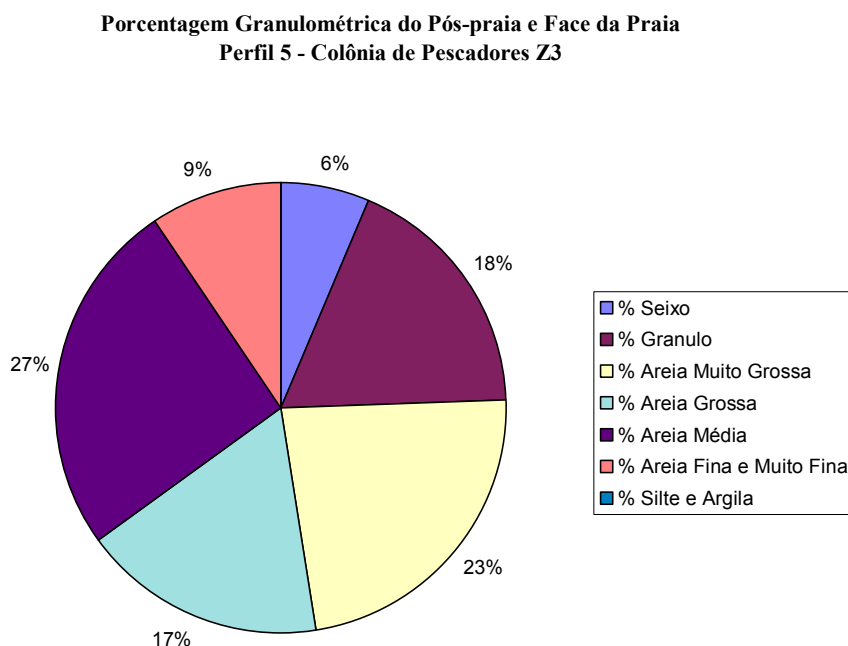


FIGURA 5.28 - Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 5.

Já as 13 amostras coletadas ao longo do Perfil Batimétrico 5, localizadas no ANEXO B, indicaram que o grau de seleção é de pobre a muito pobre principalmente devido à diferença entre os valores da média e da moda indicados no gráfico do ANEXO C. As

amostras A8 e A7, distantes da face da praia em 1195 e 1252 metros, respectivamente, mostraram características aceitáveis para obra de engordamento de praia no Barro Duro, mostrando um sedimento sem a presença de finos e com bons percentuais de sedimentos grosseiros, porém mostram valores entre 26 e 27% de areia fina e muito fina. As demais amostras ao longo da porção subaquosa indicam uma quantidade significativa de areia fina e muito fina, entretanto foram observadas porcentagens pequenas de silte e argila. Estas observações podem ser verificadas no ANEXO C.

5.4 PREVISÃO DA AGITAÇÃO GERADA PELO VENTO

A caracterização de altura e período de onda foi feita mediante a entrada de dados no Programa SMB e também com observações visuais nos locais de previsão. O período de análise dos dados foi de fevereiro de 2003 a agosto de 2004, onde, em média, as velocidades dos ventos situaram-se entre 0 e 4 m/s e as máximas entre 4 e 7,8 m/s, com uma duração entre 1 a 3 horas, nas direções previstas para geração de ondas na margem oeste. Com isto foram obtidos valores de altura significativa de onda (H_s) entre 0,10 e 0,35 m e de período significativo (T_s) entre 1,2 a 2,9 segundos.

Um exemplo do trabalho de campo feito para confirmar os dados obtidos através da previsão dos dados físicos de ondas feita pelo Programa SMB89 é mostrado na TAB. 5.8, considerando-se uma profundidade de 0,5 m.

TABELA 5.8

Comparação de dados obtidos pelo Programa SMB89 com os dados obtidos pelo levantamento de campo

Data	Local	Velocidade do Vento (m/s)	Direção	Duração (horas)	H_s (SMB89) (m)	T_s (SMB89) (s)	H_s (campo) (m)	T_s (campo) (s)
18/03/04	Laranjal	3,6	NE	2	0,1	0,9	0,11	2,7
28/03/04	Laranjal Z3	5,5	E	2	0,15 0,16	2,0 2,0	0,21 0,30	2,96 2,4
31/03/04	Laranjal	7,2	NE	3	0,2	2,2	0,26	2,81

Com os dados da TAB. 5.8 verifica-se que os valores de altura e período significativos de onda obtidos através do Programa SMB89 são menores do que os valores obtidos em

trabalho de campo, porém seria necessário um estudo com um maior número de dados para que fosse realizada a aferição do Programa.

Durante o período de estudo, observações visuais mostraram incidência oblíqua de ondas, principalmente com ventos soprando nas direções NE e SE. Devido à obliquidade e ao curto período de onda, as ondas que incidem nas linhas de praia estudadas podem realizar um transporte litorâneo efetivo. A FIG. 5.29 mostra incidência oblíqua de ondas, com ventos nas direções NE e SE.



FIGURA 5.29 - Incidência Oblíqua de ondas, com ventos na direção NE e SE.

