



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA FÍSICA,
QUÍMICA E GEOLÓGICA



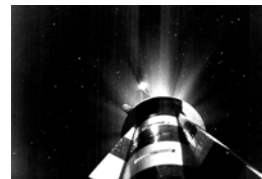
**VARIABILIDADE DA ORLA OCEÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL E SUAS
IMPLICAÇÕES NA ELABORAÇÃO DE PLANOS DE CONTINGÊNCIA: ASPECTOS
MORFODINÂMICOS, SEDIMENTOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS.**

Pedro de Souza Pereira

Dissertação de mestrado apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em
Oceanografia Física, Química e Geológica. Área de Oceanografia Geológica, 2005.



Dedico este trabalho ao meu grande amigo Osni, o qual esteja onde estiver vai estar sempre guiando a seus amigos, como faróis, anjos protetores, guiam a vida dos que vivem no mar.



ALBARDÃO

Alva llanura
reino tuaregue dos campos de dunas

fogueira de silêncios
petréis de mares imensos

olhos d'água
oceano de areia

rancho praiero
abrigo de bóias e madeiras

costa brava
templo sagrado
de embarcações naufragadas

ancoradouro de peregrinos
tartarugas leões
baleias tubarões

natantes elementos
de uma ampla costa
sempre aberta aos quatro ventos

ossos relevos traçados
cavidades protuberância esculpidas
curvas volumes erodidos

espadas de marlim
tatuagem no marfim

galpão quinchado
mirante estaqueado

pousada dos corações
rasgando o poncho da lua
no refluxo das emoções.

*Wa Ching
Pampa litoral
Crônicas e poemas.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari, que me transmitiu diversos conhecimentos que enriqueceram minha imaginação, despertando em mim um interesse cada vez maior da busca do conhecimento através da ciência, não esquecendo também os ensinamentos de humildade e amizade.

À professora Maria Isabel, por estar sempre disposta a corrigir e criticar os meus devaneios científicos.

Ao Prof. Dr. Paul Gerardi Kinas pelas sugestões realizadas na área de estatística, fundamentais na elaboração do capítulo referente à morfodinâmica de praias.

Ao Prof. Dr. Carlos Tagliani pelo entusiasmo e paciência durante a ajuda oferecida na elaboração do capítulo referente à vulnerabilidade.

Ao PRH-27/ANP por disponibilizar recursos para a execução deste trabalho através de seu coordenador o Prof. Gilberto Griep.

Aos amigos do LOG, Cristian, Caco, Luciana, Cris, Eduardo, Allan, Andréa, Manuel, Renato, Zé Antikeira, Neuza e Gloria, que sem dúvidas tornam o ambiente de trabalho um ambiente aconchegante e familiar. Ao amigo Clabsnei (secretário do Programa de Pós-graduação em Oc. Fis. Qui. e Geo.) por boas prozas e um bom chimarrão (típicos da tradição gaúcha) e ao Gilverto Oliveira, sempre disposto a colaborar, estes últimos apesar de “não” serem da equipe do LOG, fazem parte dessa enorme família.

Aos meus irmãos e irmãs, Felipe Caron, Marcos Conterato, Japonês Koike, Fernando, Rafael Guedes, Silvina Botta, Rodrigo Barletta, Chico Buckman, Salette, Augusto, Hugo, Fernando Hirata, Juliana, Curiri, Gica, Renato Lélis, Felipe Morais, Karina Maier, Tito, Hellen, Henrique Mesquita,

Lisa, Júlia, Flávia, Fabiana Oliveira, Bob, Darrabis, Bárbara, Camila, Kacey, Michel, Tchê Teo, e muitos outros que encheriam todas as paginas da dissertação. Lembrando, que família não é só sangue... família é sintonia!!!

Ao Fabinho e a Léia que através de seus ensinamentos trazem luz e saúde a minha vida, na forma do Yoga, despertando a espiritualidade que existe dentro de mim, ou melhor, dentro de cada um de nós.

Por fim agradeço a *hermosa* costa do Rio Grande do Sul, por ela ser assim... linda...“retilínea e uniforme”...com belas peculiaridades que desabrocham a cada nova estação, a cada nova viração, por ela ser assim como ela é... cheia de surpresas!!!

Namastê!!! 

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	3
ÍNDICE	5
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE SÍMBOLOS UTILIZADOS.....	12
RESUMO	14
ABSTRACT.....	15
TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES ADOTADAS.....	16
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUÇÃO.....	18
CAPÍTULO 2	
MORFODINÂMICA DA COSTA DO RIO GRANDE DO SUL: HOMOGENEIDADES E HETEROGENEIDADES.....	21
2.1.1 MORFODINÂMICA DE PRAIAS	21
2.1.2 MORFODINÂMICA DAS PRAIAS DO RIO GRANDE DO SUL	24
2.2 OBJETIVOS.....	31
2.2.1 OBJETIVOS GERAIS	31
2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
2.3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
2.4 RESULTADOS	36
2.4.1 ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	36
2.4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	42
2.5 DISCUSSÃO.....	50
2.6 CONCLUSÕES.....	59
CAPÍTULO 3	
PERMEABILIDADE DAS PRAIAS ARENOSAS DO RIO GRANDE DO SUL	62
3.1 INTRODUÇÃO.....	62
3.1.1 PERMEABILIDADE EM PRAIAS	62
3.2 OBJETIVOS.....	67

3.2.1 GERAL.....	67
3.2.2 ESPECÍFICOS.....	67
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	68
3.3.1 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM ÁGUA	68
3.3.2 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM ÓLEO	71
3.3.3 COLETAS DE SEDIMENTOS	72
3.4 RESULTADOS	72
3.4.1 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM ÁGUA	73
3.4.2 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM ÓLEO	76
3.4.3 ANÁLISE DOS SEDIMENTOS.....	77
3.5 DISCUSSÃO.....	81
3.6 CONCLUSÕES.....	91
3.7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	94
CAPÍTULO 4	
VULNERABILIDADE À DERRAME DE ÓLEO NA ORLA DO RIO GRANDE DO SUL E SUAS IMPLICAÇÕES NA ELABORAÇÃO DE PLANOS DE CONTINGÊNCIA.....	95
INTRODUÇÃO.....	95
4.1.1 POLUIÇÃO POR PETRÓLEO	95
4.1.2 ÍNDICES DE SENSIBILIDADE.....	96
4.1.3 PLANOS DE CONTINGÊNCIA	101
4.2 OBJETIVO	105
4.2.1 GERAL	105
4.2.2 ESPECÍFICOS.....	106
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS	106
4.3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	106
A) ÍNDICE DE SENSIBILIDADE SEGUNDO MMA.....	106
B) DENSIDADE DE SANGRADOUROS	107
C) PROXIMIDADE DE ÁREAS URBANAS	108
D) SETORES MORFODINÂMICOS	108
E) VARIABILIDADE DO CAMPO DE DUNAS FRONTAIS.....	108
4.3.2 PADRONIZAÇÃO DOS FATORES	109
4.3.3 PONDERAÇÃO DE FATORES.....	110
4.4 RESULTADOS	111
4.4.1 ÍNDICE DE SENSIBILIDADE SEGUNDO MMA	111
4.4.2 DENSIDADE DE SANGRADOUROS.....	117
4.4.3 SETORES MORFODINÂMICOS.....	119
4.4.4 SISTEMA DE DUNAS FRONTAIS.....	123

