

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

**A Morfodinâmica Praial como Subsídio ao Gerenciamento Costeiro.  
O Caso da Praia de Fora – Parque Estadual de Itapuã, RS.**

**João Luiz Nicolodi**

**Orientador**

**Prof. Dr. Elírio E. Toldo Jr.**

**Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Norberto O. Horn Filho  
Prof. Dr. José Maria Landim Dominguez  
Prof. Dr. Luis Parente Maia**

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

**2002**

## II. Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	Objetivos	6
<b>1.2</b>	Terminologia Adotada	7
<b>1.3</b>	Características Físicas da Área de Estudo	10
<b>1.3.1</b>	Lagoa dos Patos	10
<b>1.3.2</b>	O Parque Estadual de Itapuã	13
<b>1.3.3</b>	Praia de Fora	16
<b>1.3.4</b>	Geologia e Geomorfologia	20
<b>1.3.5</b>	Clima	24
<b>1.4</b>	Metodologia	25
<b>1.4.1</b>	Perfis Praiais	26
<b>1.4.2</b>	O Perfil de Equilíbrio	27
<b>1.4.3</b>	Sedimentologia	28
<b>1.4.4</b>	Parâmetros de Onda e Corrente Longitudinal	30
<b>1.4.5</b>	Parâmetros Morfodinâmicos	31
<b>1.4.5.1</b>	Parâmetro Escalar da Zona de Surfe	31
<b>1.4.5.2</b>	Parâmetro Empírico Adimensional Omega	31
<b>1.4.5.3</b>	Parâmetro Omega Teórico	33
<b>1.4.5.4</b>	Declividade da Face de Praia	33
<b>1.4.5.5</b>	Parâmetro de Banco	34
<b>1.4.6</b>	Transporte Longitudinal da zona de surfe	35
<b>1.4.7</b>	Limite Externo e Interno	36
<b>1.4.8</b>	Transporte Perpendicular a praia	38
<b>1.4.9</b>	Taxas de variação da linha de praia	39
<b>2</b>	<b>Resultados</b>	<b>40</b>
<b>2.1</b>	Morfologia Praial	40
<b>2.2</b>	Declividade do Perfil Praial	44
<b>2.3</b>	Perfil de Equilíbrio	46
<b>2.4</b>	Sedimento Praial	48
<b>2.5</b>	Parâmetros Morfodinâmicos	50
<b>2.6</b>	Transporte Longitudinal de Sedimentos	53
<b>2.7</b>	Transporte Perpendicular de Sedimentos	55
<b>2.8</b>	Limite Externo e Profundidade de Fechamento	57
<b>2.9</b>	Taxas de variação da linha de praia	58
<b>3</b>	<b>Discussão dos Resultados</b>	<b>60</b>
<b>3.1</b>	Os Estágios Morfodinâmicos	60
<b>3.2</b>	Limites Interno e Externo da Praia de Fora	88

<b>3.3</b> .....	Perfil de Equilíbrio	91
<b>3.4</b> .....	Transporte Longitudinal	96
<b>3.5</b> .....	Transporte Perpendicular	100
<b>3.6</b> .....	Taxas de variação da linha de praia	104
<b>4</b> .....	<b>A Morfodinâmica da Praia de Fora e as Implicações</b>	
	para o seu Manejo	111
<b>4.1</b> .....	O Plano de Manejo	111
<b>4.2</b> .....	A Praia de Fora no contexto do Plano de Manejo	112
<b>4.3</b> .....	Sugestões e Subsídios	115
<b>4.3.1</b> .....	Riscos na utilização por banhistas	115
<b>4.3.2</b> .....	Manejo de Dunas	117
<b>4.3.3</b> .....	Mineração de Areia	120
<b>4.3.4</b> .....	Delimitação Submersa do Parque Estadual de Itapuã	121
<b>5</b> .....	<b>Conclusões</b>	123
<b>6</b> .....	<b>Bibliografia</b>	127

### III. Lista de Figuras

<b>Fig. 1</b>	Localização da área de estudo.....	5
<b>Fig. 2</b>	Zonação morfo-hidrodinâmica de uma praia arenosa oceânica.....	8
<b>Fig. 3</b>	Zonação morfológica do sistema lagunar da Lagoa dos Patos.....	9
<b>Fig. 4</b>	Batimetria da Lagoa dos Patos.....	11
<b>Fig. 5</b>	Perfil batimétrico da margem e piso lagunar próximo a Tapes.....	12
<b>Fig. 6</b>	Localização do Parque Delta do Jacuí e Parque de Itapuã.....	13
<b>Fig. 7</b>	Mosaico de fotografias aéreas da região do Parque de Itapuã.....	15
<b>Fig. 8</b>	Fotografia da Praia de Fora vista a partir da Ponta de Itapuã.....	16
<b>Fig. 9</b>	Segmento da Praia de Fora onde foram medidos os perfis.....	18
<b>Fig. 10</b>	Zona de surfe sob incidência de ondas com altura de até 0.7 m.....	19
<b>Fig. 11</b>	Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.....	20
<b>Fig. 12</b>	Geomorfologia da Planície Costeira do rio Grande do Sul.....	21
<b>Fig. 13</b>	Mapa geológico da área de estudo. ....	23
<b>Fig. 14</b>	Localização das amostras de sedimentos de fundo.....	29
<b>Fig. 15</b>	Sobreposição dos 12 perfis medidos no campo.....	41
<b>Fig. 16</b>	Largura da face praial em 12-2000, 05-2001 e 07-2001.....	42
<b>Fig. 17</b>	Perfil (13) da margem lagunar.....	43
<b>Fig. 18</b>	Perfil (14) da margem lagunar.....	43
<b>Fig. 19</b>	Variações da declividade e largura da face praial da Praia de Fora.....	45
<b>Fig. 20</b>	Comparação do perfil 13 e perfil de equilíbrio.....	47
<b>Fig. 21</b>	Comparação do perfil 14 e perfil de equilíbrio.....	47
<b>Fig. 22a</b>	Representação dos estágios dissipativo, BCL e BPR.....	62
<b>Fig. 22b</b>	Representação dos estágios BTR, TMB e reflectivo.....	63
<b>Fig. 23</b>	Representação dos perfis 1 a 4 medidos em campo.....	66
<b>Fig. 24</b>	Representação dos perfis 5 a 8 medidos em campo.....	67
<b>Fig. 25</b>	Representação dos perfis 9 a 12 medidos em campo.....	68
<b>Fig. 26</b>	Perfis medidos 1 e 5.....	69
<b>Fig. 27</b>	Perfil medido 12.....	69
<b>Fig. 28</b>	Perfil medido 4.....	71
<b>Fig. 29</b>	Perfil medido 9.....	71
<b>Fig. 30</b>	Erosão no degrau da face de praia (perfil 4).....	72
<b>Fig. 31</b>	Comparação dos perfis 5 e 6.....	74
<b>Fig. 32</b>	Exposição da face de praia incidência de ondas (perfil 5).....	75
<b>Fig. 33</b>	Relação de equilíbrio entre estágio da praia e $\bar{U}$ .....	78
<b>Fig. 34</b>	Estoques de sedimentos na zona de surfe sob a forma de bancos.....	80
<b>Fig. 35</b>	Baixo nível da laguna e banco longitudinal próximo a linha d'água.....	81
<b>Fig. 36</b>	Praia de Fora em um dia em que o pós – praia encontrava-se inundado. ....	82

<b>Fig. 37</b>	Perfil batimétrico da margem lagunar.....	84
<b>Fig. 38</b>	Fotografia oblíqua da Praia de Fora tirada em setembro de 2000.....	84
<b>Fig. 39</b>	Sobreposição dos perfis da margem lagunar 13 e 14.....	85
<b>Fig. 40</b>	Medição dos perfis 13 e 14 quando não havia incidência de ondas.....	86
<b>Fig. 41</b>	Modelo seqüencial de bancos múltiplos e a relação com $\ddot{U}$ .....	87
<b>Fig. 42</b>	Intensidade do transporte de sedimentos ao longo do perfil praiial.....	90
<b>Fig. 43</b>	Comparação dos perfis da margem lagunar e os perfis de equilíbrio.....	92
<b>Fig. 44</b>	Geometria da bacia deposicional da Lagoa dos Patos.....	93
<b>Fig. 45</b>	Distribuição do potencial de transporte sedimentar.....	103
<b>Fig. 46</b>	Mapa com as variações da linha de praia observadas entre 1978 e 2001..	106
<b>Fig. 47</b>	Fotografia aérea do Pontal das Desertas.....	107
<b>Fig. 48</b>	Fotografia aérea da região NW da Praia de Fora.....	109
<b>Fig. 49</b>	Foto do campo de dunas localizado no setor NW da Praia de Fora.....	110
<b>Fig. 50</b>	Plano geral de ordenamento do Parque Estadual de Itapuã.....	114
<b>Fig. 51</b>	Ação de correntes de retorno e paralelas a costa.....	116
<b>Fig. 52</b>	Campo de dunas da Praia de Fora visto de cima do morro da Grota.....	118
<b>Fig. 53</b>	Dunas frontais escarpadas na porção NW da Praia de Fora.....	119
<b>Fig. 54</b>	Delimitação submersa proposta para as adjacências da Praia de Fora.....	122

#### IV. Lista de Tabelas

<b>Tab. I</b>	Data, comprimento do perfil, profundidade do limite externo e largura da face de praia nos perfis medidos na Praia de Fora.....	40
<b>Tab. II</b>	Declividade da face de praia nos perfis medidos na Praia de Fora.....	44
<b>Tab. III</b>	Resultados da análise granulométrica realizada com as amostras da linha de praia coletadas durante a obtenção dos perfis transversais.....	48
<b>Tab. IV</b>	Resultados da análise granulométrica realizada com as amostras da profundidade de 1,10 m coletadas durante a obtenção dos perfis.....	48
<b>Tab. V</b>	Classificação das amostras utilizadas quanto ao tamanho médio das partículas e suas respectivas profundidades e localização.....	49
<b>Tab. VI</b>	Resumo dos dados de período da onda (T), altura de onda ( $H_b$ ), ângulo de incidência (Ad) e frequência de incidência de onda.....	51
<b>Tab. VIIa</b>	Valores de $\tilde{U}$ calculados a partir de $H_b$ e T referentes ao ano de 1988 e suas respectivas frequências de incidência na Praia de Fora.....	52
<b>Tab. VIIb</b>	Valores de $\tilde{U}$ calculados a partir de $H_b$ e T medidos no campo durante o período de monitoramento dos perfis.....	52
<b>Tab. VIII</b>	Resultados sobre o transporte longitudinal de sedimentos na zona de surfe e seu sentido preferencial no ano de 1988.....	53
<b>Tab. IX</b>	Velocidade da corrente longitudinal e seu sentido.....	54
<b>Tab. X</b>	Resultados do cálculo do transporte perpendicular de sedimentos na Praia de Fora com base na previsão de ondas para o ano de 1988.....	55
<b>Tab. XI</b>	Resultados do cálculo do transporte perpendicular de sedimentos com base nos parâmetros de onda medidos no campo.....	55
<b>Tab. XII</b>	Valores obtidos para os parâmetros Profundidade de Fechamento quanto ao limite litorâneo e ao limite externo para a Praia de Fora.....	57
<b>Tab. XIII</b>	Resultados obtidos através da comparação entre as linhas de praia de 1978 e 2001.....	59
<b>Tab. XIV</b>	Os seis estados morfodinâmicos propostos por Wright & Short.....	61
<b>Tab. XV</b>	Relações de equilíbrio entre estágio da praia e $\tilde{U}$ .....	63
<b>Tab. XVI</b>	Estágios morfodinâmicos indicados pelo parâmetro $\tilde{U}$ na Praia de Fora correspondente no ano de 1988.....	64
<b>Tab. XVII</b>	Relação dos valores de $\tilde{U}$ e o estágio morfodinâmico correspondente para os perfis medidos no campo.....	65
<b>Tab. XVIII</b>	Valores limites teóricos da declividade da face da praia para os estágios morfodinâmicos.....	73
<b>Tab. XIX</b>	Valores de declividade da face praial e do parâmetro $\dot{a}$ para os perfis medidos no campo.....	73
<b>Tab. XX</b>	Relação dos estágios morfodinâmicos para os perfis medidos	

	utilizando o parâmetro $\hat{U}$ teórico e a declividade praial.....	76
<b>Tab. XXI</b>	Comparação dos estágios morfodinâmicos previstos pelos parâmetros utilizados.....	77
<b>Tab. XXII</b>	Intervalos numéricos do parâmetro B e o número de bancos previstos..	82
<b>Tab. XXIII</b>	Valores referentes ao parâmetro B e o número de bancos estimado.....	83

## V RESUMO

O Parque Estadual de Itapuã é considerado a última área representativa dos ecossistemas originais da região metropolitana de Porto Alegre, sendo que nos últimos 11 anos somente foi permitida a entrada de pesquisadores em suas dependências. Após este longo período em que esteve fechado, o Parque voltará a receber turistas no início de 2002, sendo que os principais destinos serão as praias. Dentre as oito praias existentes na área, somente três serão abertas à visitação, sendo a Praia de Fora a maior delas e a única voltada para a Lagoa dos Patos.

Com objetivo de fornecer subsídios para o gerenciamento da Praia de Fora, efetuou-se a análise de uma série de parâmetros morfodinâmicos consagrados na literatura mundial, aprimorando o nível de conhecimento desta praia e suas relações com a Lagoa dos Patos.

Para tanto, utilizou-se os modelos de praias de Banco Único e de Bancos Múltiplos da chamada *Escola Australiana* com a aplicação dos seguintes parâmetros: Parâmetro Adimensional Omega ( $\tilde{\Omega}$ ), Omega Teórico ( $\tilde{\Omega}_{\text{teórico}}$ ), Parâmetro de Banco (B), Declividade da Face de Praia ( $\text{Tang}\beta$ ) e Parâmetro Dimensionador de Surfe (*surf scaling parameter*).

Outros modelos utilizados foram o Perfil de Equilíbrio de DEAN (1973), o modelo de Transporte Longitudinal dos sedimentos da zona de surfe, (SPM, 1984), o Limite Externo e Limite Interno (Profundidade de Fechamento) e o modelo de Sentido Preferencial de Transporte Perpendicular (SUNAMURA & TAKEDA, 1984). Além destes, optou-se por realizar uma análise temporal da variação da linha de praia da Praia de Fora no período entre 1978 e 2001.

Os resultados obtidos indicam um ambiente com uma grande variação energética anual, sendo que a largura da face praial apresentou variações de até 16 m e a declividade de 2,8° a 11,3°. A análise dos parâmetros morfodinâmicos indicou uma praia com grande alternância de estágios morfodinâmicos, que reflete a presença de uma zona de transporte de sedimentos muito intenso por ação de ondas até a profundidade de 0,90 m, uma zona de transporte significativo entre 0,90 e 5 m e uma zona de transporte incipiente para as profundidades maiores que 6 m.

O transporte no sentido longitudinal, apresenta uma bidirecionalidade com uma pequena resultante para SE e em sentido transversal apresenta uma maior incidência de transporte da zona de surfe para a antepraia, caracterizando setores erosivos na Praia de Fora.

Estes setores erosivos foram detectados em 58% da extensão da Praia de Fora com uma taxa média de 3,75 m por ano. Já em 14% da extensão da praia foi observado acreção e em 28% da praia não houve variação significativa da posição da linha de praia. As taxas médias de deposição chegaram a 1,75 m por ano.

A sistematização de todos os resultados permitiu a elaboração de subsídios para o gerenciamento da Praia de Fora. São eles: análise dos riscos para a segurança de banhistas na praia, manejo de dunas, restrições a exploração de areia de fundo nas adjacências da Praia de Fora e delimitação submersa do Parque de Itapuã junto à cota batimétrica dos -6m. Esta delimitação aumentaria em aproximadamente 10.920 hectares ou 196 %, a área atual de preservação do Parque de Itapuã.

## VI ABSTRACT

The State Park Itapuã complains the last representative original ecosystems of Porto Alegre metropolitan area. It was closed during the last 11 years, and the entrance was only allowed for researchers. After this long period, the Park will return to receive tourists, estimate in the beginning of 2002. The main focus will be the beaches. There are eight beaches in the area. However, only three of them will be able to visitors. The only one beach, which is face to the Lagoa dos Patos lagoon is the Praia de Fora that is also the largest of them.

With the objective of supplying subsidies to the management of the Praia de Fora beach, morphodynamics parameters data and models consecrated in the world literature were analyzed, contributing to increase the level of knowledge of this beach and its relationships with the Lagoa dos Patos lagoon.

For this, models of Only Bar and Multiple Bars beaches from the Australian School were used the following parameters: Omega Parameter, Theoretical Omega, Bar Parameter (B), Beach Slope (Tang  $\beta$ ) and Surf Scaling Parameter.

Other used models were: the Equilibrium Beach Profile of DEAN (1973), the model of Longitudinal Transport of the surf zone, (SPM, 1984), the External Limit and Limit Internal (Depth of Closure) and the model of Perpendicular Transport (SUNAMURA & TAKEDA, 1984). Besides these, we opted for an accomplishing of a temporary analysis of the beach line variation in the period between 1978 and 2001.

The obtained results indicate an environment with a high annual energy variation, and the foreshore width has presented variations rates until 16 m. The slope has varied from 2,8° to 11,3°. The analysis of the morphodynamics parameters has indicated a beach with high alternation of 6 morphodynamics beach states referred. These morphodynamics beach states reflects: a very intense transport of sediments zone between the depths of 0 to 0,90 m; a significant transport zone between 0,90 and 5 m; and a incipient transport zone for the larger depths than 6 m.

The longshore transport presents a bi-directional behavior with a small resultant for SE and the cross-shore transport presents a large dynamic action on the surf zone to the shoreface, characterizing erosives sections along the Praia de Fora beach.

These erosive sections were detected in 58% of the extension of the Praia de Fora beach, presenting medium erosion rates up to 3,75 m a year. Already in only 14% of the beach extension the accumulation of sediments was observed. In 28% of the beach was not observed a significant variation of the beach line position. The medium deposition rates were around 1,75 m a year.

The systematic results have permitted the planning subsidies to the Praia de Fora beach management, which is based on analysis of the risks for the swimmers' safety in the beach; management of dunes; restrictions the sand exploitation in the Praia de Fora beach; and submerged delimitation of the State Park Itapuã, close to 6m bathymetric line. This edge would increase the State Park Itapuã in approximately 10.920 hectares or 196% of the total area.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização das águas pela humanidade ao longo da história é indiscutível e sua proximidade sempre foi imprescindível ao desenvolvimento de qualquer civilização. Já a relação das praias com as civilizações nem sempre foi marcada pelo respeito que hoje se torna vital para o homem.

Segundo CHRISTOFFOLI (2000), o registro mais antigo da presença da praia nas sociedades ocidentais está ligado ao Império Romano, na atual cidade de Nápoles na Itália. Do século XVII até o século XIX o fato de banhar-se em grandes corpos d'água misturava duas variantes: a espontaneidade dos habitantes costeiros e os avanços da medicina da época, que pregava os lazeres ligados às águas com funções terapêuticas.

A relação da sociedade com as praias no Brasil tem um triste histórico. CHRISTOFFOLI (*Op. Cit.*) considera que durante o período colonial o país se manteve longe dos banhos. ARAUJO (1988), descreve as condições de higiene e distribuição de água neste momento da nossa história e faz referência ao primeiro registro da destinação dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Recife: o lixo estava proibido de ser jogado nas vias públicas e deveria ser jogado nas praias, fato que explicita a “consideração” com estes ambientes.

No Rio de Janeiro de 1808 sempre que uma chuva mais forte caía sobre a cidade, a população aproveitava para descarregar seu lixo na rua, resultando em uma acumulação de resíduos nas praias.

CASCUDO (1947), relata que os moradores da cidade de Natal, RN, não tinham o hábito do banho de mar, sendo que o mesmo só começaria a ser difundido pela presença militar norte-americana na região durante a II Guerra Mundial, quando os soldados invariavelmente freqüentavam as praias da cidade (umas das quais batizaram com o nome de Miami Beach) em suas horas de lazer.

Nos dias atuais o panorama é outro e embora estejamos longe de um ideal em termos de consciência, nossa relação com as praias melhorou significativamente e tende a se tornar mais respeitosa, seja motivada por razões pessoais ou comerciais.

Uma praia pode ser definida de várias formas, mas sob qualquer conceituação, um fato inegável é a sua crescente importância como ambiente de lazer ou ainda como local de reconexão do ser humano urbano com o planeta do qual faz parte.

Uma conceituação de caráter geológico pode ser encontrada em HOFFEL (1998), que considera a praia como uma acumulação de sedimentos inconsolidados os quais se estendem entre a zona mais próxima de quebra de ondas com o limite de espraiamento de ondas de tempestades e de marés sobre o continente, sendo esta última de importância secundária e que se estendem até uma feição que altera a fisiografia, tais como falésias ou campo de dunas frontais.

Já para MUEHE (1995), as praias são depósitos de sedimentos, normalmente arenosos, acumulados pela ação de ondas e que apresentam grande mobilidade constituindo-se em importantes regiões utilizadas para o lazer.

Diferenças encontradas em conceitos são comuns quando se tratam de profissionais de diferentes áreas do conhecimento, mas para qualquer um deles é indiscutível a importância econômica das praias no contexto da indústria do turismo mundial, com rendas que atingem o patamar dos trilhões de dólares. Países como os Estados Unidos tem até 10% do seu PIB incrementado com as atividades turísticas além de arrecadar bilhões de dólares anuais na forma de impostos diretos.

As praias, por serem o principal destino turístico, podem ser consideradas como um elemento chave para o planejamento turístico de uma região. Países como o Canadá, Japão, Alemanha, Espanha, entre outros, investem elevadas cifras em proteção, recuperação e monitoramento de suas praias.

No Brasil, os investimentos na zona costeira, mais especificamente em ambientes praias tem aumentado nos últimos anos. Analisando os relatórios do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID 1998), constata-se uma mudança de ótica do mesmo em relação aos investimentos na América Latina. Depois de financiar vários projetos na década de 1980 que priorizavam o desenvolvimento do turismo sem cuidados ambientais (leia-se predatório), principalmente no Caribe, o banco passou a investir em projetos que priorizem a conservação dos recursos naturais. O montante de investimentos em manejo de recursos costeiros do BID no Brasil foi de 279.390.000 dólares entre 1993 e 1999. O mesmo banco considera o Brasil (também o Equador, Barbados, e Costa Rica) como na segunda etapa de desenvolvimento de projetos, pois possui uma certa base de pesquisas, formação de profissionais na área e já é empreendedor de alguns planos de manejo. Países como Chile, Argentina e Uruguai são considerados em estágio embrionário de desenvolvimento tecnológico e científico voltados para o manejo costeiro.

A importância das praias nos ecossistemas litorâneos começa a ser bem definida no Brasil, onde pesquisadores de diferentes formações tem discutido propostas de criação de áreas de proteção ambiental costeiras, como BORNSCHEIN *et al.* (1997) que alertam para a necessidade de criação de uma Área de Proteção Ambiental (APA) no Pontal do Paraná. Os autores consideram que a perpetuação da região é fundamental para a manutenção das aves características deste ecossistema e sugere limitar o número de estradas de acesso a pessoas e veículos para a praia.

CARVALHO (2000), defende a implementação do Parque Municipal da Lagoa Verde, no município de Rio Grande ressaltando a importância deste sistema composto pela Lagoa Verde, dunas e pela vegetação de mata de restinga, um abrigo de fauna e flora e de rara beleza cênica.

Na verdade, das 4500 áreas protegidas no mundo somente 850 incluem componentes marinhos e costeiros, (PRATES *et al.*, 2000), fato este contrastante à importância destes ecossistemas no contexto ambiental, social ou econômico do planeta.

Atividades como, pesca, coleta de organismos e, em menor escala, o fundeio interferem no equilíbrio do ecossistema, quando feitos de forma descontrolada, sendo proibidas pela legislação que regulamenta Parques Nacionais e Reservas Biológicas no Brasil, (STRENZEL-REUSS, 1997).

No Rio Grande do Sul são poucas as áreas destinadas a conservação de sistemas costeiros e seus respectivos ecossistemas associados. Destacam-se o Parque Nacional da Lagoa do Peixe, o Parque de Guarita em Torres e o Banhado do Taim como áreas banhadas pelo Oceano Atlântico e o Parque Estadual de Itapuã como área banhada pela Lagoa dos Patos e Lago Guaíba (Fig. 1).

O Parque de Itapuã possui oito praias, sete voltadas para o Lago Guaíba e a maior delas, a Praia de Fora, voltada para a Lagoa dos Patos. O Parque já possui um plano de manejo que determina as normas para o gerenciamento destas praias, sendo que estas normas devem sempre atender para a conservação da vida no local e para a educação da comunidade quanto as ténues relações entre a sociedade e a natureza.

Cientes da complexidade existente entre todos os elementos que compõem o ecossistema do Parque de Itapuã, consideramos fundamental aprofundar os estudos sobre o comportamento morfodinâmico e hidrodinâmico das praias do Parque com o objetivo de fornecer subsídios para o gerenciamento destes ambientes na unidade de conservação.

Além da questão do gerenciamento, o estudo morfodinâmico de praias torna-se fundamental para o desenvolvimento de futuros estudos ecológicos neste tipo de ambiente. BORZONE (2000), ressalta que o enquadramento ecológico de uma praia só foi possível após a evolução dos estudos referentes aos estados morfodinâmicos das praias elaborados por pesquisadores australianos.

O conhecimento da dinâmica sedimentar de uma praia torna-se um requisito básico para o estudo de parâmetros ecológicos (diversidade, número de espécies, abundância total, etc), fundamentais para o conhecimento completo dos ecossistemas associados ao Parque Estadual de Itapuã.

Autores como GRAEFE *et al.* (1990), consideram que a relação entre o grau de utilização de um corpo d'água de um parque e os impactos causados no mesmo depende dos parâmetros ecológicos que são utilizados e das características morfodinâmicas deste corpo d'água.

Neste trabalho propomos discutir algumas questões referentes ao comportamento dinâmico e morfológico dos sedimentos da Praia de Fora possibilitando um maior conhecimento dos processos físicos atuantes nesta área. Com este conhecimento é possível analisar a relação da Praia de Fora com os objetivos do Parque Estadual de Itapuã, propondo sugestões quanto a gestão deste ambiente.

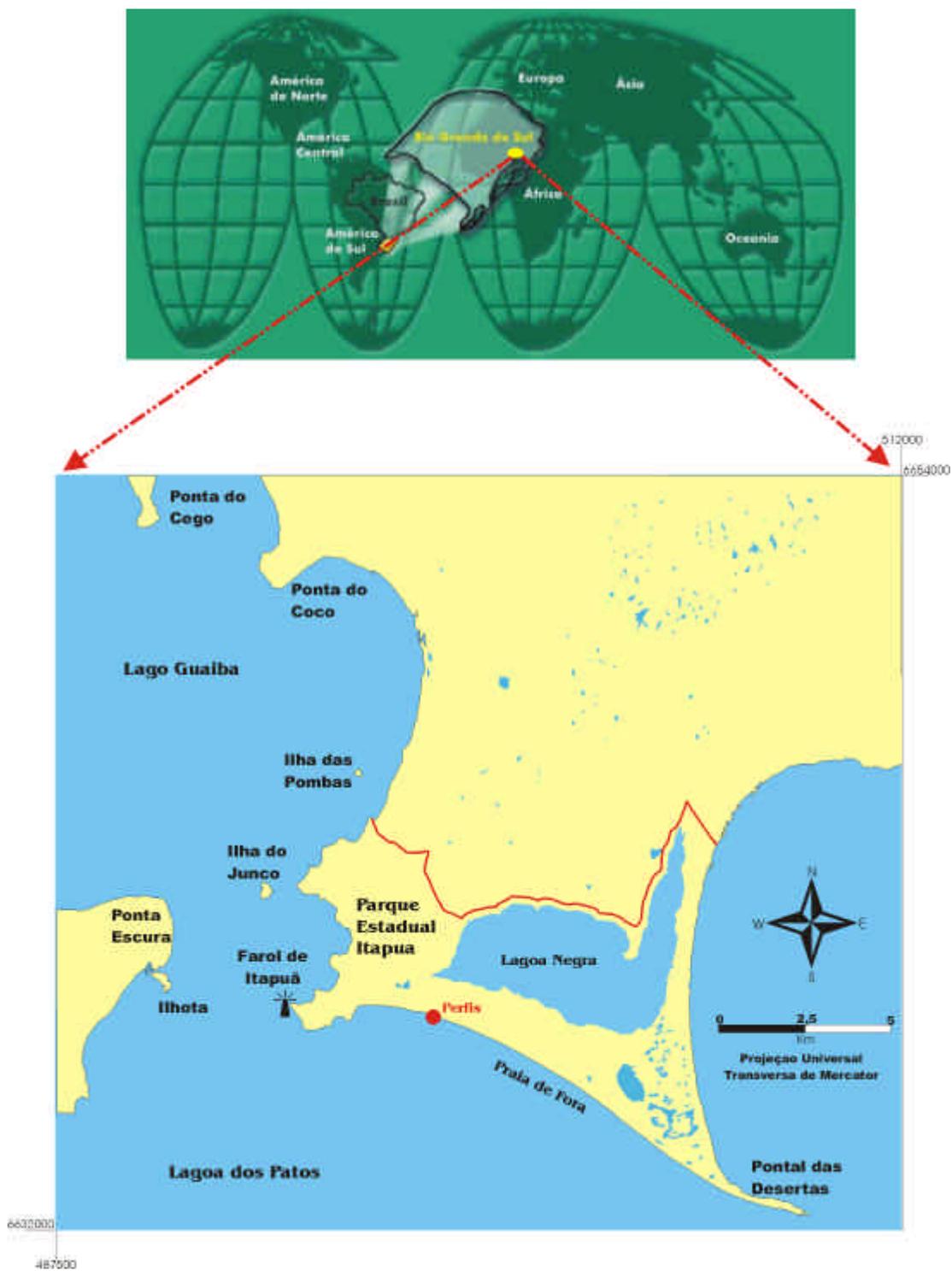


Figura 1: Localização da área de estudo. O ponto em vermelho indica o local onde foram realizadas as medições dos perfis praias.

## 1.1 OBJETIVOS

Os objetivos gerais deste trabalho compreendem o estudo da dinâmica sedimentar e morfologia da Praia de Fora, Parque Estadual de Itapuã, RS visando fornecer subsídios para o gerenciamento desta unidade de conservação.

Objetivos Específicos:

- A. Definir os estágios morfodinâmicos da Praia de Fora utilizando os modelos de praias de Banco Único e de Bancos Múltiplos da chamada *Escola Australiana* com a aplicação dos seguintes parâmetros: Parâmetro Adimensional Omega ( $\hat{U}$ ), Omega Teórico ( $\hat{U}_{\text{teórico}}$ ), Parâmetro de Banco (B), Declividade da Face de Praia ( $\text{Tang } \beta$ ) e Parâmetro Dimensionador de Surfe (*surf scaling parameter*). Discutir a validade destes parâmetros quando aplicados a praias lagunares com incidência de ondas de pequena altura e curto período.
- B. Aplicar e discutir o conceito de Perfil de Equilíbrio de DEAN (1973), na Praia de Fora com objetivo de estabelecer as deficiências ou sobretaxas de sedimentos no perfil.
- C. Aplicar o modelo de Transporte Longitudinal dos sedimentos da zona de surfe seguindo a metodologia proposta pelo SHORE PROTECTION MANUAL (1984), baseado na série de dados referentes à previsão do padrão de ondas na Lagoa dos Patos descrito em TOLDO (1994).
- D. Calcular os parâmetros Limite Externo e Profundidade de Fechamento (limite interno) referentes à Praia de Fora através da utilização das equações propostas por HALLERMEIER (1981) e BIRKEMEYER (1985).
- E. Verificar o sentido preferencial de transporte perpendicular a Praia de Fora através do modelo proposta por SUNAMURA & TAKEDA (1984).
- F. Realizar uma análise temporal da variação da linha de praia da Praia de Fora no período entre 1978 e 2001, comparando dados da Divisão de Levantamentos do Exército (D.L.) e dados obtidos em campo com GPS.
- G. Fornecer subsídios para o gerenciamento do Parque de Itapuã com base na relação entre dinâmica do ambiente praial em questão e a condição da Praia de Fora como local de lazer, de acordo com as necessidades e condições do Parque.

## 1.2 TERMINOLOGIA ADOTADA

A nomenclatura associada ao ambiente praias e seus limites não possuem um padrão a ser utilizado em estudos sobre o assunto. HOEFEL (1998), apresenta uma discussão sobre este tema, tanto nos estudos referentes a zonação morfológica realizados no país como no exterior.

TESSLER & MAHIQUES (2000), analisam esta questão da terminologia utilizada e concluem que existem problemas oriundos das diferentes classificações da língua inglesa e que foram incorporados aos já conhecidos problemas etimológicos originados das adaptações para a língua portuguesa.

Para este trabalho a terminologia será adaptada dos estudos realizados por ÂNGULO (1994), HOEFEL (1998), KLEIN (1996) e FERREIRA (1999) conforme a figura 2.

Considerando os agentes promotores das mudanças espaço – temporais das praias, pode-se distinguir hidrodinamicamente em um ambiente praias as seguintes zonas:

- a) **Zona de Arrebentação** (*Breaker Zone*) – É a porção do perfil praias caracterizada pela ocorrência da quebra da onda, que representa o modo de dissipação energética da mesma sobre a praia. A altura da rebentação sempre será limitada pela profundidade, sendo que em praias com uma inclinação elevada a onda tende a quebrar sobre o degrau da praia e em praias mais planas a quebra ocorre quando a profundidade se iguala a altura da onda.
- b) **Zona de Surfe** (*Surf Zone*) - A caracterização da zona de surfe em uma praia depende diretamente do modo de dissipação energética das ondas incidentes, ou seja, do tipo de quebra. Os limites e a até mesmo a existência desta região do perfil praias estão intimamente ligados as condições energéticas e morfológicas. Em praias de baixa declividade, a zona de surfe é limitada externamente pela zona de arrebentação, a partir da qual ocorre o espriamento da onda, diminuindo exponencialmente a altura e a energia, até chegar ao seu limite interno, na linha de praia. Em praias com alta declividade, onde as ondas arrebentam sobre a face de praia, a zona de surfe não existe.
- c) **Zona de Espriamento** (*Swash Zone*) – Esta zona pode ser identificada como aquela região da praia delimitada entre a máxima e a mínima excursão das ondas sobre a face praias. Nesta zona as ondas atuam através de um movimento oscilatório, para cima (swash) e para baixo (backwash) sobre o perfil praias.

Como zonação morfológica HOEFEL (1998), propõe os seguintes sub-ambientes:

- **Pós-praia** (*Backshore*) – Zona que se estende do limite superior do varrido até o início das dunas ou outra mudança fisiográfica significativa. Geralmente ocorrem feições de mesoescala, como os bermas, que são terraços localizados acima do limite dos fluxos e refluxos de maré alta, formados principalmente por fenômenos meteorológicos que aumentam a energia do ambiente, causando a erosão em determinadas regiões do perfil praial.
- **Face Praial** (*Foreshore*) – Região do perfil onde ocorrem os processos de espriamento. Geralmente tem como limite superior o berma e como limite inferior à quebra de perfil denominada degrau da praia.
- **Praia Média** – Porção do perfil onde ocorrem os processos da zona de surfe e da zona de rebentação. Pode conter feições de mesoescala como bancos longitudinais, transversais e terraços de maré baixa.
- **Antepraia** (*Shoreface*) – Região do perfil onde ocorrem os processos de empolamento das ondas, estende-se em direção offshore a partir da zona de rebentação até o limite máximo da ação das ondas sobre o fundo.

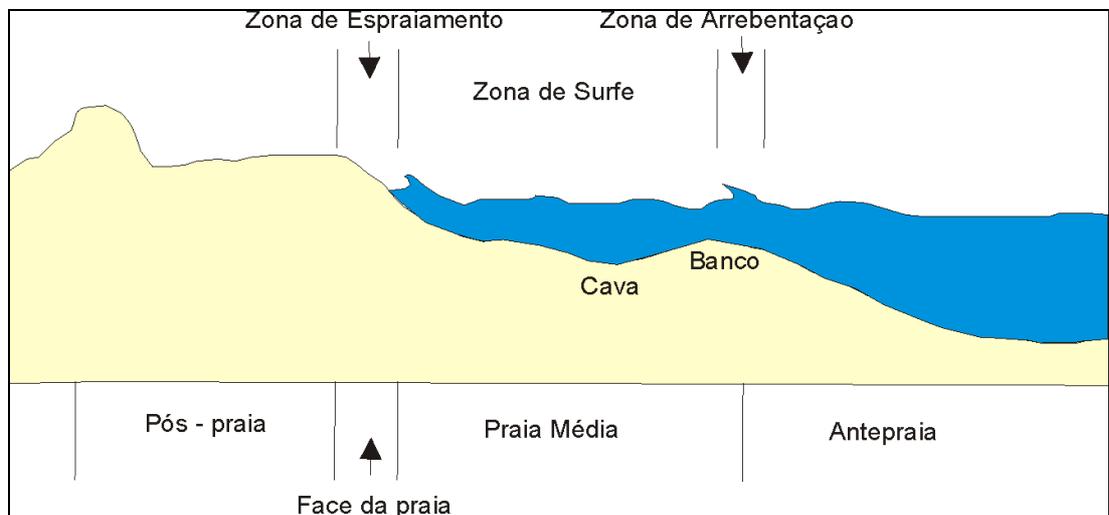


Figura 2: Zonação hidrodinâmica e morfológica tipicamente observada em uma praia arenosa oceânica. Extraído de HOEFEL (1998).

No caso deste estudo a compartimentação morfológica apresenta algumas variações em função da Praia de Fora não ser uma praia oceânica e sim uma praia lagunar. Estas variações resultam principalmente da indefinição da zona de arrebentação e podem ser observadas na

figura 3.

A zona de surfe e a antepraia compreendem porções da margem superior, separadas pela linha de rebentação. O termo margem inferior é empregado para definir a região entre a antepraia e o piso lagunar, e o termo praia corresponde a extensão entre o pós-praia e o início da zona de surfe (Fig. 3). Já o termo pós-praia corresponde a região entre a linha de praia e a planície arenosa (TOLDO, 1994).

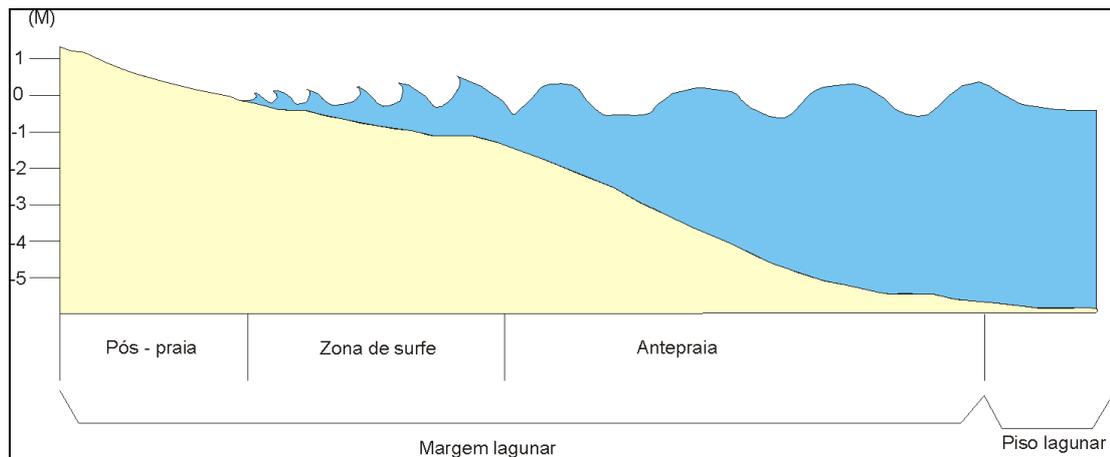


Figura 3: Zonação proposta para a compartimentação morfológica do sistema lagunar da Lagoa dos Patos. Extraído de TOLDO (1994).