Em 12 agosto de 2004, houve vento soprando de Nordeste com velocidade de 7,8 m/s durante 6 horas. Com estes dados o SMB89 forneceu dados de onda com 0,40 m e com período de 3 segundos. Com observações feitas na Praia do Laranjal, mais especificamente no Trapiche, foi possível observar ondas com estes valores de altura e período, conforme pode ser visto na FIG 5.30.



FIGURA 5.30 - Ondas de aproximadamente 0,40 m incidindo na praia do Laranjal (Trapiche).

Silva *et al.* (1997) estudaram a velocidade e direção dos ventos em Pelotas com dados entre 1952 a 1993, referentes há 42 anos. Estes foram obtidos na Estação Agroclimatológica

UFPel/EMBRAPA de Pelotas. Neste estudo, verificaram que os ventos mais intensos ocorrem na primavera, entre os meses de outubro e novembro e que os ventos de menor intensidade ocorrem no outono, no mês de maio. A direção mais freqüente é a Leste nos meses de primavera e verão, no outono é a Sudoeste e no inverno a Nordeste. Concluíram também que a direção Nordeste tem grande incidência em todos os meses do ano. Além disso, verificaram que a velocidade média em todas as estações do ano ficou entre 2 a 4 m/s. Já as máximas situaram-se entre 8 e 10 m/s na primavera e no verão e, entre 6 e 8 m/s no outono e inverno.

Os resultados do trabalho destes autores condizem com os valores de ventos observados entre fevereiro 2003 e agosto 2004, durante a realização do presente estudo, onde não ocorreu nenhum evento climatológico extremo.

Toldo Jr. *et al.* (2003) estudaram o clima de ventos e ondas para a área costeira da Laguna dos Patos, com dados obtidos em estações anemográficas localizadas ao longo das margens, no ano de 1988. Neste trabalho, verificaram que nas estações de primavera a verão ocorrem ventos fortes e constantes que sopram em direção a margem oeste da lagoa, principalmente nas direções Nordeste e Sudeste. A análise que fizeram mostrou que os ventos mais freqüentes têm velocidades entre 0 a 2 m/s. Estas velocidades e sua curta duração são os principais controles que limitam o crescimento de ondas na lagoa, onde observaram que a maioria dos ventos não possui condições físicas para gerarem ondas maiores do que 0,10 m. Concluíram também que o crescimento e a propagação de energia de ondas também é modulado pela profundidade rasa e pela existência de esporões arenosos que limitam o crescimento. O máximo valor de altura e período de onda registrado no ano de 1988, ocorreu com um fator de tensão do vento de 28 m/s que durou 1,5 horas durante um tempestade de WNW, tendo como resultado uma altura $H = 1,6$ m e um período $T = 4,8$ s.

Tal como o estudo de Toldo Jr. *et al.* (2003) verifica-se que o regime ondulatório da margem oeste está intimamente relacionado com o padrão de ventos. Como na maioria dos dias os ventos têm velocidades médias em torno de 2 m/s, a altura significativa de onda situa-se em torno de 0,10 a 0,20 m, com períodos significativos curtos de 1,0 a 2,0 segundos.

Além da freqüência de ventos não intensos e da profundidade rasa, um outro fator limitante para o crescimento de ondas no local de estudo, com ventos dos quadrantes N e NE, é o esporão arenoso da Ponta da Feitoria, que reduz a pista de vento para os pontos de previsão analisados.

Os estudos de Nordstron *et al.* (1996) feitos em dois estuários, Great South Bay em Nova Iorque e Delaware Bay em New Jersey, nos Estados Unidos, levaram às conclusões de que as alturas de ondas geradas por ventos locais dependem principalmente das condições do

vento (velocidade, direção e duração) e das dimensões da bacia (largura, comprimento e profundidade).

Great South Bay é uma lagoa protegida por uma barreira costeira, tendo uma profundidade menor do que 5 m e a distância da pista de vento é menor do que 12 km.

Delaware Bay é um estuário em forma de funil com uma profundidade em torno de 12m e a distância da pista para geração de ondas é de aproximadamente 48 km.

Nos seus estudos, verificaram que ventos com baixa velocidade ($<6,0$ m/s) geram ondas com altura significativa menor do que 0,15 m em ambos os estuários. O incremento da velocidade do vento não traz efeitos significativos nas alturas de onda em Great South Bay devido à curta distância do *fetch* e pela pequena profundidade. Já em Delaware Bay um aumento na velocidade do vento traz um efeito bastante significativo na altura de onda, passando a 0,52 m, com velocidades de vento de 12 m/s (FIG. 5.31).

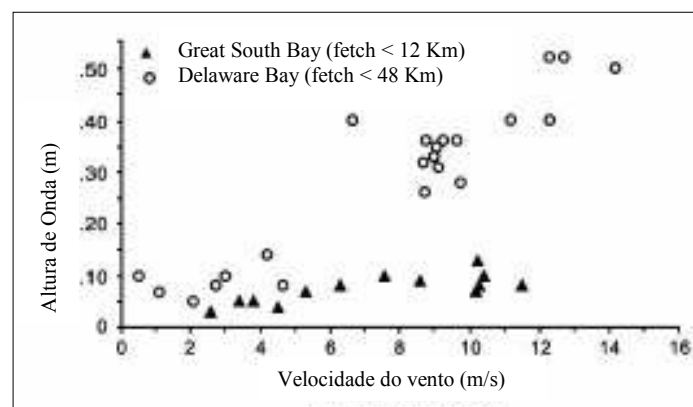


FIGURA 5.31 - Influência da distância da pista de vento nas alturas de onda, em Great South Bay e em Delaware Bay, nos Estados Unidos, conforme Nordstron *et al.* (1996).