4.4.5 ÁREAS URBANAS.....	126
4.5 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	128
4.6 CONCLUSÕES	143
4.7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	144
CAPÍTULO 5	
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	145
CAPÍTULO 6	
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148
CAPÍTULO 7	
7 APÊNDICES	160

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona física e morfológica típica de praias arenosas. Modificado de Komar (1998).....	17
Figura 2.1. Erosão praial no farol da conceição entre março de 1996 e setembro de 1999 (Barletta, 2000).	26
Figura 2.2. Erosão praial no balneário de lagamarzinho entre julho de 1991 e novembro de 1998 (Barletta, 2000).	27
Figura 2.3. Erosão praial no balneário hermenegildo entre agosto de 1991 e agosto de 1996 (Tozzi, 1999).	29
Figura 2.4. Diagrama indicando as principais etapas de uma análise de componentes principais (PCA).	33
Figura 2.5. Diagrama indicando as principais etapas do escalonamento multidimensional (MDS).	35
Figura 2.6. Área de estudo com a localização dos pontos estudados.....	37
Figura 2.7. Diagrama indicando os principais anos estudados. Valores em percentagem.	41
Figura 2.8. Autovetores versus autovalores. Valores em percentual correspondem a variação dos dados pela qual cada autovetor é responsável.	42
Figura 2.9. Valores encontrados para os coeficientes de cada componente principal	43
Figura 2.10. Distribuição das 32 praias analisadas em relação a primeira e segunda componentes.	44
Figura 2.11. Distribuição das 32 praias analisadas em relação a terceira e quarta componentes.	45
Figura 2.12. Resultado da análise de escalonamento multidimensional (MDS) em duas dimensões	47
Figura 2.13. Resultado da análise de escalonamento multidimensional (MDS) em três dimensões.....	48
Figura 2.14. Exemplos de perfis topográficos para cada um dos grupos identificados no mds	49
Figura 2.15. Aerofotografias ilustrando estágios do tipo banco e cava longitudinal (BCL) e praia rítmica (BPR)	54
Figura 2.16. Setores morfodinâmicos resultantes do escalonamento multidimensional (MDS).	57
Figura 3.1. Modelo conceitual da relação entre o lençol freático e o transporte de sedimentos na zona de espraiamento.....	64
Figura 3.2. Locais onde foram realizados os ensaios de permeabilidade.	70

Figura 3.3. Esquema do tubo utilizado.	71
Figura 3.4. Permeabilidade do pós-praia e berma.....	74
Figura 3.5. Fotos ilustrando o espraiamento das ondas durante a realização dos ensaios de permeabilidade em novembro de 2004 em frente ao farol do estreito.....	75
Figura 3.6. Comparação entre a permeabilidade medida sob condições consideradas normais e condições de tempestade para um dh=5cm na região do pós-praia.	76
Figura 3.7. Histogramas mostrando a distribuição das diferentes classes para as praias dos concheiros, fronteira aberta e farol da conceição.	80
Figura 3.8. Permeabilidade para o pós-praia e berma em cidreira, sem turfa, e proximidades com turfa.	84
Figura 3.9. Desvio padrão versus permeabilidade	86
Figura 3.10. Comparação entre os dados encontrados por Klein e Calliari (1997) e os dados encontrados pelo presente estudo para a região do pós-praia.	88
Figura 3.11. Bulbos observados nos ensaios de permeabilidade. A e B são utilizando água, c e d utilizando óleo.....	89
Figura 4.1. Processos de intemperismo do óleo no mar para um típico óleo cru.	96
Figura 4.2. A. Distribuição das amostras sedimentológicas para a região da berma.....	113
Figura 4.2. B. Distribuição das amostras sedimentológicas para a região do pós-praia.	114
Figura 4.3. Índice de sensibilidade do litoral de acordo com publicação do MMA (2002).	116
Figura 4.4. Mapa ilustrando o número de sangradouros por trechos de 10 quilômetros.	118
Figura 4.5. Mapa ilustrando os setores morfodinâmicos.	121
Figura 4.6. Mapa ilustrando a atual situação do sistema de dunas frontais.	124
Figura 4.7. Mapa ilustrando as áreas urbanizadas ao longo do litoral do rio grande do sul.	127
Figura 4.8. A. Resultado da integração das variáveis geomorfológicas no cenário com maior peso para as dunas.	130
Figura 4.8. B. Resultado da integração das variáveis geomorfológicas no cenário com maior peso para os sangradouros, estes sendo um agente facilitador da contaminação de ecossistemas costeiros por óleo.....	131

Figura 4.9. Resultados da integração das variáveis geomorfológicas no cenário com os sangradouros sendo um agente facilitador da limpeza do ambiente praial contaminado por óleo.	134
Figura 4.10. A. Resultado da integração das variáveis geomorfológica e urbanização no cenário com maior peso para as dunas.	136
Figura 4.10. B. Resultado da integração das variáveis geomorfológica e urbanização no cenário com maior peso para os sangradouros, estes sendo um agente facilitador da contaminação costeira por óleo.....	137
Figura 4.11. A. Resultados da integração das variáveis geomorfológicas e urbanização em dois cenários, um com maior peso para as dunas (A) e outro com maior peso para os sangradouros, estes sendo um agente facilitador da limpeza do ambiente praial contaminado por óleo (B).	139
Figura 4.11. Resultados da integração das variáveis geomorfológica e urbanização em dois cenários, um com maior peso para as dunas (A) e outro com maior peso para os sangradouros, estes sendo um agente facilitador da limpeza do ambiente praial contaminado por óleo (B).	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Parâmetros morfométricos, ω , permeabilidade e orientação da linha de costa para as praias do litoral norte .	38
Tabela 2.1 (continuação). Parâmetros morfométricos, ω , permeabilidade e orientação da linha de costa para as praias do litoral central .	39
Tabela 2.1 (continuação). Parâmetros morfométricos, ω , permeabilidade e orientação da linha de costa para as praias do litoral sul .	40
Tabela 3.1. Valores Típicos do Coeficiente de Permeabilidade (Vargas, 1977).	67
Tabela 3.2. Classificação dos tipos de óleos.	72
Tabela 3.3. Coeficientes de permeabilidade (K) encontrados para ensaios utilizando água e óleo como fluidos.	76
Tabela 3.1. Características granulométricas para a região do pós-praia dos locais onde foram realizados ensaios de permeabilidade, valores em ϕ .	78
Tabela 3.2. Características granulométricas para a região da berma dos locais onde foram realizados ensaios de permeabilidade, valores em ϕ .	79
Tabela 3.6. Tamanho médio do sedimento (ϕ), desvio padrão (ϕ) e teor de umidade (%) para a região do pós-praia dos pontos onde foram realizados os ensaios de permeabilidade sob condições normais e de tempestade.	81
Tabela 4.1. Índice de sensibilidade de acordo com Gundlach e Hayes (1978).	98
Tabela 4.2. Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) de acordo com as <i>Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo</i> (Cartas SAO) do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002).	100
Tabela 4.3. Escala de comparadores de Saaty indicando o peso atribuído a cada variável na comparação pareada.	110
Tabela 4.4. Exemplo de matriz de comparação pareada entre as variáveis.	111
Tabela 4.5. Exemplo de pesos calculados para cada fator inserido na comparação pareada.	111
Tabela 4.6. Matriz elaborada para a comparação pareada entre as variáveis em dois cenários.	129
Tabela 4.7. Pesos calculados para cada fator inserido na comparação pareada.	129