A questão da toponímia utilizada em estudos referentes ao corpo lagunar da Lagoa dos Patos é envolta em uma polêmica quanto à denominação deste corpo d'água. A discussão concentra-se na utilização do termo **Lagoa dos Patos**, tradicionalmente utilizada em grande parte da cartografia existente e de amplo domínio popular ou na utilização do termo **Laguna dos Patos**, que indica a classificação morfológica recorrente a este corpo d'água.

Neste trabalho optamos por relevar as tradições da grande maioria das comunidades que vivem neste ambiente e utilizar a expressão Lagoa dos Patos como o nome dado à laguna em questão.

### **1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO.**

#### **1.3.1 Lagoa dos Patos**

A Lagoa dos Patos (Fig. 4), é um copo d'água costeiro extenso com 9.800 km<sup>2</sup>, extremamente raso (-6 m) e pouco influenciado pela maré astronômica. Este sistema lagunar se desenvolve de forma paralela a linha de costa, e encontra-se abrigado da intensa atividade das ondas do oceano Atlântico por um sistema de barreiras arenosas. Entretanto este ambiente relativamente protegido é de fato relacionado ao ambiente marinho, e influenciado no setor sul pelas águas oceânicas, que ingressam ciclicamente através do Canal de Rio Grande, que comunica a laguna ao oceano e onde a vazão média é da ordem de 4.800 m<sup>3</sup>/s.

Dois promontórios de rocha granítica do Cinturão Don Feliciano, mantém fixo o canal de comunicação entre o Lago Guaíba e a Lagoa dos Patos. O Pontal da Formiga (108m) fixa a margem oeste do canal, enquanto que o Pontal de Itapuã (242m) fixa a margem leste. A menor distância entre os dois promontórios é de 7,3 km e a profundidade máxima registrada no canal é de 64 m.

A laguna atua como uma bacia de compensação, pois representa, no contexto da costa sul – brasileira, uma zona de convergência da rede de drenagem da Bacia do Sudeste do Rio Grande do Sul e de nordeste da República do Uruguai, tendo como principal tributário o Lago Guaíba.

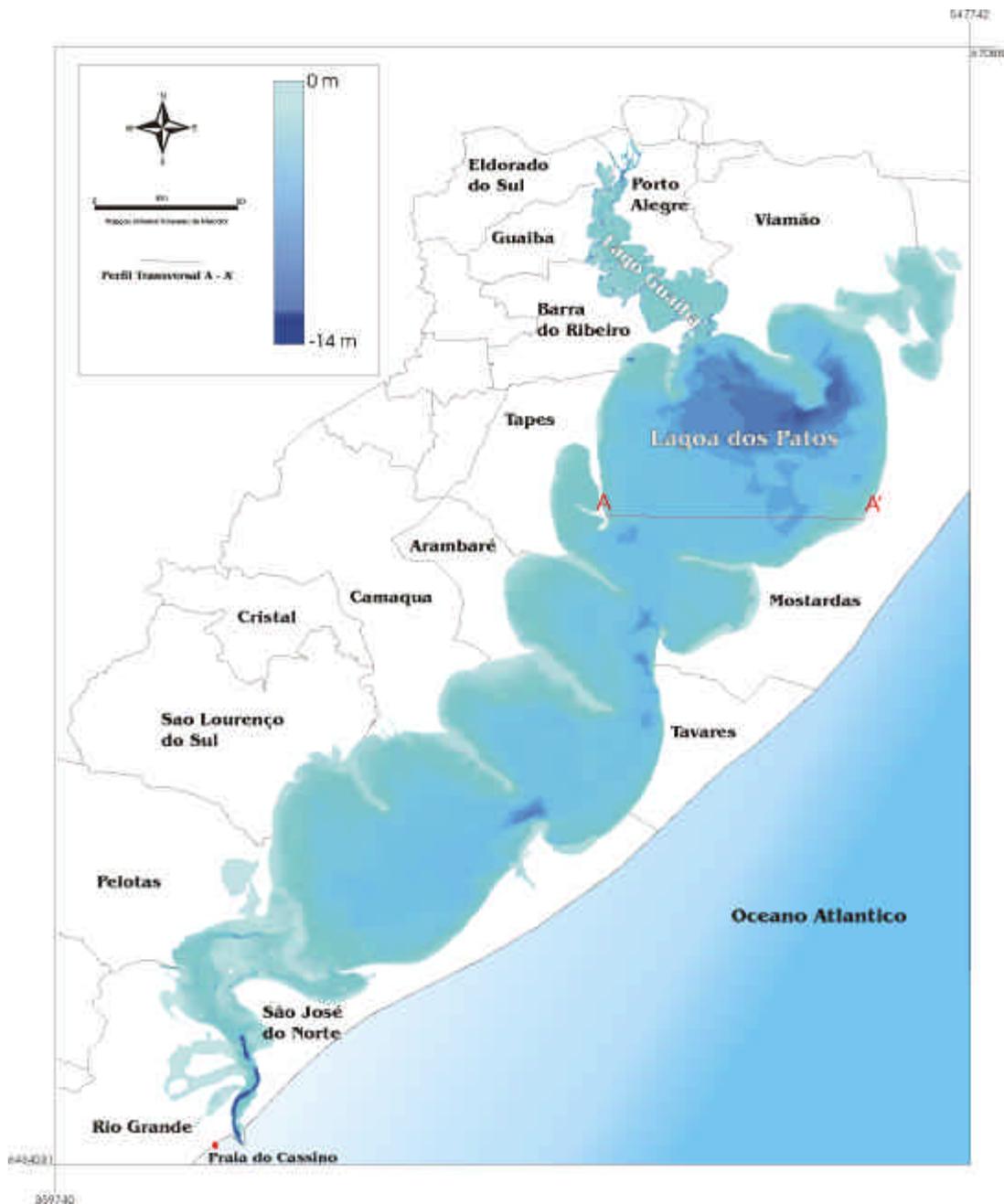


Figura 4: Batimetria da Lagoa dos Patos elaborada pelo autor. Percebe-se que grande parte do corpo lagunar tem profundidade inferior aos 6 metros. As maiores profundidades estão relacionadas ao canal de ligação da laguna com o mar e no canal de navegação do Lago Guaíba. A linha em vermelho representa um perfil transversal oeste – leste sobre a margem e o piso lagunar extraído de TOLDO (1994).

A grande extensão superficial do sistema lagunar, com larguras que variam entre 10 e 60 km, comparada a sua pequena profundidade gera uma seção transversal semelhante à de um prato. Esta forma, definida por elementos batimétricos e sedimentológicos, permite sua divisão em duas grandes regiões morfológicas: a margem e o piso lagunar (figura 5).

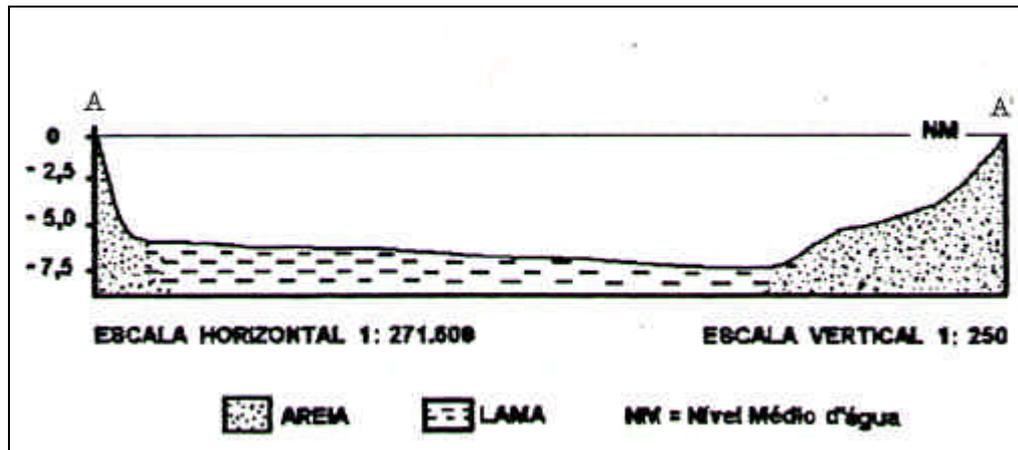


Figura 5: Perfil batimétrico oeste – leste sobre a margem e o piso lagunar (A – A') localizado na altura de Tapes, conforme a Fig.4. Extraído de TOLDO (1994).

O piso lagunar apresenta características lamosas e tem área de 60% do total do sistema. Desenvolve-se além da isóbata dos –5 metros, enquanto que as margens arenosas situam-se entre o contorno lagunar e a isóbata de –5 metros. Esporões arenosos ocorrem fixados as margens e projetam-se para o interior do corpo lagunar. Tanto as margens quanto o piso lagunar são vulneráveis a ação das ondas, as quais podem alcançar alturas significativas de 1,6 metros. (TOLDO, 1994).

Devido aos ventos de nordeste serem predominantes no verão e primavera a direção dominante das ondas no lado oeste da laguna é de NE para ENE com média anual de altura significativa de onda de 0.6 metros e períodos de 2.9 segundos. No outono e inverno prevalecem os ventos de WNW e WSW que ocasionam na margem leste uma altura de onda significativa máxima de 1.6 metros e período de 4.8 segundos. (TOLDO, 2000).

Nas margens lagunares ocorrem típicos esporões arenosos cuspidados, com altura média de 1 metro em relação ao nível d'água, e que se projetam para o interior da laguna.

### 1.3.2 O Parque Estadual de Itapuã

O Parque estadual de Itapuã localiza-se na Bacia Hidrográfica do Guaíba, região que concentra 28 unidades de conservação e que abrigam uma grande diversidade de ecossistemas. Junto ao Lago Guaíba existem dois parques: na porção norte foi criado o Parque Estadual Delta do Jacuí, (confluência dos rios Jacuí, Sinos, Gravataí e Caí) formando um arquipélago com 30 ilhas que contem uma rica paisagem natural. Mais ao Sul, no limite com a Lagoa dos Patos, está localizado o Parque de Itapuã, composto por um mosaico de ecossistemas com campos, restingas, ilhas, praias e morros que abrigam muitos exemplares da fauna e flora nativos do Rio Grande do Sul, alguns deles em risco de extinção como a lontra, o jacaré de papo amarelo e o bugio ruivo. A figura 6 ilustra a localização de ambos parques junto ao Lago Guaíba.

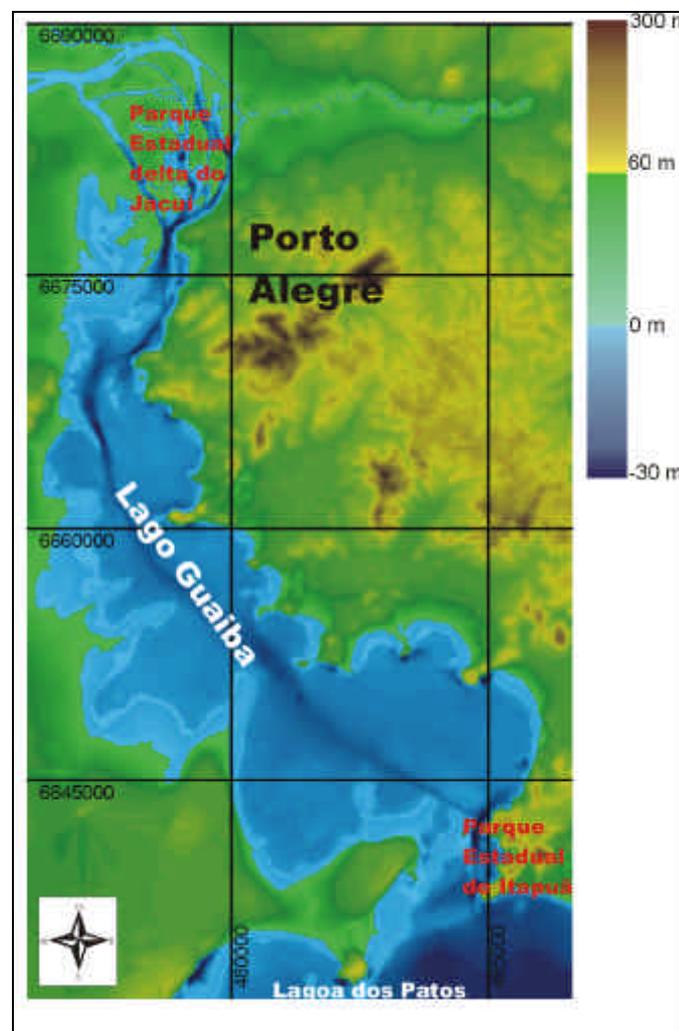


Figura 6: Mapa com a localização do Parque Delta do Jacuí e o Parque de Itapuã. Modificado de IRGANG, NICOLODI *et al.* (1997).

O Parque de Itapuã é o que apresenta a maior diversidade de ecossistemas dentre os parques gaúchos. Toda esta variedade é possível graças ao relevo da região, composto por morros graníticos, sendo o morro da Grota (265m) o mais alto da região e por praias e restingas, com destaque para o Pontal das Desertas e a Praia de Fora, objeto de estudo deste trabalho. (PLANO DE MANEJO, 1997).

A proximidade com o maior centro urbano do estado e os seus limites geográficos, com aproximadamente 75% de sua superfície limitada por água, bem como a grande procura para área de lazer, dão ao Parque uma conotação de fragilidade em termos de proteção dos seus recursos naturais. Estrategicamente posicionado onde termina o Lago Guaíba, o parque sintetiza as marcas de uma bacia permeada por contrastes naturais (NORONHA, 1998).

Localizado no município de Viamão entre as coordenadas 50° 50` e 51° 05` W e 30° 20` e 30° 27` S, o parque de Itapuã foi criado em 1973 por decreto estadual e possuía área de 1.535 ha, sendo que foi ampliado em 1976, 1991 e 1996, totalizando hoje 5.560,5 ha. As terras compreendidas pelos limites do parque originaram-se de uma sesmaria pertencente ao padre português Jose dos Reis que estabeleceu a fazenda em 1733, sendo fragmentada por sucessivas vendas de lotes até 1973, ano da criação do parque.

A partir de 1970 acelera-se o processo de valorização turística da área, intensificando-se as atividades predatórias. A imprensa local passou a dar ênfase a notícias referentes à exploração do granito, aos ataques a fauna e a flora, a retirada ilegal de areia das praias e ao surgimento de um loteamento clandestino na Praia de Fora (FUJIMOTO, 1994).

Em março de 1991 o parque foi fechado a visitação pública devido a degradação generalizada dos ecossistemas, através do uso intensivo, turismo, queimadas e pastagem, sendo que a partir deste mesmo ano somente foram permitidas atividades de manutenção e pesquisa no interior do parque.

Uma das ferramentas mais eficazes para garantir a preservação de áreas destinadas à proteção ambiental é o Plano de Manejo, o qual consiste na utilização de conceitos e técnicas mundialmente testadas como forma de organizar a dinâmica do ambiente em questão.

No caso do Parque de Itapuã este plano foi elaborado em 1997 por uma equipe da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do governo do Estado, sendo que o mesmo tem como função orientar as atividades a serem desenvolvidas no Parque, determinando o zoneamento da sua área e propondo o seu desenvolvimento físico de acordo com suas necessidades. (PLANO DE MANEJO, 1997).

A figura 7 é um mosaico de fotografias aéreas de pequeno formato no qual se pode ter uma visão geral do Parque Estadual de Itapuã e suas praias.



Figura 7. Mosaico de fotografias aéreas da região do Parque Estadual de Itapuã. Levantamento realizado em 2001.

### 1.3.3 Praia de Fora

Neste trabalho as questões analisadas são referentes à Praia de Fora, mais particularmente a região adjacente ao marco onde foram medidos os perfis transversais (coordenadas 498387, 6638210 UTM).

A Praia de Fora constitui-se de uma longa faixa de areia que se estende por aproximadamente 17 km até a extremidade SE do Pontal das Desertas. A fotografia apresentada na figura 8 ilustra o sistema praial e a curvatura da praia com sentido geral NW-SE. A seta indica o local onde foram realizadas as medições dos parâmetros sedimentológicos, morfológicos e hidrodinâmicos.



Figura 8: Fotografia da Praia de Fora vista a partir da Ponta de Itapuã (Fig. 7). A seta vermelha indica o local aproximado das medições dos perfis utilizados neste trabalho. Algumas características deste setor, como os bancos transversais e cúspides praias, podem ser observadas.

A importância deste ambiente no contexto preservacionista do Parque de Itapuã contrasta com a depredação sofrida pelo mesmo ao longo dos anos. BERTE *et al* (1991) consideram que as “transformações resultantes da ocupação do Parque ao longo do tempo interferiram sobremaneira naquela paisagem caracterizada por diferentes ambientes”. Os autores citam ainda como principais impactos causados na Praia de Fora; a ativação de dunas fixas como consequência do desmatamento, a retirada ou aplainamento das dunas frontais que constitui-se na proteção natural aos períodos de cheia da Lagoa e a ocupação desordenada através de loteamentos irregulares e sua consequente produção de lixo e poluição do lençol freático.

A gênese desta praia está associada ao crescimento do Pontal das Desertas, considerado um esporão arenoso submerso. TOLDO (1994) conceitua um esporão como uma formação normalmente arenosa, que representa uma continuação da linha costeira, na direção preferencial do transporte de sedimentos, ou seja, representa o produto da progradação dos depósitos de areia para o interior do corpo lagunar.

Segundo CALLIARI (1985) os fatores mais importantes da gênese e evolução destas feições são a direção do vento, amplitude de maré e a forma inicial da bacia sendo que na Lagoa dos Patos sua evolução é favorecida pela morfologia e pela inexistência de marés astronômicas significativas.

TOLDO (1994) considera também que o sistema lagunar da Lagoa dos Patos é submetido a processos de deriva litorânea bidirecional e, por consequência, os esporões são orientados pelo sentido preferencial do transporte sedimentar. O esporão das Desertas projeta-se simetricamente para o interior da laguna, pois existe um equilíbrio na distribuição direcional do potencial de transporte sedimentar paralelo à praia.

O mesmo autor define as praias da Lagoa dos Patos como dominadas por ondas de energia moderada, considerando somente a carga horária anual com previsão de ondas maiores que 0.10m, valor mínimo para que a onda tenha energia para remobilizar significativamente os sedimentos na zona de surfe. Durante os períodos em que as ondas não atingem a altura mínima, a margem lagunar da Lagoa dos Patos pode ser considerada como dominada por ondas de baixa energia.

Os resultados obtidos pelo modelo de previsão de ondas indicam que as tensões de ventos mínimas necessárias à geração de ondas sobre este setor da Laguna dos Patos (velocidades de 2 m/s) não excedem a 924 horas, ou pouco mais de 38 dias em 12 meses. Embora a carga horária de ventos em condições de geração de ondas apresente este percentual reduzido, verificam-se notáveis condições de mobilidade de sedimentos nesta porção da laguna.

As fotos das figuras 9 e 10 exemplificam a variação dinâmica das ondas na Praia de Fora. Ambas ilustram o local onde foram medidos os perfis em diferentes datas.



Figura 9: Segmento da Praia de Fora onde foram medidos os perfis. Fotografia obtida em 24-06-2000 mostra um extremo da condição hidrodinâmica com ausência de ondulações



Figura 10: Fotografia obtida em dezembro de 2001, a zona de surfe apresenta-se sob condições de ondas com altura de até 0.7 m.

RAUDKIVI (1990) considera a força das ondas em margens lagunares muito inferior a de uma praia oceânica aberta com energia moderada, a qual alcança no ponto de rebentação aproximadamente 4,3 kw/m. LANFREDI *et al* (1992) em estudos sobre a distribuição anual da energia de ondas ao longo da costa da Província de Buenos Aires obteve valores que variaram de 2.3kw/m e 7.5 kw/m. Já para a Lagoa dos Patos este valor fica em torno dos 0.8 kw/m, caracterizando bem esta diferença (TOLDO 1994).

A maré astronômica pode ter importância fundamental na hidrodinâmica de grandes massas d'água. Para o litoral do Rio Grande do Sul, MOTTA (1969) afirma que as marés astronômicas são muito fracas e irregulares, com amplitude média de 0.47m recebendo sensível influencia da ação dos ventos, sendo que este tipo de costa pode ser denominada como micro-maré.

Para a Lagoa dos Patos a ação da maré astronômica pode ser considerada insignificante visto que os escoamentos da laguna são dominantes na circulação do canal lagunar, quando comparados às forças das marés astronômicas (DILLENBURG & TOLDO, 1990). Outros fatores que reduzem a influencia da maré no sistema lagunar são, segundo TOLDO (1994), (a) o comprimento do sistema estuarino (65km), (b) a profundidade do canal de Rio Grande (<15m), e (c) a seção mínima deste canal (9.000m<sup>2</sup>), com relação à área da Lagoa dos Patos.

### 1.3.4 Geologia e Geomorfologia

Como conseqüência direta da estruturação geológica no Estado classifica-se geomorfologicamente o Rio Grande do Sul em quatro grandes unidades: O Planalto Meridional, a Depressão Central, o Escudo Sul-Riograndense e a Planície Costeira (Figura 11), embora existam alguns autores como CHEBATAROFF (1954), MULLER F° (1970) e SUERTEGARAY (1998) que admitem a existência de outra unidade na porção oeste do Estado, chamada de Cuesta de Haedo.

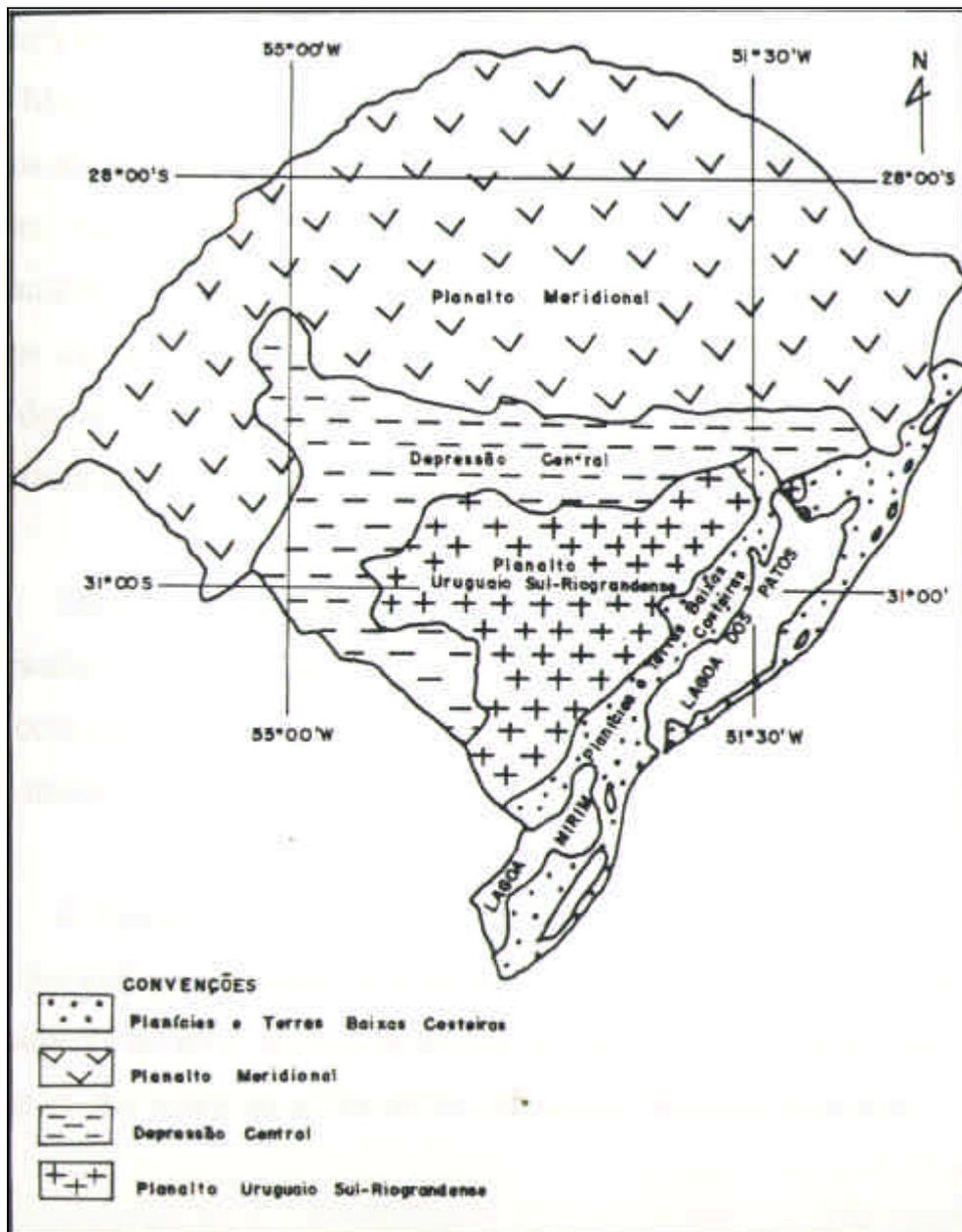


Figura 11: Figura de localização das unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul segundo Ab' SABER (1964). Extraído de FUJIMOTO (1994).

No Parque de Itapuã coexistem duas destas formações: O Escudo Sul-Riograndense e a Planície Costeira.

As rochas cristalinas que constituem o Escudo datam do Pré-Cambriano, como por exemplo, o granito Ponta Grossa e as rochas metamórficas pertencentes ao chamado Grupo Cambai, com mais de 500 milhões de anos. A maior parte destas rochas tem sido falhada e dobrada desde a sua formação, sendo que pertencem ao extremo sul do Escudo Brasileiro (MOURA, 1987). Estes afloramentos equivalem aos morros e coxilhas com altitudes entre os 50 e 300 metros. São rochas muito duras e rígidas, com afloramentos fendilhados e diáclases alinhadas preferencialmente segundo a direção geral nordeste – sudoeste (SILVA *et al.*, 1991).

Já a Planície Costeira mostra uma compartimentação geomorfológica constituída por: Planície aluvial interna, Barreira das Lombas, Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, Barreira Múltipla Complexa e o Sistema Lagunar Patos Mirim (figura 12).

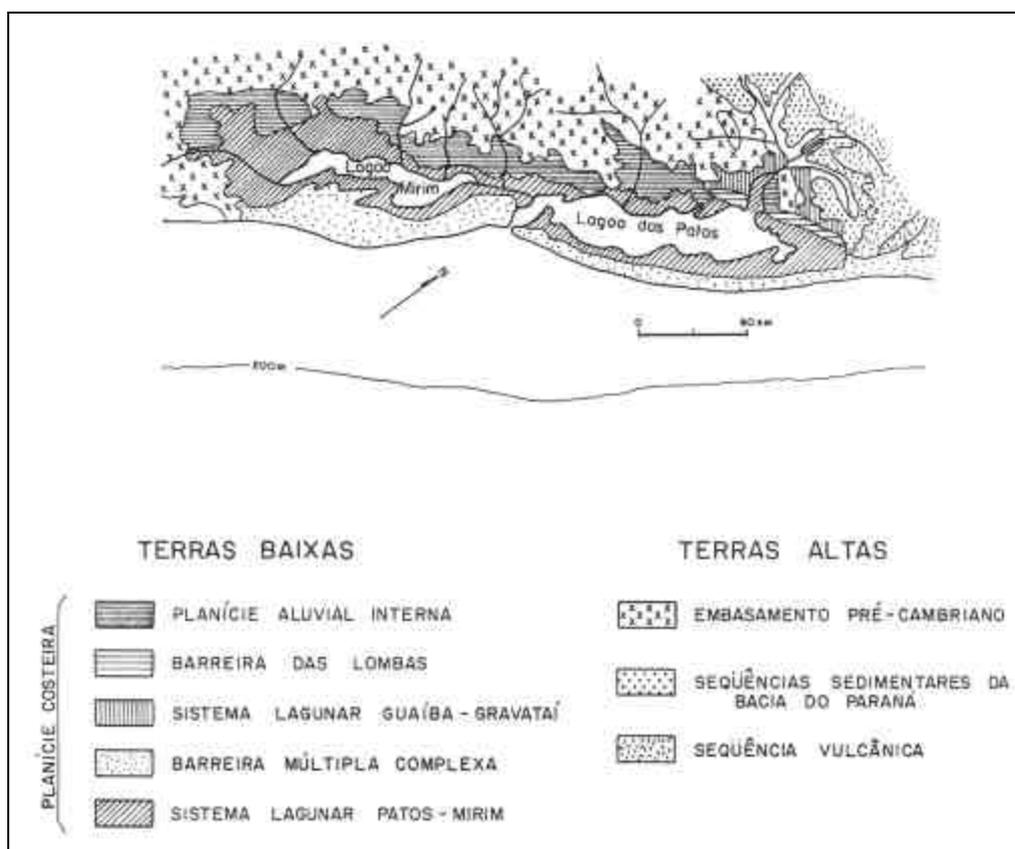


Figura 12: Compartimentação geomorfológica da Planície Costeira do rio Grande do Sul. Extraído de VILWOCK & TOMAZELLI (1995).

A Planície aluvial interna corresponde à porção entre as terras altas do Escudo e os grandes corpos de água do Sistema Lagunar Patos-Mirim. Apresenta depósitos de um sistema de leques aluviais acumulados a partir do Terciário e retrabalhados em ambientes marinho lagunar no decorrer do Quaternário (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995). Na área de Itapuã as litologias deste sistema tendem a ser de granulação mais fina e de composição essencialmente arcoseana, pois são resultantes de uma área fonte de relevo mais atenuado e de composição predominantemente granítica (MOURA, 1987).

A Barreira das Lombas corresponde uma faixa de 250 km de comprimento com direção NE-SW de Osório a Tapes. Esta formação representa restos de um antigo sistema de ilhas barreira (Sistema Laguna/Barreira I) que isolou do mar um sistema lagunar, o Sistema Guaíba-Gravatá, hoje ocupado pelas bacias hidrográficas do Lago Guaíba e do Rio Gravataí (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995). Litologicamente os sedimentos da Barreira I atualmente aflorantes no Parque de Itapuã correspondem a areias quartzosas avermelhadas, de granulação fina a média.

Uma descrição minuciosa do modelo evolutivo de sistemas deposicionais laguna/barreira para o estado do Rio Grande do Sul pode ser encontrado em VILLWOCK & TOMAZELLI (*Op. Cit.*).

A Barreira Múltipla – Complexa, corresponde a faixa de terra que se estende, ao norte, entre o Planalto das Araucárias e o Oceano Atlântico e que, ao sul, foi responsável pelo isolamento do Sistema Lagunar Patos – Mirim. Ela consiste de três sistemas do tipo laguna – ilhas/barreira (Sistemas Laguna/Barreira II, III e IV) associados aos últimos ciclos de variação do nível do mar.

O Sistema Lagunar Patos-Mirim foi instalado na primeira fase de formação da Barreira Múltipla Complexa e também evoluiu em função do nível do mar, proporcionando a abertura e o fechamento das áreas de comunicação com o oceano.

As fácies associadas aos sistemas Laguna/Barreira para a região do Parque de Itapuã podem ser visualizados na figura 13, extraída do mapeamento elaborado pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica da UFRGS em escala 1:100.000 e publicados no “Atlas Geológico da Província Costeira do Rio Grande do Sul” e publicado em 1984.

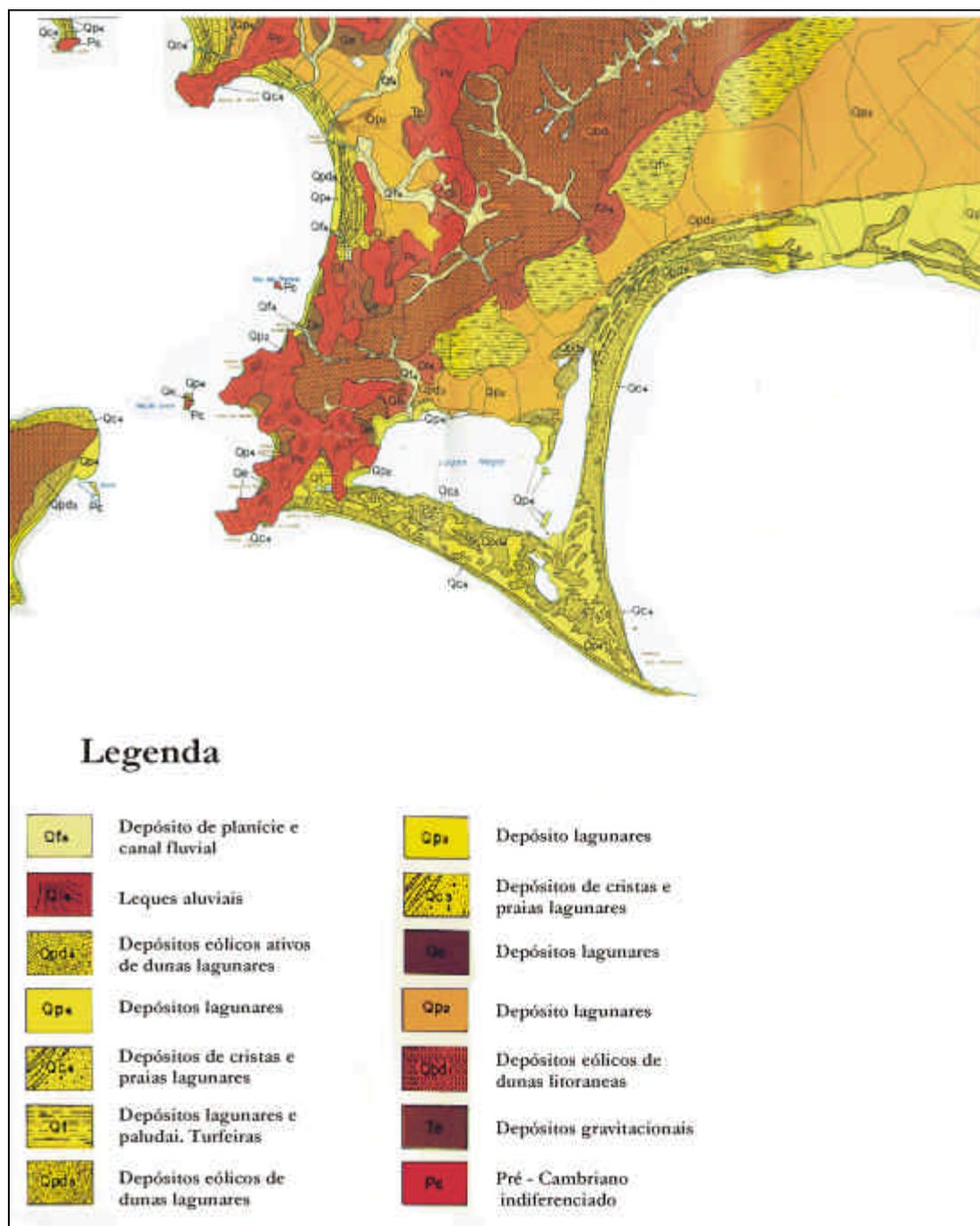


Figura 13. Mapa geológico da área de estudo. Extraído da folha *Itapuã e Desertas*, Atlas Geológico da Província Costeira do Rio Grande do Sul – CECO (1984)

### 1.3.5 Clima

Segundo o sistema internacional de classificação climática proposto por KOEPPEN (1948) a área de estudo localiza-se dentro da classe *Cfa* descrita como clima subtropical úmido, com média do mês mais quente superior a 22°C e média do mês mais frio entre os limites -3°C e 18°C.

O regime de ventos e massas de ar está vinculado as altas pressões tropicais e polares, representadas pelo Anticiclone Polar Migratório (APM) e pelo Anticiclone Tropical semifixo do Atlântico Sul (ATAS) (FONZAR, 1994).

A temperatura média anual oscila em torno dos 17°C e a precipitação média anual fica entre 1.100 e 1.300 mm, sendo as chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Os nevoeiros são freqüentes e a umidade atmosférica tende a ser elevada devido à presença constante das massas de ar marítimas.

No farol de Itapuã funcionou, de 1973 a 1980, uma estação meteorológica instalada pelo DEPREC, sendo que durante este período a precipitação média anual foi de 1.022 mm. A intensidade média do vento foi de 4.4m/s, com direções predominantes de leste e sul (GERM, 1975).

Segundo recentes pesquisas feitas por VAZ & MOLLER (2000), fenômenos de escala global afetam a Lagoa dos Patos de uma forma singular, pois em períodos de El Niño o nível médio da laguna esta maior do que o da área oceânica adjacente, favorecendo os escoamentos em direção ao mar formando uma frente estuarina de até 50 km. Já em eventos de La Niña o nível interno da laguna esta mais baixo do que o do oceano e há a tendência de um maior tempo de permanência de águas mais salinas na região estuarina, sendo que estes padrões ocasionam alterações nos padrões de circulação deste corpo lagunar.

## 1.4 METODOLOGIA

A obtenção de dados referentes a altura, período e ângulo de incidência de ondas e medição do perfil praial torna-se fundamental para o sucesso de avaliações que incluem o estudo morfodinâmico de ambientes praias. A determinação correta destes parâmetros exige a instalação de um ondógrafo direcional, o que geralmente é feito apenas em grandes projetos de engenharia costeira devido ao elevado custo deste tipo de equipamento.

Segundo MUEHE (1996), a avaliação destes tipos de parâmetros podem ser efetuadas de uma maneira visual, a qual fornece uma estimativa bastante razoável sobre o clima de ondas. Dados coletados desta forma substituem com vantagem logística e econômica os procedimentos de coleta de dados convencionais que utilizam equipamentos como ondógrafo, linígrafos, marégrafos, etc.

Neste trabalho foram utilizadas as informações referentes a uma série de informações sobre velocidade, direção, pista de vento, e frequência dos ventos em uma série temporal de 12 meses durante o ano de 1988. Estas informações foram tratadas por TOLDO (1994) em seu trabalho sobre a Lagoa dos Patos. O autor considera que a opção pelo intervalo de tempo de 12 meses para o estudo da dinâmica do sistema lagunar resulta da necessidade de abrangência da periodicidade sazonal atuante nessa região costeira.

### 1.4.1 Perfis Praiais

O perfil transversal de uma praia varia com o ganho ou perda de areia de acordo com a energia de ondas, em flutuações semi-anuais que devem-se a ciclos sazonais de inverno e verão e que associam as características morfológicas do perfil praial com as condições energéticas recorrentes em cada estação do ano (HOEFEL, 1998).

Neste trabalho optamos por realizar medições mensais do perfil praial. Foram 12 perfis distribuídos de Maio de 2000 a Maio de 2001, sempre observando o máximo de precisão, pois dependendo das condições hidrodinâmicas, os ambientes de baixa energia sofrem modificações morfológicas de pequena escala em questão de horas, e que podem alterar os resultados obtidos (FERREIRA, 1999).

A localização do perfil foi determinada em função do local onde TOLDO (1994) estabeleceu os cálculos de previsão de ondas de sua tese, com o objetivo de aproximar ao máximo os resultados empíricos e as medidas de campo. O perfil foi amarrado a um ponto de referência fixo e atribuído a cota zero o nível d'água do dia 27/05/2000, dia em que a tabua de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) em Rio Grande apontou um nível de água na laguna muito próxima da média da laguna que é de 0.22m.

Os perfis foram traçados segundo a metodologia descrita em GARCIA & PIEDADE (1978) e utilizada por FERREIRA (1999), onde as diferenças de nível entre os pontos do terreno eram medidas através de leituras em visadas horizontais com um nível topográfico e uma régua de alumínio.

Posteriormente os dados de campo foram processados no software EXCEL, onde foram calculados as cotas dos pontos visados e a distância horizontal entre estes pontos e o ponto de referência.

Além dos perfis transversais medidos seguindo a metodologia citada anteriormente, realizamos a medição de dois perfis que se estendem até a margem inferior da Lagoa dos Patos. Estes perfis foram medidos com a utilização de um ecobatímetro instalado em um barco e atingiram a profundidade de 6 m.