Assim como mostra os estudos de Nordstron *et al.* (1996), nas margens estudadas as pistas de vento nas direções leste, nordeste e sudeste têm distâncias bastante significativas (TAB. 4.6) para produzirem ondas de alturas maiores com ventos intensos soprando.

5.5 PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO PARA OS LOCAIS EM PROCESSO DE EROSÃO PRAIAL

O engordamento seria uma boa alternativa para o preenchimento e revitalização da Praia do Barro Duro devido a sua principal característica que é a de manter a forma natural e a estética da praia. As atividades recreacionais e comerciais seriam mantidas e até mesmo poderiam ser potencializadas, gerando maiores recursos tanto financeiros quanto sociais para a comunidade local e para o município, pois a praia estaria maior, e com um aspecto mais agradável. Com este tipo de obra implementado, a mata de figueiras do local estaria preservada, não ocorrendo a queda de árvores que já acontece há alguns anos. Os locais mais indicados para a obra no Barro Duro seriam aqueles situados em frente à mata nativa, principalmente por serem os locais de uso intensivo da praia pela população. Deste modo, a obra protegeria as árvores e também incrementaria o uso da praia pelos banhistas.

Pelos estudos granulométricos dos sedimentos através da coleta de amostras ao longo dos perfis batimétricos foi verificada a existência de duas fontes de areia a uma distância de aproximadamente 4,5 km da praia do Barro Duro. Maiores estudos a respeito destas fontes de sedimentos seriam necessários para verificar se a fonte supriria o volume necessário para o preenchimento da praia.

É importante fazer um balanço do custo da obra com o futuro retorno do investimento. O custo por metro cúbico de areia dragada situa-se em torno de US\$ 6,0. No caso da praia do Barro Duro que tem, aproximadamente, 1200 metros de extensão, seria feito o cálculo da largura de praia desejada para que então se estimasse um custo para o engordamento. A manutenção do engordamento também deve ser considerada no custo do projeto.

Para diminuir a perda do material de preenchimento, bem como reduzir o processo de manutenção do engordamento, seria adequada a técnica de uma solução mista. Esta solução mista poderia ser o de fazer o engordamento juntamente com a construção de espigões de madeira. Como foi verificada a ocorrência de transporte de sedimentos ao longo da costa do Barro Duro, os espigões funcionariam bem neste tipo de praia de forma a reter o sedimento. Entretanto, será necessário um estudo mais aprofundado para obtenção de dados de transporte de sedimentos, ou seja, da deriva litorânea líquida nos locais a serem engordados.

Sabe-se que, além da área do estudo, outras áreas da Laguna dos Patos têm sofrido com processos erosivos, que vem alterando drasticamente a paisagem das margens lagunares. Arambaré, São Lourenço do Sul e a Ilha da Torotama estão perdendo sedimentos de suas costas e são locais passíveis de intensa ocupação futura. Por isso, é importante que desde já se pense em alternativas que possam reduzir os danos causados pela erosão costeira. Estas alternativas poderiam ser medidas simples, como o estabelecimento de faixas de recuo,

oferecendo segurança para empreendimentos costeiros. Também seria interessante um programa de engordamento de praia para a revitalização turística e para a proteção destes locais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

A análise da evolução da linha de costa da área de estudo, feita através da construção dos mosaicos, ao longo de 15 anos, levou a conclusão que existe um real processo erosivo na Praia do Barro Duro. Em alguns pontos desta praia a taxa de erosão foi de 1,04 m por ano.

Na Colônia de Pescadores Z3 existem alguns locais que mostram evidências de erosão e, em outros se visualizou acresção da linha de costa. É importante salientar que nesta localidade a linha de costa está bastante modificada por ações antrópicas com piers, casas e enrocamentos construídos de maneira desordenada. Desta forma, os processos que ocorrem na costa podem estar relacionados com estas ações.

As praias do Laranjal, mais ao sul, mostraram estabilidade e até mesmo pontos com progradação da linha de costa. Tal fato poderá estar ocorrendo devido ao transporte de sedimentos paralelo a costa, que provavelmente está retirando sedimentos das praias mais ao norte e levando para estes locais, principalmente pela grande incidência de ventos Nordeste. Estes sedimentos poderiam estar ficando retidos na praia do Laranjal devido a sua proximidade com a barra do canal São Gonçalo que, por sua vez, estaria funcionando como uma barreira hidráulica.

A praia do Totó mostrou características de estabilidade e pontos com pequenas taxas erosivas. Como é uma praia extensa e com a linha de costa na mesma orientação, provavelmente sofra variações morfológicas devido ao transporte paralelo à praia. Porém estas variações são mínimas, mostrando ser um sistema equilibrado.