LISTA DE SÍMBOLOS UTILIZADOS

h – Profundidade

L_0 – Comprimento da onda em águas profundas

a – Amplitude da onda

W – Frequência da onda ($2\pi/T$)

g – Aceleração da gravidade

β – Declividade da face da praia

$\tan \beta$ – Tangente da declividade da praia

ε – Parâmetro dimensionador do surfe

Ω – Ômega

W_s – Velocidade de sedimentação

T – Período da onda

H_b – Altura da onda na arrebentação

Δ – Parâmetro delta

D_{espr} – Distância do espraçamento da onda na face da praia

T_{espr} – Período do espraçamento

M_z – Tamanho médio do sedimento

Y_b – Largura média da praia

σ_{Y_b} – Desvio padrão de Y_b

CV – Índice de mobilidade do pós-praia

V_v – Variação de volume acima do datum

σ_{V_v} – Desvio padrão de V_v

a_i – Coeficiente de uma componente principal (i)

λ_i – Variância de uma componente principal (i)

δ_{ij} – Distância do objeto i em relação ao j em uma matriz de similaridade ($i \times j$)

d_{ij} – Distância entre o indivíduo i e o j

d'_{ij} – Disparidades

A_m – Percentagem de areia média

K_p – Permeabilidade do pós-pria

K_b – Permeabilidade da berma

α – Orientação da linha de costa em relação ao norte

k – Permeabilidade intrínseca

D – Diâmetro do grão

σ – Grau de seleção

K – Condutividade hidráulica

ν – Viscosidade cinemática

ρ – Densidade do fluido

μ – Viscosidade dinâmica

n – Porosidade

Q – Vazão

Φ – Phi

RESUMO

Embora a primeira vista, a orla oceânica do Rio Grande do Sul pareça homogênea, mudanças relacionadas a herança geológica atuando em conjunto com os mutáveis processos hidrodinâmicos induzem a diferenciação praial ao longo desse sistema. Tais mudanças tornam essa área altamente interessante para estudos de geomorfologia costeira e processos sedimentares aplicados a problemas ambientais.

O propósito do presente estudo é detalhar a morfodinâmica dos diferentes sistemas praias previamente identificados, agregando a permeabilidade e variáveis geomorfológicas na análise da vulnerabilidade costeira frente a eventuais derrames de óleo. A partir dos parâmetros morfométricos de 32 perfis de praias, foi aplicada uma análise de componentes principais (PCA) para extração dos autovetores que controlam a variação dos dados, usando esses vetores como matriz de dados para o escalonamento multidimensional (MDS).

Os dados de permeabilidade utilizados foram medidos através de ensaios com permeômetros em duas porções do prisma praial e o coeficiente de permeabilidade medido para cada ponto. A vulnerabilidade foi determinada através do uso de ferramentas de geoprocessamento, integrando variáveis geomorfológicas com áreas urbanizadas.

A partir da PCA foi verificada que 81% da variabilidade dos dados estava relacionada aos primeiros 4 autovetores. Utilizando a MDS foram encontrados cinco grupos, um com tendências dissipativas, outro intermediário com tendências reflectivas e três intermediários, cada um refletindo características morfodinâmicas distintas.

A integração das variáveis geomorfológicas indicou como áreas mais e menos vulneráveis a eventuais derrames de óleo, respectivamente, as da região dos Concheiros e as praias adjacente a desembocadura da Lagoa dos Patos. A integração desses resultados com as áreas urbanas mudou esse panorama inicial, conferindo ao litoral norte a maior vulnerabilidade.

A partir dos dados aqui discutidos sugere-se uma divisão da costa gaúcha em oito setores morfodinâmicos, sendo as praias intermediárias classificadas em três grupos de acordo com a mobilidade. Os mapas de vulnerabilidade gerados podem ser interpretados como mapas de prioridades de medidas emergenciais em caso de eventuais derrames de óleo tornando-se ferramentas fundamentais na elaboração e execução de planos de contingências.

ABSTRACT

Although at the first look, the Rio Grande do Sul coastline appears homogeneous, changes related to the geological inheritance acting in conjunction with the changeable hydrodynamic processes, induce beach differentiation along the barrier. Such changes make it a highly interesting area for the study of coastal geomorphology and sedimentary processes applied to environmental problems. The objective of the present study is to refine the morphodynamic classification previously identified by other studies, aggregating to it, beach permeability and other geomorphologic variables applied to the analysis of coastal vulnerability associated to occasional oil spills.

Eight morphometric parameters, obtained from 32 beach profiles were submitted to a Principal Component Analysis (PCA) in order to extract the eigenvectors which were used to perform a Multidimensional Scaling analysis (MDS). Beach permeability was characterized by the permeability coefficient measured with a permeameter at two points of the 32 beach profiles. The vulnerability was determined by the integration of geological and geomorphologic variables with urbanization data using a Geographical Information System.

The PCA analysis, indicated that four eigenvectors accounted for 81 % of the total variability of the data. The MDS analysis differentiated five beach groups, being group one and five type beaches related to dissipative and reflective characteristics and three intermediate groups, each one displaying different morphodynamic characteristics.

In general, a sharp differentiation in permeability was noticed between the berm and the backshore with higher values associated to the first. The lowest values of the permeability coefficient, were obtained in the regions adjacent to the Patos Lagoon inlet and Conceição Lighthouse. In contrast, the highest values were found in the beach sector of the Concheiros area.

The integration of the geomorphologic variables indicated as areas of higher and lower vulnerability to oil spills, respectively, the Concheiros and the beaches close to the Patos Lagoon inlet. The integration of such results with urbanized areas changed considerably this initial pattern conferring to the northern littoral the highest degree of vulnerability.