### 1.4.2 O Perfil de Equilíbrio

O conceito de Perfil de Equilíbrio foi desenvolvido a partir da regra de Bruun que considera que “com o aumento do nível das águas, o perfil de equilíbrio de uma praia e antepraia se movem para cima, em direção ao continente para a manutenção de sua posição relativa ao novo nível d’água” (BRUUN, 1962). Inserido neste contexto, o perfil de equilíbrio tenta relacionar a dinâmica da morfologia e dos sedimentos na busca de uma resposta de equilíbrio para estes fatores.

DEAN (1973 e 1991) estabeleceu a seguinte equação para o cálculo do Perfil de Equilíbrio:

$$d(y) = Ay^n \quad (1)$$

Onde  $d(y)$  é a profundidade da água a uma distância  $y$  da linha de praia,  $A$  é um parâmetro escalar, que depende das características do sedimento da face da praia em termos de diâmetro mediano granulométrico. Dean baseou suas proposições em seu trabalho realizado ao longo da costa Atlântica dos Estados Unidos, onde foram analisados 504 perfis sendo o valor de  $n$  que melhor se ajustou estatisticamente aos perfis foi 0.67 para intervalos de valores entre 0,0 e 0,3. Segundo DEAN (*Op. Cit*), sendo  $n$  constante, a variável  $A$  controlaria a forma do perfil e neste caso a forma do perfil praiial pode ser calculada a partir das características do sedimento (tamanho de partícula e velocidade de assentamento). Os perfis praiiais podem ser descritos pela seguinte equação:

$$d = Ay^{0.67} \quad (2)$$

O parâmetro escalar  $A$  foi estudo por vários autores em ensaios de campo que visavam estabelecer a relação entre este parâmetro e as características dos sedimentos. DEAN (1987), baseado nas conclusões de MOORE (1982) propôs a equação 3 para o cálculo de  $A$ :

$$A = 0.067 w^{0.44} \quad (3)$$

onde  $w$  é a velocidade de assentamento do grão medido em cm/s.

KRIEBEL *et al.* (1991), afirma que uma fração da dissipação da energia da onda por unidade de volume, mesmo na quebra da onda, tem de ser igual a dissipação de energia com o assentamento dos grãos de areia em suspensão precipitados pelo próprio peso do grão. Com base nestes preceitos o autor determinou a seguinte equação para o cálculo de  $A$ :

$$A = 2,25 (w^2 / g) \quad (4)$$

sendo  $w$  o valor da velocidade de queda do grão em cm/s e  $g$  é a aceleração da gravidade.

### 1.4.3 Sedimentologia

Durante o monitoramento dos perfis foram coletadas amostras de sedimentos na linha d'água e na profundidade aproximada de 1,10 m, sendo as mesmas analisadas posteriormente em laboratório, de acordo com a metodologia apresentada por MARTINS *et al.*, (1978), e descrita em forma de fluxograma por FERREIRA (1999).

Já a análise textural das amostras seguiu os parâmetros de FOLK & WARD (1957) através do software *PANCOM* (TOLDO & MEDEIROS, 1986), programa que permite o cálculo dos parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica da amostra.

Além da análise das amostras superficiais coletadas na linha d'água e na profundidade aproximada de 1,10 m, utilizamos também algumas amostras coletadas em levantamentos anteriores com o objetivo de caracterizar os ambientes submersos superficiais em profundidades superiores aquelas citadas anteriormente. Estas amostras foram coletadas em dois cruzeiros oceanográficos realizados pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira (CECO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em abril de 1979 e abril de 1986. A localização destas amostras pode ser observada na figura 14.



Figura 14. Localização das amostras de sedimentos de fundo obtidas em cruzeiros realizados pelo CECO nos anos de 1979 e 1986.

#### 1.4.4 Parâmetros de Onda e Corrente Longitudinal

Os parâmetros altura, período e ângulo de incidência de ondas além da velocidade e direção da corrente longitudinal, foram medidos nos mesmos dias em que foram monitorados os perfis praiais.

Para a determinação da altura da onda na arrebentação foi utilizada uma régua topográfica posicionada verticalmente onde foram medidas dez cristas e 10 cavas consecutivas, sendo a média destas medidas, o valor correspondente a altura da onda.

O período foi determinado a partir da passagem de 11 cristas por um ponto fixo na zona de rebentação. O tempo transcorrido neste processo foi dividido por 10, conforme metodologia descrita em MUEHE (1996).

O ângulo de incidência foi medido com a utilização de um transferidor de semicírculo. Alinha-se a base do transferidor paralelamente a praia e procura-se determinar o ângulo entre a direção de ondas e o eixo do transferidor, perpendicular a base.

Já a determinação da corrente longitudinal seguiu a metodologia descrita em FERREIRA (1999), que consiste em determinar o tempo de deslocamento de um corpo plástico entre dois pontos separados por uma distância conhecida na zona de rebentação.

Além da velocidade da corrente longitudinal medida em campo, realizamos o cálculo teórico desta velocidade segundo a equação 5 proposta por LONGUET-HIGGINS (1970),

$$V = 1,19 (g.H_b)^{0,5} \cdot \sin \theta_b \cdot \cos \theta_b \quad (5)$$

onde  $g$  equivale a aceleração da gravidade,  $H_b$  é a altura da onda na rebentação e  $\theta_b$  é o ângulo de incidência das ondas.

### 1.4.5 Parâmetros Morfodinâmicos

#### 1.4.5.1 Parâmetro Escalar da Zona de Surfe ( $\alpha$ ) (Surf Scaling Parameter):

Proposto por GUZA & INMAN (1975), este foi um dos primeiros modelos sequenciais de variação praial baseado na classificação quantitativa dos sistemas praias. A utilização deste parâmetro possibilitou relacionar diretamente os fenômenos da zona de surfe com a morfologia associada. (HOEFEL, 1998).

Esta relação entre a geometria da onda e o gradiente do fundo do corpo d'água com o tipo de rebentação pode ser estabelecida através da equação 6.

$$\alpha = a_b w^2 / g \tan^2 \beta \quad (6)$$

Onde  $a_b$  representa a amplitude da onda na rebentação ( $H_b/2$ ),  $w$  representa a frequência angular da onda incidente ( $2\pi/T$ ),  $g$  a aceleração da gravidade (9.81 m/s) e  $\tan^2 \beta$  equivale a declividade da face praial.

#### 1.4.5.2 Parâmetro Empírico Adimensional Omega ( $\hat{U}$ ):

A classificação de uma praia pela tipologia de estados ou estágios é considerado por MUEHE (1996), um indicador muito prático para descrever ambientes praias, visando compreender a resposta morfodinâmica aos eventos extremos e para a análise da suscetibilidade a impactos.

WRIGHT & SHORT (1984) relacionaram quantitativamente as variáveis envolvidas no condicionamento morfodinâmico de uma praia, associando cada tipo a intervalos numéricos distintos de  $\hat{U}$  através da equação 7, baseada nas proposições de DEAN (1973) e DALRYMPLE & THOMPSON (1977).

$$\hat{U} = H_b / w_s \cdot T \quad (7)$$

Onde  $H_b$  equivale a altura da onda na rebentação,  $w_s$  a velocidade de queda do grão do sedimento e  $T$  equivale ao período da onda.

Segundo HOEFEL (1998), a ampla aceitação e uso que se tem feito dos princípios introduzidos pela escola australiana de geomorfologia costeira justificam uma especial atenção aos trabalhos realizados por esta escola. Os primeiros testes deste parâmetro foram realizados em laboratório por Gourlary em 1968, Battjes em 1974, Balsillie em 1983 (SHORT, 1999).

WRIGHT & SHORT (1984), adaptaram a utilização de  $\tilde{U}$  para praias naturais baseados em um numero significativo de perfis praias medidos na costa sudeste da Austrália e identificaram quatro estágios morfodinâmicos intermediários de praias, além dos extremos reflectivo e intermediário.

Trabalhos como (SHORT, 1979; WRIGHT et al., 1985, SHORT, 1999) apontam para a validade da aplicação deste parâmetro em praias genericamente consideradas como ambientes de energia alta a moderada, dominadas por ondulações e eventualmente sujeitas à ação de tempestades, além de estarem submetidas a um regime de micro-mares.

No Rio Grande do Sul, TOZZI & CALLIARI (2000), aplicaram o modelo  $\tilde{U}$  em seu estudo sobre a morfodinâmica da Praia do Cassino e concluíram que  $\tilde{U}$  evidencia a oscilação entre eventos destrutivos e construtivos, caracterizando significativamente as situações hidrodinâmicas para o perfil sedimentar da praia.

### 1.4.5.3 Parâmetro Omega Teórico ( $\hat{U}_{\text{teórico}}$ ):

Segundo SUNAMURA (1984), a declividade da face da praia pode ser descrita como uma função do tamanho do grão e das características da onda incidente.

Observa-se que esta relação aproxima-se do parâmetro adimensional  $\hat{U}$  sendo que o mesmo foi relacionado com a declividade da face de praia por Kriebel em 1991 (KLEIN, 1997), que propôs a equação 8:

$$\text{Tang } \beta = 0.15 \hat{U}^{-1/2} \quad (8)$$

A partir das informações da declividade da zona de varrido das praias oceânicas do litoral centro-norte de Santa Catarina, KLEIN (1997) calculou os valores de  $\hat{U}_{\text{teórico}}$  e comparou-os com os valores obtidos a partir das características das ondas e do sedimento, sugerindo a seguinte equação:

$$\hat{U}_{\text{teórico}} = 0.0225 / \text{Tang } \beta^2 \quad (9)$$

O autor ressalta ainda que este método mostra-se aplicável em estudos de morfodinâmica costeira de regiões de micromaré, em casos da necessidade uma rápida avaliação empírica do estagio de uma praia.

### 1.4.5.4 Declividade da Face de Praia ( $\text{Tang } \beta$ ):

O valor da declividade da face de praia foi obtido diretamente sobre o perfil medido no campo com a utilização do software EXCEL, conforme a metodologia descrita em FERREIRA (1999):

#### 1.4.5.5 Parâmetro de Banco (B):

Segundo HOEFEL (1998), o comportamento de sistemas praias como um todo parece se encaixar na seqüência idealizada por WRIGHT & SHORT (1984). Porém, devido ao decaimento de  $H_b$  ao longo da zona de surfe provocado pela dissipação da energia de ondas incidentes nos bancos, os limites numéricos do parâmetro Omega utilizados para definir os estados morfodinâmicos permanecem em questionamento no que se refere a sua aplicação em sistemas de bancos múltiplos.

Na tentativa de determinar o número de bancos a ser formado em uma praia de micromaré, SHORT & AAGAARD (1993) introduziram o parâmetro de banco (B) dado pela equação 10:

$$B = X_s / \text{Tang} \beta \cdot g \cdot T^2 \quad (10)$$

Nesta equação o número de bancos aparece como função da geometria da praia e do período de onda incidente, sendo que  $X_s$  corresponde a distancia em metros da linha de costa até o ponto do perfil onde a declividade tende a zero.

#### 1.4.6 Transporte Longitudinal da zona de surfe:

Existem várias formulações e metodologias propostas nos últimos 50 anos para estimar a vazão sólida litorânea, entretanto, devido a complexidade do fenômeno hidro-sedimentológico na zona de arrebentação e espraiamento, é difícil expressar uma unanimidade sobre um método que seja universalmente o mais convincente (ALFREDINI 1997).

Proposto em 1984 pelo corpo de engenharia do Exército Norte Americano, o modelo para o cálculo do transporte longitudinal do CERC consiste de ajustes teóricos da expressão do método do fluxo de energia para os cálculos referentes ao transporte de sedimentos (SHORE PROTECTION MANUAL, 1984) e pode ser representado pela equação 11:

$$Q_H = 2.03 \times 10^6 \cdot f \cdot H_0^{5/2} \cdot F(\theta_0) \quad (11)$$

Onde  $Q_H$  representa a quantidade de material transportado, sob ação da onda  $H$  proveniente de uma direção  $\theta$ .  $f$  corresponde a frequência de atuação da onda  $H$ ,  $H_0$  é a altura da onda referida ao largo.,  $\theta_0$  significa direção da onda ao largo e  $F(\theta)$  representa a função que permite calcular a parcela de fluxo de energia paralelo a praia.

Defini-se a função  $F(\theta)$  conforme a equação 12:

$$F(\theta) = |(\cos \theta)^{1/4} \cdot \sin 2\theta| \quad (12)$$

Esta função é definida para valores pontuais de  $\theta_0$ , sendo que na prática precisamos obter valores que se refiram a intervalos de direção da onda. Neste caso integra-se a expressão entre dois valores extremos e faz-se a media resultando na expressão 13:

$$F(\theta) = 8/9 \cdot |(\cos \theta_2)^{9/4} - (\cos \theta_1)^{9/4}| \quad (13)$$

#### 1.4.7 Limite Externo e Interno:

De acordo com a teoria proposta por HALLERMEIER (1981) e modificada por BIRKEMEIER (1985) o perfil praiial pode ser limitado, em direção ao corpo d'água ou ao mar, por dois limites que encerram em si a zona de empinamento (*shoaling*) das ondas.

O limite interno define a região na qual são notados os efeitos da arrebentação das ondas sobre o transporte de sedimentos. Nessa região é observado o transporte longitudinal de sedimentos devido a ação das ondas bem como a maior parte do transporte transversal ao logo do perfil.

Já o limite externo é a profundidade onde a mobilização de sedimentos pela ação de ondas é incipiente. Segundo BIRKEMEIER (1985) o transporte de sedimentos existente após esta zona é negligenciável.

O conhecimento destes parâmetros permite uma avaliação rápida e relativamente segura da possibilidade de movimentação dos fundos arenosos sob a ação de ondas, indicador fundamental para a intervenção do homem neste tipo de ambiente.

Para o cálculo destes parâmetros, HALLERMEIER (1981) definiu com base nas características de fundos arenosos e em parâmetros estatísticos representativos do clima atual de ondas, o seguinte equacionamento:

Para o limite interno:

$$(2 \cdot d_1/L) \cdot \sinh^2(2 \cdot d_1/L) \cdot \tanh(2 \cdot d_1/L) = \frac{H_{s0.137}^2}{0.03 \tilde{n}'} \cdot (gT_s^2/2)^2 \quad (14)$$

Onde  $d_1$  = limite litorâneo;  $L$  = comprimento de onda relativo a profundidade  $d_1$ ;  $\tilde{n}' = \tilde{n}_s - \tilde{n}_{as} / \tilde{n}_{as}$  = densidade do material submerso;  $\tilde{n}_s$  = massa específica da areia;  $\tilde{n}_{as}$  = massa específica da água;  $g$  = aceleração da gravidade;  $T_s$  = media anual do período significativo;  $H_{s0.137} = H_s + 5,6\sigma$  = altura da onda significativa excedida somente 12 horas por ano (0.137%), sendo  $H_s$  a media anual das ondas significativas e  $\sigma$  o desvio padrão.

Como simplificação do cálculo, HALLERMEIER (1981a) propôs as expressões 15 e 16 para o cálculo do limite litorâneo:

$$d_1 = 2.28H_{s0.137} - 68.9 \cdot H_{s0.137}^2 / gT_s^2 \quad (15)$$

$$d_1 = 2 H_s + 110 \quad (16)$$

Já BIRKEMEIER (1985) propôs a seguinte expressão para avaliar a profundidade de fechamento interna, ajustada a partir da comparação entre diversos levantamentos de perfis de praia:

$$d_1 = 1,75.H_{s0.137} - 57,9 \cdot (H_{s0.137}^2 / g \cdot T_s^2) \quad (17)$$

Para o limite externo, também chamado de limite oceânico, a equação pode ser representada da seguinte maneira:

$$\text{Senh} (2 \cdot d_2/L) = | \sqrt{(H_s - 0,3 \delta)^2 / 8 \cdot \tilde{n} \cdot g \cdot D \cdot T_s^2} |^{0.5} \quad (18)$$

Onde  $d_2$  = limite externo e  $D$  = diâmetro médio do sedimento.

Esta equação foi simplificada por HALLERMEIER (1981a) como:

$$d_2 = H_s \cdot T_s (g / 5000 \cdot D)^{0.5} \quad (19)$$

#### 1.4.8 Transporte Perpendicular a praia:

Autores como FLEMING & NANJOKAT (1998) e TOLDO *et al.* (1999), entre outros, concordam que os modelos utilizados para a distinção dos estados morfodinâmicos de uma praia como os citados nas equações 6 e 7 descrevem basicamente situações estáticas e, conseqüentemente, não informam seguramente a direção e o alcance dinâmico efetivo do potencial de ajustamento morfodinâmico da praia.

Cientes deste fato, SUNAMURA & TAKEDA (1984) apresentaram dados quantitativos de campo que descrevem a resposta morfodinâmica dos bancos internos da zona de surfe para um amplo espectro de condições de onda incidentes em praias com diferentes tamanhos de grão. Os resultados mostram que para cada tamanho de grão existem transições lineares diretas entre a ausência de transporte e a migração dos bancos para a zona costeira (acresção), e a partir da zona costeira para o corpo d'água (erosão). Estas relações foram definidas pelos autores como:

$$H_{bmax} / g \cdot T^2 = k (D / H_{bmax}) \quad (20)$$

Onde  $g$  representa a aceleração da gravidade,  $k$  o coeficiente adimensional,  $D$  o tamanho do grão e  $H_{bmax}$  representa a altura máxima da onda na rebentação.

#### 1.4.9 Taxas de variação da linha de praia:

O monitoramento das variações da linha de praia da Praia de Fora durante o período entre 1978 e 2001 se constitui em um fator complementar para o entendimento da dinâmica desta praia. Os dados utilizados neste trabalho são:

- **1978** - a linha de praia foi reproduzida a partir da coleção de cartas da Divisão de Levantamentos (D.L.) do Exército em escala 1:25.000, as quais correspondem a restituição de fotografias aéreas efetuada em 1978.
- **2001** – foram realizadas medidas de posição contínuas ao longo de toda a linha de praia com a utilização de um GPS Trimble *GPS 4600* com precisão no modo de navegação de 1 m.

A análise temporal foi realizada com o software IDRISI 3.2. através de rotinas próprias deste programa que permitem avaliar as modificações do espaço em um determinado intervalo de tempo.

Este tipo de levantamento tem sido utilizado amplamente por pesquisadores da zona costeira, pois permite uma avaliação quantitativa e qualitativa das variações da linha de praia. Cabe salientar que a qualidade dos dados utilizados em tais análises se torna fundamental para a precisão dos resultados obtidos. No Rio Grande do Sul, TOLDO *et al.* (1999) e ESTEVES *et al.* (2001) aplicaram metodologia semelhante e obtiveram resultados considerados satisfatórios com relação às variações da linha de praia, sendo que em ambos os casos a fonte de informações da linha mais antiga foram as cartas da D.L. do Exército em escala 1:50.000, ao contrário do levantamento proposto neste trabalho onde os dados foram obtidos junto ao mapeamento realizado na escala 1:25.000, fato que equivale a um considerável ganho de precisão, quando da comparação entre os estudos referidos anteriormente.

A imprecisão do método é causada por três erros que se tornam acumulativos neste processo: o erro da restituição das fotografias, o erro da digitalização das informações e o erro de posicionamento do GPS. Com objetivo de reduzir esta imprecisão foram desprezadas todas as variações menores que 25 metros, valor que abrange a variação anual da largura da face de praia, estimada em aproximadamente 16 metros, conforme será apresentado no capítulo de resultados.

## 2. RESULTADOS

### 2.1 Morfologia Praial

O perfil transversal de uma praia varia com o acúmulo ou a perda de sedimentos determinado basicamente pela relação entre a energia das ondas incidentes e o tamanho de grão. Em locais onde o regime de ondas se diferencia sazonalmente de maneira significativa a praia desenvolve perfis típicos de acumulação e erosão. Esta adaptação do perfil às condições físicas do sistema (ondas, ventos e correntes) consiste em um importante papel desenvolvido pelas praias na proteção aos sistemas costeiros.

DEAN (1991), afirma que cada perfil é o produto de forças que tem atuado na sua forma, em todo o passado e presente e, portanto, uma gama de informações estão contidas nesta forma e textura de sedimento.

Na Praia de Fora os perfis foram medidos segundo a metodologia apresentada no capítulo 1.4. A tabela I apresenta as dimensões do perfil em cada medição, sendo que o comprimento é relativo a distância entre o ponto de referencia fixado no pós – praia e a profundidade máxima alcançada além da zona de surfe.

Tabela I: Data, comprimento do perfil, profundidade do limite externo e largura da face de praia nos perfis medidos na Praia de Fora.

Perfil	Data	Comprimento do perfil (m)	Profundidade (m)	Largura da face de praia (m)
1	27-05-2000	97,2	-1,38	9,86
2	24-06-2000	91,47	-1,71	4,49
3	05-08-2000	94,98	-1,49	9,70
4	17-09-2000	85,81	-1,28	3,98
5	15-10-2000	69,75	-0,91	5,30
6	22-10-2000	80,85	-1,53	3,94
7	19-11-2000	74,93	-1,21	1,83
8	09-12-2000	124,7	-1,64	1,95
9	21-01-2001	95,6	-1,46	2,80
10	24-02-2001	100,75	-1,59	5,3
11	07-04-2001	85,6	-1,40	4,0
12	09-05-2001	78,0	-1,02	18,0

Os perfis podem ser visualizados na figura 15 onde se encontram sobrepostos em uma mesma escala, permitindo a análise da mobilidade e variabilidade dos mesmos durante o período de monitoramento.

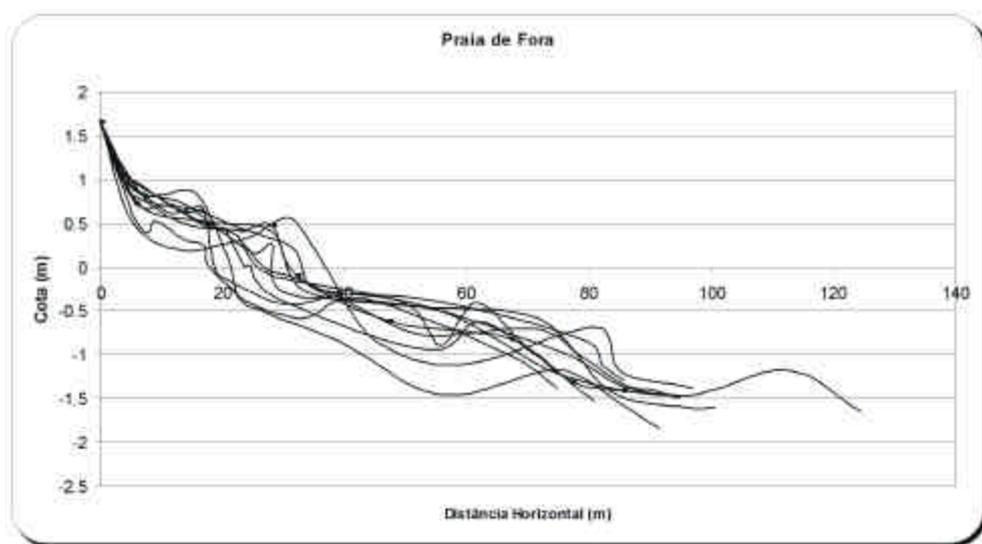


Figura 15: Sobreposição dos 12 perfis medidos no campo.

A face de praia mostrou-se variável, com largura mínima de 1,83 m e máxima de 18 m, apresentando variação de 16,17 m. Esta variação reflete a alternância de estados morfodinâmicos da Praia de Fora ao longo do ano, induzida pela variação do nível d'água da laguna nos diferentes dias de medição e com a energia das ondas incidentes.

Esta variação pode ser visualizada na figura 16, onde comparamos três fotografias obtidas no mesmo ponto, em diferentes ocasiões. Como ponto de referência (R) optamos por utilizar uma árvore parcialmente soterrada no pós – praia. A seta em vermelho na figura 16 indica a posição da linha d'água em cada momento. Percebe-se a variação na morfologia do perfil em sua parte emersa e também a alteração das formas das dunas frontais.

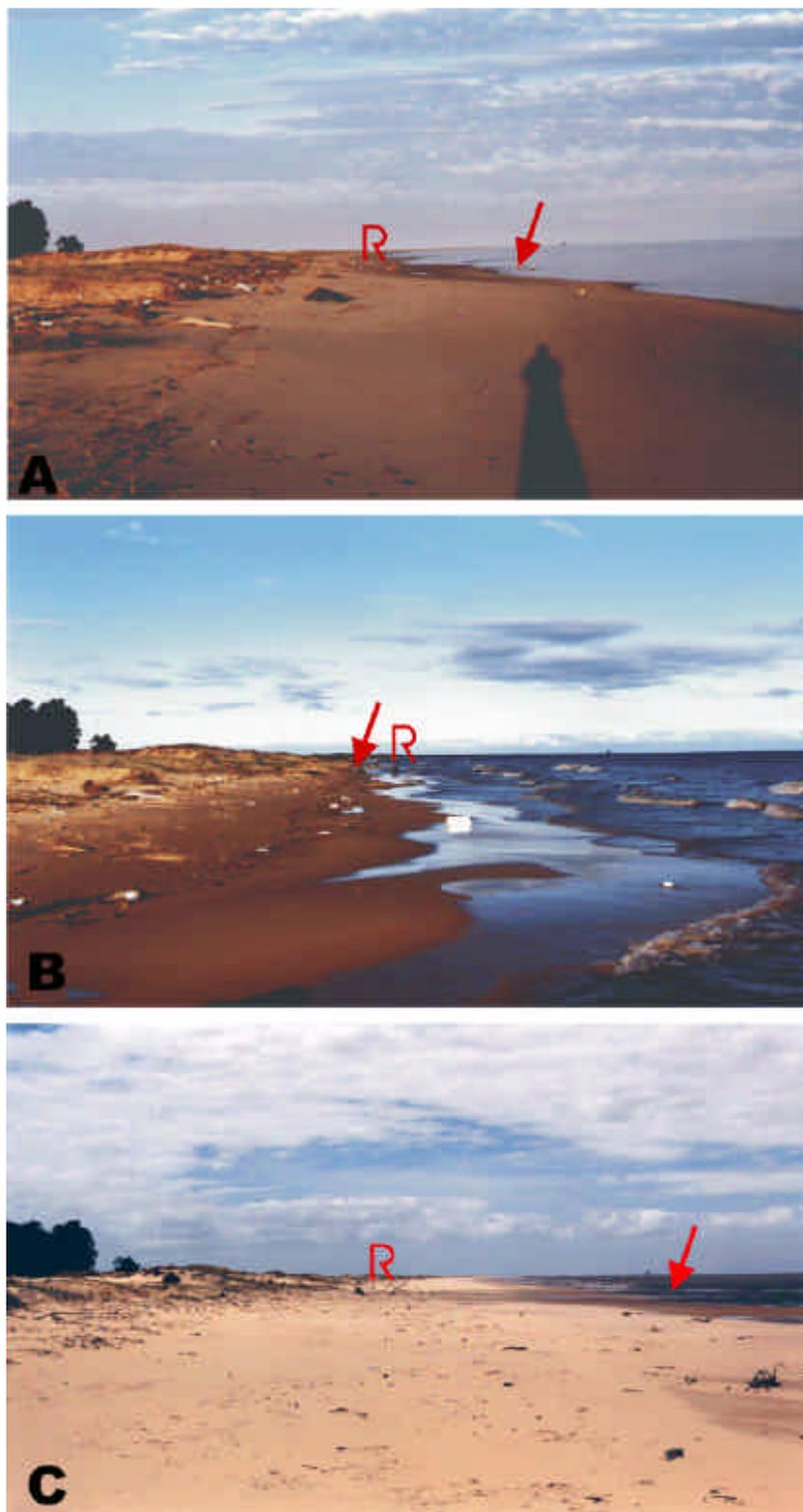


Figura 16. Comparação da largura da face praial em dezembro de 2000 (A), maio de 2001 (B) e julho de 2001 (C). A seta vermelha indica a posição da linha d'água e a letra *R* representa o ponto de referência.

Os perfis medidos com o auxílio de um nível foram eficientes para caracterizar a morfologia da praia desde sua porção emersa até a profundidade de 1,71 m. Para análise da morfologia de toda a margem lagunar correspondente a Praia de Fora, foram realizados os perfis 13 e 14 até a profundidade de 6 m em 16 de julho de 2001 (Fig. 17 e 18).

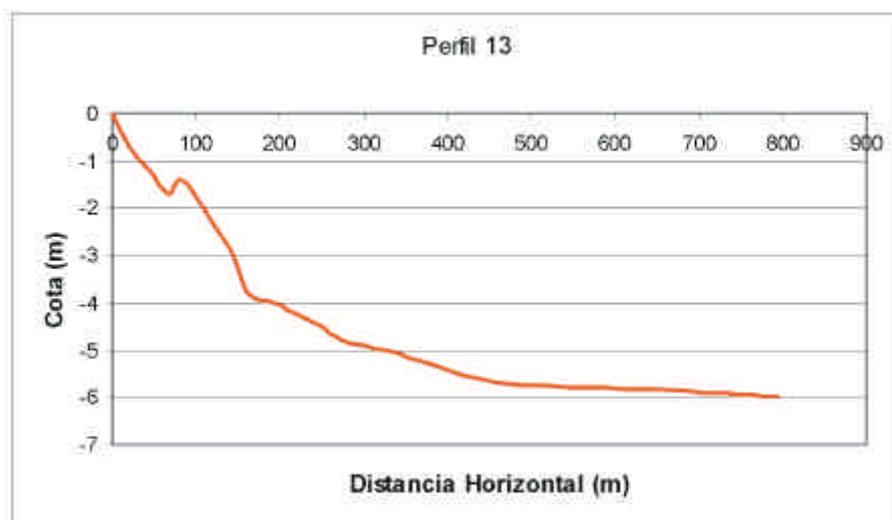


Figura 17. Perfil da margem lagunar medido a aproximadamente 700 metros do marco referencial. (Coordenadas 498053E e 6638277N UTM)

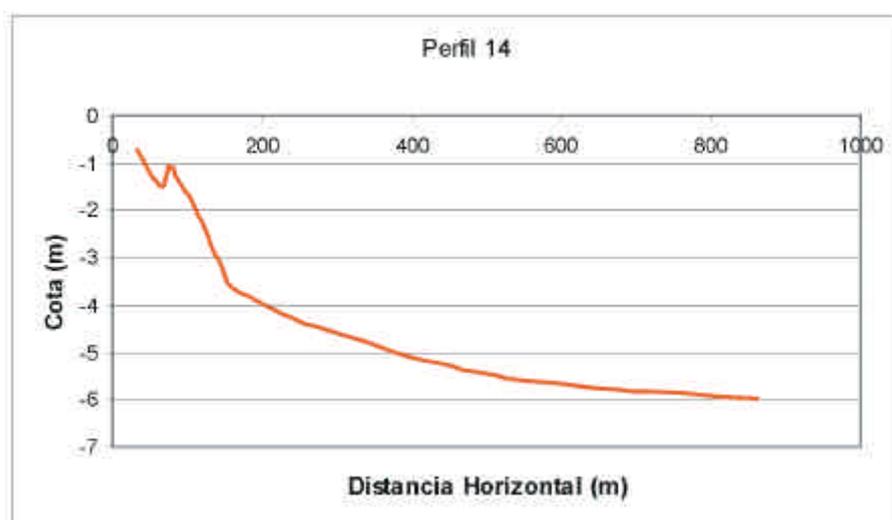


Figura 18. Perfil da margem lagunar medido em frente ao marco referencial. (Coordenadas 498280E e 6637330N UTM)

## 2.2. Declividade do Perfil Praial (Tanâ)

A declividade da face da praia é um fator determinante na resposta do perfil às condições em que o mesmo é submetido. BASCOM (1951), propôs que a declividade é uma função do tamanho do grão, ou seja, quanto maior for o tamanho do grão, maior será a declividade. Já WIEGEL (1964), descreve a declividade em função da exposição à ação das ondas, em uma relação inversa. O autor considera que para um mesmo tamanho de grão pode-se encontrar diferentes valores de declividade.

SUNAMURA (1984a), analisando dados obtidos nas praias arenosas dos Estados Unidos, Inglaterra e Japão, além de experimentos em laboratório, determinou que a declividade da face da praia é função do tamanho do grão, bem como das características da onda incidente. O autor sugere a equação 21, onde demonstra que a tangê diminui com o aumento da altura da onda e com a diminuição do período.

$$\text{Tan } \beta = 0,12 / (\text{Hb} / \text{g}^{1/2} \cdot \text{T} \cdot \text{d}^{1/2})^{-1/2} \quad (21)$$

Para a Praia de Fora, os valores de declividade da face de praia medidos diretamente nos perfis encontram-se na tabela II.

Tabela II: Declividade da face de praia nos perfis medidos na Praia de Fora.

Perfil	Data	Declividade	Graus
1	27-05-2000	0,10	5,6
2	24-06-2000	0,11	6,2
3	05-08-2000	0,05	2,8
4	17-09-2000	0,20	11,3
5	15-10-2000	0,08	4,5
6	22-10-2000	0,08	4,5
7	19-11-2000	0,16	9,06
8	09-12-2000	0,10	5,6
9	21-01-2001	0,15	8,5
10	24-02-2001	0,12	6,8
11	07-04-2001	0,14	7,9
12	09-05-2001	0,02	1,1

Estes mesmos valores podem ser visualizados na figura 19, que relaciona os valores de declividade com os de largura da face praial.

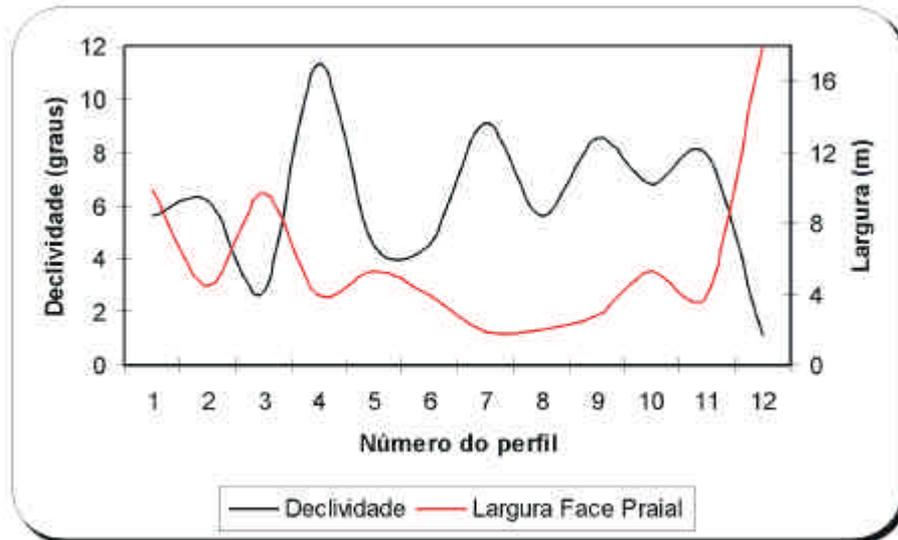


Figura 19: Variação da declividade e da largura da face praial ao longo do tempo de monitoramento da Praia de Fora.

Assim como a largura, a declividade da face da Praia de Fora variou de forma significativa ao longo do período de monitoramento, tendo seus valores inseridos entre 1,1 e 11,3 graus. Observamos uma ausência de correlação entre a declividade da face praial e sua largura, fato que indica a importância do estágio morfodinâmico na determinação da inclinação da praia.

### 2.3. Perfil de Equilíbrio

O conceito de Perfil de Equilíbrio envolve uma polêmica exaustivamente discutida na literatura específica. Esta polêmica apóia-se no fato da simplicidade dos modelos matemáticos propostos pelos autores. SCHWARTZ (1982), define o perfil de equilíbrio como sendo de longo lapso de tempo, produzido pelo clima de ondas e pelo tipo de sedimento. DEAN (1983), afirma que este perfil é uma idealização das condições que ocorrem na natureza para características particulares de sedimentos expostos em condições de ondas estáveis.

Segundo KRIEBEL *et al.* (1991), um perfil praiial em verdadeiro equilíbrio nunca ocorre na natureza porque as variações de nível das águas costeiras, ondas e correntes mudam constantemente. Já PILKEY (1998), afirma que a visão geral da ciência sobre o conjunto de processos atuantes em uma praia advém basicamente de trabalhos de campo, e que algumas falhas ou distorções do método podem ser atribuídos à simplificação ou manutenção de propostas de modelamentos matemáticos sobre o comportamento das praias.

As distorções citadas por PILKEY (*Op. cit.*) encontram-se nos coeficientes empíricos  $A$  e  $n$  da equação proposta por Dean (equação 1), que foram estabelecidas com base em perfis medidos em praias específicas e que apresentam problemas quando aplicados em outras praias com características distintas.

DEAN (1977) propôs para  $n$  o valor de 0,67, que é a média entre os extremos 0,2 e 1,2 medidos em 504 perfis na costa leste norte americana, sendo que estas praias apresentam-se intermediárias ou dissipativas. BOON & GREEN (1988), utilizaram o valor de 0,5 para  $n$  em praias reflectivas, em comparação aquelas estudadas por Dean. Já GRUBER *et al.* (2000), aplicou o modelo do Perfil de Equilíbrio de Dean para as praias dissipativas do Litoral Norte do Rio Grande do Sul e obteve valor de  $n$  de 0,74.

Neste trabalho utilizamos para a variável  $n$  o valor de 0,68 que foi a que apresentou um melhor resultado de ajuste ao perfil. O valor de  $A$  foi calculado pela equação 4 e foi estimado em 0,109 para os pontos até a profundidade 1,30 m e 0,099 para profundidades superiores. Esta variação se deu em função da existência de diferenças nos tamanhos de grão entre as amostras de sedimentos da face de praia e aquelas da antepraia, coletadas a uma profundidade aproximada de 1,10 m.

Os resultados podem ser observados nas figuras 20 e 21, sendo que os dois perfis foram medidos no mesmo dia e estão separados um do outro por aproximadamente 700 m.

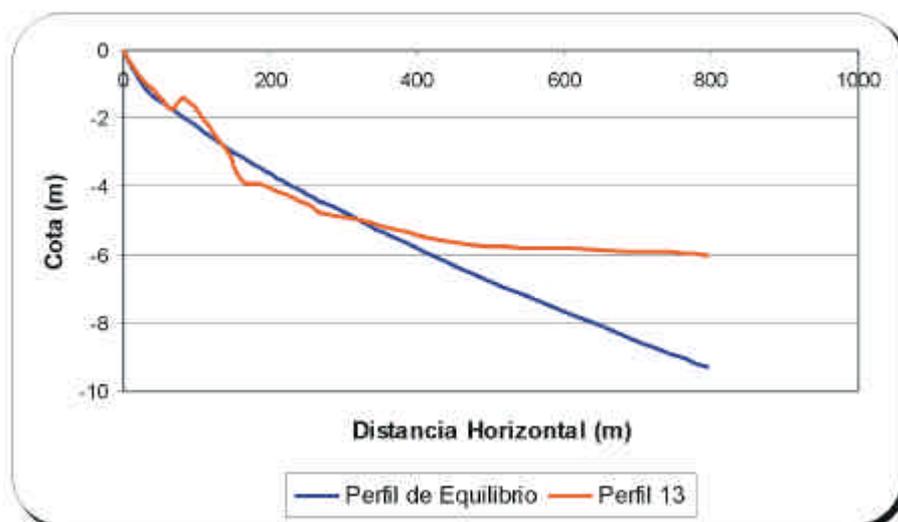


Figura 20. Comparação do perfil 13 medido na margem lagunar com o perfil de equilíbrio proposto por DEAN (1977).