Os cinco Perfis Praiais levantados no período de maio de 2003 a agosto de 2004, podem ser classificados como perfis íngremes, conforme a classificação proposta por Makaske e Augustinos (1998) e Hegge *et al.* (1996), devido às características topográficas e sedimentológicas da face praial e também pela altura de quebra de onda em condições normais, sem a ocorrência de tempestades.

Os Perfis 1 e 2, na praia do Laranjal mostram um pós-praia estável, com pequenas modificações na face de praia. Já a porção subaquosa destes perfis, principalmente do Perfil 1, mostrou-se com bastante mobilidade. Esta mobilidade ocorre pela presença de bancos longitudinais a costa, compostos por areias finas e muito finas.

O Perfil 3, localizado na Praia do Barro Duro, possui uma porção subaquosa muito estável, contrastando com a porção subaérea que apresentou os maiores valores de variações morfodinâmicas. Tal fato leva a pensar que não existe suprimento de sedimentos na porção subaquosa e que o transporte transversal à costa é mínimo ou inexistente, devido a presença de uma camada compacta com presença de sedimentos de granulometria fina. Em contrapartida, a alta mobilidade da face praial e do pós-praia deve-se ao fato da existência de transporte paralelo à costa, que retira sedimentos destas partes do perfil, principalmente quando o nível das águas da Laguna se eleva, modificando os locais de atuação de ondas. O transporte paralelo ocorre pela presença de correntes longitudinais que são formadas na praia devido à incidência oblíqua de ondas na costa. Outro fator que influencia nas variações da porção subaérea da praia do Barro Duro é a presença de cúspides praiaais, deixando a praia com uma topografia rítmica bastante evidenciada, modificando constantemente a largura do pós-praia.

Os Perfis 4 e 5, na praia do Totó e na Colônia de Pescadores Z3, respectivamente, mostraram mobilidade, principalmente na face da praia. A mobilidade da face da praia é comum em praias estuarinas (JACKSON, 1992). A porção subaquosa destes perfis mostrou-se estável, todavia no Perfil 4 visualizou-se um banco arenoso a 50 metros da linha da praia durante um dos levantamentos topográficos. A presença de conchas e fragmentos de conchas de *Erodona* sp é bastante comum nestas duas praias.

A elevação do nível do estuário ocorreu pela atuação de ventos locais, principalmente por ventos soprando dos quadrantes Leste e Nordeste, que tendem a “empilhar” a água nas margens dos locais estudados. Foi verificado que a elevação do nível exerce influência nas feições morfológicas praias, causando modificações na posição das linhas de berma em todas as praias e na formação de escarpas na praia do Barro Duro.

Embora não se tenha feito medições do transporte litorâneo líquido, foi percebida a existência de transporte ao longo à costa. Os sedimentos poderiam estar migrando na direção Sul devido as correntes longitudinais causadas pela incidência oblíqua de ondas geradas por ventos Nordeste. Com isto, as praias mais ao Norte estariam “perdendo” sedimentos e que, parte destes sedimentos, estaria ficando retida na Barra do Canal São Gonçalo ou suprimindo a Praia do Laranjal. Ou então, há transporte bidirecional de sedimentos, devido à ação não somente dos ventos NE, mas também de ventos SE, como mostram as evidências de acresção na Ponta da Feitoria, na direção Norte da área de estudo.

No período de estudo, as velocidades médias dos ventos ficaram entre 0 e 4 m/s e as máximas entre 4 e 7,8 m/s, com uma duração entre 1 a 3 horas, nas direções previstas para geração de ondas na margem oeste. Através da utilização do Programa SMB e de medições em campo foram obtidos valores de altura significativa de onda (H_s) entre 0,10 e 0,35 m e de período significativo (T_s) entre 1,2 a 2,9 segundos. Estes dados são semelhantes aos resultados obtidos no estudo de características de ondas na Laguna dos Patos realizado por Toldo Jr. (2003). Os valores de altura e período significativos de onda, obtidos através do Programa SMB89, são menores do que os valores obtidos em trabalho de campo.

Ao todo foram coletadas 123 amostras dos sedimentos que compõe a face da praia e o pós-praia entre os cinco perfis praias levantados. Os Perfis 1, 3 e 4 são compostos por areias muito grossas, já os Perfis 2 e 5 possuem areia grossa. A análise destas amostras mostrou que o grau de seleção é moderado, ocorrendo variação entre os valores da média com os valores das classes modais. Em vista disto, pode-se dizer que o pós-praia e a face da praia de todos os Perfis possuem sedimentos polimodais, com a presença de um grande número de classes de tamanho de grão, contrariando o que geralmente acontece em amostras compostas por areias. Geralmente as amostras de sedimentos arenosos, apresentam-se unimodais, bem selecionados e com poucas classes granulométricas, pois as condições energéticas foram capazes de

selecionar o sedimento. Além destas constatações, todas as amostras coletadas na porção subaérea da praia não mostraram a presença de finos (silte e argila).

A origem dos sedimentos grosseiros existentes nas margens oeste da Laguna se deu pelo depósito de sedimentos provenientes do transporte fluvial dos cursos de água, Canal São Gonçalo e Rio Piratini, que cortavam e erodiam a formação Graxaim, antes da formação das barreiras I, II e III (ALVAREZ *et al.*, 1981).