At light of the present data it is suggested the subdivision of the Rio Grande Sul coastline in eight morphodynamic sectors as a result of the integration of the statistical analysis and sediment characteristics. The vulnerability maps indicate areas of higher priority for protection in case of oil spills becoming important tools during the elaboration and execution of contingency plans.

TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES ADOTADAS

O uso de uma terminologia comum favorece o intercâmbio de informações (Tozzi, 1999). Desta forma, a terminologia adotada é a apresentada por Komar (1976; 1998), Hoefel (1998) e Tessler e Mahiques (2000), comumente usada por outros autores (Figura 1):

Praia: ambientes sedimentares costeiros formados, mais comumente por areias, cascalho, seixos e ou lama, de composição variada, condicionados pela interação dos sistemas de ondas incidentes sobre a costa.

Pós-praia: zona que se estende do máximo espraiamento das ondas até o limite das dunas frontais, ou qualquer outra mudança fisiográfica brusca, zona subaérea do perfil praiial. Apresenta comumente feições característic

as como bermas, crista-canal, dunas embrionárias, dunas barcanóides e escarpas.

Berma: feição característica de processos de construção sedimentar. Apresenta a forma de uma banco.

Face da praia: zona onde ocorrem os processos de espraiamento, fluxo e refluxo das ondas, ou zona de estirâncio. Compreende também a zona intermareal. Apresenta como limite superior a berma e inferior o degrau.

Cúspides praiiais: elevações longitudinais rítmicas formadas na face da praia.

Antepraia: Porção do perfil sobre a qual ocorrem os processos de refração difração e empolamento. Apresenta como limite externo o ponto de interação do movimento das ondas sobre o fundo ($h/L_0 < 1/4$).

Zona de arrebentação: zona na qual atuam os processos de dissipação de energia das ondas, o ponto de quebra, arrebentação das ondas.

Zona de surfe: zona intermediária entre a zona de arrebenção e a zona de espriamento, onde dominam os processos de transporte de sedimentos por correntes de deriva litorânea e correntes de retorno.

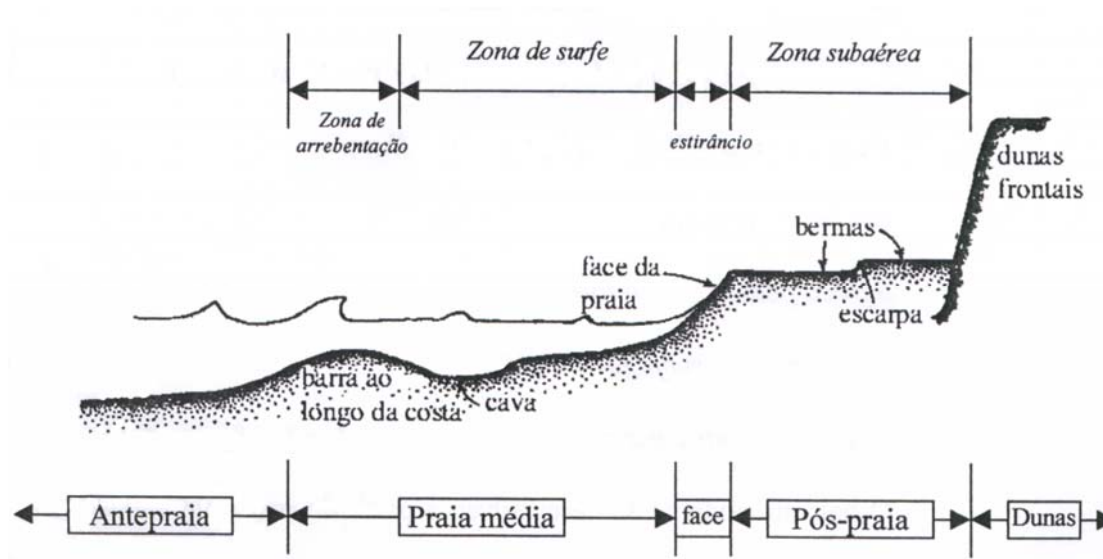


Figura 1. Zona física e morfológica típica de praias arenosas. Modificado de Komar (1998).

1. INTRODUÇÃO

A costa do Rio Grande do Sul (RS) nos seus aproximados 620 km de extensão apresenta-se cheia de peculiaridades que enriquecem a geografia local e intrigam os pesquisadores.

Desde o início da década de noventa o ambiente praiado do estado mais meridional do Brasil vem sendo intensamente estudado. Estudos na área de morfodinâmica de praias, sedimentologia, geomorfologia e dinâmica costeira têm sido executados com a finalidade de aprimorar o conhecimento sobre as inúmeras peças que compõem o mosaico da orla gaúcha.

Basicamente composto de areia, o litoral do RS apresenta variações sedimentológicas associadas a herança geológica na forma de sedimentos relíquias, e a proximidade de desembocaduras lagunares e fluviais. As características sedimentológicas associadas a dinâmica costeira resulta em uma homogeneidade e heterogeneidade do ambiente praiado.

A dinâmica costeira por sua vez é um reflexo da complexa batimetria que antecede a zona de arrebentação das ondas, ocasionando concentração de energia em determinados pontos e dispersão em outros.

Todos os conhecimentos aprimorados em anos de pesquisa proporcionam diversas aplicações, sobretudo, ao gerenciamento costeiro. Ambientes mais suscetíveis a erosão, áreas de progradação de costa e locais de risco eminentes aos banhistas são alguns exemplos de como os conhecimentos gerados apresentam implicações no gerenciamento costeiro. No contexto do atual desenvolvimento sustentável, a indústria do petróleo exige a formação de profissionais capacitados para promover tal política. A Agência Nacional do Petróleo (ANP), ciente desta importância, implementou o Programa de Recursos Humanos para o setor de petróleo e gás, através da contemplação curricular de cursos universitários tradicionais, com disciplinas de especialização no setor.

A Fundação Universidade Federal do Rio Grande, tradicionalmente conhecida por desenvolver estudos ambientais nos ecossistemas costeiros e oceânicos, foi contemplada com a implementação do Programa: Estudos Ambientais nas Áreas de Atuação da Indústria do Petróleo, o PRH-27.

Elaboração de mapas de sensibilidade para ambientes costeiros, efeito crônico e agudo da toxicidade do petróleo sobre a biota, modelagem numérica da dispersão de derrames e elaboração de banco de dados sedimentológicos e biológicos são alguns exemplos das atividades de pesquisa desenvolvidas pelo o PRH-27.

Através da união do interesse de desenvolver pesquisas sobre o ambiente praiial com a necessidade de capacitação de recursos humanos para atuação na indústria do petróleo surge o presente estudo, cujo escopo é utilizar técnicas que possam caracterizar a orla oceânica do Rio Grande do Sul, em termos morfodinâmicos, além de agrupar e analisar informações que caracterizem a vulnerabilidade da costa gaúcha frente a eventuais derrames de óleo, as quais possam apresentar aplicações na elaboração de planos de contingência.