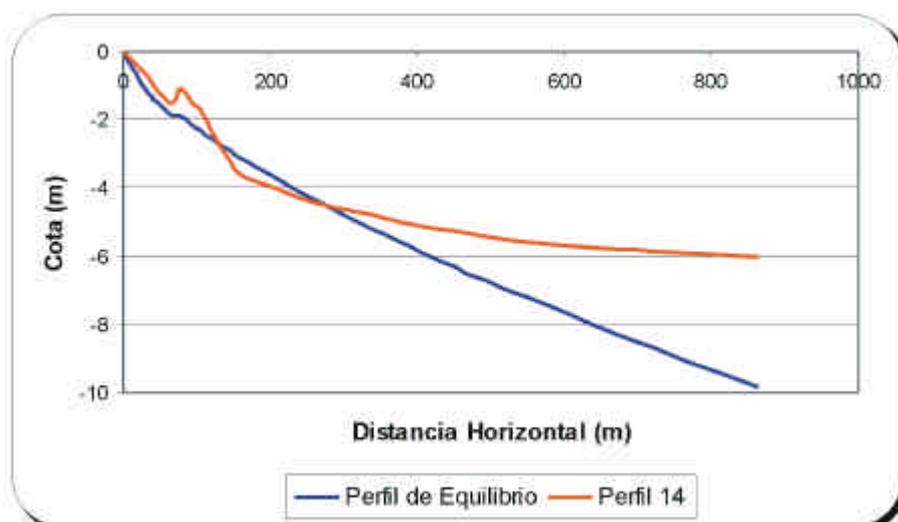


Figura 21. Comparação do perfil 14 medido na margem lagunar com o perfil de equilíbrio proposto por DEAN (1977).

As implicações da interpretação destes gráficos ao conhecimento da dinâmica da Praia de Fora serão discutidas no próximo capítulo.

## 2.4. Sedimento Praial

Durante o monitoramento dos perfis transversais foram coletadas amostras de sedimentos na linha de praia e na profundidade aproximada de 1,10 m, sendo as mesmas analisadas posteriormente em laboratório, de acordo com a metodologia citada no capítulo 1.4.3.

Os resultados da análise dos sedimentos coletados na linha de praia podem e junto a profundidade de 1,10 m podem ser observados na tabela III e IV respectivamente.

Tabela III. Resultados da análise granulométrica realizada com as amostras da linha de praia coletadas durante a obtenção dos perfis transversais.

Perfil	Data	Média (MZ)	Classificação
1	27-05-2000	1,92	Areia Média
2	24-06-2000	1,72	Areia Média
3	05-08-2000	1,62	Areia Média
4	17-09-2000	1,76	Areia Média
5	15-10-2000	1,61	Areia Média
6	22-10-2000	1,71	Areia Média
7	19-11-2000	1,95	Areia Média
8	09-12-2000	2,05	Areia Fina
9	21-01-2001	1,94	Areia Média
10	24-02-2001	2,15	Areia Fina
11	07-04-2001	1,74	Areia Fina
12	09-05-2001	1,41	Areia Média

Tabela IV. Resultados da análise granulométrica realizada com as amostras da profundidade aproximada de 1,10 m coletadas durante a obtenção dos perfis transversais.

Perfil	Data	Média (MZ)	Classificação
1	27-05-2000	2,26	Areia Fina
2	24-06-2000	2,28	Areia Fina
3	05-08-2000	2,29	Areia Fina
4	17-09-2000	2,08	Areia Fina
5	15-10-2000	2,08	Areia Fina
6	22-10-2000	2,24	Areia Fina
7	19-11-2000	2,45	Areia Fina
8	09-12-2000	2,12	Areia Fina
9	21-01-2001	2,15	Areia Fina
10	24-02-2001	2,40	Areia Fina
11	07-04-2001	2,44	Areia Fina
12	09-05-2001	2,51	Areia Fina

Além da análise das amostras coletadas na linha d'água e na profundidade aproximada de 1,10 m, utilizamos também algumas amostras coletadas em levantamentos pré – existentes com o objetivo de caracterizar os ambientes submersos em profundidades superiores aquelas citadas anteriormente. Na tabela V pode-se observar a descrição destas amostras, quanto a suas características granulométricas, profundidade e localização. As amostras 123 e 130 foram coletas pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em um cruzeiro realizado em abril de 1979, enquanto as amostras 02, 03 e 07 foram coletadas em um cruzeiro realizado em abril de 1986. A localização destas amostras pode ser visualizada na figura 14, junto ao capítulo de metodologia.

Tabela V. Classificação das amostras utilizadas neste trabalho quanto ao parâmetro referente ao tamanho médio das partículas e suas respectivas profundidades e localização.

<b>Amostra</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Média (MZ)</b>	<b>Classificação</b>
07	30°29'38" 50°53'41"	5,00	2,58	Areia Fina
123	30°25'30" 50°59'00"	5,50	1,20	Areia Média
130	30°30'00' 30°54'00"	6,30	4,52	Silte Muito Grosso
02	30°26'00" 51°03'16"	7,30	6,42	Silte Médio
03	30°26'29" 51°00'28"	7,30	5,02	Silte Grosso

## 2.5. Parâmetros Morfodinâmicos

Com base em dados referentes à velocidade de queda do grão ( $W_s$ ), altura ( $H_b$ ) e período ( $T$ ) das ondas incidentes na Praia de Fora, calculamos o parâmetro Omega ( $\tilde{\Omega}$ ) conforme a equação 7.

Este parâmetro foi calculado para os dados de previsão de ondas de TOLDO (1994) e também para os parâmetros de onda obtidos durante os trabalhos de campo de monitoramento do perfil praial. Cabe ressaltar que nem sempre as ondas medidas atingiram a altura mínima de 0.10 m, considerada suficiente para que seu efeito possa ser significativo nas mudanças do perfil. A tabela VI contém um resumo das informações sobre a previsão de ondas contidas no modelo utilizado por TOLDO (*Op. Cit.*) para a Praia de Fora.

Tabela VI. Resumo dos dados de período da onda (T), altura de onda ( $H_b$ ), ângulo de incidência (Ad) e frequência de incidência de onda na direção x para a estação 29, correspondente a Praia de Fora. Extraído de TOLDO (1994).

<b>Direção</b>	<b>T (s)</b>	<b>Hb (m)</b>	<b>Ad (graus)</b>	<b>Frequência (%)</b>
<b>Verão</b>				
ONO	1,7	0,2	25	3,5
O	-	-	-	-
OSO	2,3	0,4	20	2,9
SO	0,1	1,4	5	0,3
SSO	1,8	0,2	6	1,9
S	3,2	0,7	25	3,4
SSE	3	0,6	31	1,3
SE	2,2	0,3	28	0,5
<b>Outono</b>				
ONO	1,7	0,2	24	4,3
O	3,1	0,7	34	7,4
OSO	2,8	0,5	22	16,7
SO	2,5	0,5	7	0,7
SSO	3,6	0,8	9	1,2
S	2,8	0,5	22	1,5
SSE	2,4	0,3	27	3,9
SE	-	-	-	-
<b>Inverno</b>				
ONO	1,9	0,2	26	2,8
O	2,8	0,6	32	3,2
OSO	2,9	0,6	23	12,1
SO	3,2	0,6	8	2,05
SSO	2,1	0,3	7	2,6
S	3,1	0,6	23	5,6
SSE	2,5	0,4	28	6,1
SE	1,4	0,1	28	0,8
<b>Primavera</b>				
ONO	1,7	0,2	25	2,4
O	2,4	0,4	30	2,4
OSO	2,7	0,5	22	1,4
SO	4,4	1,3	11	0,3
SSO	3,2	0,6	8	2,3
S	3,4	0,8	25	2,8
SSE	2,9	0,5	31	3,6
SE	-	-	-	-

Os resultados obtidos com a utilização do parâmetro Omega ( $\tilde{\Omega}$ ) para os dados de previsão de ondas contidos na tabela VI podem ser visualizados nas tabelas VII (a), enquanto que os resultados para o parâmetro  $\tilde{\Omega}$  obtidos junto aos dados coletados no campo estão contidos na tabela VII (b).

Em ambos os casos o valor de  $W_s$  foi calculado com base no tamanho de grão modal (0.25mm) observado na face de praia durante a medição dos perfis. Utilizando a declividade dos perfis praias obtivemos o parâmetro  $\hat{U}_{teórico}$  conforme a equação 9.

O Parâmetro Escalar da Zona de Surfe ( $\lambda$ ) foi analisado a partir de informações sobre a declividade dos perfis e sobre a esbeltez das ondas incidentes. Estes valores são detalhados na tabela IV e foram obtidos conforme a equação 6.

Outra variável morfodinâmica analisada neste trabalho foi o Parâmetro de Banco (B), que indica a tendência na gênese de bancos a serem formados em uma praia de micromaré. Os valores foram obtidos a partir da equação 10 (Tab. VIIa).

Tabela VII (a): Valores de  $\hat{U}$  calculados a partir de  $H_b$  e T referentes a série de dados do ano de 1988 e suas respectivas frequências de incidência na Praia de Fora.

$H_b$ (m)	T (s)	Frequência	$\hat{U}$
0,1	1,4	1,07%	2,35
0,2	1,9	15,03%	3,46
0,3	2,3	4,43%	4,29
0,4	2,4	11,67%	5,48
0,5	2,8	23,89%	5,87
0,6	3	26,37%	6,58
0,7	3,3	10,92%	6,98
0,8	3,5	3,89%	7,52
1,3	4,4	0,21%	9,72

Tabela VII (b): Valores de  $\hat{U}$  calculados a partir de  $H_b$  e T medidos no campo durante o período de monitoramento dos perfis. Os campos em branco significam dias em que a Praia de Fora não apresentava incidência de ondas maiores que 0,10 m e por isso os parâmetros não foram calculados.

Perfil	Data	$T_{medido}$	$H_{bmedido}$	$\hat{U}$	$\hat{U}_{teórico}$	B
1	27-05-2000	2,9	0,5	5,67	2,25	96,9
2	24-06-2000	-	-	-	1,86	-
3	05-08-2000	-	-	-	9	-
4	17-09-2000	2,3	0,26	3,72	0,56	77,1
5	15-10-2000	2,4	0,44	6,03	3,51	176,9
6	22-10-2000	-	-	-	3,51	-
7	19-11-2000	-	-	-	0,87	-
8	09-12-2000	-	-	-	2,25	-
9	21-01-2001	1,9	0,17	2,77	1	150,5
10	24-02-2001	-	-	-	1,56	-
11	07-04-2001	2,6	0,14	1,77	1,14	86,1
12	09-05-2001	2,9	0,42	4,76	36	387,8

## 2.6. Transporte Longitudinal de Sedimentos

A aplicação do modelo de Transporte Longitudinal dos sedimentos da zona de surfe neste trabalho seguiu a metodologia proposta pelo SHORE PROTECTION MANUAL (1984). Os dados utilizados são referentes à previsão do padrão de ondas na Lagoa dos Patos descrito em Toldo (1994).

Ressaltamos que a complexidade e o grande número de fatores que influenciam na dinâmica da zona de surfe restringem a confiabilidade quantitativa dos valores obtidos nesta metodologia, mas não invalidam os resultados qualitativos referentes ao sentido do transporte sedimentar longitudinal.

ALFREDINI (1997), avaliou vários modelos matemáticos para o cálculo de transporte longitudinal e concluiu, através de comparações dos resultados obtidos com as médias estatísticas mais prováveis, que o método do CERC apresenta bons resultados quando comparados aos outros modelos, embora o mesmo tende a superestimar a vazão sólida quando sua magnitude real situa-se até 1,5 milhões de  $m^3$  / ano.

Os resultados obtidos podem ser conferidos na tabela VIII:

Tabela VIII: Resultados sobre o transporte longitudinal de sedimentos na zona de surfe e seu sentido preferencial com base no modelo de previsão de ondas para a Praia de Fora no ano de 1988.

T (s)	Hb (m)	ONO (%)	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE
1,4	0,1	-	-	-	0,32	-	-	-	0,75
1,9	0,2	13,09	-	-	-	1,94	-	-	-
2,3	0,3	-	-	-	-	-	-	3,89	0,54
2,4	0,4	-	2,48	2,92	-	-	-	6,27	-
2,8	0,5	-	-	18,18	0,64	-	1,4	3,67	-
3	0,6	-	3,13	12,01	2,05	2,38	5,51	1,29	-
3,3	0,7	-	7,46	-	-	-	3,46	-	-
3,5	0,8	-	-	-	-	1,19	2,7	-	-
4,4	1,3	-	-	-	0,21	-	-	-	-
	<b>Transporte (m<sup>3</sup>/ano)</b>	4.135,6	451.491	858.550	72.008	99.947	759.881	269.436	512,03
	<b>Transporte resultante:</b>	m <sup>3</sup> /ano							
	NO – SE	1.386.186							
	SE – NO	1.129.778							
	Total	2.515.964							
	Resultante	256.408 sentido NO-SE							

Os resultados obtidos com a aplicação deste método sugerem uma bidirecionalidade do transporte longitudinal de sedimentos, com uma pequena resultante para SE. As evidências e implicações destes resultados na morfologia da Praia de Fora serão discutidos no capítulo seguinte.

A velocidade da corrente longitudinal foi medida no campo nos dias em que a Praia de Fora apresentava condições energéticas para a geração de correntes. A tabela IX demonstra estes resultados e o compara com os valores obtidos através da aplicação da equação 5, proposta por LONGUET-HIGGINS (1970) para a determinação deste parâmetro.

Tabela IX: Resultados obtidos com relação à velocidade da corrente longitudinal e seu sentido.  $V_{medida}$  significa a velocidade medida no campo e  $V_{calculada}$  significa a velocidade calculada a partir da equação 5.

<b>Perfil</b>	<b>Data</b>	<b><math>V_{medida}</math> (m/s)</b>	<b><math>V_{calculada}</math> (m/s)</b>	<b>Sentido</b>
1	27-05-2000	0,56	0,99	NO - SE
2	24-06-2000	-	-	-
3	05-08-2000	-	-	-
4	17-09-2000	0,25	0,70	NO - SE
5	15-10-2000	0,45	0,91	SE - NO
6	22-10-2000	-	-	-
7	19-11-2000	-	-	-
8	09-12-2000	-	-	NO - SE
9	21-01-2001	0,45	0,51	SE - NO
10	24-02-2001	-	-	NO - SE
11	07-04-2001	0,56	0,53	SE - NO
12	09-05-2001	0,44	0,89	NO - SE

Observa-se uma distorção nos valores medidos e calculados, sendo que os valores de velocidade da corrente calculados apresentaram-se sempre superestimados. A mesma bidirecionalidade presente no cálculo do transporte longitudinal pode ser observada nestes resultados.

## 2.7. Transporte Perpendicular de Sedimentos

Com objetivo de verificar o sentido preferencial de transporte perpendicular à Praia de Fora, aplicamos os valores referentes aos parâmetros esbeltez da onda e velocidade de queda do grão na relação proposta na equação 20 para a série de dados de 1988 e para os dados obtidos em campo.

Os resultados são apresentados na tabela X e XI.

Tabela X: Resultados do cálculo do transporte perpendicular de sedimentos na Praia de Fora com base na previsão de ondas para o ano de 1988, onde *A* indica o sentido do transporte para a antepraia, *Z* indica o transporte para a zona de surfe e *S* indica a ausência de movimentação de sedimentos.

<b>T (s)</b>	<b>Hb (m)</b>	<b>Frequência (%)</b>	<b>Direção</b>
1,4	0,1	1,07	S
1,9	0,2	15,03	Z
2,3	0,3	4,43	Z
2,4	0,4	11,67	A
2,8	0,5	23,89	A
3	0,6	26,37	A
3,3	0,7	10,92	A
3,5	0,8	3,89	A
4,4	1,3	0,21	A

Tabela XI: Resultados do cálculo do transporte perpendicular de sedimentos na Praia de Fora com base nos parâmetros de onda medidos no campo entre Maio de 2000 e Maio de 2001, onde *A* indica o sentido do transporte para a antepraia, *Z* indica o transporte para a zona de surfe e *S* indica a ausência de movimentação de sedimentos.

<b>Perfil</b>	<b>Data</b>	<b>T<sub>medido</sub></b>	<b>Hb<sub>medido</sub></b>	<b>Direção</b>
1	27-05-2000	2,9	0,5	A
2	24-06-2000	-	-	-
3	05-08-2000	-	-	-
4	17-09-2000	2,3	0,26	Z
5	15-10-2000	2,4	0,44	A
6	22-10-2000	-	-	-
7	19-11-2000	-	-	-
8	09-12-2000	-	-	-
9	21-01-2001	1,9	0,17	Z
10	24-02-2001	-	-	-
11	07-04-2001	2,6	0,14	S
12	09-05-2001	2,9	0,42	A

Considerando os valores de período, altura e frequência das ondas referentes a previsão de ondas de 1988, podemos afirmar que durante este mesmo ano, o transporte perpendicular de sedimentos na Praia de Fora teve sentido preferencial da zona de surfe para a antepraia com aproximadamente 75% das situações, caracterizando um processo erosivo. Aplicamos o mesmo tipo de equacionamento para os dados obtidos durante a medição dos perfis no campo, onde registramos o transporte perpendicular no sentido da zona de surfe para a antepraia nos perfis 1, 5 e 12, da antepraia para a zona de surfe nos perfis 4 e 9 e a ausência de transporte no perfil 11, caracterizando os três tipos de situações esperados para esta praia.

## 2.8. Limite Externo e Profundidade de Fechamento

Com objetivo de delimitar a região na qual são notados os efeitos da rebentação das ondas sobre o transporte de sedimentos e o limite externo da mobilização dos mesmos na Praia de Fora, aplicamos o equacionamento proposto anteriormente através das equações 14, 15, 16, 17, 18 e 19. Os resultados estão expressos na tabela XII.

Tabela XII: Valores obtidos para os parâmetros Profundidade de Fechamento quanto ao limite litorâneo e ao limite externo para a Praia de Fora. As equações foram desenvolvidas com base nos dados de previsão de ondas para o ano de 1988.

<b>Limite Interno</b>	(m)	<b>Limite Externo</b>	(m)
Equação 14	0,92	Equação 19	5,02
Equação 15	1,03		
Equação 17	0,71		

Os valores representados na tabela XII incluem o cálculo do limite interno, profundidade onde se verifica um generalizado transporte de sedimentos e o limite externo, profundidade onde o transporte é incipiente. Estes resultados parecem concordar com uma série de indicadores geomorfológicos e geológicos já observados por outros autores na área de estudo em questão, sendo que os mesmos serão discutidos no capítulo seguinte.

## 2.9 Taxas de Variação da Linha de Praia

Em várias partes do globo existem exemplos de retração da linha de praia e os mesmos acabam por acarretar uma série de problemas para a ocupação do ser humano nestas áreas. A erosão costeira tem sido observada em 75% das praias arenosas do mundo (BIRD, 1999), causada pelo processo de recuo por perda de areia para dunas, para a plataforma continental ou por deriva litorânea.

Este tema é amplamente discutido na literatura mundial nos dias de hoje, e inúmeros casos de erosão foram diagnosticados, como, por exemplo, os trabalhos de KRUEGER *et al.* (1998), ANDRADE *et al.* (1996), SOUZA (1996), STRAHLER & STRAHLER (1994), CASTRO (1996), NORDSTROM (1994), TOLDO *et al.* (1999), e ESTEVES *et al.* (2001), sendo que grande parte destas pesquisas se refere a taxas de variação de linhas de praia oceânicas e não lagunares.

No caso da Praia de Fora constatamos que entre 1978 e 2001 houve uma retração ao longo de 9.9 quilômetros de linha de praia e uma progradação em outros 2.45 quilômetros. Em termos percentuais estes valores correspondem: erosão em 58% da praia e acresção em 14% da praia. Em 28% da Praia de Fora não foram observadas variações significativas. Estes resultados serão analisados no capítulo de discussão e podem ser visualizados na tabela XIII.

Tabela XIII. Resultados obtidos através da comparação entre as linhas de praia de 1978 e 2001. A coluna da esquerda demonstra as variações em metros, a coluna central representa a extensão dos setores avaliados e a terceira coluna apresenta a taxa de variação média anual.

<b>Varição (metros)</b>	<b>Extensão</b>	<b>Taxa média anual</b>
Acresção até 20 metros	0,70 km	0,85 m/ano
Acresção entre 20 e 40 metros	1,75 km	1,70 m/ano
Erosão até 20 metros	3,75 km	0,85 m/ano
Erosão entre 20 e 40 metros	3,5 km	1,70 m/ano
Erosão entre 40 e 60 metros	1,8 km	2,60 m/ano
Erosão entre 60 e 80 metros	0,85 km	3,40 m/ano

Salientamos que os valores referentes à taxa média anual foram calculados com base no valor mais alto de cada intervalo de classe. Por exemplo, os setores que apresentaram taxas de erosão entre 0 e 20 metros tiveram sua taxa média anual calculada tomando o valor de 20 metros como referência, fato este que torna as taxas médias anuais valores aproximados.

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1 Os Estágios Morfodinâmicos

As variáveis que regem o comportamento morfodinâmico das praias arenosas em geral (ondas incidentes, tamanho do grão, declividade da face da praia e marés) foram conhecidas através de vários estudos realizados em praias de todo o mundo. Como os mesmos processos governantes são comuns a estes ambientes, é de se esperar uma certa unicidade morfodinâmica entre estas variáveis.

Partindo deste pressuposto vários autores desenvolveram estudos de larga escala temporal, abrangendo praias de diferentes gêneses sujeitas a diferentes variáveis hidrodinâmicas e desenvolveram os modelos seqüenciais de evolução morfológica. HOEFEL (1998), considera que devido à extrema amplitude da variação nos processos governantes, bem como de suas importâncias relativas em diferentes praias, uma generalização não se constitui em uma tarefa fácil.

Os modelos mais utilizados em estudos de morfodinâmica de praias pertencem à chamada escola australiana, que teve como marco inicial os estudos pioneiros de WRIGHT *et al.* (1979) e SHORT (1979), baseados em proposições de autores como SILVESTER (1974) e que culminaram com a publicação, em 1984, de um modelo evolutivo baseado na descrição de seis estágios praias observados em praias australianas.

WRIGHT & SHORT (1984), utilizaram o conceito de estágio morfodinâmico em referência às complexas assembléias deposicionais, aos processos de redistribuição de sedimentos e aos processos hidrodinâmicos associados a uma praia sob determinadas condições.

MUEHE (1995), considera a classificação de uma praia em estágios como um indicador muito prático para descrever uma costa, para compreender a resposta morfodinâmica a eventos extremos e para a análise das suscetibilidades a impactos ambientais.

Os seis estágios morfodinâmicos encontram-se resumidos na tabela XIV e podem ser observados na figura 22 e 22 a.

Tabela XIV: Os seis estados morfodinâmicos propostos por Wright &amp; Short e suas características. Adaptado de HOEFEL (1998) e SHORT (1999).

Estágio Morfodinâmico	Características
Dissipativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas de surfe muito desenvolvidas em decorrência da incidência de ondas de alta energia e/ou da granulometria fina.</li> <li>• Declividade baixa.</li> <li>• Rebentação deslizante.</li> <li>• Progressiva dissipação da energia das ondas ao longo do perfil.</li> <li>• Grande estoque de sedimento subaquoso.</li> </ul>
Banco e Cavas Longitudinais (BCL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relevo banco – cava é mais pronunciado que no estágio anterior.</li> <li>• A porção proximal do perfil exhibe uma refletividade localizada.</li> <li>• Observam-se cúspides praias de larga escala na face de praia.</li> <li>• Incidência de pequenas correntes de retorno.</li> </ul>
Banco e Praias Rítmicos (BPR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O banco e a face de praia apresentam um caráter rítmico (crescente).</li> <li>• A barra inteira está separada da praia por uma cava contínua, entretanto rítmica.</li> <li>• As porções de embaiamento podem apresentar erosão e face de praia escarpada, enquanto as zonas de acreção podem ter cúspides praias.</li> </ul>
Banco Transversal (BTR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclos de acreção fazem com que as protuberâncias dos bancos em crescente soldem-se as praias.</li> <li>• Formação de bancos transversais regularmente interrompidos por correntes de retorno.</li> </ul>
Crista Canal / Terraço de maré baixa (CC/TMB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfil relativamente plano na maré baixa, precedido por uma face praial bastante íngreme na maré alta.</li> <li>• A praia assume um caráter dissipativo na maré baixa e reflectiva na maré alta.</li> </ul>
Reflectivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toda a turbulência relacionada ao processo de quebra de ondas localiza-se na face de praia, na qual freqüentemente observam-se cúspides.</li> <li>• Berma bem desenvolvido e linear.</li> <li>• A porção subaquosa do perfil é caracterizada por um relevo de alta declividade.</li> <li>• Granulometria grossa.</li> <li>• Grande estoque de sedimentos subaéreos.</li> </ul>

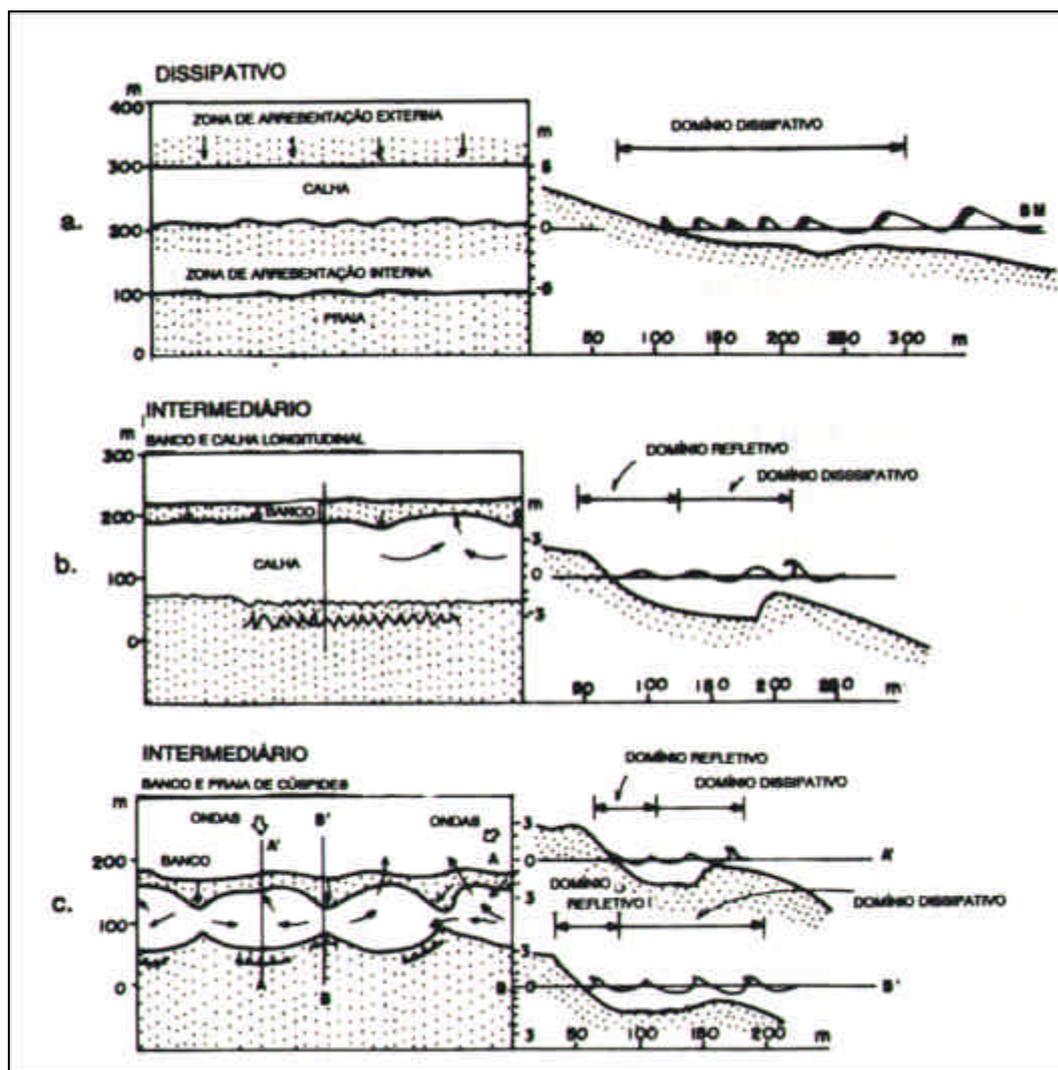


Figura 22: Representação em perfil e em planta dos estágios morfodinâmicos dissipativo, BCL e BPR propostos por Wright & Short (1984).

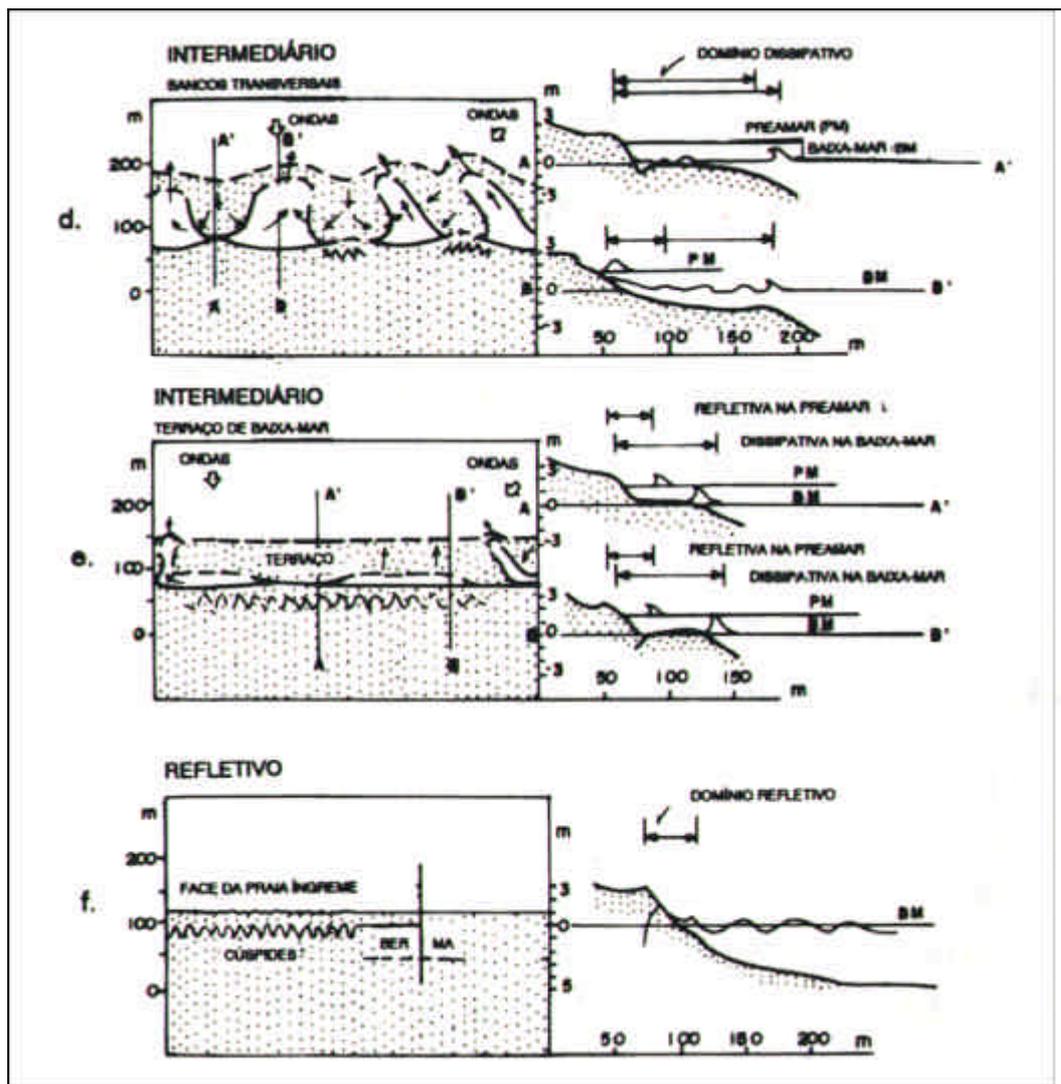


Figura 22a: Representação em perfil e em planta dos estágios morfodinâmicos BTR, TMB e reflectivo propostos por Wright & Short (1984).

Através do parâmetro adimensional Omega ( $\hat{U}$ ) Wright & Short relacionaram quantitativamente as variáveis envolvidas no condicionamento morfodinâmico de uma praia, associando cada tipo a intervalos numéricos distintos de  $\hat{U}$ . Estes intervalos estão expressos na tabela XV em ordem energética crescente:

Tabela XV: Relações de equilíbrio entre estágio da praia e  $\hat{U}$ . Extraído de SHORT (1999).

Estado da Praia	$\hat{U}$
Reflectivo	< 1,5
TMB	2,40
BTR	3,15
BPR	3,50
BCL	4,70
Dissipativo	> 5,5

Em relação à Praia de Fora, aplicamos a equação 7 e calculamos os valores correspondentes ao parâmetro Omega para os dados de altura da onda ( $H_b$ ) e período (T) referentes a série de informações obtidas por TOLDO (1994) a partir do modelo de previsão utilizado por este autor para o ano de 1988. Os valores correspondentes à velocidade de queda do grão (Ws) foram calculados com base no tamanho de grão modal da face de praia (0.25mm) durante a medição dos perfis, segundo a metodologia proposta por RAUDKIVI (1990).

Os resultados correspondentes ao parâmetro  $\bar{U}$  podem ser observados na tabela XVI, que mostra a tendência da Praia de Fora em apresentar os estágios morfodinâmicos citados anteriormente ao longo do ano de 1988.

Tabela XVI: Estágios morfodinâmicos indicados pelo parâmetro  $\bar{U}$  na Praia de Fora correspondente aos dias que apresentaram ondas com altura mínima de 0,10m no ano de 1988.

<b>Estágio Morfodinâmico</b>	<b>Frequência de incidência (%)</b>
Reflectivo	0
TMB	1,07
BTR	15,03
BPR	4,43
BCL	35,56
DISSIPATIVO	41,39

Os resultados apontam para uma tendência dissipativa na Praia de Fora, com 41.39 % dos registros obtidos. Os demais resultados apontam para um estágio intermediário, com predominância de BCL e BTR com 35.56 % e 15.03 % dos registros respectivamente. Já a condição reflectiva não foi registrada para nenhuma das condições hidrodinâmicas apresentadas pela laguna durante o ano de 1988 segundo o parâmetro  $\bar{U}$ .

Podemos definir o estado modal de uma praia como sendo o estágio morfodinâmico mais recorrente, o qual reflete as próprias condições energéticas mais frequentes no ambiente. Conforme WRIGHT & SHORT (1984), a morfologia de uma praia para um dado momento é função não só das características do sedimento que a compõe, do clima de ondas, marés e ventos imediatos, mas também do seu estado morfodinâmico antecedente.

Segundo KLEIN (1997a), como a forma do perfil praiar reflete as condições dominantes em um determinado período, uma série temporal de  $\bar{U}$  pode ser um bom indicador das condições mais frequentes da morfodinâmica de uma praia.

Considerando apenas o parâmetro  $\bar{U}$  podemos classificar a Praia de Fora como dissipativa e intermediária ao longo do ano de 1988, caracterizando-a como um ambiente influenciado pela incidência de ondas de baixa e moderada energia, mas que devido às condições existentes na Lagoa dos Patos, (como inexistência de maré astronômica significativa, presença de areia com granulação fina a média e incidência de eventos meteorológicos significativos) apresenta um relevante grau de energia envolvida no sistema.

A aplicação do parâmetro  $\bar{U}$  nos dados obtidos durante o monitoramento dos perfis praias ao longo do período de maio de 2000 a maio de 2001, apresentou resultados que exemplificam a existência do estágio dissipativo e intermediário em determinados momentos. Estes resultados podem ser visualizados na tabela XVII e nas figuras 23, 24 e 25:

Tabela XVII: Relação dos valores de  $\bar{U}$  e o estágio morfodinâmico correspondente para os perfis medidos no campo nos dias em que a praia apresentava incidências de ondas com  $H_b$  maiores que 0.10m.

<b>Perfil</b>	<b>Data</b>	<b><math>\bar{U}</math></b>	<b>Estágio Morfodinâmico</b>
1	27-05-2000	5,67	Dissipativo
2	24-06-2000	-	-
3	05-08-2000	-	-
4	17-09-2000	3,72	BPR
5	15-10-2000	6,03	Dissipativo
6	22-10-2000	-	-
7	19-11-2000	-	-
8	09-12-2000	-	-
9	21-01-2001	2,77	TMB
10	24-02-2001	-	-
11	07-04-2001	1,77	Reflectivo
12	09-05-2001	4,76	BCL

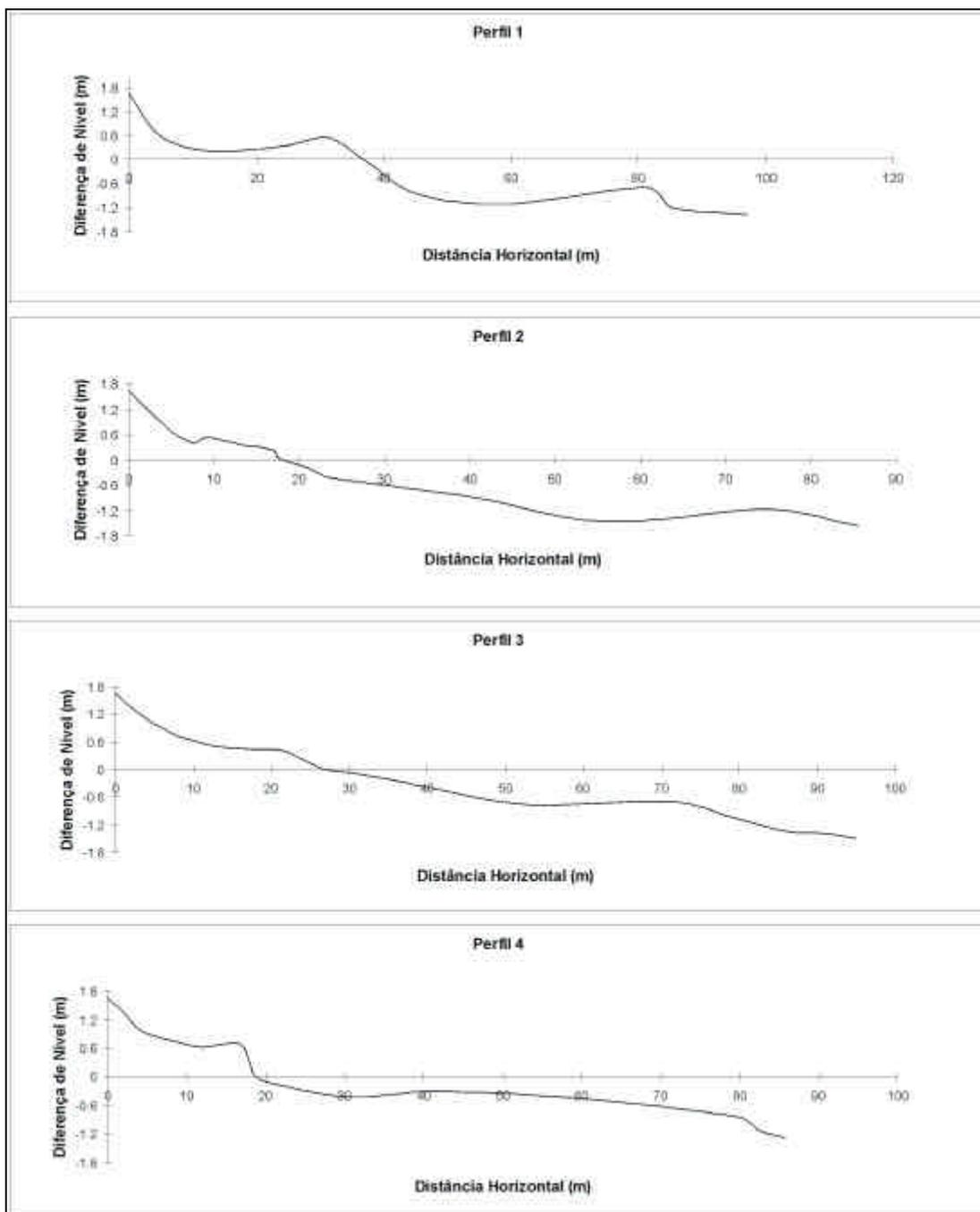


Figura 23. Representação dos perfis 1 a 4 medidos em campo.