As amostras coletadas ao longo das porções subaquosas dos cinco Perfis Batimétricos levantados, mostraram, no geral, características diferenciadas das suas respectivas porções subaéreas. Ao longo dos Perfis Batimétricos 1, 2 e 3 as amostras mostraram a presença de areia fina e muito fina em maior porcentagem. Mesmo as amostras mais próximas a linha da praia mostraram grande porcentagem de areia fina e muito fina, contrariando os sedimentos compostos por areias grossas e muito grossas da face praial e do pós-praia. Além disso, muitas amostras possuíam uma boa porcentagem de silte e argila.

Ao longo do levantamento do Perfil Batimétrico 4, na praia do Totó, foram encontradas amostras com características semelhantes às amostras da porção subaérea do Perfil 3, na praia do Barro Duro. Por isso, são amostras apropriadas para futuras obras de engordamento nesta praia. As amostras A18 e A15, localizadas, respectivamente, a 519 e a 887 metros da face da praia do Totó, indicam valores percentuais muito próximos aos valores indicados pela análise das amostras da porção subaérea da praia do Barro Duro. As demais amostras deste perfil também são compatíveis, porém tem um percentual de finos variando entre 0 a 7%, dependendo da amostra. Estas fontes de areia estão localizadas a aproximadamente 4,5 km da praia do Barro Duro. Uma exceção, ainda no Perfil Batimétrico 4, é a amostra A22 localizada a 75 metros da face da praia que mostrou uma grande quantidade de finos (42%).

O Perfil Batimétrico 5, também apresentou amostras com características aceitáveis para obras de engordamento na Praia do Barro Duro. As amostras A8 e A7, distantes da face da praia da Colônia Z3 em 1195 e 1252 metros, respectivamente, mostram um sedimento sem a presença de finos (silte e argila) e com bons percentuais de sedimentos grosseiros, porém mostram valores entre 26 e 27% de areia fina e muito fina. As demais amostras ao longo da porção subaquosa indicam uma quantidade significativa de areia fina e muito fina, entretanto

foram observadas porcentagens pequenas de silte e argila, entre 0 a 15%, dependendo da amostra.

Ao invés da utilização de estruturas de engenharia pesada, a obra de engordamento de praia seria uma boa alternativa para o preenchimento e revitalização da praia do Barro Duro, pois desta forma se manteria a forma natural e a estética da praia. As atividades recreacionais e comerciais seriam mantidas e até mesmo poderiam ser potencializadas, gerando maiores recursos tanto financeiros quanto sociais para a comunidade local e para o município, pois a praia estaria maior e com um aspecto mais agradável. Com este tipo de obra implementado, a mata de figueiras do local estaria preservada.

Como geralmente ocorre a perda do material do engordamento, seria adequada a adoção de uma solução mista, fazendo-se a obra do engordamento juntamente com a construção de espigões de madeira. Os espigões funcionariam bem neste tipo de praia de forma a reter o sedimento, já que foi constatado um transporte paralelo a praia. Entretanto, será necessário um estudo mais aprofundado para obtenção de dados de transporte de sedimentos, ou seja, da deriva litorânea líquida nos locais a serem engordados.

Os locais mais indicados para a obra seriam aqueles situados em frente à mata nativa, principalmente por serem os locais de uso intensivo da praia do Barro Duro pela população. Deste modo, a obra protegeria as árvores e também incrementaria o uso da praia pelos banhistas.

Os estudos, as análises e os levantamentos de dados feitos neste trabalho podem auxiliar para a realização de futuros programas de gerenciamentos costeiros, não somente nos locais estudados como também em outras áreas estuarinas, principalmente da margem oeste da Laguna dos Patos, que atualmente sofrem problemas erosivos semelhantes. Um programa de gerenciamento costeiro para estas localidades seria importante, pois em vista do grande potencial turístico, sua orla está sujeita a uma intensa ocupação futura e, ainda, por possuir importantes áreas de preservação ambiental.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como foi verificada a grande incidência oblíqua de ondas nas margens lagunares e conseqüente transporte ao longo da praia, um estudo para quantificar o transporte litorâneo líquido traria contribuições para uma melhor análise dos processos que ocorrem naquelas praias e, além disso, auxiliaria para projetos de obras de proteção costeira.

Um estudo para determinar o clima de ondas nesta região estuarina seria necessário para melhor relacionar os ventos (durações e direções), pistas e altura e período de onda. Para isto, é necessária a instalação de uma estação anemográfica para coleta de dados de vento nas margens da Laguna, para que sejam obtidos dados mais próximos, sem interferências e, por isso, mais precisos.

Devido à impossibilidade de obtenção de fotografias aéreas recentes, o estudo da evolução da linha de costa deste trabalho foi feito até o ano de 1995. Um estudo da evolução atualizado traria novos resultados, principalmente pela ocorrência da tempestade anormal no ano de 2001. Nesta tempestade houve uma grande elevação do nível da Laguna nas margens de direção oeste, inundando grandes áreas e certamente modificando a morfologia da costa.

Para que futuramente se faça a obra de engordamento de praia no Barro Duro, são necessários maiores estudos. Estes estudos irão conduzir a conclusões de viabilidade ou não desta obra neste local.