Com o intuito de realizar uma caracterização geral da costa do RS realizou-se uma intensa revisão bibliográfica onde foram reunidas informações relevantes aos pontos de monitoramento morfodinâmico efetuados pelo Laboratório de Oceanografia Geológica (FURG) em parceria com o Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos (CECO-URGS) e empresas da área ambiental nos últimos quinze anos. Todas as informações referentes aos pontos monitorados forma agrupadas e analisadas a fim de gerar uma caracterização geral da costa, sendo este o tema central do primeiro capítulo da presente dissertação.

Através do uso de variáveis que caracterizam o ambiente praiial juntamente com a permeabilidade das praias foi possível a utilização de técnicas estatísticas de agrupamento na caracterização geral da costa. A variável permeabilidade foi um dos temas estudados na presente

dissertação. O segundo capítulo apresenta o método utilizado no estudo da permeabilidade, bem como fatores que controlam sua variação ao longo do litoral gaúcho, com o objetivo de determinar áreas vulneráveis em relação a eventuais derrames de óleo.

Como produto final da dissertação surge o terceiro capítulo que integra características geomorfológicas e com aspectos socioeconômicos relacionados a ocupação urbana na elaboração de mapas de vulnerabilidades para o litoral do Rio Grande do Sul.

Espera-se desta forma, através dos três capítulos desenvolvidos, gerar informações de grande valia na elaboração de planos de contingência a eventuais derrames de óleo em escalas locais e regionais.

MORFODINÂMICA DA COSTA DO RIO GRANDE DO SUL: HOMOGENEIDADES E HETEROGENEIDADES.

2.1 INTRODUÇÃO

2.1.1 Morfodinâmica de praias

Uma das definições do termo morfodinâmica de praias é o “ajustamento mútuo da topografia e da dinâmica dos fluidos, envolvendo o transporte de sedimentos” (Wright e Thom, 1977, *apud* Short, 1999). Wright e Short (1984) define não só como um termo, mas como a ciência que busca a compreensão das respostas morfológicas das praias frente às variações hidrodinâmicas.

A morfodinâmica praial é um método que integra observações morfológicas e dinâmicas em uma descrição mais completa e coerente da praia e zona de arrebentação (Calliari *et al.*, 2003). A hidrodinâmica existente ao longo da praia é o resultado da interação das ondas incidentes, refletidas ou parcialmente refletidas da face da praia, modos ressonantes de oscilações, fluxos permanentes e aperiódicos, resultantes da arrebentação e de fluxos gerados por ondas e marés (Wright e Short, 1984).

Estes movimentos d’água exercem atrito sobre os sedimentos móveis da praia, causando gradientes espaciais e temporais em seu transporte. São estes gradientes que ocasionam mudanças na morfologia, as quais, por sua vez, induzem modificações no padrão hidrodinâmico atuante. À medida que a hidrodinâmica produz determinadas morfologias, as mesmas induzem mudanças no padrão hidrodinâmico atuante, ou seja, a morfologia e a dinâmica evoluem conjuntamente (Wright e Short, *op cit.*).

Os extremos praias, dissipativo e reflectivo, usados para descrever a zona de arrebentação de praias com alta e baixa energia, foram inicialmente definidos por Guza & Inman (1975). Estes autores

buscaram determinar uma escala para as alterações da dimensão da zona de surfe, relacionando a forma das ondas ($a.W$), onde a representa a amplitude e W a frequência da onda, com a declividade do perfil da praia ($g.\tan\beta$). Desta forma, criaram o parâmetro dimensionador do surfe (“*Surf Scaling Parameter*”) determinado pela fórmula $\varepsilon = a.W^2/g.\tan^2\beta$. Reflexão completa ocorre quando $\varepsilon > 1$. Quando $\varepsilon > 2.5$ as ondas começam a adquirir a forma mergulhante, dissipando energia. Quando $\varepsilon > 20$ ondas deslizante ocorrem. Em resumo, a zona de surfe aumenta de tamanho e a dissipação turbulenta da energia das ondas incidentes aumenta com o aumento de ε .

Enquanto alguns autores relacionaram os tipos de praia (estágios morfodinâmicos) aos níveis de altura de onda ou energia, Wright *et al.* (1982) usaram o parâmetro adimensional *Ômega* (Ω) de Dean (1973), combinando características de ondas e dos sedimentos, para propor uma classificação praial, onde $\Omega = H_b/T.W_s$, sendo H_b , T e W_s a altura da arrebentação, período das ondas e velocidade de sedimentação das partículas, respectivamente. Os valores teóricos de *Ômega* encontrados por esses autores definem os estágios morfodinâmicos de forma que valores de Ω acima de 6 são esperados para o extremo dissipativo e valores de Ω menores que 1 são típicos para extremo reflectivo. Entre os extremos, as praias intermediárias apresentam valores de Ω entre 6 e 1.

De acordo com Wright *et al.* (1979), Short (1979) e Wright e Short (1984) o extremo dissipativo representa a máxima dissipação das ondas um sistema praial, favorecida por granulometria finas (areia fina a muito-fina), pendentes suaves e incidência de ondas relativamente altas que arrebentam gradualmente, de forma deslizante, espalhando-se sobre uma ampla faixa do perfil. O extremo oposto, o reflectivo, onde predominam processos oriundos da reflexão das ondas incidentes, que apenas ascendem e descendem sobre a face praial num forte movimento de fluxo-refluxo. Este estágio é favorecido por baixas alturas de onda, granulometria grosseiras (areia grossa ou cascalho) e pendentes abruptas. Os

quatro estágios intermediários, por sua vez, são definidos por combinações, em diferentes graus, de processos dissipativos e refletivos os quais, partindo do extremo dissipativo para o reflectivo, são: (1) Banco e Cava Longitudinal (BCL), (2) Banco e Praia Rítmica (BPR), (3) Banco e Cava Transversal (BCT) e (4) Crista e Canal ou Terraço de Baixa-Mar (TBM). O parâmetro dimensionador da arrebentação foi incorporado ao cálculo morfodinâmico para discriminar as diferenças entre os estados praias muito semelhantes.

Short e Hesp (1982) empregaram parâmetros morfométricos para analisar as variações morfo-sedimentares nas praias subaéreas compostas por um banco, sensíveis às diferenças entre os estágios morfodinâmicos, sendo os parâmetros declividade da face da praia (β); Y_b : largura média da praia (m); σY_b : desvio padrão de Y_b (m); CV: índice de mobilidade do pós-praia ($Y_b/\sigma Y_b$).100 (%); V_v : variação de volume acima do datum (m³/m); e σV_v : desvio padrão de V_v (m³/m).