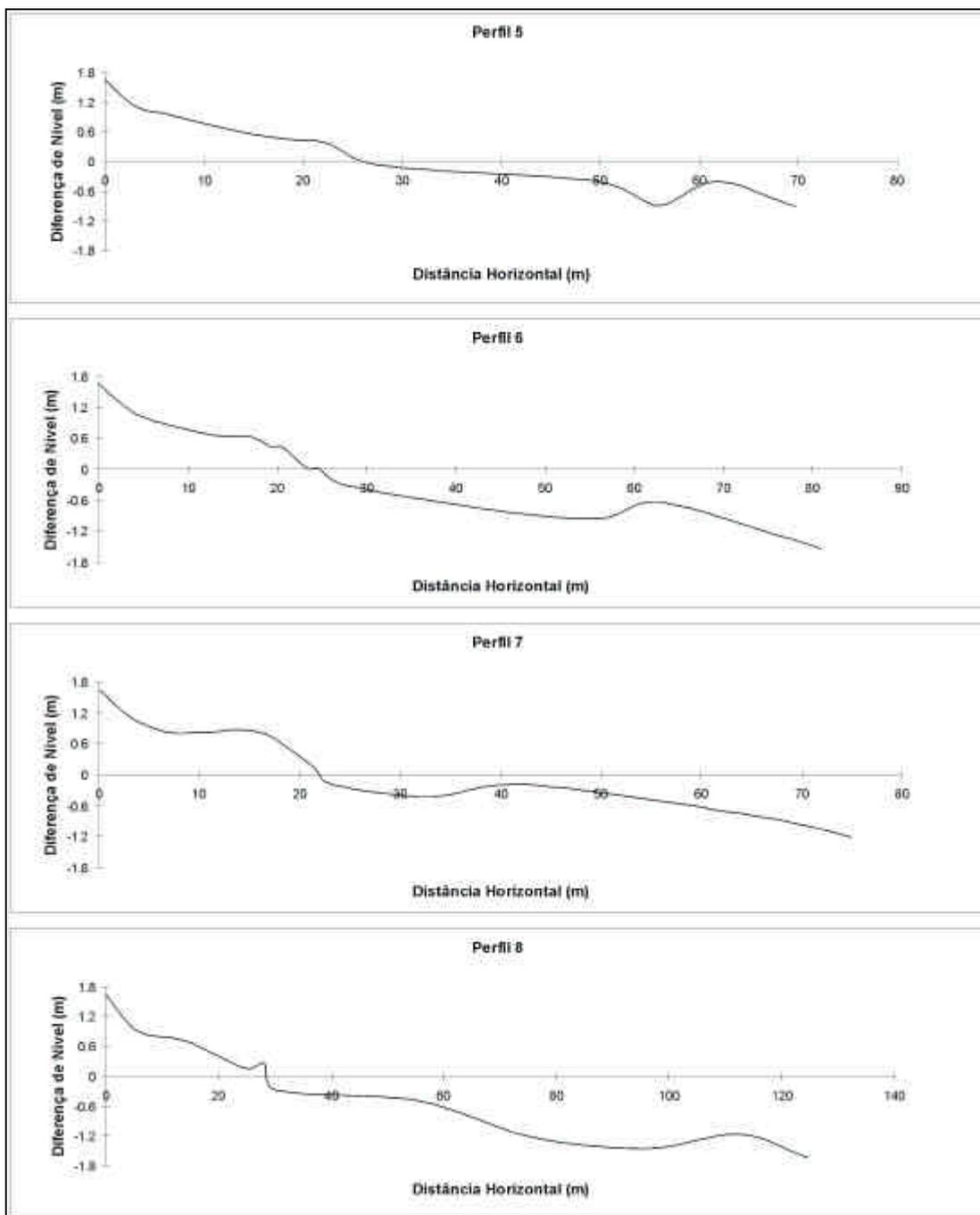


Figura 24. Representação dos perfis 5 a 8 medidos em campo.

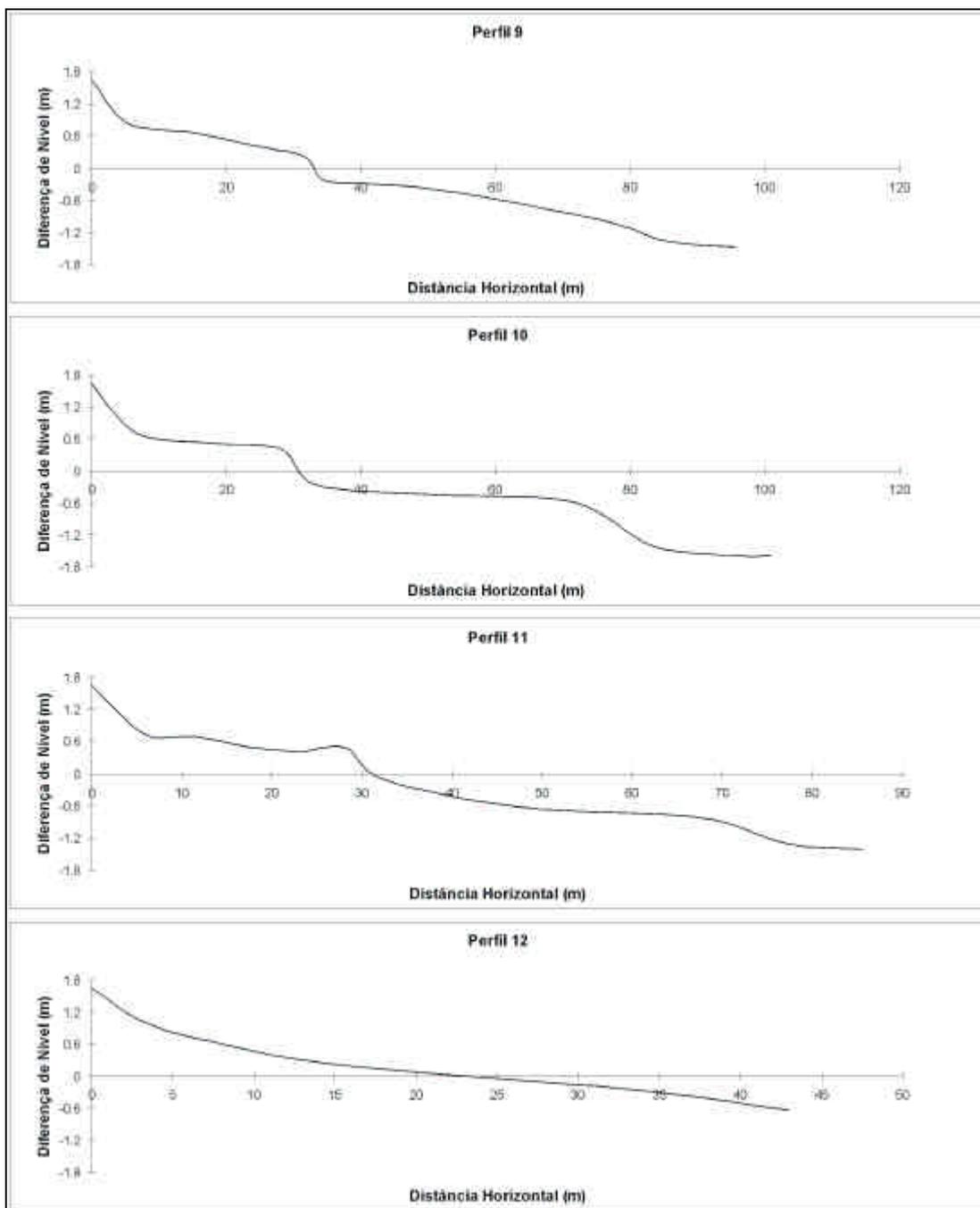


Figura 25. Representação dos perfis 9 a 12 medidos em campo.

Neste caso, em duas ocasiões, nos perfis 1 e 5 (Fig. 26), as condições hidrodinâmicas observadas para o cálculo do parâmetro Omega apontaram para o estágio de praia dissipativa. Se compararmos estes perfis com os estágios encontrados no modelo proposto por WRIGHT & SHORT (1984) notamos que os perfis medidos enquadram-se com mais precisão nos estágios BCL ou BPR, apresentando uma morfologia de banco - cava bem definida e aumento do estoque de sedimentos subaéreos, conforme a figura 22.

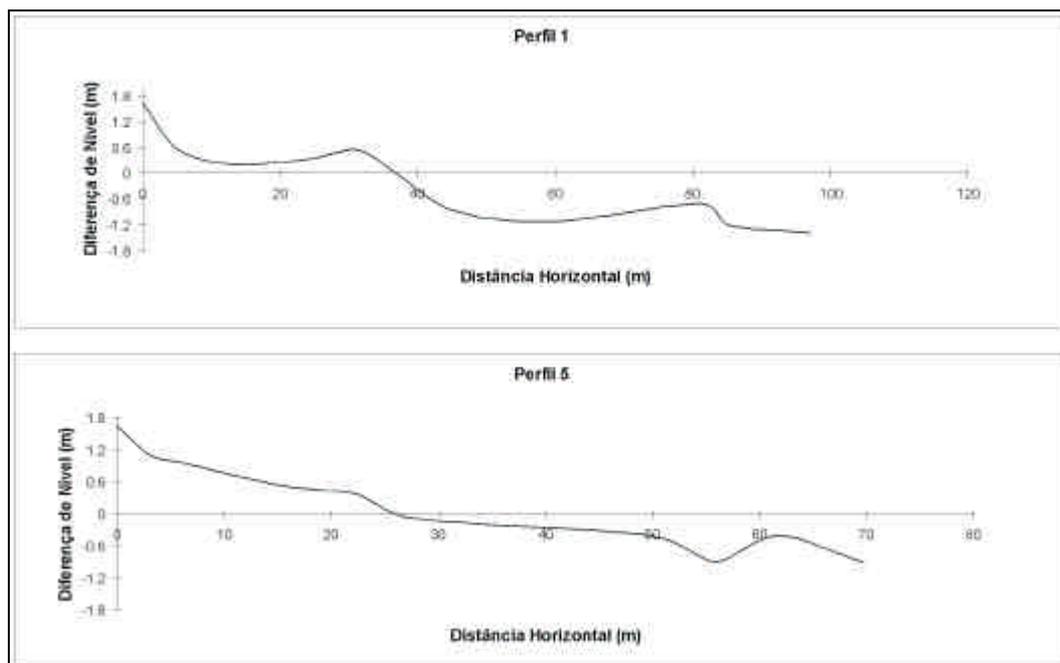


Figura 26. Perfis medidos 1 e 5.

O perfil 12 (Fig. 27) também apresentou o mesmo tipo de discrepância, pois o valor de  $\hat{U}$  calculado aponta para uma praia no estágio intermediário BCL, mas a observação do perfil medido é suficiente para identificar o estágio dissipativo.

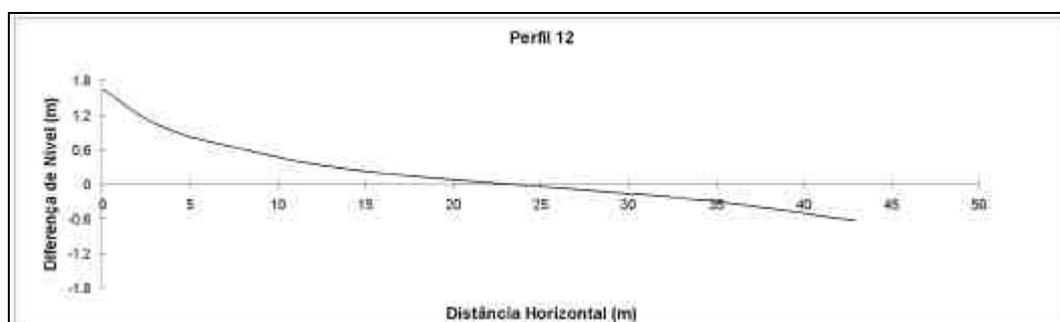


Figura 27. Perfil medido 12.

Este tipo de inconformidade ocorre pois o estágio morfodinâmico da praia indicado pelo parâmetro  $\tilde{U}$  pode estar em desequilíbrio com as condições hidrodinâmicas atuantes no momento da coleta dos dados. Este desequilíbrio é consequência de uma defasagem temporal existente entre a variação energética e a alteração morfológica da praia (WRIGHT *et al.* 1984). Os autores consideram que o intervalo de tempo para o desenvolvimento completo de um estágio praiar após variações energéticas é de sete dias e para mudanças associadas à passagem de sistemas de baixa pressão é de quatro dias, sendo que na Lagoa dos Patos este intervalo de tempo tende a ser maior pela freqüente ausência de ondulação no corpo lagunar.

A distorção entre valor de  $\tilde{U}$  calculado e a forma do perfil medido no campo do perfil 12, é um exemplo deste intervalo de tempo entre as variações energéticas e a resposta do perfil, pois o mesmo foi medido quatro dias após a passagem de uma frente fria ocasionada pelo Anticiclone Polar Migratório que gerou fortes ventos e um elevado índice de precipitação na região de Porto Alegre, condição energética necessária para a praia se apresentar no estágio dissipativo.

A correlação entre a alta energia envolvida em uma passagem de tempestades com o estado dissipativo, quando os sedimentos são removidos da face praiar e redepositados como barras na praia média, é referida por SHORT (1999) e WRIGHT *et al.* (1982) em praias da Austrália e Estados Unidos. No Brasil esta correlação foi confirmada, entre outros, por MUEHE & DOBEREINER (1977) na praia de Ipanema, RJ; TOLDO *et al.* (1993) na praia de Imbé, RS; TOZZI & CALLIARI (2000) na praia do Cassino, RS e por WESCHENFELDER *et al.* (1997) nas praias do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, sendo todas oceânicas.

Ao analisarmos os valores de  $\tilde{U}$  calculados para os perfis medidos no campo observamos que os mesmos apontam para a presença dos estágios dissipativo, intermediário e reflectivo. Os resultados obtidos com a aplicação do parâmetro Omega na série de previsão de ondas de 1988 não indicaram em nenhum momento a presença do estágio reflectivo na Praia de Fora. Neste caso, o perfil medido 11 configura-se em uma discrepância entre os valores do parâmetro Omega para as duas situações.

O perfil 11 reflete a imprecisão decorrente da aplicação de  $\tilde{U}$ , onde a inconformidade do estágio morfodinâmico calculado e aquele observado no perfil é resultado do desequilíbrio com as condições hidrodinâmicas atuante no momento da coleta dos dados. Neste caso, o perfil 11, em sua forma, é um perfil BTR com a presença de um pequeno estoque de sedimentos submerso.

O valor de  $\bar{U}$  obtido para o perfil 4 (Fig. 28) aponta para o estágio Banco e Praia Rítmicos (BPR), o que concorda com o modelo de banco único utilizado neste trabalho. Já o perfil 9 (Fig. 29) enquadra-se no estágio TMB com grande deposição de sedimentos junto à porção proximal do perfil e fracas correntes de retorno, confirmando o modelo australiano (figura 22).

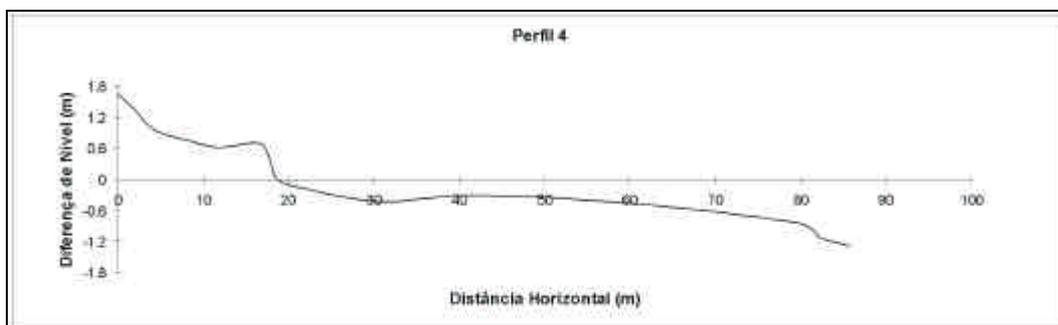


Figura 28. Perfil medido 4.

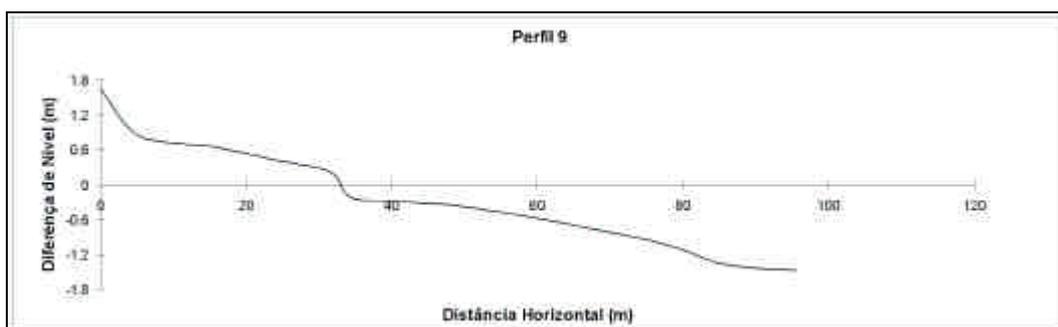


Figura 29. Perfil medido 9.

Por envolver tanto processos dissipativos como reflectivos, a caracterização morfodinâmica dos estágios intermediários é mais complexa e menos estável do que os estágios extremos. As condições ambientais que favorecem o desenvolvimento de estados intermediários incluem climas de onda de energia moderada, mas temporariamente variável, e areia média à grossa como granulometria (WRIGHT & SHORT, 1984).

HOEFEL (1998), afirma que as mais baixas variabilidades temporais, tanto da face praial como da zona de surfe podem ser associadas aos estados morfodinâmicos extremos. No estado reflectivo é comum ocorrerem alterações na altura do berma e na profundidade do degrau, enquanto no estado dissipativo nota-se uma expansão e contração da zona de surfe em função dos aumentos na altura da rebentação, sem, porém, haver necessariamente uma mudança da posição da linha de costa em qualquer dos casos. Nos estágios intermediários, alterações relativamente pequenas da altura de onda são suficientes para causar mudanças nos padrões de circulação estabelecidos na praia e alterando a morfologia dos perfis.

A figura 30 ilustra as alterações morfodinâmicas da porção subaérea na Praia de Fora observadas durante as medições do perfil 4. Neste caso a erosão no degrau da face de praia pode ser considerada uma variação morfológica da praia que se encontra em transição para estágios de menor energia, sendo, possivelmente, uma herança de eventos de maior energia.



Figura 30: Fotografia do perfil 4 destacando a erosão no degrau da face de praia. Esta variação morfológica é comum em praias que se encontrem em transição para estágios de menor energia.

Mudanças entre os estágios intermediários, que envolvem basicamente redistribuição de sedimentos dentro da própria zona de surfe e de espraiamento, ocorrem em escalas temporais muito inferiores aquelas desenvolvidas na alternância de estados dissipativos para reflectivos, ou vice-versa (WRIGHT *et al.* 1984).

O parâmetro dimensionador do surfe ( $\hat{a}$ ) proposto por GUZA & INMAN (1975) representa o grau de energia das ondas refletidas sobre a face de praia e foi incorporado à descrição dos estágios afim de distingui-los através da razão entre a esbeltez das ondas e a declividade da praia. Valores de  $\hat{a} < 2$  implicam numa forte refletividade e ressonância da energia de ondas, o que é característico de praias reflectivas. Já praias dissipativas são caracterizadas por  $\hat{a} > 20$ , uma maior dissipação de energia e menor declividade. A tabela XVIII mostra a relação entre o parâmetro  $\hat{a}$  a declividade da face de praia (tagâ) e os estágios morfodinâmicos:

Tabela XVIII: Valores limites teóricos da declividade da face da praia para os estágios morfodinâmicos. Extraído de FERREIRA (1999).

<b>Estágio Morfodinâmico</b>	<b><math>\hat{a}</math></b>	<b>Tagâ</b>
Dissipativo	$\hat{a} > 20$	Tagâ < 0.061 (3.5°)
Intermediário	$2 < \hat{a} < 20$	0.061 < Tagâ < 0.15
Reflectivo	$\hat{a} < 2$	Tagâ > 0.15 (8.5°)

Os valores de  $\hat{a}$  encontrados para os perfis medidos estão dispostos na tabela XIX:

Tabela XIX: Valores de declividade da face praial e do parâmetro  $\hat{a}$  para os perfis medidos no campo. Ressaltamos que em alguns perfis não foi possível calcular o parâmetro  $\hat{a}$ , pois a praia não apresentava incidência de ondas com altura superior a 0.10 metros.

<b>Perfil</b>	<b>Data</b>	<b>Declividade</b>	<b><math>\hat{a}</math></b>	<b>Estágio Morfodinâmico</b>
1	27-05-2000	0,10	11,96	Intermediário
2	24-06-2000	0,11	-	-
3	05-08-2000	0,05	-	-
4	17-09-2000	0,20	2,47	Intermediário
5	15-10-2000	0,08	24,01	Dissipativo
6	22-10-2000	0,08	-	-
7	19-11-2000	0,16	-	-
8	09-12-2000	0,10	-	-
9	21-01-2001	0,15	4,21	Intermediário
10	24-02-2001	0,12	-	-
11	07-04-2001	0,14	2,12	Intermediário
12	09-05-2001	0,02	160,77	Dissipativo

A análise destes resultados indica uma correlação entre os valores obtidos e os estágios apresentados pelos perfis medidos no campo. Os perfis 5 e 12 apresentaram valores de  $\hat{a}$  referentes ao estágio dissipativo. Enquanto os demais foram classificados como intermediários.

Os perfis 5 e 6 foram medidos em um intervalo de sete dias e são exemplos da complexidade e instabilidade dos estágios intermediários, pois apresentaram variações significativas em sua morfologia, tanto na porção subaérea como submersa, conforme a figura 31, onde fica evidente a remobilização de sedimentos no sentido da antepraia para a zona de surfe, visto que o perfil apresenta um déficit de material em sua porção submersa e um ganho de material em parte de sua porção emersa no intervalo de uma semana, considerando ainda, que o perfil mobilizou sedimentos para a porção lagunar.

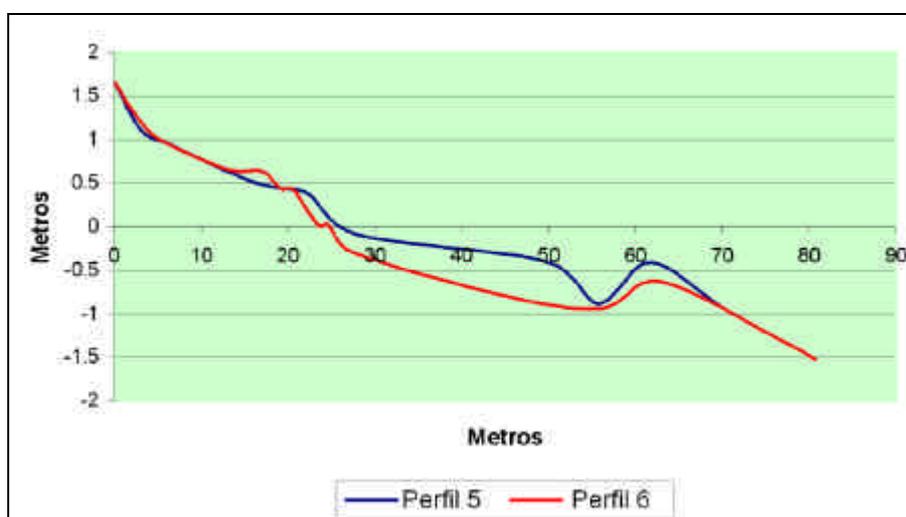


Figura 31: Gráfico comparativo entre os perfis 5 e 6 medidos em 15/10/2000 e 22/10/2000 respectivamente.

Observamos haver uma concordância entre os seguintes parâmetros: a declividade da face de praia e formato do perfil medido, sendo que  $\hat{a}$  tem uma relação direta com o nível de energia envolvida na dinâmica da praia. A comparação dos estágios morfodinâmicos previstos pelos parâmetros  $\hat{U}$  e  $\hat{a}$  para a Praia de Fora indicou pequenas discrepâncias quanto aos intervalos utilizados (tabelas 12 e 15). Os perfis 11 e 4 são exemplos deste fato, pois em ambos, os valores de  $\hat{a}$  ficaram próximos aos limites destes intervalos.

As variações na classificação do estágio morfodinâmico quando comparados os parâmetros  $\hat{a}$  e  $\hat{U}$  também são relatadas em FERREIRA (1999), sendo que o autor considera que as pequenas diferenças existentes na granulometria e na declividade da praia são as causas para tais variações. Além disso, consideramos que este tipo de discrepância entre os modelos utilizados é esperado, pois os mesmos foram desenvolvidos empiricamente em praias oceânicas com dinâmicas variadas.

Segundo BASCON (1951) e WIEGEL (1964) a declividade da face praial é função do tamanho do grão e da exposição à ação de ondas. A declividade diminui conforme aumenta a altura da onda e reduz o tamanho do grão, fato que torna o parâmetro  $\tilde{U}$  relacionável com a declividade praial, pois ambos variam em função das características da onda (H e T) e dos sedimentos ( $W_s$ ).

A figura 32 ilustra a ação das ondas junto a face praial da Praia de Fora durante a medição do perfil 5, classificado como dissipativo tanto pelo parâmetro  $\tilde{U}$  como por  $\tilde{a}$



Figura 32: Fotografia obtida durante a medição do perfil 5 e mostra a exposição da face de praia incidência de ondas.

Relacionando a declividade da praia com os valores de  $\tilde{U}$  podemos determinar indiretamente o estágio morfodinâmico através do parâmetro  $\tilde{U}_{\text{teórico}}$ , segundo a equação 9. Os resultados obtidos estão na tabela XX:

Tabela XX: Relação dos estágios morfodinâmicos esperados para os perfis medidos utilizando o parâmetro  $\hat{U}_{teórico}$  e a declividade praial.

Perfil	Data	$\hat{U}_{teórico}$	Declividade	Estágio Morfodinâmico
1	27-05-2000	2,25	0,10	Intermediário
2	24-06-2000	1,86	0,11	Intermediário
3	05-08-2000	9	0,05	Dissipativo
4	17-09-2000	0,56	0,20	Reflectivo
5	15-10-2000	3,51	0,08	Intermediário
6	22-10-2000	3,51	0,08	Intermediário
7	19-11-2000	0,87	0,16	Reflectivo
8	09-12-2000	2,25	0,10	Intermediário
9	21-01-2001	1	0,15	Reflectivo
10	24-02-2001	1,56	0,12	Intermediário
11	07-04-2001	1,14	0,14	Reflectivo
12	09-05-2001	36	0,02	Dissipativo

A comparação entre os valores de  $\hat{U}_{teórico}$  e  $\hat{U}$  apresenta uma distorção quando utilizados para indicar estágios morfodinâmicos de uma praia. Mas embora apresentem esta distorção, os valores de  $\hat{U}_{teórico}$  também refletem a grande variação morfodinâmica da Praia de Fora ao longo do período de monitoramento.

Esta distorção pode ser observada no perfil 4 (Fig. 28), que apresentava ondas incidentes com altura igual a 0,26 m e período de 2,3 s, declividade de aproximadamente 11 graus e granulometria classificada como areia média. Neste caso o perfil foi classificado como intermediário quando da utilização de  $\hat{U}$  e como reflectivo quando da utilização de  $\hat{U}_{teórico}$ .

As discrepâncias entre estes dois parâmetros ( $\hat{U}$  e  $\hat{U}_{teórico}$ ) também foram verificadas por FERREIRA (1999), KLEIN (1997 e 1997a) em diferentes tipos de praias submetidas a diferentes dinâmicas. Estes autores consideram que estas diferenças estão relacionadas ao perfil de praia estar ou não em equilíbrio com as características das ondas, pois os valores de  $\hat{U}$  nem sempre representam o estágio atual da praia. KLEIN (*Op. Cit*) cita como exemplo um perfil plano que sofre um processo de acreção sob condições de ondulações. Provavelmente  $\hat{U}$  tenderá a condições intermediárias à reflectivas, enquanto o calculado pela equação ( $\hat{U}_{teórico}$ ) representará uma condição dissipativa, devido a baixa declividade.

A tabela XXI apresenta a classificação da Praia de Fora determinada pelos diversos parâmetros utilizados neste trabalho, além de uma análise visual da forma do perfil. Embora existam discrepâncias, as mesmas são relativamente pequenas sob ponto de vista energético, pois as variações entre os estágios intermediários e os extremos indicados pelos parâmetros em um mesmo perfil foram sempre em um nível de energia próximo, ou seja, em várias ocasiões os estágios intermediários apontados pelos parâmetros numéricos estiveram próximos dos limites extremos, seja dissipativo ou reflectivo, caracterizando a imprecisão dos intervalos utilizados nos modelos quando aplicados a outros tipos de praia.

Tabela XXI: Comparação dos estágios morfodinâmicos previstos pelos parâmetros utilizados, quando aplicados aos perfis monitorados no período 2000 – 2001. D = dissipativo, I = intermediário e R = reflectivo.

<b>Perfil</b>	<b>Ū</b>	<b>Ū<sub>teórico.</sub></b>	<b>á</b>	<b>Visual</b>
1	D	I	I	I
2	-	I	-	I
3	-	D	-	D
4	I	R	I	I
5	D	I	D	I
6	-	I	-	I
7	-	R	-	I
8	-	I	-	I
9	I	R	I	I
10	-	I	-	I
11	R	R	I	I
12	I	D	D	D

WRIGHT *et al.* (1984) consideram que prováveis estágios morfodinâmicos podem ser previstos com relativo sucesso partindo-se das características do clima de ondas antecedente. A direção da mudança de estágio da praia (se erosiva ou acresciva) pode ser identificada quando a combinação de  $\tilde{U}$  e estágio da praia instantâneo estiverem fora da faixa de equilíbrio proposta pelos autores no gráfico da figura 30.

Neste gráfico, caso a combinação de  $\bar{U}$  e estágio da praia coloque-se a direita e abaixo da faixa de equilíbrio, ocorrerá erosão subaérea. O tamanho das setas é proporcional a taxa de mudança e nota-se que quanto mais a combinação  $\bar{U}$  e estágio da praia estiver afastada do equilíbrio, maiores serão as variações. Localizamos os perfis em que foi possível a medição de  $\bar{U}$  no gráfico e o resultado pode ser visto na figura 33:

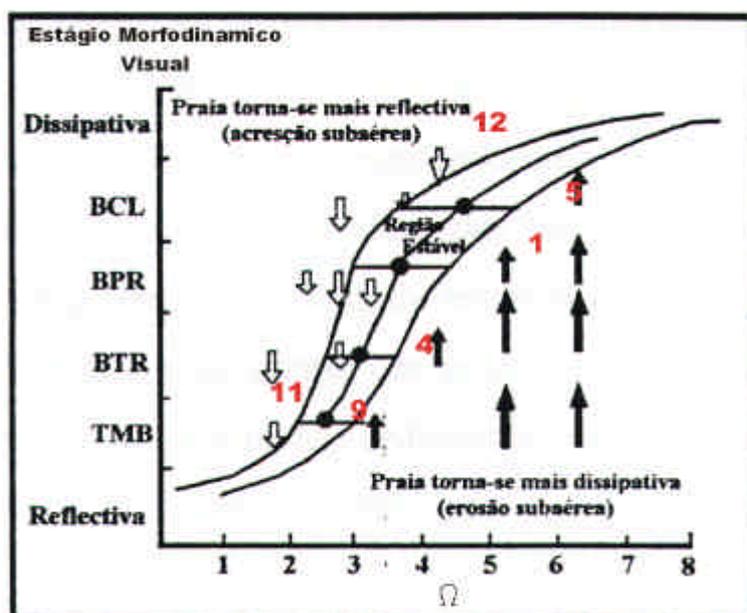


Figura 33: Relação de equilíbrio entre estágio da praia e  $\bar{U}$ . Os números em vermelho representam os perfis medidos no campo. (Modificado de Wright *et al.* 1984)

Observamos que a Praia de Fora apresenta grande variação anual de estágios morfodinâmicos, sendo que em quatro ocasiões (perfis 1, 4 e 5) a direção de mudança de estado indicou uma condição erosiva. Já os perfis 11 e 12, apresentaram uma mudança para a condição acresciva, enquanto que o perfil 9 apresentou-se dentro da faixa de equilíbrio.

Analisando o gráfico da figura 33, observamos que, embora a precisão do parâmetro  $\bar{U}$  seja pequena, existe uma relação que permite avaliar a direção da evolução da praia na busca de um equilíbrio morfodinâmico. Como exemplo citamos o caso do perfil 5 que apresenta-se fora da faixa de equilíbrio hidrodinâmico, na zona que representa erosão, conforme pode ser confirmado na figura 28.

WRIGHT (1980), afirma que a suscetibilidade de uma praia a erosão é estreitamente relacionada com seu estado morfodinâmico modal. Na a área de estudo os resultados obtidos

em relação ao parâmetro  $\bar{U}$  junto a série de dados referentes a previsão de ondas em 1988 (tabela 13), indicam um estado bimodal para a Praia de Fora com os estágios dissipativo e BCL somando quase 80% dos registros. Cabe salientar que como os registros não representam a totalidade dos dias do ano (apenas os em que as ondas apresentavam  $H_b$  mais de 0.10m), consideramos que os resultados obtidos com o monitoramento dos perfis no campo foram de fundamental importância para exemplificar os processos encontrados na Praia de Fora.

As praias dissipativas são, potencialmente, as menos suscetíveis a erosão. Seu perfil representa o extremo erosivo de uma seqüência de evolução morfológica, com o estoque de sedimentos concentrado na zona de surfe sob a forma de bancos arenosos. Assim, as elevações energéticas necessárias para induzir erosão subaérea em uma praia dissipativa são muito maiores que aquelas necessárias para produzir corte em praias reflectivas. Dependendo da intensidade e freqüência dos eventos de alta energia, a erosão gerada na praia subaérea pode ser gradualmente aumentada ao longo de vários eventos, dificultando a recuperação de praias dissipativas, sendo que problemas crônicos de erosão estão normalmente associados a estes tipos de processos.

Já em praias reflectivas, o galgamento das ondas é magnificado e passa a atingir diretamente o berma, erodindo a praia subaérea. A erosão tende a cessar quando a refletividade da praia for reduzida o suficiente para interromper o crescimento das oscilações subharmônicas.

A figura 34 apresenta a fotografia da Praia de Fora quando da medição do perfil 3. Nesta foto, embora a praia não apresentasse incidência de ondas, é possível perceber que parte do estoque de sedimentos localiza-se na zona de surfe sob a forma de bancos longitudinais.



Figura 34: Praia de Fora no dia da medição do perfil 3. As setas indicam os estoques de sedimentos junto a zona de surfe sob a forma de bancos.

Embora amplamente utilizados em estudos sobre a morfodinâmica de praias, o modelo de praias de banco único proposto pela escola australiana apresenta um problema: a sua aplicação não se torna completa em praias com bancos múltiplos. KLEIN (1997a) afirma que o comportamento do sistema de bancos múltiplos como um todo parece encaixar-se na seqüência idealizada por WRIGHT & SHORT (1984), entretanto, devido ao decaimento da altura da onda ao longo da zona de surfe (ocasionado pela dissipação de energia das ondas incidentes nos bancos), os limites numéricos do parâmetro  $\tilde{U}$  permanecem em questionamento no que se refere a sua aplicação neste tipo de sistema. Neste trabalho os resultados apresentados confirmaram esta imprecisão do modelo de banco único.

Em praias com bancos múltiplos as diferenças dinâmicas e morfológicas entre os bancos deste sistema são evidentes. Geralmente os bancos proximais são mais móveis e instáveis do que os distais, pois requerem uma menor quantidade de energia para serem mobilizados. Morfológicamente, bancos de um mesmo sistema apresentarão também ritimicidades de escalas de comprimento diferentes entre si (HOEFEL, 1998).

AAGAARD (1991) e SHORT (1992) estudaram praias de bancos múltiplos na Dinamarca e Holanda e propuseram um modelo que se baseia na seqüência de Wright & Short e introduz o Parâmetro de Banco (B) para prever o número de bancos a serem formados em uma praia.

Nota-se neste modelo uma hierarquia entre os tipos de banco dentro de um mesmo estágio praiar, sendo que somente nos extremos dissipativos e reflectivos todos os bancos do sistema seriam do mesmo tipo.

Em estágios mais energéticos os bancos tendem a assumir formas lineares. Com a diminuição da energia de onda e aumento do período, o tipo de banco tende a ser mais rítmico, sendo que os bancos proximais tendem a fundir-se a praia na forma de cristas e canais. Este fenômeno foi registrado na Praia de Fora, como pode ser observado na figura 36.



Figura 35: Fotografia com visada para SE em um dia em que o pós – praia encontrava-se inundado.

A condição de pós - praia inundado (Fig. 35) é freqüente nas praias da Lagoa dos Patos, pois a mesma é uma grande bacia de captação e possui apenas um canal de ligação com o mar. A combinação do aumento do aporte de águas que chegam a laguna e a incidência de ventos do quadrante sul e sudeste aprisionam grande volume de água e magnificam a ação das ondas sobre a praia.



Figura 36: Foto em frente ao marco. Graças ao baixo nível da água pode-se perceber a presença de um banco longitudinal próximo a linha d'água.

No modelo proposto por AAGAARD & SHORT (1993), o número de bancos aparece como função da geometria da praia e do período de onda incidente. Os dados utilizados para a formulação do parâmetro permitiram a determinação dos seguintes intervalos (tabela XXII):

Tabela XXII: Intervalos numéricos do parâmetro B e o número de bancos previstos.

<b>Parâmetro B</b>	<b>Número de Bancos</b>
B < 20	Sem banco
B 20 – 50	Um banco
B 50 – 100	Dois bancos
B 100 – 400	Três bancos
B > 400	Quatro bancos

FERREIRA (1999) aplicou este parâmetro em uma praia oceânica abrigada, de baixa energia e também obteve resultados satisfatórios. Os valores obtidos não indicaram a formação de bancos, o que esteve de acordo com as condições observadas nas medições dos perfis morfológicos em questão.

Para a Praia de Fora utilizamos a equação 10 para calcular o número de bancos previstos. Os resultados são apresentados na tabela XXIII:

Tabela XXIII: Valores referentes ao parâmetro B e o número de bancos estimado. Em dias que a praia não apresentava incidência de ondas com altura mínima de 0.10 metros não foi possível realizar o cálculo deste parâmetro.

<b>Perfil</b>	<b>Data</b>	<b>B</b>	<b>Número de bancos</b>
1	27-05-2000	96,9	Dois
2	24-06-2000	-	-
3	05-08-2000	-	-
4	17-09-2000	77,1	Dois
5	15-10-2000	176,9	Três
6	22-10-2000	-	-
7	19-11-2000	-	-
8	09-12-2000	-	-
9	21-01-2001	150,5	Três
10	24-02-2001	-	-
11	07-04-2001	86,1	Dois
12	09-05-2001	387,8	Três

Todos os perfis em que foi possível a aplicação deste parâmetro apresentaram tendência à formação de dois ou três bancos, sendo que nos dias em que o perfil se apresentou mais dissipativo este número tende a 3 e nos demais tende a 2.

Segundo AAGAARD & SHORT (1993), sistemas de banco duplo são mais comuns em praias de declividade relativamente baixa, dominadas por vagas e expostas episodicamente a ondas de tempestade. Sistemas de banco triplo são encontrados em costas dominadas por tempestades e praias com quatro bancos estão relacionadas a sistemas de baixa energia ocasionalmente atingidos por tempestades.

Podemos encaixar a Praia de Fora na descrição de praias com presença de dois bancos, pois a mesma é dominada por vagas e exposta episodicamente a ondas de tempestade.

TOLDO (1994) considera que as margens da Lagoa dos Patos tem o desenvolvimento de bancos arenosos favorecido pelo seu suave gradiente, pelo grande estoque de sedimentos subaquosos e pela ausência de marés astronômicas, sendo que a morfologia destes bancos corresponde ao que tem sido documentado em praias oceânicas dominadas por ondas. O autor considera que os gradientes entre as isóbatas de -1 e -5 metros são pouco acentuados ao longo de toda a laguna, sendo que na Praia de Fora esta declividade é de 1/298, conforme a figura 37.