As fontes de sedimentos encontradas próximas à praia do Totó e a Colônia Z3 devem ser analisadas em termos de volume, verificando se as mesmas supririam a quantidade de areia requerida para o preenchimento da praia.

Os cálculos das dimensões para a futura praia engordada devem ser feitos, para que sejam obtidos dados de largura, altura e volume de aterro.

Além disso, é importante um balanço do custo da obra com o futuro retorno do investimento. Considerando-se ainda os gastos com futuras manutenções sempre exigidas em obras de engordamento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. E. S. B.; ROSAURO; N. L.; TOLDO Jr., E. E.; GRUBER N. L. S., Avaliação da Profundidade de Fechamento para o Litoral Norte do Rio Grande do Sul. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Belo Horizonte, 1999.

ALVAREZ, J. A.; MARTINS, I. R.; MARTINS, L. R., Estudo da Lagoa dos Patos. *Pesquisas*, Porto Alegre, v. 14, p. 41-66, Dezembro, 1981.

ANTIQUEIRA, José Antônio F., Evolução Morfológica de um Pontal Arenoso na Extremidade Sul da Laguna dos Patos – RS. 2003. 150 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica), Área de Oceanografia Geológica, FURG - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

BALDAN, R. L., *Utilizando Totalmente o AUTOCAD R14*. São Paulo. Editora Érica, 1997.

BARBOSA, Tati G., HARTMANN, Carlos. Parâmetros Geomorfológicos das Margens do Estuário, como Fatores da Avaliação da Sensibilidade Ambiental ao Petróleo na Laguna dos Patos, RS - Brasil. 2000. 18p. Projeto de Tese (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica). Área de Oceanografia Geológica, FURG – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

BARLETTA, Rodrigo do C., Efeito da Interação Oceano-Atmosfera sobre a Morfodinâmica das Praias do Litoral Central do Rio Grande do Sul, Brasil. 2000. 134 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica), Área de Oceanografia Geológica, FURG – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

BUSH, D. M.; LONGO, N. J.; NEAL, W. J.; ESTEVES, L. S., PILKEY O. H.; PILKEY D. F.; WEBB, C. A. *“Living on the edge of the Gulf”*. *The west Florida and Alabama Coast*. Duke University Press, Durhan and London, 2001, 340 p.

CALLIARI, L. J., The origin and evolution of cusped spits in coastal lagoons. Introduction to Coastal Oceanography. Virginia Institute of Marine Science. USA, 1985.

CALLIARI, L. J., GOMES, M. E. V., GRIEP, G. H., MÖLLER Jr., O. O., Características Sedimentológicas e Fatores Ambientais da Região Estuarial da Lagoa dos Patos. Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário de Camboriú, Santa Catarina, 1980, v.2, p. 862-875.

CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H. da F., Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, Porto Alegre, UFRGS, v. 20(1), p. 48-56, Junho, 1993.

CALLIARI, L.J.; REIS, E.G.; ASMUS, M.L.; TAGLIANI, C.A. Gerenciamento Costeiro Integrado: Trocas e inter-relações entre os sistemas continental e oceânico adjacente. In: PROGRAMA TRAIN-SEA-COAST BRASIL, 2001, Florianópolis - SC. FURG, CIRM, DOALOS/ONU. 13ª edição, pasta com 5 módulos e 4 sub-módulos. CD-ROM.

CARVALHO F., BENTO O., BRANCO B., AFONSO C., LEMOS R., - “Modelo Matemático de Cálculo das Características da Agitação Marítima Gerada pelo Vento, Programa SMB89”. Departamento de Hidráulica. Núcleo de Portos e Praias, Lisboa, Portugal, 1989.

CHASTEN, M. A., McCORMICK, J. W., ROSATI, J. D. Using Detached Breakwaters for Shoreline and Wetland Stabilization. U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi, 1994.

COLEMAN, W. E., FULFORD, E. T. Chesapeake Bay Field Modeling and Monitoring Projects. *Coastal Sediments*. New York, American Society of Civil Engineers, v. 91, p. 1727-1739, 1991.

CROWELL, M.; LEATHERMAN, S. P.; BUCKLEY, M. K. Shoreline change rate analysis: long term versus short term data. *Shore and Beach* 63(2): 13-20, 1993.

DAVIS, J. L. *Geographical Variations in Coastal Development*. New York: Hafner, 1973. 204 p.

DEAN, Robert G., Beach Nourishment: Processes and Performance. International Conference on Coastal Research in Terms of Large Scale Experiments. *Coastal Dynamics*, Florida, University of Florida, p. 27, 1995.

DERNTL, José R., Morfologia de Praias Arenosas Protegidas do Litoral de Santa Catarina: Baías, Enseadas e Lagunas, Itajaí (SC). 2002. 84 p. Trabalho de Conclusão (Graduação em Oceanografia), Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí.

DIEHL, Fernando L., Aspectos Geoevolutivos, Morfodinâmicos e Ambientais do Pontal da Daniela, Ilha de Santa Catarina (SC). 1997. 132p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DOLAN, R., HAYDEN, B., HAYWOOD, J., A New Photogrammetric Method for Determining Shoreline Erosion. *Coastal Engineering*, v.2, p. 21-39, 1978.