Muehe (1998) utilizando o parâmetro $\hat{\Omega}$ na identificação do estágio morfodinâmico em praias do estado do Rio de Janeiro encontrou resultados geralmente insatisfatórios no momento da observação. A partir daí o autor aplicou esforços em uma nova abordagem de determinação do estado morfodinâmico. A proposta se base na inferência da morfologia da praia e zona de surfe por meio da comparação da altura e período da onda significativa na zona de arrebentação externa e altura e duração do espraiamento na face da praia.

A partir dos resultados, Muehe (*op cit.*) propôs o parâmetro delta (Δ), sendo
$$\Delta = \frac{(\text{sen}\beta \cdot D_{\text{espr}}) / H_b}{T_{\text{espr}} / T}$$
, onde β representa a declividade da face da praia, D_{espr} a distância do espraiamento da onda na face da praia, medida a partir da posição do refluxo máximo da onda H_b a altura da quebra na arrebentação mais externa e T_{espr} / T a relação entre o período do espraiamento e o período das ondas incidentes. Em praias dissipativas o autor encontrou valores para Δ menores que 0,5

e maiores que 2,0 para praias reflectivas, apresentando as intermediárias valores entre esses dois extremos.

2.1.2 Morfodinâmica das praias do Rio Grande do Sul

O extenso litoral do Rio Grande do Sul (RS), nos seus 620 km, estende-se desde Torres, extremo norte do estado, ao Chuí, extremo sul do país. Caracterizado por ser uma linha de costa retilínea, o litoral apresenta orientação predominantemente nordeste-sudoeste.

Com exceção de Torres, onde as formações rochosas constituídas de arenito, basaltos e seqüências vulcano-clásticas (Villwock e Tomazelli, 1995), conferem um pequeno grau de proteção à dinâmica costeira, as praias ao longo da costa do RS são totalmente expostas. Predominantemente são constituídas de areia fina quartzosa (Martins, 1967), apresentando baixa declividade com poucos e inexpressivos cúspides praias.

O estudo da morfodinâmica das praias do RS teve seu início nos primórdios da década de noventa com os estudos de Calliari e Klein (1993; 1995) e Toldo Jr. *et al.* (1993). Calliari e Klein (1993) numa abordagem morfodinâmica caracterizaram a costa sul da planície costeira do Rio Grande do Sul. Usando a classificação proposta por Wright e Short (1984) e os parâmetros morfométricos desenvolvidos por Short e Hesp (1982) os autores verificaram a existência de três zonas ao longo da área estudada com diferentes comportamentos morfodinâmicos: proximidades da Barra do Rio Grande com características dissipativas, região dos concheiros com características intermediárias a reflectivas e as demais com características intermediárias.

Superimposto nesse padrão de comportamento morfodinâmico, é observado a existência de uma diferenciação bisazonal, com o predomínio de um perfil de acreção entre os meses de novembro e março, caracterizado por um maior estoque de sedimentos na porção subaérea da praia, e um perfil de

erosão entre abril e outubro, caracterizado por um maior estoque de sedimentos na porção subaquosa da praia, sendo essa bisazonalidade função da variabilidade do regime ondulatório (Calliari e Klein, 1993).

Simultaneamente ao trabalho desenvolvido por Calliari e Klein (*op cit.*), Toldo Jr. *et al.* (1993) estudaram a praia de Imbé, ao norte da desembocadura de Tramandaí, norte do estado. Aplicando a classificação proposta por Wright e Short (1984), a praia de Imbé apresenta características intermediárias e dissipativas, apresentando baixa variabilidade temporal do perfil praial.

A partir dos trabalhos realizados por Calliari e Klein (1993; 1995) e Toldo Jr. *et al.* (1993) um intenso esforço amostral foi realizado na costa do Rio Grande do Sul a fim de entender o comportamento morfodinâmico dos demais setores do litoral. Nesse contexto Barletta e Calliari (1996) e Barletta (1997; 2000) caracterizaram o litoral central do Rio Grande do Sul, compreendido desde a raiz do molhe leste, em São José do Norte, até o Farol da Solidão, 228 quilômetros ao norte. Em seus estudos, os referidos autores distinguiram as praias do trecho estudado como sendo intermediárias.

As mudanças temporais na configuração dos perfis também foram observadas por Barletta (1997; 2000) em toda a área de estudo, indicando a presença de uma bisazonalidade primavera/verão e outono/inverno.

Uma característica notória do trecho estudado por Barletta (*op cit.*) é a acentuada erosão ocorrente no Farol da Conceição. Segundo o autor, mesmo com o preenchimento de sedimentos na praia que se verificou ao final do verão, o perfil do Farol da Conceição apresentou acentuada retração da linha de costa. Ao final de 1999 (setembro) o perfil praial do Farol da Conceição apresentou déficit de $100 \text{ m}^3/\text{m}$ em relação ao primeiro perfil medido em março de 1996 (Figura 2.1), havendo a ocorrência de erosão de dunas frontais sem retorno a situação inicial, recuperação essa observada em praias morfodinamicamente estáveis. A taxa média de retração da escarpa praial para este ponto foi de 3,6 m/ano.

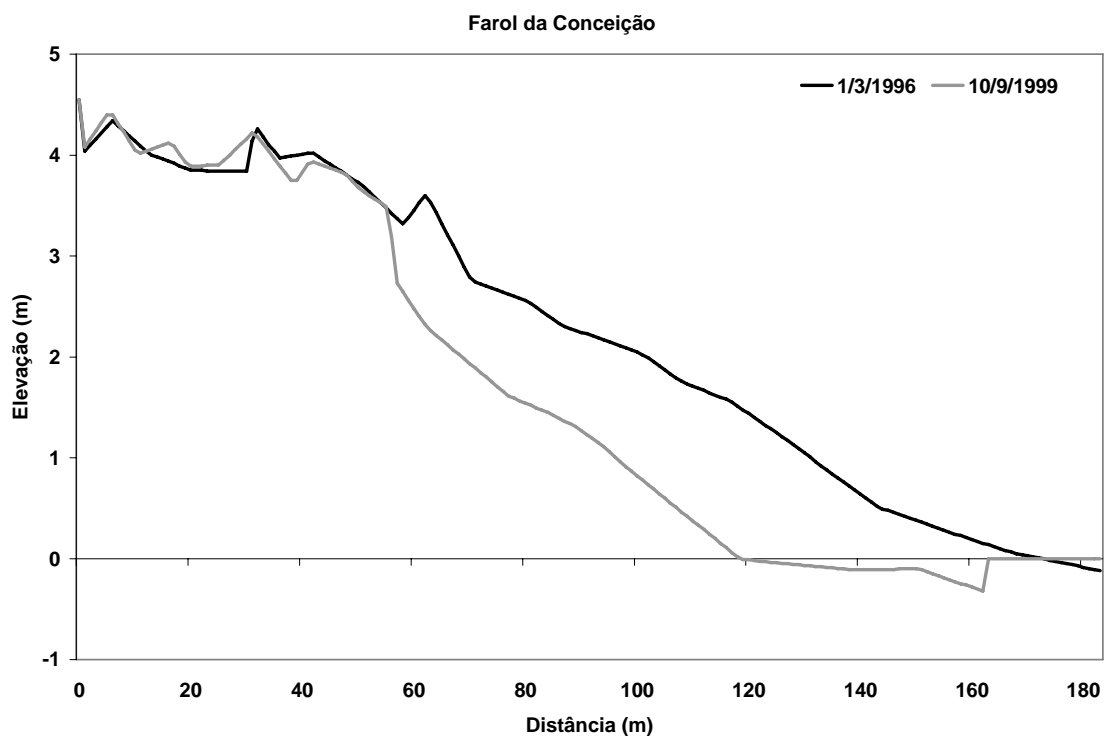


Figura 2.1. Erosão praial no Farol da Conceição entre março de 1996 e setembro de 1999 (Barletta, 2000).