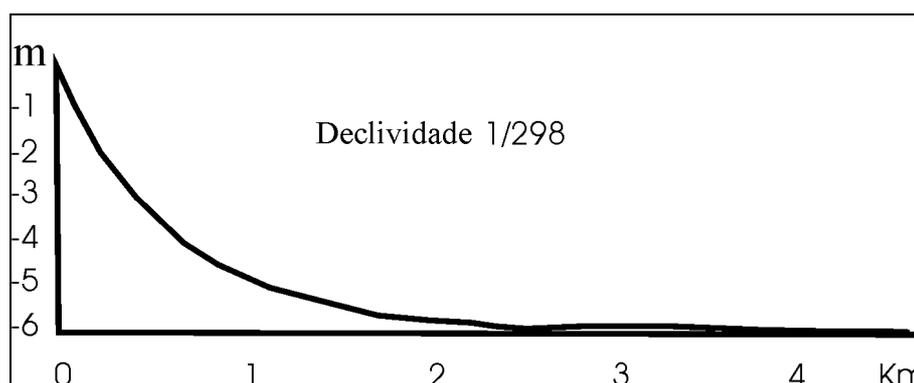


Figura 37: Perfil batimétrico da margem lagunar relativo ao local da estação de predição de ondas da Praia de Fora. Modificado de TOLDO (1994).

TOLDO (*Op. Cit.*) identificou bancos paralelos e transversais na laguna, sendo que a presença dos mesmos é compatível com a análise do padrão de ondas do sistema lagunar. A distancia observada entre os bancos paralelos e a linha de costa é concordante também com o sentido do potencial de transporte sedimentar perpendicular a praia. A fotografia da figura 38 ilustra o banco proximal, neste caso acima da linha d'água, na Praia de Fora.



Figura 38. Fotografia oblíqua da Praia de Fora tirada em setembro de 2000. As setas em vermelho indicam a presença de bancos longitudinais à linha de praia. O baixo nível da água da laguna neste dia fez com que os mesmos estivessem acima da linha d'água.

Neste trabalho medimos, em duas ocasiões, o perfil transversal da margem inferior da laguna junto a Praia de Fora, sendo que os resultados indicaram a presença de uma praia com banco único, conforme as figuras 39 e 40:

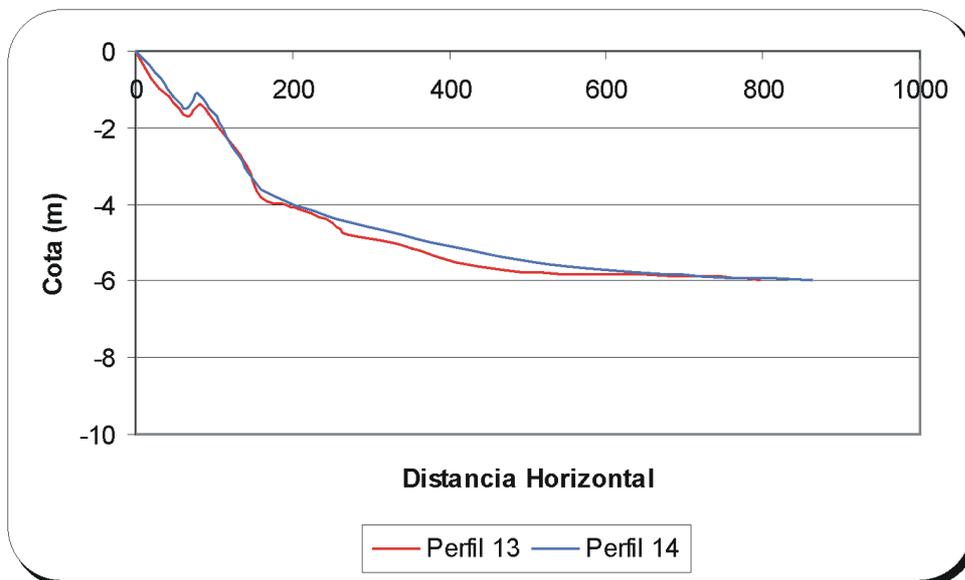


Figura 39. Sobreposição dos perfis da margem lagunar 13 e 14.

O pequeno número de perfis disponíveis para a análise da quantidade de bancos existentes na Praia de Fora não permite chegar a definições sobre os padrões de comportamento destes bancos, mas já é um indicativo das variações do número de bancos existentes na praia. A aplicação do parâmetro  $B$  somente foi possível para os dias com ondas incidentes e conseqüentemente uma maior energia envolvida no sistema, sendo que nestes dias os resultados do modelo matemático indicaram uma praia com dois ou três bancos. Já no dia em que foram medidos os dois perfis da margem lagunar (ver foto da figura 40) a Praia de Fora não apresentava ondas incidentes e por conseqüência a energia envolvida era menor, fazendo com que na praia existisse apenas um banco na profundidade entre 1 e 2 metros.



Figura 40: Nesta foto percebe-se que, no dia 16 de julho, quando foram medidos os perfis 13 e 14 não havia incidência de ondas.

Os resultados obtidos com a aplicação do parâmetro de banco confirmam as considerações de TOLDO (1994), sobre a morfodinâmica da margem superior da Lagoa dos Patos, no que se refere à área de estudo deste trabalho, e reflete a intensa mobilidade dos sedimentos na Praia de Fora ao longo do ano, caracterizando-a como um ambiente consideravelmente dinâmico, mesmo se tratando de uma praia lagunar.

AAGAARD & SHORT (1993), propuseram ainda um modelo seqüencial para praias de um, dois e três bancos que permite estimar aproximadamente as características da praia relacionando o parâmetro  $\hat{U}$  com o parâmetro de banco ( $B$ ). Este modelo pode ser visualizado na figura 41:

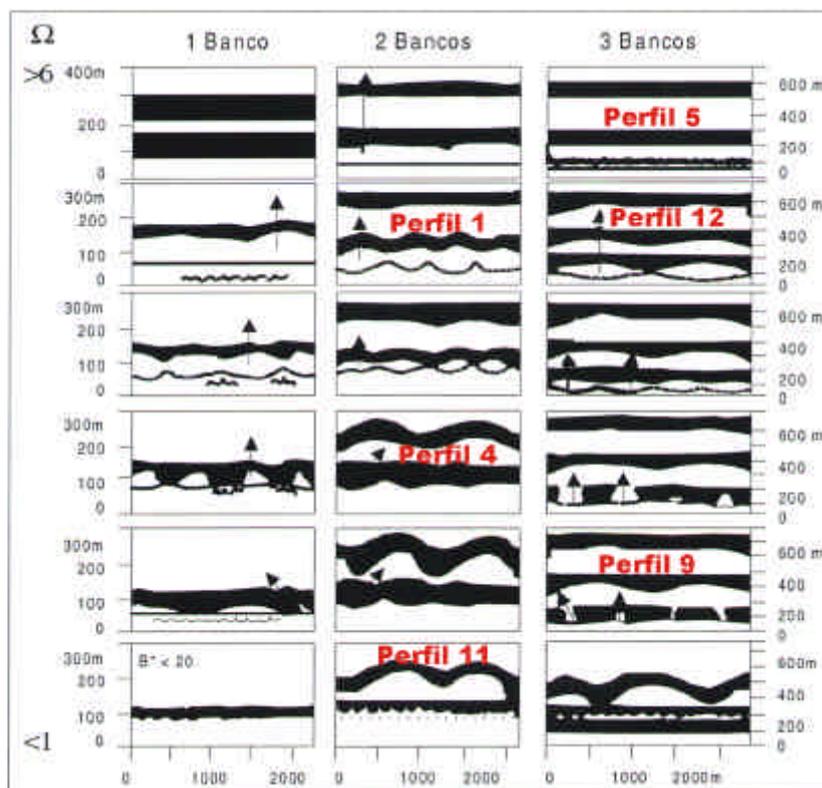


Figura 41: Enquadramento dos perfis monitorados no campo no modelo seqüencial de bancos múltiplos a partir da sua relação com o parâmetro  $\tilde{U}$ .

Como o parâmetro Omega ( $\tilde{U}$ ) reflete as variáveis quantitativas envolvidas no condicionamento morfodinâmico de uma praia (Hb, Ws e T), AAGAARD & SHORT (Op. Cit) relacionaram a distribuição morfológica dos bancos com o nível de energia representado pelo parâmetro  $\tilde{U}$ . Com este modelo é possível prever as variações espaciais dos bancos arenosos em função das variações das condições das ondas incidentes.

No caso dos perfis monitorados na Praia de Fora a relação entre o parâmetro  $\tilde{U}$  e o parâmetro de banco B estão grifados em vermelho na figura 41, representando a provável distribuição dos bancos ao longo do perfil praiial. O conhecimento aprofundado dos estágios morfodinâmicos representados pelo parâmetro  $\tilde{U}$ , permite a elaboração de estimativas aproximadas sobre as características da Praia de Fora objetivando a aquisição de informações mais previsíveis sobre o seu comportamento.

Ressaltamos que estes resultados são claros indicadores da morfologia praiial, mas não podem ser considerados definitivos em termos de comportamento morfodinâmico da Praia de Fora, pois o período e a frequência de medições em campo são insuficientes para estabelecer um padrão conclusivo sobre este tema. Consideramos que com uma maior série de dados é possível chegar a um entendimento mais abrangente a cerca destas questões, visto que os indicativos apresentados aqui são concordantes com toda a dinâmica conhecida da área em estudo.

### 3.2 Limites Interno e Externo da Praia de Fora

A solução de grande parte dos problemas que surgem em trabalhos de engenharia, geologia, oceanografia, entre outros, na área litorânea, tais como localização de emissários, lançamento de material de dragagem, áreas para extração de areia e determinação da profundidade de fundeio para instalação de equipamentos de oceanográficos, requerem o conhecimento de parâmetros que permitam uma avaliação rápida e relativamente segura da possibilidade de movimentação dos fundos arenosos sob a ação das ondas (ALMEIDA et al. (1999).

Estes autores consideram que o parâmetro que melhor define esta condição sob o ponto de vista estatístico, é o chamado “profundidade de fechamento” que determina os limites internos e externos do perfil praiial da zona de transporte arenoso longitudinal e transversal ativo, ou seja, a menor profundidade onde não ocorrem alterações significativas no perfil de fundo.

HALLERMEIER (1981), definiu estes parâmetros com base nas características de fundos arenosos e em parâmetros estatísticos representativos do clima atual de ondas para zonas de águas pouco profundas e definida em função da capacidade de movimentação da areia pela atuação das ondas.

GRUBER (1999), alerta que o termo profundidade de fechamento pode ser muitas vezes interpretado erroneamente como a profundidade limite definitiva para a movimentação de material de fundo tanto longitudinal como transversal à praia, sendo que vários estudos mostram que existe uma significativa movimentação de material do fundo em zonas de águas mais profundas. (WRIGHT *et. al.*, 1991).

Outro problema que dificulta a interpretação é o fato de que os conceitos de limites interno e externo não dependem somente das condições de ondas, mas de uma interação de fatores hidrodinâmicos e geológicos. A aplicação das equações referentes a estes parâmetros não é aconselhada para locais onde o transporte de sedimentos de fundo por correntes é mais importante do que aquele induzido pelas ondas (GRUBER, *Op. cit.*).

NICHOLLS *et al.* (1998), desenvolveram um trabalho de avaliação da profundidade de fechamento utilizando 12 perfis freqüentes de alta precisão coletados desde a rebentação até os 8 m de profundidade na costa leste dos Estados Unidos, onde examinaram a existência de variações relevantes nos valores dos limites internos e externos.

BEAVERS *et al.* (1999), monitoraram a variação de perfis praias e antepraia na Carolina do Norte (E.U.A), onde avaliaram as condições de transporte resultante de sedimentos a partir da profundidade de fechamento, onde constataram variações de até 48 cm em profundidades de 5,5m e 8m.

Já ALMEIDA *et al.* (1999) calcularam estes parâmetros para o litoral do Rio Grande do Sul com base em duas séries de dados de ondas referentes aos anos de 1962 e 1963 e obtiveram os valores de 7,5 m para o limite interno e 36 m para o limite externo, sendo que o equacionamento utilizado pelos autores é o mesmo proposto neste trabalho. Os autores constataram que os valores de limite interno encontrados em seu trabalho variaram cerca de 40% para as diferentes equações utilizadas, sendo que o intervalo de erro de 20 cm pode ser considerado como um critério de precisão aplicável ao litoral do Rio Grande do Sul.

Para a Praia de Fora obtivemos os resultados apresentados na tabela XII, sendo que os mesmos apontaram variações conforme a equação utilizada. No caso do limite interno os valores variaram de 0.71 m a 1.03 m, apresentando diferenças de até 30%. Consideramos o valor médio de 0.90 m como o limite interno da Praia de Fora, ou seja, a profundidade a partir da qual o transporte longitudinal e transversal não é considerado intenso.

O limite externo foi calculado com base na equação 19, tendo como resultado 5,2 m. Como este tipo de cálculo não é preciso, consideramos o valor de 5 m como a máxima profundidade a partir da qual o transporte de sedimentos sob ação de ondas é praticamente nulo, ou seja, o transporte significativo de areia fica restrito a profundidades inferiores a 5 m.

Estes valores de profundidade obtidos podem ser considerados como limites das zonas em que a movimentação de sedimentos tanto no sentido longitudinal quanto no sentido perpendicular é: (a) muito intenso, de 0 a 0,90 m, (b) significativo, de 0.90 a 5 m e (c) zona de transição, entre 5 e 6 m e (d) incipiente, para profundidades maiores que 6 metros. A figura 42 é um perfil idealizado para a Praia de Fora, onde os três segmentos citados anteriormente podem ser visualizados, sendo que cabe salientar que estes limites numéricos não são estáticos, pois os modelos utilizados apresentam uma imprecisão derivada do próprio método de cálculo.

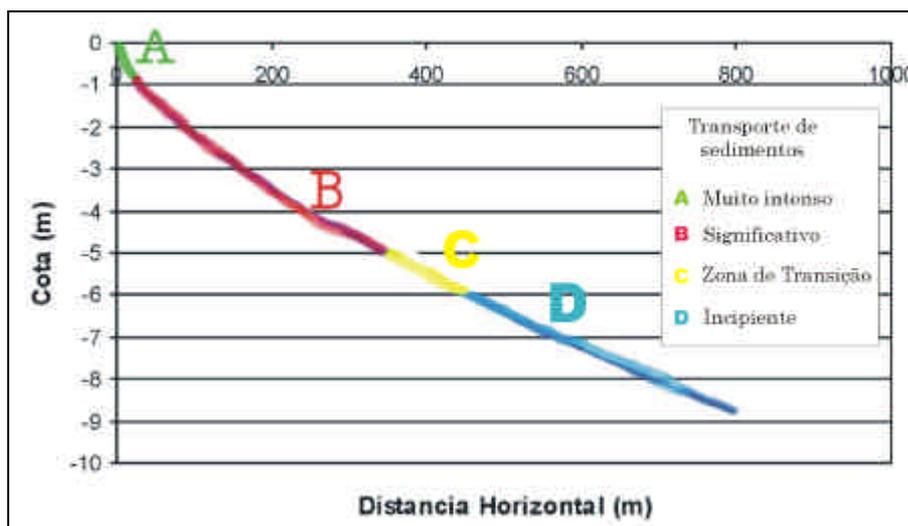


Figura 42. Perfil idealizado da Praia de Fora com a representação dos setores do perfil onde o transporte de sedimentos longitudinal e perpendicular é: A – Muito intenso; B – Significativo e C – Incipiente.

Estes valores parecem concordar com os dados conhecidos sobre a dinâmica da Lagoa dos Patos. TOLDO (1994) classificou o relevo submerso do corpo lagunar em duas grandes regiões morfológicas. A primeira região compreende a margens lagunar, situada entre a linha de praia e a isóbata de -5 m. A segunda região é constituída pelo piso lagunar e corresponde a um fundo plano que se desenvolve além da isóbata de -5 m, sendo que este piso é caracterizado por sedimentos silticos e argilosos, conforme pode ser comprovado pelas amostras de fundo da tabela V, onde as amostras 02, 03 e 130, que foram coletadas em profundidades maiores que 6 m apresentaram classificação de silte médio, silte grosso e silte muito grosso, respectivamente. A classificação de areia média para a amostra 123, coletada a uma profundidade de 5,50 m, reflete a imprecisão dos limites numéricos obtidos pelo modelo utilizado, tornando inviável a determinação de uma cota batimétrica definitiva como limite para a zona de transporte significativo. Assim deferimos uma zona de transição entre os 5 e 6 m de profundidade, para caracterizar um ambiente entre a zona de transporte de sedimentos significativo e aquela de transporte incipiente.

Os dados e informações obtidos sobre a distribuição direcional do fluxo de energia das ondas, permitiram a TOLDO (*Op. Cit*) definir um ambiente altamente energético entre a linha de praia e a isóbata de 3 m, correspondente a antepraia lagunar, caracterizado por uma ampla faixa com mobilidade de sedimentos, onde a expressiva ocorrência de bancos paralelos e transversais indicam o efetivo processo de sedimentação costeira neste ambiente.

O limite de 3 m está relacionado com as ondas significativas, porém o somatório das ondas de tempestades, que chega a 15 horas por ano, indica um ambiente altamente energético ou turbulento sobre todo o fundo da Lagoa dos Patos.

### 3.3 Perfil de Equilíbrio

Embora controverso, o conceito de perfil de equilíbrio proposto por DEAN (1977) continua amplamente utilizado nos trabalhos que envolvem dinâmica de praias. Tal fato torna-se mais relevante à medida que este conceito é utilizado em muitos modelos matemáticos de engenharia costeira e servem como parâmetro para mineração ou obras de dragagem em ambientes praias.

Como todo modelo empírico, o de perfil de equilíbrio não consegue abranger toda a gama de variáveis que atuam na morfologia de uma praia, mas pode ser utilizado desde que conhecidas as suas limitações. Estas limitações são decorrentes do fato de não existir na natureza um perfil de equilíbrio que não seja instantâneo. Além disso, o fato de o mesmo ter sido desenvolvido em um determinado tipo de praia pode causar erros de avaliação se não forem consideradas as características de cada praia. DUBOIS (1992) afirma que cada modelo de perfil de equilíbrio requer uma constante que reflita o estado de equilíbrio do perfil, coeficientes que representem a ação das ondas, o volume de sedimentos envolvido e valores que indiquem a resistência dos sedimentos ao transporte. MUNOZ-PEREZ *et al.* (1999), adequou o modelo para praias protegidas por recifes, em Cadiz, Espanha, obtendo resultados satisfatórios em 50 perfis de sete praias diferentes.

GRUBER (1999), alerta para a utilização do modelo de perfil de equilíbrio com objetivo de determinar o limite inferior de atuação da dinâmica de ondas e correntes transversais e deduziu que abaixo destas profundidades não haveria modificações significativas no perfil de equilíbrio em curtos lapsos de tempo, pois este tipo de modelo não contempla aspectos de correntes não geradas por ondas ou eventos de tempestades que interfiram na distribuição sedimentar.

Consideramos que a aplicação do modelo de perfil de equilíbrio neste trabalho é possível, pois segundo TOLDO (1994), a Praia de Fora é dominada por ondas e correntes geradas por ondas. Os resultados podem ser observados nas figuras 14, 15, e 43.

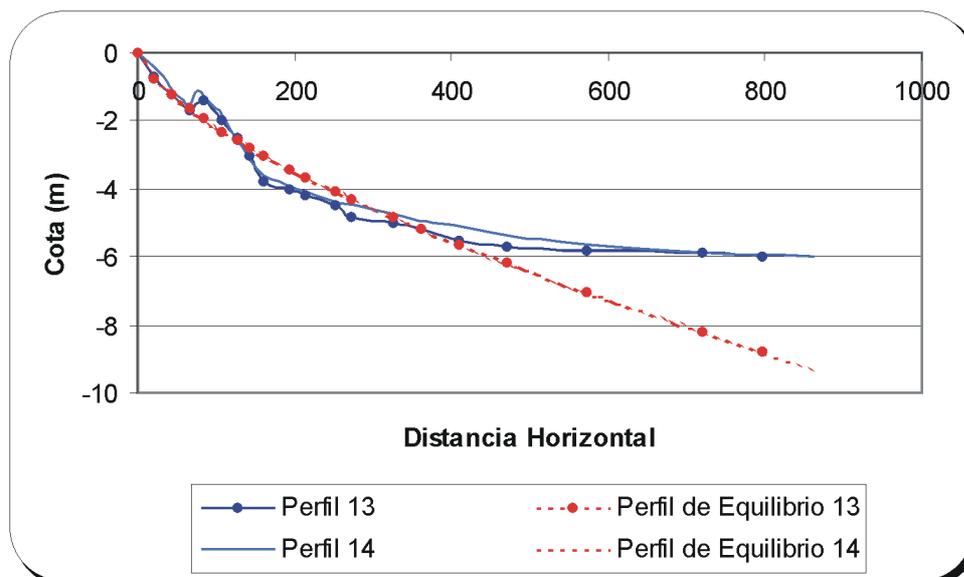


Figura 43. Comparação dos perfis medidos na margem lagunar (em azul) com o perfil de equilíbrio estimado (em vermelho).

A análise dos resultados indica que a Praia de Fora apresenta transporte perpendicular de sedimentos no sentido da antepraia para a zona de surfe, como pode ser observado pelo déficit de sedimentos entre as profundidades de 3 e 4 m e pelo banco observado próximo a profundidade de 1,5 m. A comparação entre os perfis medidos e o de equilíbrio indica também a deposição de sedimentos sobre a face praial, de acordo com a direção descrita acima, da antepraia para a zona de surfe.

A intersecção verificada entre os perfis estimados e medidos (Fig. 43) ocorre em valores próximos a 5 m de profundidade. Além desta profundidade, as modificações no perfil não são mais significantes, pois a ação das ondas torna-se incipiente junto ao fundo. Os resultados obtidos com a aplicação do modelo de perfil de equilíbrio de DEAN (1977), concordam com aqueles obtidos com o equacionamento referente aos limites interno e externo.

Na figura 43 fica evidente a grande quantidade de material disponível no sistema nas profundidades abaixo de 5 m. Este resultado é concordante com a morfologia submersa da Lagoa dos Patos, especificamente quanto a existência do compartimento denominado piso lagunar, correspondente a um fundo plano que se desenvolve a partir da isóbata de 5 m, composto por sedimentos finos provenientes do Lago Guaíba, conforme podem ser comprovadas pelas amostras apresentadas na tabela V.

TOLDO (1994), considera que os depósitos sedimentares holocênicos na laguna estão sobrepostos a uma antiga planície, dominada por sistemas deposicionais costeiros e constituída por materiais com tamanho areia em uma profundidade média de 12 m, sendo que a profundidade média atual do fundo lagunar é de 6 m, resultando em uma espessura média máxima de sedimentação lagunar holocênica de 6 m, conforme ilustrado figura 44:

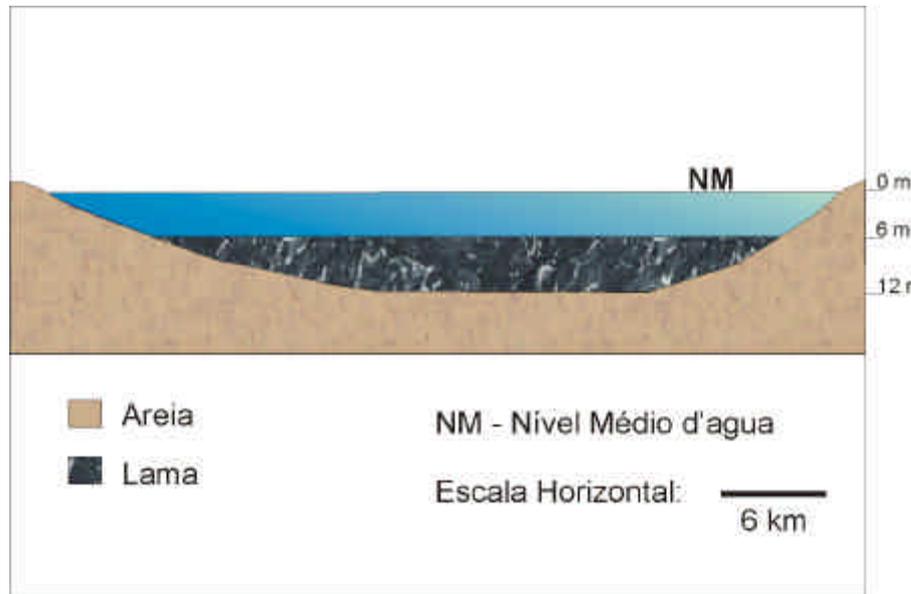


Figura 44: Geometria da bacia deposicional do atual sistema lagunar da Lagoa dos Patos. Modificado de TOLDO (1994).

Segundo RAUDI KIVI (1990), a deposição de partículas finas, argilosas, quando submetidas a algum tipo de corrente, ocorrerá quando a tensão de cisalhamento de fundo diminuir abaixo de certos valores críticos para erosão. Porém, o movimento orbital e o movimento das correntes produzem em condições normais ou de pouca energia uma tensão de cisalhamento suficiente para inibir a deposição das argilas. Quando a concentração de sedimentos em suspensão na massa d'água é baixa ( $< 0.1 \text{ g/l}$ ), como observado na Lagoa dos Patos, a ação da onda pode inibir ainda mais o processo de deposição.

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo de perfil de equilíbrio bem como do equacionamento da profundidade de fechamento indicam a existência de pouca turbulência nas profundidades maiores que 5 m comprovada pelos extensos depósitos de argila e silte junto ao piso lagunar. A taxa média de sedimentação de longo período da Lagoa dos Patos foi calculada por TOLDO (1995) em 0,52 mm/ano, a qual resulta em uma deposição média anual da ordem de  $4,5 \times 10^6$  toneladas de sedimentos. Cabe ressaltar que este valor foi medido com base em 8.000 anos de sedimentação holocênica, mas nos últimos 150 anos a atitude do homem perante o seu ambiente provocou um acelerado desmatamento e uma utilização pouco sustentável do solo, aumentando consideravelmente estas taxas de sedimentação. Os valores correspondentes às taxas de sedimentação de longo período variaram entre 0,21 e 1,13 mm/ano, enquanto os valores obtidos para a sedimentação de curto período variam entre 3,5 e 8,3 mm/ano caracterizando a má utilização dos recursos naturais.

Segundo TOLDO (1999), a expressiva aceleração das taxas de sedimentação da laguna durante curtos períodos de tempo resultam em modificações das características deposicionais deste sistema, sendo que esta laguna que está localizada sobre uma margem passiva começou a ter taxas de sedimentação típicas de lagos e lagunas de áreas tectonicamente ativas.

Nas porções norte e média da Lagoa dos Patos, os sedimentos siltico-argilosos, originados da carga de suspensão trazida pelos rios depositam-se por decantação ao longo das regiões mais profundas que escapam a ação erosiva das ondas. A parte que permanece em suspensão nas águas e que lentamente se dirige para o canal de Rio Grande, encontra condições químicas e hidrodinâmicas que tornam o mecanismo deposicional mais complexo. (VILLWOCK *et al.* 1972).

Este material é depositado na plataforma interna nas profundidades entre 6 e 15 m e, em condições de acréscimo de energia ocasionado por eventos de tempestade, tende a ser remobilizado para setores do perfil praiial formando extensos depósitos de lama a beira-mar. (MARTINS *et al.* 1978).

Segundo CALLIARI *et al* (1999), os primeiros registros deste fenômeno datam de 1901 e desde 1972 foram verificados no mínimo 18 episódios de deposição de lama na praia do Cassino (Fig 4) e, embora não existam registros sobre a periodicidade deste fenômeno, acredita-se que sua frequência possa estar aumentando. Em 1998 durante um destes eventos os autores detectaram alguns dos principais efeitos deste fenômeno sobre a zona de deposição como a morte de vários organismos que habitam a região do pós – praia e a ausência pronunciada da zona de arrebentação por uma extensão de 12 km, sendo que neste caso, este fenômeno durou 14 meses, tendo a zona de rebentação voltado ao normal somente após as tempestades extremas ocorridas em abril de 1999.

Acreditamos que o aumento da taxa de sedimentação da laguna referido anteriormente possa estar contribuindo significativamente como fonte para a lama acumulada na desembocadura da Lagoa dos Patos. Uma avaliação do estado acrescional da laguna realizado por TOLDO (1999), com base no modelo conceitual proposto por NICHOLS (1989), demonstra que a laguna apresenta uma tendência de reversão do déficit acrescional durante longos períodos para um superávit acrescional em curtos períodos, ou seja, as taxas de sedimentação atuais são superiores as taxas de elevação do nível do mar para a região.

No caso da Praia de Fora e adjacências a profundidade calculada onde não ocorrem interferências significativas da ação de ondas incidentes é de aproximadamente 5 m, sendo que esta zona pode ser considerada como limítrofe para a remobilização de sedimentos. Também o grande aumento das taxas de sedimentação de curto período pode estar indicando uma saturação desta bacia no que se refere a ambientes propícios para a deposição de sedimentos finos. Deste modo os sedimentos estariam sofrendo a ação das ondas com uma frequência maior, disponibilizando assim, uma maior quantidade de material a ser transportada para a desembocadura da laguna.

Como neste trabalho examinamos a questão sobre a morfodinâmica de uma área pequena quando comparada à área total da laguna, sugerimos que sejam realizados estudos do mesmo tipo em outras regiões da Lagoa dos Patos, para que a tendência de reversão do déficit acrescional durante longos períodos para um superávit acrescional em curtos períodos seja confirmada e relacionada com as profundidades de fechamento de cada setor da laguna.

### 3.4 Transporte Longitudinal

VILLWOCK & TOMAZELLI (1995), consideram a transferência lateral de sedimentos um dos mais importantes fatores responsáveis pela configuração das praias, sendo que ela deve ser avaliada em qualquer estudo que se faça a respeito do balanço sedimentar de um segmento praial e suas correspondentes taxas de erosão ou acreção.

Autores como JACOBSEN & SCHARTZ (1981), MORELOCK *et al.* (1985), SCHARTZ (1990) e VILLWOCK & TOMAZELLI (1995) concordam que a determinação quantitativa de deriva de sedimentos envolvendo cálculos a partir de registros de ondas não se constitui em uma tarefa precisa, mas é possível realizar importantes observações qualitativas a partir da análise de indicadores geomorfológicos na costa e de considerações genéricas sobre o regime de ondas.

ALFREDINI (1997), comparando a aplicação dos métodos mais utilizados para o cálculo de transporte sedimentar ratifica a conclusão de outros autores, como por exemplo, SCHOONEES & THEON (1994), de que a fórmula do SHORE PROTECTION MANUAL (SPM, 1984) utilizada neste trabalho tende a superestimar a vazão sólida quando sua magnitude real situa-se até 1,5 milhão de m<sup>3</sup>/ano. No caso da Praia de Fora, o transporte longitudinal total calculado foi de aproximadamente 2,5 milhões de m<sup>3</sup>/ano, valor este que pode estar sendo influenciado por esta imprecisão do método.

SANTOS (2000), afirma que devido ao caráter não linear e a grande variabilidade no espaço e no tempo dos processos costeiros, o estudo e a previsão de variações nestes ambientes não são facilmente extrapoláveis a partir de soluções simples, mas considera que os modelos numéricos utilizados atualmente são uma poderosa ferramenta no apoio ao planejamento e gestão de projetos localizados em zonas costeiras.

TOLDO (1994), considera que o mecanismo básico para a suspensão e transporte de sedimentos é caracterizado pela ressuspensão de partículas provocada pela agitação da onda junto ao fundo e pelo transporte de sedimentos através do movimento da corrente.

Consideramos este raciocínio válido, pois as correntes de onda junto ao fundo movimentam e suspendem o sedimento, enquanto que as correntes mesmo de fraca intensidade, seja resultante da incidência de ondas ou não, tem a capacidade de deslocar o material, já que o mesmo estará temporariamente em suspensão.

Conseqüentemente a causa do estado dinâmico da linha de praia e da zona de surfe deve-se a concentração de energia das ondas incidentes. Nesta zona, a energia é transformada em turbulência e dissipação, que pode resultar em importantes correntes paralelas a praia.

As correntes longitudinais crescem em intensidade da costa em direção ao corpo d'água, atingindo um máximo aproximadamente no meio da zona de surfe, a partir de onde passam a decrescer. Estas correntes transportam sedimentos colocados em suspensão pelas ondas incidentes, potencialmente podendo movê-los ao longo de vários quilômetros através do processo de meso - escala temporal conhecido como deriva litorânea (HOEFEL, 1998).

O mecanismo básico para o desenvolvimento de correntes litorâneas é a incidência oblíqua de ondas em relação à linha de praia, o que resulta em um fluxo, dentro da zona de surfe, que é controlado pelos seguintes parâmetros: a) altura, período e ângulo de incidência da onda; b) velocidade e direção do vento; c) formação da linha de costa; e d) declividade da face praial.

Analisando os resultados obtidos referentes à velocidade da corrente longitudinal na Praia de Fora (Tab. XIX), observamos que a mesma apresenta uma variação de velocidade condicionada, principalmente, a altura das ondas incidentes.

A velocidade da corrente longitudinal medida no campo variou de 0,25 a 0,56 m/s, sendo que a variação da corrente calculada pela equação 1 foi de 0,51 a 0,99 m/s, para uma mesma condição de parâmetros de ondas. Estes valores não apresentam uma boa correlação quando comparados, sendo que os valores da corrente calculada foram sempre superestimados em relação a corrente monitorada na praia.

Este tipo de problema também foi encontrado por FERREIRA (1999), em seu estudo sobre a aplicação de parâmetros morfodinâmicos de praias oceânicas protegidas em ambientes de baixa energia. O autor explica este fato através da limitação do emprego da equação 1 no estudo de ambientes de baixa energia, pois estes não possuem uma zona de surfe muito desenvolvida e as ondas tendem a arrebentar próxima a face praial.

Concluimos que para a Praia de Fora, o cálculo da velocidade da corrente litorânea deve ser realizado com ressalvas quanto a sua precisão, pois as variações da forma do perfil praial são intensas, fato este explicado pela praia constituir-se em um ambiente muito dinâmico, em que as alternâncias de estados energéticos são contínuas.

Simplificações matemáticas foram propostas por diferentes autores com objetivo de quantificar o transporte longitudinal, como por exemplo, as equações de LONGUET-HIGGINS (1970) e KOMAR (1983).

Neste trabalho calculamos o transporte longitudinal resultante para a Praia de Fora utilizando as equações 7 e 8, de acordo com a metodologia proposta pelo SHORE PROTECTION MANUAL (1984). Este método consiste em ajustes teóricos da expressão do método do fluxo de energia para os cálculos referentes ao transporte de sedimentos. Este método estima a capacidade de transporte de sedimentos para cada evento de onda registrado durante um período representativo. Por exigir uma base de dados consistente, este método foi pouco utilizado em praias brasileiras. No Rio Grande do Sul, ALMEIDA *et al.* (2001) estimaram a capacidade de transporte de sedimentos sobre diversos alinhamentos na costa gaúcha. Comparando estes resultados com aqueles obtidos por TOLDO *et al.* (1999) sobre as taxas de variação na linha de costa do Rio Grande do Sul, observamos existir uma coincidência entre as áreas que apresentaram as maiores taxas de transporte calculadas e as maiores taxas de erosão observadas.

Os resultados encontram-se na tabela V e embora não possam ser considerados precisos quanto aos valores quantitativos obtidos, indicam uma tendência a um equilíbrio no sentido do transporte dos sedimentos com aproximadamente 55% para SE e 45% para NO.

Em seu estudo sobre a dinâmica da Lagoa dos Patos, TOLDO (1994), concluiu que o fluxo de energia paralelo a Praia de Fora mostra um padrão de bidirecionalidade, apresentando uma equilibrada distribuição direcional de transporte sedimentar, com uma pequena resultante para SE.

Estes resultados são condizentes com as evidências geomorfológicas observadas em campo junto ao Pontal das Desertas. Sabe-se que os esporões arenosos emersos são orientados pelo sentido preferencial do transporte sedimentar, sendo que quando existe um equilíbrio na distribuição direcional do transporte, os esporões projetam-se simetricamente para o interior da laguna, como foi detectado por TOLDO (1994). Segundo o autor o Pontal das Desertas cresce a partir da Lagoa Negra aproximadamente 10.4 km com direção SE, infletindo em sua porção distal emersa para E mais 3.6 km. O esporão submerso correspondente apresenta orientação geral NO – SE, e comprimento de 12 km a partir da extremidade do esporão emerso. A orientação de extensos bancos arenosos no sentido preferencial da corrente é consequência dos efeitos do potencial de transporte paralelo à praia observados neste sistema lagunar.

O sentido da corrente longitudinal verificada em campo durante o período de monitoramento também indica esta bidirecionalidade e pode ser visualizada na tabela VI.

Das 12 datas em que se realizou o trabalho de campo, quatro delas não apresentaram corrente longitudinal, caracterizando a praia como um ambiente momentaneamente pouco energético. O sentido da corrente de NO para SE foi observado em cinco ocasiões e o sentido de SE para NO foi observado em três ocasiões.

### 3.5 Transporte Perpendicular

O Estudo do transporte de sedimentos na zona costeira tem sido dividido em duas componentes associadas a duas direções: a transversal a costa e a paralela a costa. Segundo SANTOS (2000), isto acontece pela simplificação da abordagem do problema que possibilita dissociar a ação dos agentes principais responsáveis pelo fenômeno de transporte de sedimentos em ambas direções e diferentes escalas de variabilidade temporal associadas a cada direção.

O transporte perpendicular à praia está fundamentalmente associado à ação das ondas, sendo que o mesmo resulta da velocidade orbital assimétrica próxima ao fundo. Esta velocidade é caracterizada por um movimento curto e rápido logo abaixo da crista da onda, seguido por outro movimento, este, porém, longo e lento, logo abaixo da cava da onda. O primeiro movimento é em direção a praia e o segundo em direção as águas profundas.

Os dois mecanismos que governam o transporte perpendicular são a esbeltez da onda e a velocidade de queda de grão, para um determinado período de onda. A esbeltez da onda é definida pela relação entre a altura e o comprimento da onda em águas profundas ( $H_0/L_0$ ).

Ondas de tempestade apresentam maiores valores para esta relação e tendem a erodir a praia com deposição de sedimentos em águas mais profundas, na forma de bancos. Ondas com menores valores para esta relação tendem a restaurar a praia.

TOLDO (*Op Cit.*) considera que a morfologia da antepraia da Lagoa dos Patos é ajustada pela média de tempo em que ocorre o transporte perpendicular à linha de praia, o qual é mais episódico que o transporte de sedimentos na zona de surfe. Comparativamente, a magnitude do transporte perpendicular é uma ou duas ordens menor do que o transporte de sedimentos paralelo à praia.

O estudo do transporte de sedimentos na antepraia pode prover um importante controle na erosão e deposição costeira, caracterizando a tendência da praia a apresentar uma condição erosiva ou acrescional temporalmente.

A metodologia empregada neste trabalho para a determinação do sentido preferencial de movimentação perpendicular dos sedimentos (equacionamento 20) tem sido empregada em alguns estudos sobre migração de bancos, sendo que os resultados têm sido condizentes com os experimentos conduzidos por SUNAMURA & TAKEDA (1984). Como exemplo podemos citar o trabalho de HEQUETT & RUZ (1991), sobre a migração de sedimentos em praias do sudeste do Canadá e o trabalho de TOLDO *et al.* (1999), sobre a migração dos bancos da zona de surfe do litoral gaúcho.

Os resultados obtidos com a aplicação deste método para a série de dados de ondas referentes ao ano de 1988 indicaram que em aproximadamente 76% das situações avaliadas o sentido de movimentação do sedimento foi da zona de surfe para a antepraia, caracterizando um processo de erosão praial. Em 15% das situações o sentido do transporte foi inverso, da antepraia para a zona de surfe, caracterizando um processo de acresção na linha de praia. Em apenas 1% das situações avaliadas o transporte perpendicular foi considerado nulo.