FRANÇA, J. L., VASCONCELLOS, A. C. *Manual para Normalização de Publicações Técnico-Científicas*. 7ª ed., Belo Horizonte, Editora da UFMG, 2004, 242 p.

GORMAN, L., MORANG, A., LARSON, R. Monitoring the Coastal Environment; Part IV: Mapping, Shoreline Changes, and Bathymetric Analysis. *Journal of Coastal Research*, Flórida, v. 14, n. 1, p. 61-92, 1998.

HARDAWAY Jr., C. S., BYRNE, R. J., *Shoreline Management in Chesapeake Bay*. Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary Gloucester Point, Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering, nº 356, Virginia, outubro, 1999.

HARDAWAY Jr., C. S., GUNN, J. R., Shoreline Protection: Design Guidelines for Pocket Beaches in Chesapeake Bay, USA. *Carbonates*. ASCE – American Shore and Beach Preservation Association. 2000.

HARDAWAY Jr., C. S., GUNN, J. R., REYNOLDS, R. N., Breakwater Design in the Chesapeake Bay: Dealing with the End Effects. *Coastal Engineering Considerations in Coastal Zone Management*. Proceedings, 8^o Symposium on Coastal and Ocean Management, New Orleans, Louisiana, p. 27- 41, 1993.

HAYES, M. O. Morphology of Sand Accumulations in estuaries. In: CRONIN, L. E. *Estuarine Research, Geology and Engineering*. New York: Academic Press, v.2, p. 3-22, 1975.

HEALY, R. G., KIRK, R. M., LANGE, W. P. Beach Renourishment in New Zealand. *Journal of Coastal Research*, v. 6, p. 77-90, 1990.

HEGGE B., ELIOT, I., HSU, J. Sheltered Sandy Beaches of Southwestern Austrália. *Journal of Coastal Research*, Flórida, v. 12 (3), p. 748-760, 1996.

HOEFEL, Fernanda G., Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: Uma Revisão Bibliográfica, 1995, 71p., Monografia (Graduação em Oceanologia), Laboratório de Oceanografia Geológica, Faculdade de Oceanologia, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

HURDLE, D. P., STIVE, R. J. H., Revision of SPM 1884 Wave Hindcast Model to Avoid Inconsistencies in Engineering Applications. *Coastal Engineering*, v.12, p. 339-351, 1989.

JACKSON, N. L., NORDSTRON K. F., Site Specific Controls on Wind and Wave Processes and Beach Mobility on Estuarine Beaches in New Jersey, U.S.A. *Journal of Coastal Research*, Florida, v. 8, p. 88-98, 1992.

JACKSON, N. L., NORDSTRON K. F., ELIOT, I., MASSELINK, G., “Low Energy” sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*, v.48, p. 147-162, 2002.

JOHNSON, L., BAUER, W. Beach Stabilization Design. *Coastal Zone*, New York, American Society of Civil Engineers, p. 1432-1445, 1987.

JUAREZ, Antônio. Figueira do Barro Duro pede Socorro. Balneário sofre com a ação da erosão. *Diário Popular*, Pelotas, 11 dez. 1988. Caderno Geral, p. 6.

KOIKE, K. Artificial Beach Construction on the shores of Tóquio Bay, Japan. *Journal of Coastal Research*, v.6, p. 45-54, 1990.

KOMAR, P. D. *Beaches Processes and Sedimentation*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1976, 429 p.

LAUTENSCHLÄGER, Jussara. Projeto pode Recuperar Barro Duro: Estudo de técnicos da FURG aponta alternativa para minimizar problema de erosão. *Diário Popular*, Pelotas, 01 abril 2001. Caderno Cidade, p. 12.

LÉLIS, R. J. F., Variabilidade da Linha de Costa Oceânica Adjacente as Principais Desembocaduras do Rio Grande do Sul. 2003. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Laboratório de Oceanografia Geológica, Faculdade de Oceanologia, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. CD-ROM.

MADUREIRA, L., COOKE, C., WEIGERT, S. *Identificação de Diferentes Tipos de Fundo através da Análise Visual e Interpretação de Registros Acústicos*. Rio Grande, 2003, 18p. Não Publicado.

MAKASKE, B., AUGUSTINUS, P. G. E. F., Morphologic Changes of a Micro-tidal, Low Wave Energy Beach Face during a Spring-Neap Tide Cycle, Rhône-Delta, France. *Journal of Coastal Research*, Flórida, v. 14 (2), p. 632-645, 1998.

MICROSOFT EXCEL 97, Passo a Passo. São Paulo: Editora Makron Books, 1997.

MIRANDA, L. B., CASTRO B. M., KJERFVE, B. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. 411 p.

MÖLLER Jr., Osmar O., Hydrodynamique de la Lagune dos Patos (30°S, Brésil). Mesures et modélisation. 1996, 197p. Tese (Doutorado em Oceanografia), Ecole Doctorale des Sciences de la Terre et de La Mer, L' Université Bordeaux I, 1996.

MORTON, R. A. Gulf Shoreline movement between Sabine Pass and the Brazos River, Texas: 1974 to 1996. *Geological Circular*, 97 (3): 1-27. Universidade do Texas. Austin, Texas., EUA, 1997.