Além da erosão observada no Farol da Conceição, Barletta (2000) observou também, um déficit de $60 \text{ m}^3/\text{m}$ para o perfil topográfico localizado no Balneário Lagamarzinho (Figura 2.2), comparando perfis medidos entre janeiro de 1991 e novembro de 1998, com uma taxa média de retração de dunas frontais de 1 m/ano.

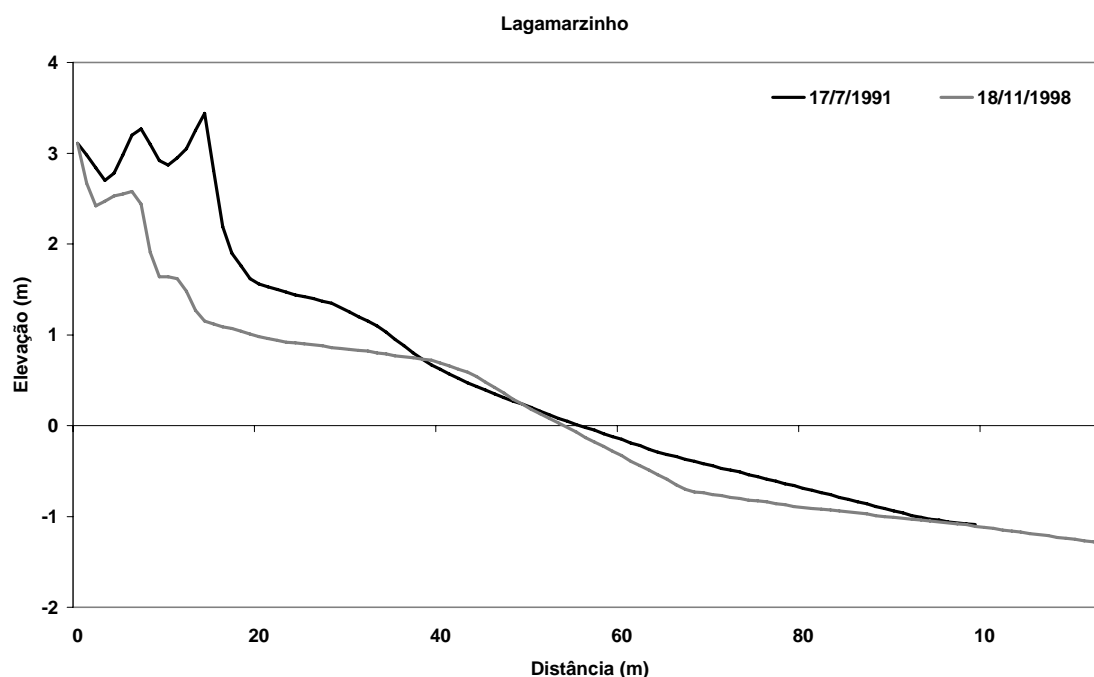


Figura 2.2. Erosão praial no balneário de Lagamarzinho entre julho de 1991 e novembro de 1998 (Barletta, 2000).

Weschenfelder *et al.* (1997) estudando o setor entre Arroio do Sal e Imbé, no norte do estado classificaram as praias como intermediárias. Segundo os autores, os auto valores encontrados para o desvio padrão da largura do pós-praia caracterizam-nas como praias móveis suscetíveis a episódios constantes e significativos de erosão-acresção. Segundo os autores o fato de as praias estudadas serem próximas, sujeitas basicamente ao mesmo regime hidrodinâmico e condições meteorológicas, sem uma variação granulométrica significativa e uma plataforma continental adjacente praticamente homogênea resulta na similaridade dos parâmetros que definem o estado morfodinâmico.

Com o objetivo de caracterizar as praias de Torres no extremo norte do RS, Pivel (1997) e Pivel e Calliari (1999) estudaram o comportamento morfodinâmico das praias desse município, cuja principal característica é a compartimentação entre promontórios rochosos, diferente dos demais trechos do litoral do estado.

De acordo com Pivel e Calliari (1999) as praias de Torres mostram um comportamento típico intermediário, elevados índices de mobilidade e grandes variações verticais, onde a única exceção estudada foi a praia da Guarita Leste, apresentando um comportamento mais estável explicado pela proteção de um pequeno promontório chamado de Guarita. Pivel (1997), utilizando a classificação proposta por Hegge *et al.* (1996) para praias protegidas, classifica a Guarita Leste como sendo do tipo praia plana.

Estudando algumas praias do RS, com o propósito de discutir a relação entre os diferentes estágios praias encontrados no estado, em relação a riscos eminentes aos banhistas dentro da zona de surfe e sua relação com a sedimentologia, Pereira *et al.* (2003) classificaram as praias de Tramandai e Capão como intermediárias, podendo ocorrer correntes de retorno, feições de grande risco para os banhistas.

Cabe ainda ressaltar alguns estudos de grande importância para a caracterização e detalhe das praias do Rio Grande do Sul os quais foram desenvolvidos por Tozzi (1995), Pereira da Silva (1998), Tozzi (1999), Tozzi e Calliari (2001) e Silva e Calliari (2001).

De acordo com Tozzi (1995), a porção norte do Balneário Cassino apresenta características mais dissipativas, possivelmente, devidas à proximidade da desembocadura da Lagoa dos Patos, onde o perfil sofre influência dos molhes da barra, resultando em uma maior focalização da energia das ondas de sul e sudeste, e menor influência das condições de leste. Já a porção sul do balneário, apresenta uma maior mobilidade, oscilando entre estágios dissipativo a intermediário, pois diminui a influência da barra e aumenta a exposição às condições de leste.

Durante seus estudos sobre sangradouros, Pereira da Silva (1998) monitorou o perfil Barçaça, localizado a 30 km ao sul da praia do Cassino. Usando os parâmetros morfométricos esse autor

classifica a praia como intermediária, apresentando variabilidade sazonal bem definida, corroborando as observações realizadas por Calliari e Klein (1993).