TOLDO (1994), em seu estudo sobre a Lagoa dos Patos conclui que alguns setores da margem lagunar estão retrogradando, pois os mesmos não recebem aporte externo de sedimentos por processos fluviais, sendo que a antepraia constitui-se em sua única fonte de sedimentos. O autor considera que a migração dos bancos paralelos para a margem inferior é um dos mecanismos responsáveis por esta retrogradação da margem lagunar. A exposição de turfas no pós - praia adjacente a alguns segmentos da laguna onde o potencial transporte sedimentar tem um notável sentido para a margem interna pode ser considerado como um indicador desta erosão.

A ação de ondas de tempestade sobre a margem lagunar, erodindo a praia e depositando os sedimentos em águas mais profundas, é identificada pela interdigitação de areia na lama junto ao piso lagunar, conforme descrição de VILLWOCK (1977), ALVAREZ *et al.* (1981) e TOLDO (1989), em estudos de distribuição de sedimentos de fundo na transição entre o piso lamoso e a margem arenosa.

O retorno às condições normais permite que uma proporção variável deste material seja transportada para a praia, sendo que este processo depende da profundidade máxima em que a onda pode iniciar o movimento de sedimentos, comparada à profundidade máxima em que os sedimentos foram transportados sob condições de tempestade.

No caso da Praia de Fora, TOLDO (1994) calculou que o somatório anual dos deslocamentos em metros dos bancos paralelos em direção à praia é nulo no verão e primavera e é de 1 m, tanto no outono quanto no inverno ou 2 metros/ano. Este valor é pequeno quando comparado a outras margens da laguna em que a migração dos bancos é em direção a praia e são semelhantes aos outros setores da laguna em que as margens tendem a erosão.

Além da aplicação da metodologia para a série de dados de ondas de 1988, calculamos também o sentido de transporte perpendicular nos dias em que foram realizados os perfis no campo, sendo que os resultados estão expressos na tabela 8.

Durante o monitoramento dos perfis, os dias em que as ondas apresentaram maiores valores de  $H_b$  a praia apresentava um sentido de movimentação de sedimentos da praia para a margem inferior nos perfis 1, 5 e 12. Quando as alturas das ondas incidentes foram menores, a praia apresentou sentido de transporte da margem inferior para a praia nos perfis 4 e 9 ou o movimento foi considerado ausente, como no caso do perfil 11.

A aplicação deste método nos perfis monitorados em campo são, por si só, insuficientes para que se obtenha um padrão geral da circulação perpendicular de sedimentos, mas exemplificam as conclusões obtidas com a aplicação do método aos dados de previsão de ondas para o ano de 1988.

A figura 45 demonstra os resultados obtidos por TOLDO (1994), em relação à distribuição do potencial de transporte sedimentar paralelo e perpendicular a Praia de Fora durante o ano de 1988.



Figura 45: Distribuição do potencial de transporte sedimentar paralelo e perpendicular a praia para o ano de 1988, segundo TOLDO (1994). A Praia de Fora equivale à estação de previsão de ondas 29.

### 3.6 Taxas de variação da linha de praia

Os resultados obtidos com a utilização dos vários parâmetros neste trabalho indicam uma tendência erosiva na Praia de Fora, embora não se possa definir uma escala de tempo para tal processo. Com objetivo de verificar esta hipótese realizamos uma análise temporal das variações da linha de praia da Praia de Fora entre os anos de 1978 e 2001 (Fig. 47).

SUGUIO (1992), define erosão praial como um processo, em geral natural, que pode atuar tanto em costa rasa com praias como escarpadas com falésias. Desta maneira, a erosão praial e a erosão de falésias correspondem a tipos particulares de erosão costeira.

PILKEY e THIELER (1992), consideram crucial a distinção entre erosão e problema erosivo. O primeiro termo constitui um importante processo na evolução das formas de relevo holocênicas, como estuários, lagunas, esporões, entre outras. Um problema erosivo existe somente quando o processo atua em áreas ocupadas pelo homem, causando danos aos investimentos por ele efetuados na linha de costa.

Muitos pesquisadores estão trabalhando atualmente neste assunto, sendo que a grande maioria estuda variações em praias oceânicas. Os resultados obtidos têm apontado para um agravamento do problema erosivo na maioria das praias estudadas, embora as reais causas deste fenômeno ainda não são satisfatoriamente explicadas, pois as modificações em linhas de praia podem estar seguindo um padrão cíclico em uma escala de tempo maior do que a utilizada nos diversos estudos sobre erosão.

Salientamos a importância de se trabalhar em uma escala de tempo fixa e atrelar os resultados a esta escala, pois realizar previsões pode ser um equívoco, tendo em vista a dinamicidade dos ambientes praias e a complexidade de fatores envolvidos em processos de migração das linhas de praia.

TOLDO *et al.* (1999) e ESTEVES *et al.* (2001) constataram que no Rio Grande do Sul, a maior parte da linha de costa está sofrendo processo de retrogradação. As análises de variação da linha de costa entre os anos de 1975 e 1997 ou 1975 e 2000, respectivamente, evidenciam que em torno de 75% das praias estudadas encontram-se em erosão, aproximadamente 15% estão estáveis e 10% apresentam acreção, sendo que estes valores variam conforme o levantamento realizado.

TOMAZELLI *et al.*, 1997, observou a existência de três setores onde este fenômeno é acentuado, sendo que existem claros indicadores, como a presença de uma escarpa esculpida pelas ondas nas dunas frontais e o afloramento de turfas e de lama ao longo do litoral gaúcho.

Estes tipos de indicadores de erosão também foram encontrados em algumas praias da Lagoa dos Patos. TOLDO (1994) relata a exposição de turfas no pós - praia adjacente a alguns segmentos da laguna onde o potencial transporte sedimentar tem um notável sentido para a margem interna. Além disto, VILLWOCK (1977), ALVAREZ *et al.* (1981) e TOLDO (1989) identificaram a erosão de praias da Lagoa dos Patos através da interdigitação de areia na lama junto ao piso lagunar quando estudaram a distribuição de sedimentos de fundo na transição entre o piso lamoso e a margem arenosa.

BARBOZA & TOMAZELLI (2000), identificaram claros indicadores de processos erosivos na margem leste da Lagoa dos Patos, como extensos afloramentos de turfas e lamas orgânicas e a presença de uma escarpa esculpida pelas ondas. Foram identificadas três feições de terracamento limitadas por escarpas: uma feição interior com uma escarpa de 3 metros de altura, outra representada pela atual linha de praia, e a terceira feição identificada na isóbata de 1 metro de profundidade. Baseados em correlações com as curvas de variação relativa do nível do mar no holoceno, proposta por vários autores, BARBOZA & TOMAZELLI (*et. all*) consideram que estas feições de terracamento são resultantes das oscilações no nível de base da Lagoa dos Patos durante o Holoceno, cuja causa principal é, provavelmente, a elevação no nível relativo do mar, com o qual a laguna se encontra conectada com o mar.

Considerações sobre as variações relativas do nível do mar de longo período foram desenvolvidas por TOLDO (1989, 1990 e 1991), as quais o autor propõe estimativas de elevação do nível relativo d'água da laguna na ordem de 3 mm/ano, valores estimados com base na taxa de crescimento dos esporões arenosos sobre os submersos.

Os resultados da análise temporal obtidos para a Praia de Fora demonstram que entre 1978 e 2001 houve uma retração ao longo de 9,9 quilômetros de linha de praia e uma progradação em outros 2,45 quilômetros. Em termos percentuais estes valores correspondem a: erosão em 58% da praia e acresção em 14% da praia. Em 28% da Praia de Fora não foram observadas variações significativas.

Estes valores parecem concordar com os parâmetros morfológicos estudados neste trabalho e com os estudos de outros autores sobre a Lagoa dos Patos. No mapa da figura 46 estão representados os setores onde foram verificadas as variações da linha de praia na Praia de fora durante período entre 1978 a 2001.

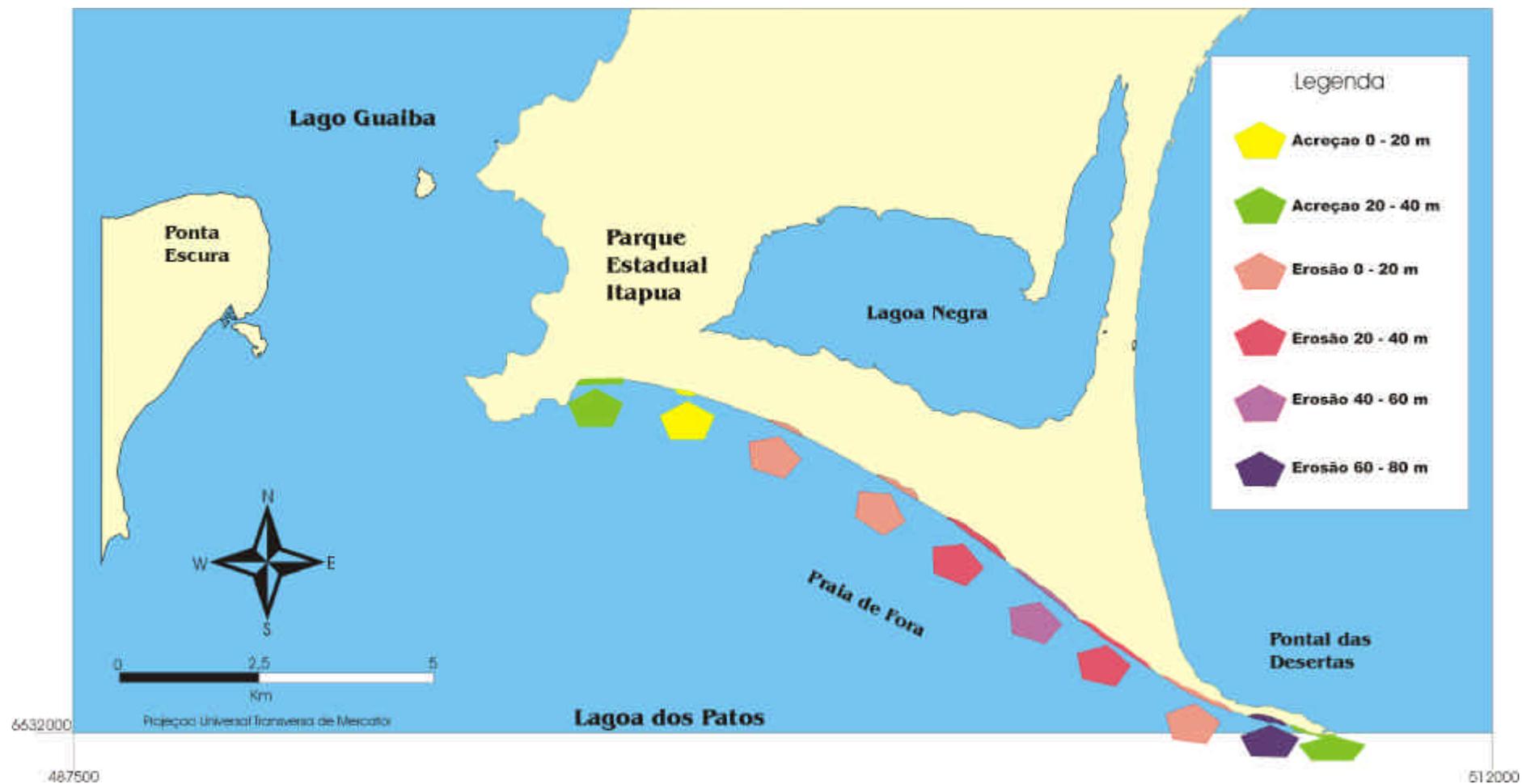


Figura 46. Mapa com as variações da linha de praia observadas entre 1978 e 2001.

Percebe-se que os setores que apresentaram deposição de sedimentos durante o período de monitoramento se localizam na porção NW da Praia de Fora, próximo ao promontório granítico denominado Pontal de Itapuã e no extremo SE, no Pontal das Desertas. Já os setores que apresentaram erosão neste período estão localizados ao longo de toda a área central, sendo que as taxas mais elevadas foram detectadas no extremo do Pontal das Desertas.

Estes dados apresentam correlação com os resultados da aplicação do método de cálculo do transporte longitudinal e perpendicular na Praia de Fora utilizados neste estudo. A bidirecionalidade do transporte longitudinal caracterizado anteriormente está de acordo com a presença de setores erosivos e acrescionais na praia. Os principais pontos de erosão detectados na porção central e SE da Praia de Fora estão de acordo com a direção preferencial do transporte longitudinal, que se dá no sentido NW – SE (tabela V), sendo que a remoção de sedimentos da praia nestes setores contribui para o crescimento do Pontal das Desertas, conforme pode ser verificado através da existência de uma zona de deposição localizada no extremo SE da praia junto ao pontal. Este crescimento do Pontal das Desertas foi detectado por TOLDO (1994), segundo o qual o mesmo cresce a partir da Lagoa Negra aproximadamente 10.4 km com direção SE, infletindo em sua porção distal emersa para E mais 3.6 km.

A figura 47 é um recorte do mosaico da figura 7 da região do pontal das Desertas, onde foram verificadas as maiores taxas de erosão e deposição. Nela percebe-se reentrâncias com a presença de barras arenosas perpendiculares no lado sul do pontal e a deposição de sedimentos no extremo do pontal arenoso.

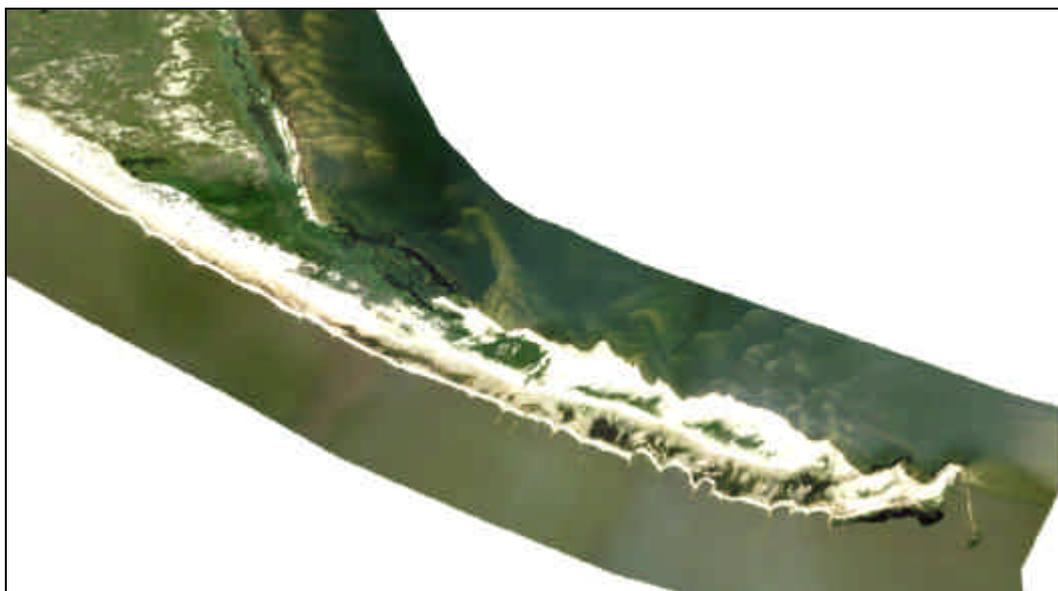


Figura 47. Fotografia aérea do Pontal das Desertas. Observa-se reentrâncias e barras perpendiculares no setor onde foi constatada erosão no período de monitoramento com um setor deposicional no extremo do pontal.

TOLDO (1991) analisou amostras sedimentares localizadas na porção distal do pontal das Desertas que se mostraram constituídas por areias finas, bem selecionadas e com distribuição simétrica, sendo que estas amostras têm as mesmas características texturais das amostras localizadas na atual linha de praia das margens internas da laguna. Tal fato indica o produto da dinâmica atual, responsável pelo crescimento dos pontais, cujo mecanismo consiste na erosão de sedimentos ao longo da linha de praia e sua deposição nos locais de crescimento do pontal.

Os resultados obtidos com a verificação do sentido preferencial do transporte transversal na Praia de Fora, também parecem confirmar esta tendência erosiva da praia, pois mais de 70% das situações monitoradas apresentavam o sentido de transporte da praia para a margem inferior, caracterizando bem este tipo de processo (tabela VII e VIII). Na análise temporal realizada neste trabalho, as taxas de erosão anual variaram de valores próximos a 0.85 até 3.4 metros, conforme o setor analisado.

Os setores que se localizam na porção NW e que apresentaram ganho de sedimentos durante o período de monitoramento estão mais protegidos da incidência das ondas pelo Pontal de Itapuã, morro granítico com 242 metros de altitude. Este fator pode ser determinante no engordamento destes setores praias, pois a dinâmica de circulação das águas na Praia de Fora segue os padrões verificados em ambientes protegidos, onde variações na geomorfologia do terreno podem influenciar significativamente na dinâmica nos setores da mesma. A figura 7, representa o mosaico de fotografias aéreas do Parque de Itapuã e permite a visualização de toda a Praia de Fora, onde se destaca o setor NW que apresenta uma grande deposição de areia na forma de dunas. A figura 48 é um recorte do mosaico da figura 7 da região próxima ao Pontal de Itapuã, onde também foram verificadas as maiores taxas de deposição. Nela percebe-se a grande disposição de sedimentos arenosos depositados na forma de dunas junto às rochas do embasamento cristalino recobertos pela vegetação.



Figura 48. Fotografia aérea da região NW da Praia de Fora. Observa-se uma grande deposição de sedimentos arenosos junto a este setor da praia.

NORDSTROM (1992), considera que praias em ambientes protegidos podem estar expostas a uma enorme variedade de formas e tamanhos, bem como a diferenciados processos dinâmicos até mesmo dentro da própria bacia. Estas diferenças refletem as variações a exposição dos ventos, ondas e correntes, como também a topografia e rochas que compõem as suas margens. O autor considera que até variações em pequena escala, como o padrão de crescimento de vegetais e estruturas antrópicas podem agir como promontórios que compartimentam as direções do vento ou como obstáculos que interferem na deriva de material, sendo que os efeitos causados pelo homem nestes ambientes são mais contundentes que em praias abertas de alta energia.

Os setores acrescionais próximos ao Pontal de Itapuã apresentam dunas frontais e campos de dunas interiores mais desenvolvidas que os demais setores. Este fato pode ser considerado uma evidencia geomorfológica do processo de deposição de sedimentos junto ao pós – praia, onde a areia tem sido acumulada na forma de dunas. A figura 49 demonstra um campo de dunas parcialmente vegetado localizado no setor NW da Praia de Fora.



Figura 49. Foto do campo de dunas parcialmente vegetado localizado no setor NW da Praia de Fora. Ao fundo localiza-se o Pontal de Itapuã, promontório granítico que serve de obstáculo para a incidência de ventos e a conseqüente geração de ondas.

#### **4. A Morfodinâmica da Praia de Fora e as Implicações para o seu Manejo.**

SOUZA & SUGUIO (2000), afirmam que as contribuições dos estudos sobre morfodinâmica de praias são fundamentais para a determinação de diretrizes que auxiliem no gerenciamento das mesmas, conforme os autores observaram no seu trabalho sobre a influência da contribuição deste tipo de estudo para a gestão da zona costeira do Estado de São Paulo.

O caso da gestão da Praia de Fora se insere em um contexto mais restrito, pois a mesma faz parte do Parque estadual de Itapuã e para que os resultados aqui obtidos possam ser aplicados nas tomadas de decisão do parque se faz necessário conhecer qual é a relação existente entre os objetivos da administração do parque quanto a Praia de Fora e o seu comportamento morfodinâmico. Para tal resumimos algumas informações sobre o Parque de Itapuã e as idéias que permeiam o seu plano de manejo.

##### **4.1 O Plano de Manejo**

A Praia de Fora, por fazer parte do Parque Estadual de Itapuã, possui um plano de utilização e conservação, conforme o estabelecido no Plano de Manejo, publicado em 1997. O Plano de Manejo é um documento que estabelece, para cada unidade de conservação os seus objetivos específicos, o zoneamento e os programas de manejo a serem desenvolvidos no parque. Alguns dos principais objetivos do plano de manejo são:

- Proteger a última amostra representativa dos ecossistemas originalmente existentes na Região metropolitana de Porto Alegre.
- Proteger espécies da fauna e flora nativas, especialmente as endêmicas e as ameaçadas de extinção.
- Proteger a Lagoa Negra, margens do Guaíba e Laguna dos Patos, ilha das Pombas, do Junco e da ponta Escura.
- Proporcionar estudos científicos
- Promover a recuperação de áreas alteradas pelo homem.
- Conservar áreas de notáveis belezas naturais, especialmente as oito praias, representativas das paisagens naturais outrora existentes na Região Metropolitana de Porto Alegre.

#### 4.2 A Praia de Fora no contexto do Plano de Manejo

A designação de cada zona que constitui o zoneamento do parque é baseada em seu potencial natural para atingir certos objetivos e em seu estado de conservação (PLANO DE MANEJO, 1997). No caso de Itapuã, foram determinadas as seguintes zonas (Fig. 50):

1. Zona Intangível
2. Zona Primitiva
3. Zona de Uso Extensivo
4. Zona de Uso Intensivo
5. Zona de Recuperação
6. Zona de Uso Especial
7. Zona Histórica Cultural
8. Novas Áreas Propostas

A Praia de Fora, devido a sua grande extensão, foi incluída em três zonas distintas conforme a figura 50, tendo as seguintes normatizações definidas:

- Zona Primitiva:
  - *As atividades administrativas se restringem a fiscalização.*
  - *Os estudos científicos devem ser conduzidos de maneira a não causar alterações nos ecossistemas.*
  - *Somente é permitido o uso de veículos automotores para atividades de fiscalização e pesquisa.*
  - *Os acessos serão limitados às trilhas e estradas já existentes.*
  
- Zona de Uso Extensivo:
  - *Será permitida a visitação pública orientada para pequenos grupos*
  - *Será permitido o uso de veículos motorizados nos acessos das praias da Pedreira e Pombas. Na Praia de Fora este transporte será coletivo.*
  - *Não serão permitidas atividades recreativas que perturbem a fauna e flora do Parque.*
  - *Serão permitidas atividades de interpretação, investigação e educação.*
  - *Será permitido o acesso por água no ancoradouro situado na praia das Pombas.*

- Zona de Uso Intensivo:
  - A visitação e o uso de veículos automotores será permitido.
  - As atividades recreativas serão restritas aquelas que valorizam os aspectos naturais da área.
  - Haverá fiscalização permanente nesta zona.
  - O lixo será removido para áreas de Uso Especial.
  - Será permitido o banho publico no Guaíba e Laguna dos Patos somente em áreas sinalizadas e de acordo com as análises periódicas da água em cada local.
  - A zona será sinalizada e as áreas permitidas para o banho sinalizadas com bóias.

A porção da Praia de Fora que esta inserida na Zona Primitiva constitui uma faixa que circunda a Zona de Uso Extensivo, onde ocorrem pequenas lagoas, banhados, dunas e restingas.

Já o setor da Praia de Fora designada como Uso Intensivo é a maior área destinada a visitação do parque de Itapuã. Abrange uma faixa formada pelas areias da praia e das dunas com cerca de 1.500 m de extensão e 500 m de largura. Trata-se de uma área bastante alterada, ocupada anteriormente por um loteamento irregular que chegou a ter quase mil casas no começo dos anos 80 (BUSS *et al.* 1997). As espécies exóticas introduzidas tais como o *pinus*, *eucaliptos*, *casuarina* e várias outras espécies ornamentais transformaram a paisagem, sendo que serão eliminadas gradualmente para dar lugar a espécies nativas.

WAGAR, 1964 define “capacidade de carga” como o nível de uso de um espaço no qual a qualidade se mantém constante. No Parque de Itapuã esta capacidade foi determinada a partir de levantamentos sobre as atitudes, preferências, e sensibilidade dos potenciais visitantes e sobre alguns dados de visitação anteriores ao fechamento do Parque (PLANO DE MANEJO, 1997).

Para o setor da Praia de Fora inserida na Zona de Uso Intensivo, esta capacidade foi estimada em 700 pessoas e estacionamento para 100 carros, sendo 30 carros e 150 pessoas na área de camping. Esta determinação foi estabelecida no Plano de Manejo realizado em 1997 e atualmente a proposta da direção do Parque é impedir o acesso de veículos particulares a Praia de Fora, estabelecendo um tipo de transporte coletivo, o qual deve reduzir o impacto causado ao ambiente.

A capacidade de carga estabelecida pelo Plano de Manejo em 1997 para o Parque resulta que, em um mesmo dia, estando todos os locais permitidos ocupados por visitantes, estarão na área 1.430 pessoas e duzentos veículos.

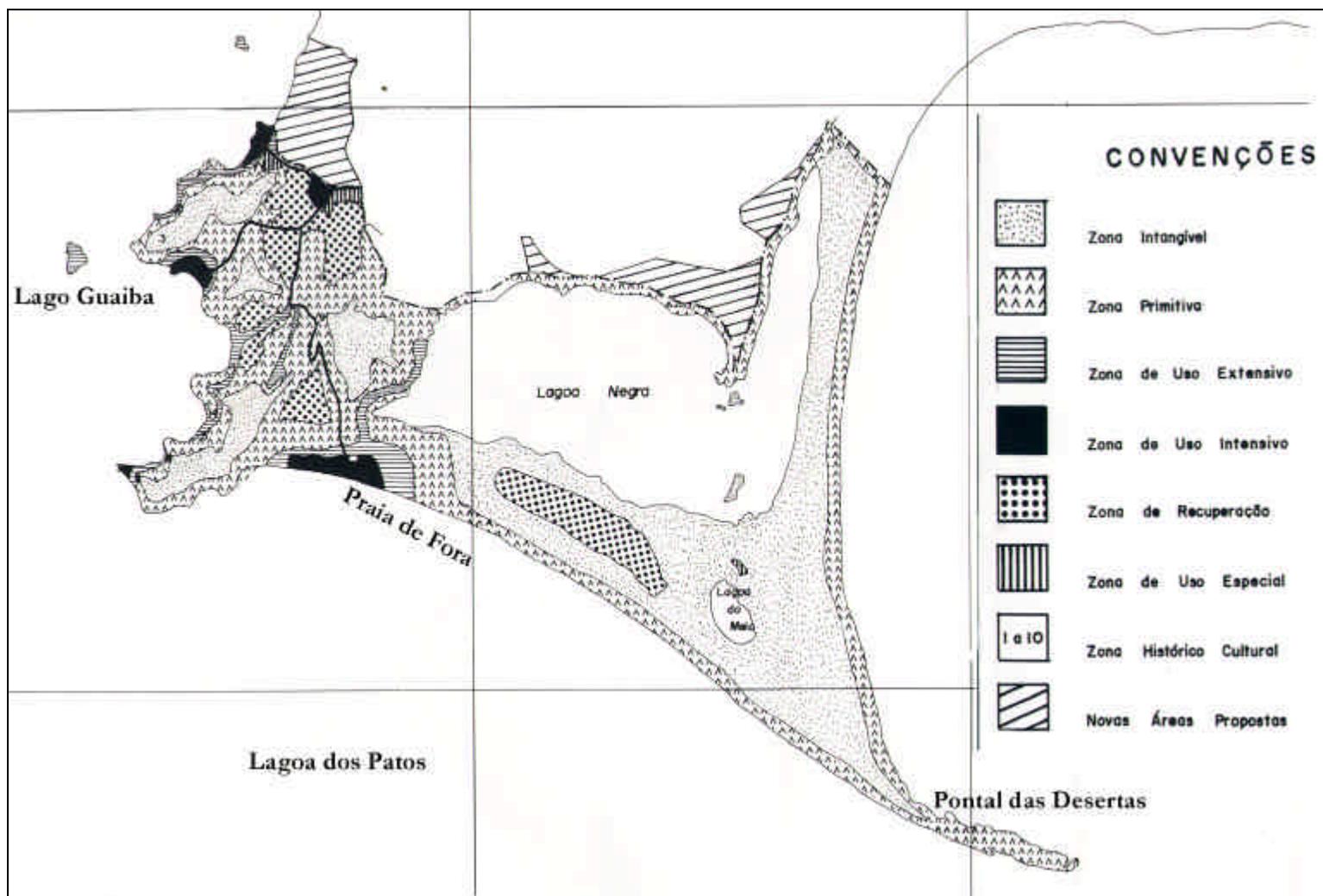


Figura 50: Plano geral de ordenamento do Parque Estadual de Itapuã. Nesta figura observa-se o zoneamento das áreas quanto a sua utilização. Extraído do Plano de Manejo do Parque de Itapuã (1997).



### 4.3 Sugestões e Subsídios

GRAEFE *et. al.* (1990), consideram que existem relações diretas ou indiretas entre os impactos causados por visitantes e os corpos d'água de um parque. Estas relações dependem das alterações qualitativas que ocorrem nestes ambientes em função de sua utilização por turistas. As fontes de impacto diretas são aquelas que resultam de atividades que ocorrem dentro do corpo d'água, enquanto que linhas de costa ativas e o uso do solo na bacia hidrográfica afetam os recursos aquáticos indiretamente.

De acordo com as conclusões sobre a morfodinâmica da Praia de Fora sugere-se que o manejo previsto leve em consideração as seguintes sugestões:

#### 4.3.1 Riscos na utilização por banhistas.

A análise das características morfodinâmicas da Praia de Fora indicou um ambiente com elevado gradiente energético atuante nos processos modeladores da mesma, sendo que classificamos a Praia de Fora como um ambiente de baixa a moderada energia que apresenta características semelhantes a praias lacustres e, que em condições específicas, envolve um alto grau energético em seu sistema assemelhando-se as condições encontradas em praias oceânicas abertas. Estas condições específicas se referem à incidência de ventos com condições suficientes para gerar ondas, que por sua vez, passarão a ser, juntamente com o nível de água da laguna, os agentes que irão reger o comportamento da praia. Consideramos que esta variação energética e conseqüentemente morfológica representa riscos para os visitantes do Parque, mais especificamente para os banhistas que utilizarão a Praia de Fora.

As correntes litorâneas seguem dois padrões que dependem da obliquidade da incidência das ondas com a praia (MUEHE, 1995). Quando as ondas batem obliquamente à linha de costa desenvolve-se um padrão circular com correntes de retorno que resultam em uma série de reentrâncias na linha de praia separadas pelas cúspides praias. As correntes de retorno, embora sejam correntes com ocorrência localizada, também são importantes na morfodinâmica da zona costeira (WRIGHT e SHORT, 1984), principalmente em praias dissipativas e intermediárias. A figura 51 ilustra a dinâmica destas correntes de retorno.

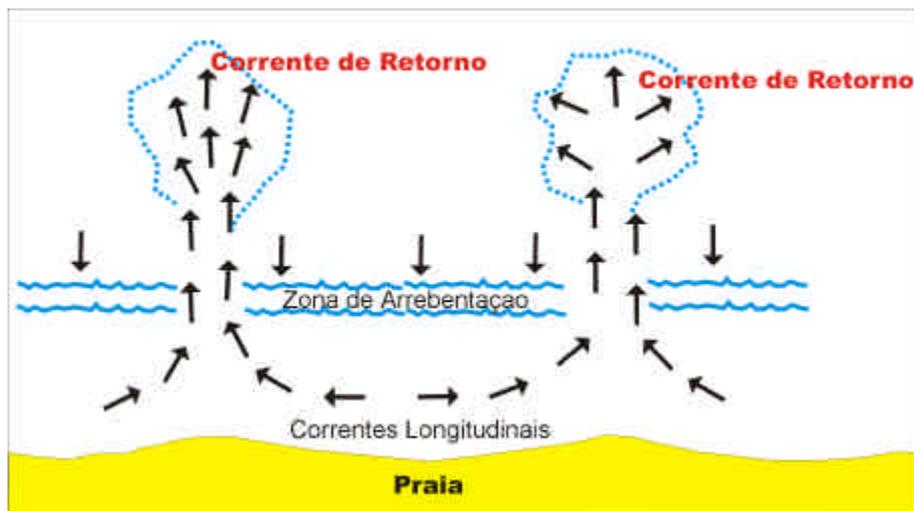


Figura 51. Desenho esquemático da ação de correntes de retorno e paralelas a costa no transporte de sedimentos. (Modificado de GRUBER, 1999).

As correntes de retorno são consideradas uma das maiores causas de afogamentos ocorridos no litoral gaúcho e catarinense, e por isso consideramos importante a presença de salva-vidas nos setores de uso intensivo da Praia de Fora.

Além do fator *corrente de retorno*, atentamos também para a intensa variação morfológica do perfil praiar até a profundidade aproximada de 1,30 metros considerada área preferencial para banho. Conforme analisamos neste trabalho, as variações no perfil praiar são intensas e o mesmo apresenta uma grande migração de bancos e cavas. Este fator torna-se relevante, pois o mesmo associado com as elevações do nível de água da laguna pode se tornar um risco para a segurança de banhistas.

Além dos riscos de segurança ao turista, acreditamos que os acessos aos setores que apresentaram erosão (Fig. 46) devem ser restringidos ao máximo, com objetivo de proteger a praia de alterações do perfil praiar que venham a ser ocasionadas pela remobilização de areia causada pelo fluxo de pessoas na praia.

#### **4.3.2 Manejo de Dunas.**

As dunas arenosas são feições marcantes em grande parte dos ecossistemas costeiros encontrados no Brasil e o grau de desenvolvimento dos estudos sobre a morfologia, a dinâmica, a importância ambiental e paisagística das dunas encontra-se bastante elevado em toda a literatura específica do assunto. Cada vez mais os órgãos responsáveis pelo gerenciamento de regiões costeiras tem salientado a importância destas feições como habitat de vegetação de mata de restinga, abrigo de fauna e flora e como elementos de beleza cênica.

As dunas apresentam uma grande variedade devido ao seu caráter extremamente dinâmico, que resulta da interação de vários fatores, como o balanço sedimentar, a vegetação, o vento, e também, a ação antrópica, responsável por grandes mudanças geomorfológicas e ecológicas verificadas nestes sistemas.

No Parque de Itapuã, as dunas representam um ambiente de grande beleza e complexidade, sendo que sua porção mais representativa encontra-se na Praia de Fora, mais especificamente na porção NW, junto ao Pontal de Itapuã, conforme é possível observar no mosaico fotoaéreo da figura 7.

Antes de ser fechado para recuperação em 1991 a utilização desordenada deste espaço causou impactos como a ativação de dunas fixas como consequência do desmatamento e a retirada ou aplainamento das dunas frontais. A figura 52 ilustra a beleza de uma parte do campo de dunas existente na Praia de Fora.



Figura 52. Campo de dunas da Praia de Fora visto de cima do morro da Grota.

Consideramos que, além da importância cênica e ambiental, o campo de dunas da Praia de Fora, mais especificamente a porção frontal deste campo, funciona como uma proteção natural contra as elevações do nível de água da laguna. Observamos neste trabalho que o parâmetro de elevação do nível d'água é fundamental na dinâmica deste ambiente, tornando as feições de dunas frontais fundamentais para a preservação da praia.

Sugerimos a continuação de estudos sobre o campo de dunas da Praia de Fora de uma maneira mais específica com a análise da gênese, dinâmica e vulnerabilidade destas dunas. Além disso, sugerimos também o direcionamento de programas de educação ambiental que venham a ser realizados pelo parque para a questão da importância e preservação das dunas da Praia de Fora.

A figura 53 ilustra a importância das dunas frontais como proteção natural da praia.



Figura 53. Dunas frontais escarpadas na porção NW da Praia de Fora. Proteção contra os períodos de elevação do nível de água da Lagoa dos Patos. Foto tirada em agosto de 2001.

### 4.3.3 Mineração de Areia

Com base nas informações sobre a compartimentação morfológica da margem lagunar e as relações entre a morfologia, sedimentologia e regime hidráulico discutidas neste trabalho, consideramos que a área submersa adjacente a Praia de Fora limitada pela isóbata 6m, **não é um local indicado para a exploração de areia**, pois nota-se a ausência de área fonte ou de suprimento externo de sedimentos, sendo que a antepraia constitui-se no reservatório de sedimentos para todo o sistema praiial, tornando inviável a prática da mineração neste setor da laguna.

Ancorado a este fator, o gráfico da figura 42 demonstra que até a profundidade aproximada de 5 m o transporte longitudinal e transversal de material sedimentar é considerável na Praia de Fora, sendo que qualquer exploração destes recursos pode implicar em graves desequilíbrios neste sistema, refletindo-se diretamente no comportamento da linha de praia intensificando processos erosivos ou deposicionais e acarretando problemas ambientais que trarão conseqüências negativas para a visitação do parque.

O limite de 6 metros de profundidade como área não indicada para exploração de sedimentos inclui toda a área da margem lagunar que se desenvolve até a profundidade de 5m e mais 1 m como margem de segurança relativo as mudanças de nível d'água na laguna.

#### 4.3.4 Delimitação Submersa do Parque Estadual de Itapuã.

Embora o Parque de Itapuã tenha seus limites emersos bem definidos há vários anos, não existe nenhum tipo de consideração que venha a sugerir uma delimitação submersa da área do parque. Da mesma forma que a proteção do parque depende desta imposição de fronteiras que venham impedir que o irracionalismo imobiliário interfira nos ecossistemas, acreditamos que a porção submersa adjacente ao parque também deva ser delimitada como forma de auxílio técnico no gerenciamento desta unidade de conservação.

A criação de uma delimitação submersa do Parque Estadual de Itapuã traria benefícios práticos aos administradores do mesmo. Como exemplo citamos o artigo 212 do capítulo XI do Código Estadual do Meio Ambiente que determina que a atividade de mineração não poderá ser desenvolvida nos acidentes geográficos de valor ambiental, paisagístico, histórico, cultural, estético e turístico, assim definidos pelos órgãos competentes.

Se a mineração não pode ser desenvolvida neste tipo de ambiente, o próprio conceito de Parques Estaduais incluso no decreto número 34.573, de 16 de dezembro de 1992 implica na proteção imediata deste ambiente, pois a mesma considera que os parques são áreas dotadas de atributos excepcionais da natureza, criados com a finalidade de proteção integral da fauna e flora, do solo, da água, de outros recursos e belezas naturais.

Acreditamos que as conclusões sobre a morfodinâmica da região da Praia de Fora ressaltadas neste trabalho nos permitem sugerir uma linha delimitadora da zona de proteção ambiental na cota batimétrica dos -6 m de profundidade, pois desta maneira estariam protegidos os ambientes onde a dinâmica é mais intensa e conseqüentemente mais suscetível a interferências antrópicas danosas e a transição deste ambiente para o piso lagunar, composto basicamente por sedimentos finos e com insignificante movimentação de fundo gerada por ondas. A figura 54 ilustra este limite proposto.

Esta delimitação agruparia aproximadamente 10.920 hectares ou 196 % da área atual de nova área de preservação - em ambiente submerso - ao Parque de Itapuã. Além disto, a preservação deste ambiente será determinante para a perpetuação do Pontal das Desertas, considerado um ambiente singular dentro do contexto ecológico e paisagístico da região.

Ressaltamos o fato de que esta delimitação não pode ser estendida as outras praias do parque, pois as mesmas pertencem a outro corpo d'água e tem uma dinâmica distinta da analisada aqui. Sugerimos que sejam realizados trabalhos com objetivos semelhantes a este, para que possam ser determinados os futuros limites submersos do Parque Estadual de Itapuã nas adjacências das praias banhadas pelo lago Guaíba.