NORDSTRON, K. F. *Estuarine Beaches*: an introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords. New York: Elsevier Science Publishers Ltd, 1992. 225 p.

NORDSTRON, K. F., ROMAN C. *Estuarine Shores*: Evolution, Environments and Human Alterations. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1996, 484 p.

OLIVEIRA, Valdir. Prazeres: Moradores Preocupados com Proteção Ambiental. *Diário da Manhã*, Pelotas, 04 fev. 2001.

OLIVEIRA, Valdir. Figueira do Barro Duro. *Diário Popular*, Pelotas, 04 fev. 2001. Caderno Opiniões, p. 3.

OLIVEIRA, Valdir. *Veranistas do balneário dos Prazeres (Barro Duro) prometiam fixar cartazes reivindicatórios na praia*. Pelotas, 02 fev. 1979. Entrevista concedida ao Diário Popular.

RIBEIRO, Luciano V., Dinâmica do Transporte de Sedimentos pela Análise da Variação Espacial na Granulometria, 2000, 101 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2000.

ROSEN, P.S. Origin and processes of cusped spit shorelines. In: Cronin, L.E. (ed), *Estuarine Research*, v.2. Academic Press, New York, p. 77-92. 1975

SHERMAN, D. J., NORDSTRON, K. F., JACKSON N. L., ALLEN, J. R., Sediment Mixing-depths on a Low-energy Reflective Beach. *Journal of Coastal Research*, Flórida, v. 10 92), p. 297-305, 1994.

SHORT, A. D. Beach Response to Variation in Breaker Height. *Proceedings, 17^o International Conference of Coastal Engineering*, Sidney, ASCE, p. 1016-1035, 1980.

SHORT, A. D., HESP P. A., Wave, Beach and Dune Interactions in Southeastern Austrália. *Marine Geology*, v. 48, p. 259-284, 1982.

SILVA, J. B., ZANUSSO, J. T., SILVEIRA, D. L. M., SCHONS, R. L., LARROZA, E. G., Estudo da Velocidade e Direção dos Ventos em Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 227-235, 1997.

SORENSEN, Robert M., “Basic Wave Mechanics: for coastal and ocean engineers”. USA. 1994.

SOUZA, Suzane R., Caracterização Morfo-Sedimentar do Saco do Arraial - Extremo Sul da Laguna dos Patos/RS. 2002. 164 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica), Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande.

SUGUIO, K. *Introdução a Sedimentologia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1973. 317 p.

SISTEMA DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA, *SysGran*. Versão 2.4, Copyright 90/95. Microsoft Corp. 1995.

TABAJARA, Luiz L. C. A., Interações Onda-Praia-Duna e Manejo das Dunas das Praias de Atlântida Sul e Mariópolis - RS. 2003. 216 p. Tese (Doutorado em Geociências), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre.

TAGLIANI, Carlos R.A., Proposta para o Manejo Integrado da Exploração de Areia no Município de Rio Grande - RS, dentro de um Enfoque Sistêmico. 1997.157p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Departamento de Geologia, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

TAGLIANI, Carlos R.A. A Mineração na Porção Média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Estratégia para a Gestão sob um Enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado. 2002. Tese (Doutorado em Geociências), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre.

TOLDO Jr., Elírio E. Sedimentação, Predição do Padrão de Ondas, e Dinâmica Sedimentar da Antepraia e Zona de Surfe do Sistema Lagunar, da Lagoa dos Patos, RS. 1994. 178 p. Tese (Doutorado em Geociências), Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre.

TOLDO Jr., E. E., ALMEIDA, L. E. S., CORRÊA, I. C. S., Forecasting Shoreline Changes os Lagoa dos Patos Lagoon, Brazil. *Journal of Coastal Research*, Itajaí, SC, SI (35), p. 43-50, Spring, 2003.

TOMAZELLI L. J., DILLENBURG S. R., O Uso do Registro Geológico e Geomorfológico na Avaliação da Erosão de Longo Prazo na Costa do Rio Grande do Sul. II Simpósio Nacional de Geomorfologia, Geosul. v.14, n.17, p. 47-53, 1998.

TOMAZELLI L.J., VILLWOCK, J.A., O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. Geologia do Rio grande do Sul. Porto Alegre, Edição CIGO/UFRGS, p. 375-398, 2000.

U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, *Low Cost Shore Protection, a Guide for Engineers and Contractors.*, 1981, 173 p.

U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, *Shore Protection Manual*, Volume I, Waterways Experiment Station, Vicksburg, 1984.

U.S. ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION, Use of Segmented Offshore Breakwaters for Beach Erosion Control. *Coastal Engineering Technical Note*. Vicksburg, Mississippi, 1984.

WRIGHT, L. D., SHORT, A. D., Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beachs: a synthesis. *Marine Geology*, v. 56, p. 93-118, 1984.

ZENCOVITCH, V.P. On the genesis of cusplate spits along lagoon shores. *Journal of Geology*, 67, p.267-277, 1959.

ANEXO A – MOSAICOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS

ANEXO B - LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS SEDIMENTOLÓGICAS NOS PERFIS BATIMÉTRICOS

ANEXO C - PERFIS BATIMÉTRICOS