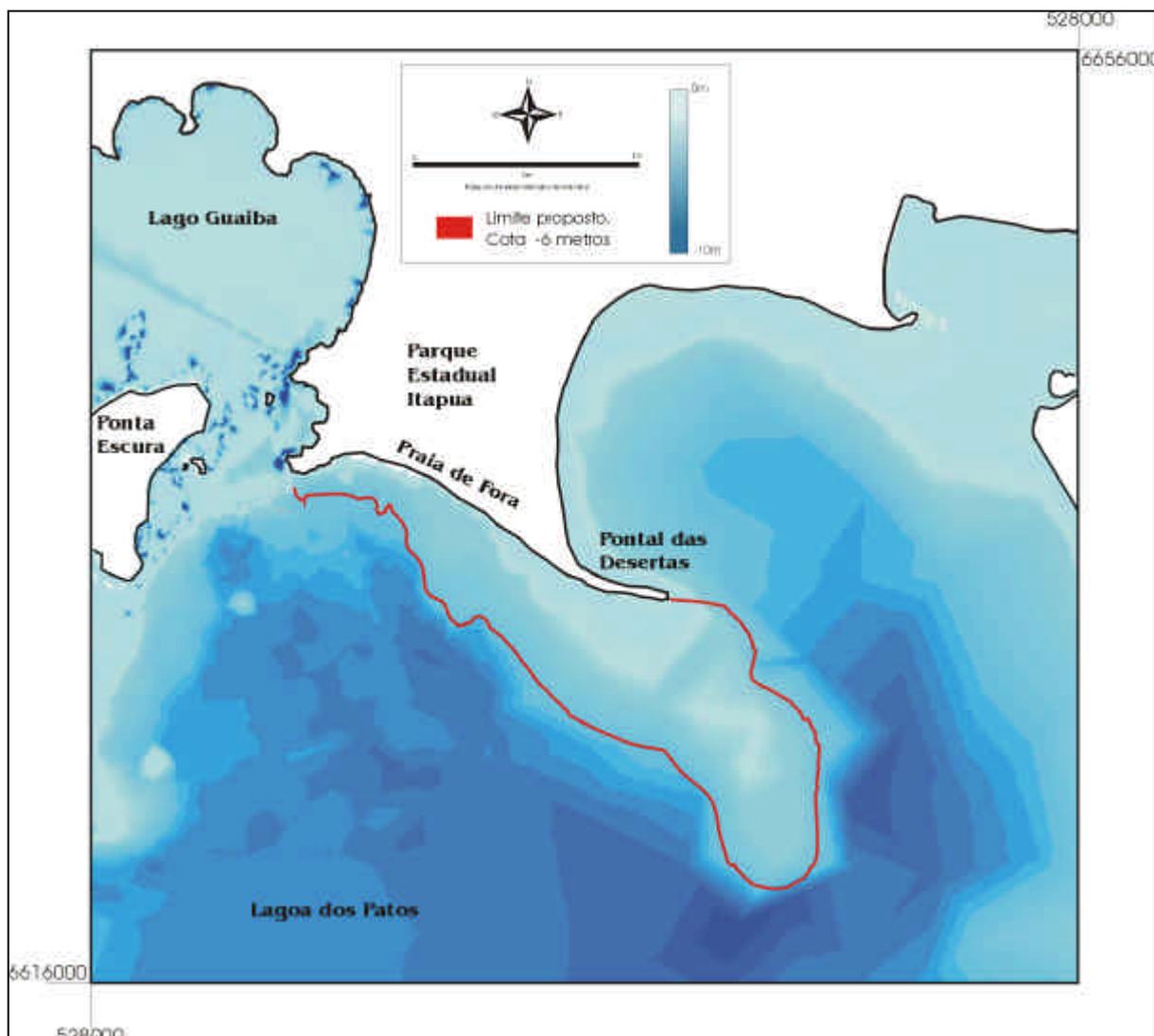


Figura 54. Delimitação submersa proposta para as adjacências da Praia de Fora com base na profundidade de 6 m.

## 5. Conclusões.

Analisando os parâmetros morfodinâmicos da Praia de Fora podemos chegar as seguintes conclusões:

- A avaliação dos parâmetros utilizados neste trabalho indica um ambiente com uma grande variação energética anual. Classificamos a Praia de Fora como um ambiente de baixa a moderada energia apresentando características semelhantes a praias lacustres e, que em condições específicas, envolve um alto grau energético em seu sistema assemelhando-se as condições encontradas em praias oceânicas abertas.
- A sobreposição dos perfis monitorados no campo permitiu uma avaliação da largura da face de praia onde constamos uma variação de 16,17 m ao longo do ano. Este valor é relevante, tendo em vista que a Praia de Fora consiste em um ambiente lagunar relativamente abrigado. Além desta característica, a sobreposição dos perfis medidos apresentou uma grande variabilidade dos mesmos, com declividades da face praial que variaram de 2,8° a 11,3°. A condição de pós - praia inundado é freqüente nas praias da Lagoa dos Patos, pois a mesma consiste de uma grande bacia de captação e possui apenas um canal de ligação com o mar.
- A aplicação dos parâmetros do modelo de banco única na análise da morfologia dos perfis indicou uma grande alternância de estágios morfodinâmicos da praia. A aplicação do parâmetro Omega ( $\hat{U}$ ) aos dados de previsão de ondas para a Praia de Fora no ano de 1988 indicou a presença dos estágios intermediários com 58,61% de freqüência e do estágio dissipativo com 41,39% de freqüência. Ao utilizar este parâmetro nos dados obtidos nos dias de monitoramento, observamos que os mesmos indicaram a presença de todos os estágios morfodinâmicos propostos no modelo australiano, inclusive o estágio reflectivo, fato que concorda com a proposição de que a Praia de Fora apresenta uma alta mobilidade do seu perfil. Observamos haver discrepâncias entre os estágios previstos pelo parâmetro  $\hat{U}$  e os estágios observados no campo. Esta discrepância é causada por um desequilíbrio entre condições hidrodinâmicas atuantes no momento da coleta dos dados e os estágios indicados por  $\hat{U}$ . Este desequilíbrio é consequência de uma defasagem temporal existente entre a variação energética e a alteração morfológica da praia. Na Lagoa dos Patos estes intervalos de tempo podem ser maiores, pois a ocorrência de dias consecutivos sem condições suficientes para a geração de ondas é comum na região.

- A aplicação do parâmetro  $\hat{a}$  representa o grau de energia das ondas refletidas sobre a face de praia sendo que foi incorporado à descrição dos estágios afim de distingui-los através da razão entre a esbeltez das ondas e a declividade da praia. Os resultados obtidos comprovaram a grande variabilidade morfológica da praia, pois foram detectados tanto os estágios intermediários como o estágio dissipativo. Observamos haver uma concordância entre os valores de  $\hat{a}$  obtidos e o formato do perfil medido, sendo que o valor de  $\hat{a}$  tem uma relação direta com o nível de energia envolvida na dinâmica da praia. A comparação dos estágios morfodinâmicos previstos pelos parâmetros  $\hat{U}$  e  $\hat{a}$  para a Praia de Fora indicou pequenas discrepâncias.
- Com objetivo de determinar indiretamente o estágio morfodinâmico relacionamos a declividade da praia com os valores de  $\hat{U}$  através do parâmetro  $\hat{U}_{teórico}$ . Os resultados obtidos apontam para uma grande variação de estágios morfodinâmicos na Praia de Fora, mas também apresentam discrepâncias quando comparados aos outros parâmetros utilizados e à forma do perfil medido. O parâmetro  $\hat{U}_{teórico}$  foi o que apresentou uma maior incidência de estágios reflectivos em sua classificação, pois o mesmo caracteriza-se por uma relação matemática direta com a declividade da face da praia, sendo que o parâmetro  $\hat{U}_{teórico}$  foi proposto para praias oceânicas abertas, onde a variação da declividade nem sempre é tão acentuada como a registrada na Praia de Fora.
- As discrepâncias existentes na comparação dos resultados entre os parâmetros  $\hat{U}$ ,  $\hat{a}$   $\hat{U}_{teórico}$  e forma do perfil medido são relativamente pequenas sob ponto de vista energético, pois as variações entre os estágios intermediários e os extremos indicados pelos parâmetros em um mesmo perfil foram sempre em um nível de energia próximo, ou seja, em várias ocasiões os estágios intermediários apontados pelos parâmetros numéricos estiveram próximos dos limites extremos, seja dissipativo ou reflectivo, caracterizando a imprecisão dos intervalos utilizados nos modelos quando aplicados a praias que não sejam oceânicas abertas. Embora existam estas discrepâncias, todas avaliações realizadas indicam uma alternância significativa de estágios morfodinâmicos na Praia de Fora.
- O Parâmetro de banco (B), consiste em um modelo complementar ao modelo de banco único utilizado neste trabalho. Na Praia de Fora, todos os perfis em que foi possível a aplicação deste parâmetro apresentaram tendência à formação de dois ou três bancos, sendo que nos dias em que o perfil se apresentou mais dissipativo este número tende a 3 e nos demais tende a 2.

- A aplicação dos conceitos de **perfil de equilíbrio** para a Praia de Fora foi realizada a partir de dois perfis transversais medidos da linha de praia até a profundidade de 6 m. A análise dos resultados indica que a Praia de Fora apresentava, no dia da medição do perfil, um transporte perpendicular de sedimentos no sentido da antepraia para a zona de surfe, com o setor de face de praia deposicional e déficit de sedimentos entre as profundidades 3 e 4 metros.
- A grande mobilidade dos ambientes praias pode ser considerada um fator restritivo a elaboração de conclusões definitivas sobre a morfodinâmica dos mesmos. Os parâmetros estatísticos **limite externo e interno** definem, com precisão razoável, a zona de transporte arenoso longitudinal e transversal ativo, ou seja, a menor profundidade onde não ocorrem, ao longo do ano, alterações significativas no perfil de fundo. Estes valores de profundidade obtidos para a Praia de Fora podem ser considerados como limites das zonas em que a movimentação de sedimentos é: **(a)** muito intenso, de 0 a 0,90 m, **(b)** significativo, de 0,90 a 5 m, **(c)** existência de uma zona de transição entre os 5 e 6 m e **(d)** para profundidades maiores que 6 m. Estes valores parecem concordar com os dados conhecidos sobre a dinâmica da Laguna dos Patos, onde o relevo submerso se divide em duas grandes regiões morfológicas: margem lagunar, situada entre a linha de praia e a isóbata de -5 m e o piso lagunar que corresponde a um fundo plano que se desenvolve além da isóbata de -5 m, sendo que este piso é caracterizado por sedimentos siltíticos e argilosos.
- A velocidade da **corrente longitudinal** medida no campo variou de 0,25 a 0,56 m/s, sendo que a variação da corrente calculada pela equação 1 foi de 0,51 a 0,99 m/s, para uma mesma condição de parâmetros de ondas. Percebe-se que os valores da corrente calculada foram sempre superestimados em relação a corrente monitorada na praia, indicando uma imprecisão do método.
- A aplicação do método de cálculo do **transporte longitudinal** de sedimentos proposto pelo SHORE PROTECTION MANUAL aos dados de previsão de ondas para a Praia de Fora no ano de 1988 aponta para uma bidirecionalidade no sentido do transporte, com aproximadamente 55% para SE e 45% para NO. Comparamos os resultados obtidos com os que TOLDO (1994) obteve calculando o fluxo de energia paralelo a Praia de Fora e obtivemos uma esperada concordância entre ambos, pois a variação de sentido de transporte entre um método e outro foi de apenas 4%. Estes resultados são condizentes com as evidências geomorfológicas observadas por outros estudos referentes ao Pontal das Desertas.

- Os resultados obtidos com a aplicação do método de determinação do sentido de transporte perpendicular para a série de dados de ondas referentes ao ano de 1988 indicaram que em aproximadamente 76% das situações avaliadas o sentido de movimentação do sedimento foi da zona de surfe para a antepraia, caracterizando um processo de erosão praial. Em 15% das situações o sentido do transporte foi inverso, da antepraia para a zona de surfe, caracterizando um processo de acreção na linha de praia. Em apenas 1% das situações avaliadas o transporte perpendicular foi considerado nulo.
- Todos os parâmetros utilizados nos modelos matemáticos foram elaborados com base em experiências empíricas realizadas em praias oceânicas. Ao aplicarmos estes parâmetros na Praia de Fora obtivemos uma boa concordância entre os estágios estimados e aqueles encontrados em campo, fato que valida a utilização destes parâmetros em praias lagunares, desde que se atente para prováveis variações nos limites numéricos dos parâmetros matemáticos.
- Os resultados da análise temporal da posição da linha de praia em 1978 e 2001 resultados apontam para uma praia retrogradante, estável ou progradante conforme o setor analisado. Em 58% da extensão da Praia de Fora observou-se erosão, em 14% foi observado acreção e em 28% da praia não houve variação significativa da posição da linha. As variações da linha de praia foram de até 80 m nos setores erosivos e de até 40 m nos setores acrescenciais, sendo que a taxa média anual máxima de migração da praia chegou a 3,75 m por ano nos setores erosionais e 1,75 m nos setores deposicionais. Os resultados obtidos nesta avaliação temporal das modificações espaciais da linha da Praia de Fora confirmaram as tendências de comportamento indicadas pelos modelos matemáticos utilizados, contribuindo para o conhecimento da dinâmica deste ambiente.
- Com base na análise morfodinâmica da Praia de Fora sugerimos que o manejo do Parque Estadual de Itapuã leve em consideração os seguintes itens: riscos de segurança na utilização por banhistas, manejo de dunas, restrição à mineração de areia e delimitação submersa do Parque de Itapuã junto à cota batimétrica de -6m.

## Bibliografia

- AAGAARD, T. 1991. **Multiple bar morphodynamics and its relation to low frequency edge waves.** Journal of Coastal Research. V. 10. n.3. p 801-813.
- ALFREDINI, P. 1997. **A estimativa do transporte de sedimentos litorâneo como ferramenta para o conhecimento relativo a erosão costeira.** VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Curitiba. Anais. V.1 p 377 – 382.
- ALMEIDA, F.F.M. 1969. **Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira.** Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador. p 29 – 46.
- ALMEIDA, L.E.S.B, TOLDO, E.E.Jr, GRUBER, N.L.S. 1999. **Avaliação da profundidade de fechamento para o Litoral Norte do Rio Grande do Sul.** Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos. - ABRH. V. p.
- ALMEIDA, L.E.S.B, LIMA, S.F., TOLDO, E.E.Jr. 2001. **Estimativa da Capacidade de transporte de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul.** VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA. Imbé, RS. p. 59 – 61.
- ALVAREZ, J.A., MARTINS, I.L., MARTINS, L.R. 1981. **Estudo da Lagoa dos Patos.** Pesquisas, Porto Alegre. V.14. p 41 – 66.
- ANDRADE, A.C.S.; DOMINGUEZ, J.M.L, ALMEIDA, L.T.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L. 1996. **Erosão Costeira Severa na Ilha da Caçumba, Caravelas, Bahia.** In: Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, Bahia, Brasil. Anais, v. 4.
- ÂNGULO, R.J. 1994. **Problema na terminologia de ambientes e subambientes litorâneos clásticos dominados por ondas.** In. Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira, subsídios e um Gerenciamento Costeiro. Serra Negra. Anais, ACIESP, n. 87, p. 1-7.
- ARAUJO, E. 1988. **O teatro dos vícios.** Ed Jose Oympio. Rio de Janeiro.
- BASCOM, W.N. 1951. **The relationship between sand-size and beach face slope.** Trans. Am. Geophys. Union. V.32 p 866 – 874.
- BARBOZA, E.G. & TOMAZELLI, L.J. 2000. **Erosão na Margem Leste da Laguna dos Patos, Litoral Médio do Rio Grande do Sul – Indícios de um Evento Transgressivo atual.** Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas. Itajaí. Anais. V.1. p 125 – 126.

- BEAVERS, R., HOWN, P. BIRKENMAJER, W., HATHAWAY, K. 1999. **Evaluating profile data and depth of closure with sonar altimetry.** International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Processes. Long Islands, NY. V. 84. p 479 – 490.
- BERTE, A.M.A., SUERTEGARAY, D.M.A., VERDUM, R. 1991. **Parque Itapua: Avaliação Ambiental e discussão de propostas de gerenciamento.** IV Simpósio de Geografia Física Aplicada. Anais V. 1. Porto Alegre. P 382 – 398.
- BANCO INTERAMERICANO DEL DESARROLLO, (BID). 1998. **Estratégia para el Manejo de los Recursos Costeros y Marinos en America Latina y el Caribe.** Barcelona, Espanha.
- BIRKEMEIER, W.A. 1985. **Field data on seaward limit of profile change.** Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. V.111. n.3.
- BORNSCHEIN, M.R., REINERT, B.L. 1997. **Acrescido de Marinha em pontal do Parana: Uma Area a ser Conservada para a manutenção das aves dos campos e banhados do litoral do Paraná, Sul do Brasil.** Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Anais Vol II. IAP: Unilivre. Curitiba, PR. 1997. p 875-890.
- BORZONE, C.A. 2000. **Abordagem morfodinâmica no estudo da ecologia de praias arenosas brasileiras.** Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas. Itajaí. Anais. V.1. p 37 – 39.
- BRUUN, P. 1962. **Sea level rise as a cause of shore erosion.** Proc. ASCE. Journal Waterway and Harbors Division. V. 88 p 117 – 130.
- BUSS, G., SCHWAMBACH, J., BRUTTO, L.F.G., LIESENFELD, M.V.A., SANTOS, M.F.M., SOUZA, M.V. 1997. **Ação e Conservação: O Papel da Comunidade na Implantação do Parque Estadual de Itapuã – RS.** Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Anais Vol II. IAP: Unilivre. Curitiba, PR. p 282 – 294.
- CALLIARI, L.J., GOMES DA SILVA, M.E.V, GRIEP, G.H., MOLLER, O.O. 1985. **The origin and evolution of cusped spits in coastal lagoons.** Introduction to Coastal Oceanography. Virginia Institute of Marine Science. USA.
- CALLIARI, L.J., SPERANSKI, N.S., TORRONTGUY, M. 1999. **O Efeito Lama na antepraia do Casino. Características, processos e efeitos.** CDROOM VII Congresso da ABEQUA. Porto Seguro – BA.
- CARRARO *et al.* 1974. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul.** Instituto de Geociências da UFRGS. Porto Alegre.

- CARVALHO, R.V., SILVA, K.G., MESSIAS, L.T. 2000. **Gestão Ambiental para criação de uma unidade de conservação municipal em Rio Grande, RS, Brasil.** II Congresso de Unidades de Conservação. Anais Vol II. Rede Nacional Pro-Unidades de Conservação: Fundação O Boticário de Proteção a Natureza. Campo Grande, MS. p 59-69.
- CARVALHO, J.L, ROBIM, M.J., STARZYNSKY, R., FONTES, M.A. 2000. **A Influência do pisoteio em algumas propriedades físicas do solo na trilha da Praia do Sul, Parque Estadual da Ilha Anchieta, SP.** II Congresso de Unidades de Conservação. Anais Vol II. Rede Nacional Pro-Unidades de Conservação: Fundação O Boticário de Proteção a Natureza. Campo Grande, MS. p 306 - 313.
- CASCUDO, L. C. 1947. **Historia da cidade do natal.** Natal: Prefeitura Municipal. 408 p. : il.
- CASTRO, J.W.A. **O Processo Erosivo das Praias da Costa Oeste do Ceará e suas Conseqüências para o Desenvolvimento Urbano e Empreendimentos Turísticos.** 1996. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, Bahia, Brasil. Anais, v. 4, p. 426 - 429.
- CHAMAS, C. 2000. **Tombamento como proteção ao patrimônio cultural e natural – o caso da Ilha do Campeche, SC.** II Congresso de Unidades de Conservação. Anais Vol II. Rede Nacional Pro-Unidades de Conservação: Fundação O Boticário de Proteção a Natureza. Campo Grande, MS. p 562 – 572.
- CHEBATAROFF, J. 1954. **Regiones naturales Del Rio Grande do Sul y Del Uruguay.** Anais da Associação dos Geógrafos Brasileiros. São Paulo. V.6. tomo I.
- CHRISTOFFOLI, A.R. 2000. **A gênese do uso das praias na sociedade ocidental.** Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas. Itajaí. Anais. V.1. p 341 – 342.
- CORREA, I.C.S. 1987. **Plataforma Continental do Rio Grande do Sul: Síntese dos conhecimentos.** Simpósio sobre Ecossistema da Costa Sul e Sudeste Brasileira. Cananéia. p 50 – 73.
- DALRYMPLE, R.A., THOMPSON, W.W. 1977. **Study of equilibrium beach profiles.** Proceedings of the 15<sup>th</sup> Intenational Coastal Engineering Conference, ASCE. Honolulu. P 1277 – 1296.
- DEAN, R.G. 1973. **Heuristic models of sand transport in the surf zone.** Proceedings of the Conference on Engineering Dynamics in the Surf Zone. Sydney. P 208 – 214.
- DEAN, R.G. 1983. **Priciples of beach nourishment.** In: P. Komar (editor), Handbook of coastal processes and erosion. CRC Press, Boca Raton, Fla., CRC Press. p. 217 – 231.

- DEAN, R.G. 1987. **Coastal sediments processes: Toward Engineering Solutions** In: Coastal Sediments 87. American Society of Civil Engineers. p. 1 – 24.
- DEAN, R.G. 1991. **Equilibrium beach profiles: characteristics and applications**. Journal of Coastal Research. V.7. p 53 – 84.
- DELANEY, P.J.V. 1965. **Fisiografia e Geologia da Superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Publicação Especial da Escola de Geologia, 6, UFRGS. 105 p.
- DILLENBURG, S.R., TOLDO, E.E.Jr. 1990. **Efeitos induzidos por ondas na desembocadura da Laguna dos Patos**. XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia. Natal. Anais v2. p 690 – 699.
- DUBOIS, R.N. 1992. **A Re – evaluation of Bruun’s rule and supporting evidence**. Journal of Coastal Research. V. 8 p. 618 – 628.
- ESTEVES, L.S., TOLDO, E.E.Jr., ALMEIDA, L.E.S.B., NICOLODI, J.L. 2001. **Erosão na costa do Rio Grande do Sul entre 1975 – 2000**. VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. (ABEQUA). Imbé, RS. Anais. V. 1. p 519 - 521.
- FERREIRA, E.R. 1999. **Morfodinâmica praial e previsão de ondas em ambientes de baixa energia – Praia de Fora, Baía Sul, Ilha de Santa Catarina**. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências. UFRGS. Porto Alegre. 66p.
- FLEMING, B.W., NANJOKAT, K.H. 1998. **Onshore – offshore bar migration in the surf zone as a function of wave conditions and grain size: a predictive model**. XV International Sedimentological Congress – IAS. Alicant, Spain. V.1. p 337 – 338.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. 1957. **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters**. Journal of Sedimentary Petrology. V. 27. p 3 – 26.
- FONZAR, B.C. 1994. **A circulação atmosférica no Rio Grande do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente, localização e trajetórias**. Caderno de Geociências. V.11. p 11 – 33.
- FUJIMOTO, N.S.V.M. 1994. **Análise geomorfológica de Itapua – RS: Contribuição ao conhecimento da margem norte da Laguna dos Patos**. Dissertação de Mestrado. USP. 176 p.
- GARCIA, G.J., PIEDADE, G.C.R. 1978. **Topografia aplicada a Ciências Agrárias**. Editora Nobel. São Paulo. 256p.
- GERM, Grupo Executivo da Região Metropolitana, 1975. **Plano Piloto – Parque Regional de Itapua**. Porto Alegre. 2 v.

- GRAEFE, A.R., KUSS, F.R., VASKE, J.J. 1990. **Visitor Impact Management – The Planning Framework**. National Parks and Conservation Association. Washington, D.C. 105 p.
- GRUBER, N.L.S. 1999. **Evolução e dinâmica de antepraia (Shoreface): O conceito de Perfil de Equilíbrio numa análise crítica**. Prova de qualificação para obtenção de título de Doutor em Geociências. UFRGS. 140 p.
- GRUBER, N. L. S., TOLDO, E. E., BARBOZA, E. G., NICOLODI, J. L. **Perfil Praia de Equilíbrio das Praias do Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS, 2000, Itajaí - SC. Anais. Itajaí: CTTMAR - Univali, 2000. v.1. p.120-123.
- GUZA, R.T., INMAN, D.L. 1975. **Edge waves and beach cusps**. Journal of Geophysical Research. V.87, n.21, p 2997 – 3012.
- HALLERMEIER, R.J. 1981. **Seaward limit of significant sediment transport by waves: an annual zonation for seasonal profiles**. CETA 81-2, U.S.Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir. P 125 – 138.
- HALLERMEIER, R.J. (a) 1981. **A profile zonation for seasonal sand beach from wave climate**. Coastal Engineering. V.4. p 253 – 277.
- HEQUETTE, A., RUZ, M.H. 1991. **Spit and barrier island migration in the Southeastern Canadian Beaufort Sea**. Journal of Coast Research. V.7. n.3. p 677 – 698.
- HOEFFEL, F. 1998. **Morfodinâmica de Praias**. Ed. UNIVALI. Itajaí, Santa Catarina, Brasil. 140p.
- IRGANG, G. V., NICOLODI, J. L., HASENACK, H., WEBER, E. J. 1997. **Elaboração de um modelo altimétrico digital para o município de Porto Alegre**. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA E I FÓRUM LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 1997, Curitiba. Anais do Evento em CDROOM.
- JACOBSEN, E.E. & SCHWARTZ, M.L. 1981. **The use of geomorphic indicators to determine the direction of net-shore-drift**. Shore and Beach. V.49. p 38 – 43.
- JOST, H. 1971. **O Quaternário da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. – Região Norte**. Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia. v.1. São Paulo, p 53 – 62.

- KLEIN, A.H.F. 1996. **Concheiros do Albardao: Variações espaço-temporais dos sedimentos e da morfologia praias**. Porto Alegre, 120 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- KLEIN, A.H.F. 1997. **Um método indireto para a determinação do estágio morfodinâmico de praias oceânicas arenosas**. VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Curitiba. Anais. V.1 p 76 – 79.
- KLEIN, A.H.F. 1997a. **Concheiros do Albardao: Variações espaço-temporais da morfologia praias**. VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Curitiba. Anais. V.1 p 401 – 406.
- KOEPPEN, W. 1948. **Climatologia: um estudo de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económica. México. 478 p.
- KOMAR, P.D. 1983. **handbook of coastal processes and erosion**. Florida: CRC Press. P 305.
- KRIEBEL, D.L., KRAUS, N.C., LARSON, M. 1991. **Engineering methods for predicting beach profile response**. Coastal Sediments v. 91 p. 557 – 571.
- KRUEGER, C.P.; SOARES, C.R.; PRADO, A. 1998. **Monitoramento do Recuo e da Progradação da Linha de Costa Utilizando o Sistema de Posicionamento Global**. In: Relato GPS - Revista Latino Americana de GPS. Florianópolis, Brasil. V.9, p 10 -21.
- LANFREDI, N.W., POUSA, J.L., MAZIO, C.A. DRAGANI, W.C. 1992. **Wave power potencial along the coast of the province of Buenos Aires, Argentina**. Energy. V. 17, n 11, p 997 – 1006.
- LONGUET – HIGGINS, M.S. 1970. **Longshore currents generated by obliquely incident sea waves 1**. Journal of Geophysical Research. V.75. p 6778 – 6789.
- MARTINS, I.R., PONZI, V.R., CORREA, I.C. 1978. **Processamento Geológico de Amostras – Projeto DNH/CECO**. Notas Técnicas, Ed. da UFRGS. Porto Alegre. V 1. p 1 – 103.
- MESSIAS, L., ILHA, R., BECKEMCAMP, P., CAMPESTRINI, C., CARVALHO, R., REINHARDT, M.H. 2000. **O Programa de educação ambiental para o Parque Nacional da Lagoa do Peixe, RS, e sua importância na implantação da unidade de conservação**. II Congresso de Unidades de Conservação. Anais Vol II. Rede Nacional Pro-Unidades de Conservação: Fundação O Boticário de Proteção a Natureza. Campo Grande, MS. p 340 – 349.

- MOORE, B.D. 1982. Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height. MSc. Thesis. University of Delaware., Department of Civil Engineering. 164.p.
- MORELOCK, J., SCHWARTZ, M.L., HERNANDEZ-AVILA, M., HATFIELD, D.M. 1985. **Net shore – drift on the North Coast of Puerto Rico.** Shore and Beach. V.53. p 16 – 21.
- MOTTA, V.F. 1967. **Estudo em Modelo Reduzido da Regulamentação da Embocadura Lagunar de Tramandaí.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.
- MOURA, N. S. 1987. **Uma Prática em Pesquisa – A Evolução do relevo na área de Itapua – RS.** Curso de Bacharelado em Geografia. Trabalho de Graduação. UFRGS. Porto Alegre. 54 p.
- MUEHE, D. & DOBEREINER, C. 1977. **A dinâmica do fundo marinho ao longo do pier de Ipanema, Rio de Janeiro.** Anais da Academia Brasileira de Ciências. V.49. p 281 – 286.
- MUEHE, D. 1995. **Geomorfologia Costeira. In: Geomorfologia, uma Atualização de Bases e Conceitos.** Ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, Brasil. 472 p.
- MUEHE, D. 1996. Geomorfologia Costeira. *In:* CUNHA, S.B., GUERRA, A.J.T. (ed.) **Geomorfologia, exercícios, técnicas e aplicações.** Editora Bertrand do Brasil. Rio de Janeiro. 345 p.
- MULLER F°, J.L. 1970. **Notas para o estudo da geomorfologia do Rio Grande do Sul.** Santa Maria: Ministério da Educação e Cultura/UFSM/Departamento de Geociências. P 1 – 37.
- NICHOLLS, M.M. 1989. **Sediment Accumulation Rates and Relative Sea-levels Rise in Lagoons.** Marine Geology. V.88. p. 201 – 220.
- NICHOLLS, R.J., BIRKEMIER, W.A., LEE, G. 1998. **Evaluation of depth closure using data from Duck, NC, USA.** International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics. V. 148. p 179 – 201.
- NORDSTROM, K.F. 1992. **Estuarine Beaches.** Institute os Marine and Coastal Studies, Rutger University, New Jersey, USA: Elsevier Publishing. 225 p.
- NORDSTROM, K.F. 1994. **Developed Coasts. In: Coastal Evolution.** Cambridge University Press. Inglaterra. 517 p.

- NORONHA, L. C. 1998. *org.* **Pro-Guaíba. Baía de Todas as Águas: preservação, e gerenciamento ambiental na Bacia Hidrográfica do Guaíba.** Secretaria da Coordenação e Planejamento do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1998. 112 p.
- PRATES, A.P.L., CORDEIRO, A.Z., FERREIRA, B.P., MAIDA, M. **Unidades de Conservação costeiras e marinhas de uso sustentável como instrumento para gestão pesqueira.** II Congresso de Unidades de Conservação. Anais Vol II. Rede Nacional Pro-Unidades de Conservação: Fundação O Boticário de Proteção a Natureza. Campo Grande, MS. 2000. p 544 – 554.
- PILKEY, O.H.; THIELER, E.R. 1992. **Erosion of the United States Shoreline.** *In:* Quaternary Coasts of the United States: Marine and Lacustrine Systems. SEPM Special Publication n. 48, 7p.
- PILKEY, O.H. 1998. **A new view of the shoreface.** Journal of Coastal Research, Si (26) (Ic's 98 Proceedings) 108-109. Fort Lauderdale (Florida), Issn 0749-0208.
- RAUDKIVI, A.J. 1990. **Loose Boundary Hydraulics.** 3.ed. Pergamon Press. 539p.
- RIO GRANDE DO SUL. 1997. **Plano de Manejo: Parque Estadual de Itapua. Porto Alegre: Departamento de Recursos Naturais Renováveis.** Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 158 p.
- SANTOS, M.A.V. 2000. **Modelos numéricos aplicados a praias arenosas na costa brasileira: uma revisão.** Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas. Itajaí. Anais. V.1. p 62 – 63.
- SCHOONEES, J.S. & THERON, A.K. 1994. **Accuracy and applicability of the SPM longshore transport formula.** Proceedings of the 24<sup>th</sup> ICCE, ASCE, Kobe, Japan.
- SCHWARTZ, M.L. 1982. **The Encyclopedia of beaches and coastal environments.** Stroudsburg: Hutchinson Ross. 940 p.
- SCHWARTZ, M.L. 1990. **A coastal geomorphologist's views on recent developments in coastal geomorphology.** *In:* Bruum. P. Port Engineering. Gulf Publ. Houston . 2. p 791 – 801.
- SHORE PROTECTION MANUAL. 1984. **U.S. Army Engineer Experiment Station.** Vicksburg. 4 ed. MS, 2v.
- SHORT, A.D. 1979. **Three dimensional beach stage model.** Journal of Geology. V.87 p 553 – 571.

- SHORT, A.D., AAGAARD, T. 1993. **Single and multi bar beach change models**. Journal of Coastal Research. V.15. p 141 – 157.
- SHORT, A.D. 1999. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Ed. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, Inglaterra.
- SHORT, A.D. 1992. **Beach systems of the central Netherlands coast: processes, morphology, and structural impacts in a storm driven multi-bar system**. Marine Geology. V.107. p 103 – 107.
- SILVA, S.B. 1991. **Morro da Fortaleza: estudo de um assentamento Umbu e Tupi-guarani**. Museu Antropológico do Rio Grande do Sul. Relatório de Pesquisa do DRNR. Porto Alegre.
- SILVESTER, R. 1974. **Coastal Engineering II. Sedimentation, estuaries, tides, effluents and modeling**. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. 338 p.
- SOUZA, C.R.G. 1996. **Processos Erosivos na Costa de São Paulo**. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, Bahia, Brasil. Anais, v. 4, p. 398 - 401.
- SOUZA, C.R.G. & SUGUIO, K. 2000. **A contribuição dos estudos de morfodinâmica, circulação costeira e erosão praial na gestão da zona costeira de São Paulo**. Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas. Itajaí. Anais. V.1. p 353 – 355.
- STRAHLER, A.N.; STRAHLER, A.H. 1994. **Geografia Física**. Ed. Omega. Barcelona, Espanha. 515 p.
- STRENZEL-REUSS, G.M., ASMUS, M.L., CHLUDINSKI, A.P. 1997. **Avaliação inicial do impacto causado pelo turismo submarino na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo – SC, Brasil – Utilizando um modelo ecológico de simulação**. Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Anais Vol II. IAP: Unilivre. Curitiba, PR. p 528 – 542.
- SUERTEGARAY, D.M.A. 1998. **Deserto Grande do Sul – Controvérsia**. Editora da Universidade. UFRGS. Porto Alegre. 2ª edição.
- SUGUIO, K. 1992. **Dicionário de Geologia Marinha**. Ed. Quercus. São Paulo, Brasil. 171 p.
- SUNAMURA, T., TAKEDA, I. 1984. **Landward migration of inners-bars**. Marine Geology. V.60. p 63 – 78.

- SUNAMURA (a), T. 1984. **Quantitative prediction of beach face slopes.** Geological Society Am. Bull. V.95. p 242 – 245.
- TESSLER, M.G. & MAHIQUES, M.M. 2000. **Por uma terminologia brasileira para o ambiente praias.** Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas. Itajaí. Anais. V.1. p 68 – 69.
- TOLDO, E.E.Jr., MEDEIROS, R.K. 1986. **Programa interpola em linguagem basic para análise estatística e propriedades texturais de amostras sedimentares em computador.** Pesquisas. Ed. da UFRGS. Porto Alegre. V. 18, p 91 – 100.
- TOLDO, E.E.Jr. 1989. **Os efeitos do transporte sedimentar sobre a distribuição dos tamanhos de grão e morfodinâmica lagunar.** Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências. UFRGS. Porto Alegre. 143 p.
- TOLDO, E.E.Jr. 1990. **Oscilaciones Del Nivel Del Mar em la Laguna de los Patos, Brasil.** II Congreso de Ciencias Del Mar. Resumos. Havana, Cuba. P. 217 – 218.
- TOLDO, E.E.Jr. 1991. **Morfodinâmica da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul.** Pesquisas. V. 18. p. 58 – 63.
- TOLDO, E.E.Jr., DILLENBURG, S.R., ALMEIDA, L.E.S.B., TABAJARA, L.A., MARTINS, R.R., CUNHA, L.O.B.P. 1993. **Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbe, RS.** Pesquisas, UFRGS. V.20. p 27 – 32.
- TOLDO, E.E.Jr. 1994. **Sedimentação, Predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunas da Lagoa dos Patos, RS.** Tese de doutorado. Instituto de Geociências. UFRGS. Porto Alegre. 178 p.
- TOLDO, E.E.Jr., ALMEIDA, L.E.S.B., CORREA, I.C.S., MARTINS, L.R. 1995. **Sedimentação Holocênica no Sistema Lagunar da Lagoa dos Patos, RS.** VI Simpósio Sul – Brasileiro de Geologia. Porto Alegre. Anais V.1. p 275 – 277.
- TOLDO, E.E.Jr., ALMEIDA, L.E.S.B., CORREA, I.C.S. 1999. **Producción de sedimentos em laguna costera de margen pasiva: el ejemplo de la Lagoa dos Patos, Brazil.** Revista de Ciencias del Mar Thalassas. Universidade de Vigo. V. 15. p. 29 – 34.
- TOLDO, E.E.Jr. 2000. **Forecasting shorelines changes of Lagoa dos Patos Lagoon, Brazil.** Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas. Itajaí. Anais. V.1. p 59 – 60.
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A.; DILLENBURG, S.R.; BACHI, F.A.; DEHNHARDT, B.A. 1997. **A Erosão Costeira e a transgressão Marinha Atual na Costa do Rio Grande do Sul.** In: VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Curitiba, Paraná, Brasil. Anais.

- TOZZI, H.A.M., CALLIARI, L.J. 2000. **Morfodinâmica da Praia do Cassino, RS.** Pesquisas. UFRGS. V.27. p 29 – 42.
- VAZ, A.C. & MOLLER, O.O.Jr. 2000. **Estudo das oscilações de longo período de variáveis hidrográficas e meteorológicas na região da bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos.** XIII Semana Nacional de Oceanografia. Itajaí, SC. V.1. p 426 – 428.
- VILLWOCK, J.A., MARTINS, I., FORMOSO, M.L.L. 1972. **Contribuição ao estudo da mineralogia de argilas dos sedimentos de fundo da Lagoa dos Patos, RS, Brasil.** Estudos Sedimentológicos. Natal. V.2 p. 13 – 34.
- VILLWOCK, J.A. 1977. **Aspectos da sedimentação na região nordeste da Lagoa dos Patos: Lagoa do Casamento e Saco do Cocuruto, RS, Brasil.** Tese de doutorado em geociências, Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre. 189 p.
- VILLWOCK, J.A. 1984. **Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil a Synthesis.** Pesquisas. UFRGS. V.6. p 5 – 59.
- VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J. 1995. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul.** Notas Técnicas. CECO – UFRGS. V.8. 45p.
- WAGAR, A.J. 1964. **The carrying capacity of wild lands for recreation.** Washington, D.C. Society of American Foresters. Forest Science Monography. V. 7 p 1 – 24.
- WESCHENFELDER, J., ZOUAIN, R.N.A., ZOMER, S.L.C., SOUTO, R.P. 1997. **Caracterização morfológica das praias oceânicas entre Imbe e Arroio do Sal, RS.** Notas Técnicas, CECO - UFRGS. V.10. p 35 – 49.
- WIEGEL, R.L. 1964. **Oceanographical Engineering.** Prattice-Hall, New York. 532 p.
- WRIGHT, L.D., CHAPPELL, J., THOM, B.G., BRADSHAW, M.P., COWELL, P. 1979. **Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia.** Marine Geology, v.32, p 105 – 140.
- WRIGHT, L.D., GUZA, R.T., SHORT, A.D. 1982. **Dynamics of a high energy dissipative surf zone.** Marine Geology. V.45 p 41 – 62.

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

WRIGHT, L.D., MAY, S.K., SHORT, A.D., GREEN, M.O. 1984. **Beach and surf zone equilibria and response times.** Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Coastal Engineering Conference, ASCE. Houston, Texas. p 2150 – 2164.

WRIGHT, L.D., SHORT, A.D., GREEN, M.O. 1985. **Short term changes in the morphodynamics states of beaches and surf zones: An empirical predictive model.** Marine Geology. V.62. p 339 – 364.

WRIGHT, L.D., BOON, J.D., KIM, S.C., LIST, J.H. 1991. **Modes of cross-shore sediment transport on the shoreface of the middle/atlantic Bight.** Marine Geology. V.96. p 19 – 51.