Tozzi (1999) realizou estudos morfodinâmicos nos mesmos pontos monitorados por Calliari e Klein (1993), encontrando os mesmos comportamentos já observados por Calliari e Klein (*op cit.*). No entanto, analisando dados morfológicos obtidos entre 1991 e 1996 no Hermenegildo, o autor ressalta pequena variação na posição da linha de costa e mudança no volume sedimentar subaéreo da ordem de $50\text{m}^3/\text{m}$, resultando em uma retração de 4 metros das dunas frontais do Balneário (Figura 2.3).

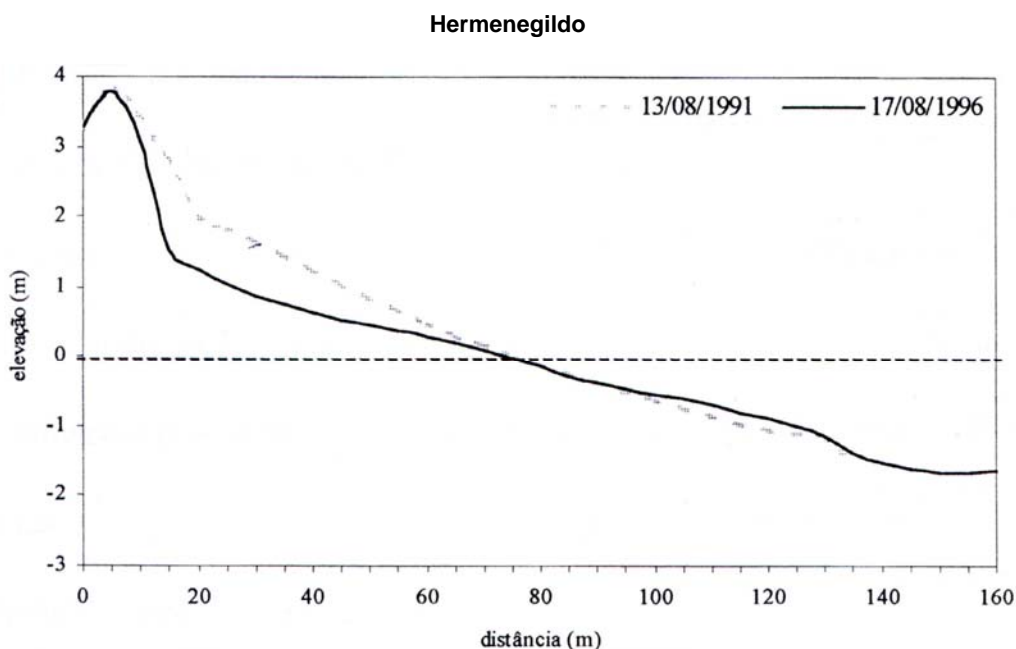


Figura 2.3. Erosão praial no balneário Hermenegildo entre agosto de 1991 e agosto de 1996 (Tozzi, 1999).

Segundo Tozzi e Calliari (2001), detalhando os aspectos morfodinâmicos da praia do Cassino, as condições da dinâmica ondulatória de sul resultam em perfis dissipativos; já as de sudeste podem gerar tanto perfis dissipativo, quando associadas a ventos e correntes fortes de Sul/Sudoeste, como perfis intermediários, quando a dinâmica apresenta-se com ondulações bem definidas.

Silva e Calliari (2001) comparando progradação versus erosão da linha de costa de praias expostas e contíguas a grandes estruturas, verificaram que os motivos para a diferenciação entre as fases erosionais e acrescionais dos perfis do Mar Grosso, ao norte da Barra de Rio Grande, e o do Terminal, ao sul da Barra do Rio Grande: a deriva litorânea dos sedimentos, largura das praias e transporte eólico.

Recentemente no litoral do Rio Grande do Sul, a zona de surfe tem sido o enfoque de estudos desenvolvidos por Tabajara e Almeida (2003), Pereira (2003), Terra (2003) e Pereira *et al.* (2004). Tabajara e Almeida (2003) estudando a praia de Atlântida Sul, no norte do estado, verificaram a existência de três bancos bem distintos, dois móveis e um fixo, separados entre si por cavas. Os autores destacam que em 64% dos dados registrados, anteriormente ao acoplamento da barra intermediária interna, representam condições de acreção ou morfodinamicamente intermediárias, 33% condições dissipativas ou erosivas e 5% ausência de movimento de bancos.

Baseado em monitoramento de alta frequência, Pereira (2003) detalhou o comportamento morfodinâmico da praia do Cassino, sobretudo a zona de surfe. De acordo com o autor, em 56% dos perfis realizados, a praia pode ser classificada como sendo dissipativa e em 44% como sendo do tipo banco e cava longitudinal. Posteriormente Pereira *et al.* (2004) discutem situações de migração destas feições, onde o banco externo (segundo banco ou banco intermediário) pode apresentar taxas de migração de cinco metros por dia em direção à costa.

Terra (2003) através do uso de um trenó submarino na praia do Cassino registrou a presença de três bancos bem delineados e um banco distal discreto, com crista a cerca de 248m da linha da água.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivos gerais

O propósito geral do presente capítulo é a caracterização morfodinâmica das praias do Rio Grande do a partir do emprego de ferramentas estatísticas multivariadas.

2.2.2 Objetivos específicos

Elaborar um banco de dados de perfis praias com base em perfis existentes no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG), frutos de trabalhos de conclusão de curso, teses de mestrado e relatórios técnicos desenvolvidos pelo LOG ou em parceria com o Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos (CECO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (URGS) e empresas da área ambiental.

Realizar uma caracterização geral da costa, refinando o conhecimento obtido até o momento delimitando setores.

Estudar o emprego de técnicas estatísticas multivariadas na análise de dados morfológicos e sedimentológicos das praias arenosas do extremo sul do Brasil.

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

2.3.1 Revisão bibliográfica

Com o intuito de reunir as informações existentes sobre a morfodinâmica das praias do Rio Grande do Sul, uma intensa revisão bibliográfica foi realizada com a finalidade de resgatar as informações referentes a cada ponto monitorado pelo LOG ou em parceria com o CECO e com a Petrobras. Essa revisão deteve-se em monografias, teses e relatórios técnico-científicos.

Posterior a revisão, foi criado um banco de dados morfodinâmicos e sedimentológicos, batizado de *Praia LOG*, onde, a partir de planilhas numéricas os dados foram inseridos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizando para tais fins o programa ArcView[®] GIS 3.2.

O *Praia LOG* consiste em um banco de dados onde se encontram perfis de praias, parâmetros morfométricos (Y_b , σY_b , CV , V_v , σV_v , β), dados sedimentológicos (tamanho médio e velocidade de queda da partícula, M_z e W_s , respectivamente, além da percentagem de cada classe granulométrica), dados de ondas (período e altura de onda na arrebentação mais externa, T_p e H_b , respectivamente), ômega (Ω), permeabilidade (K) e as coordenadas geográficas de cada local estudado.

2.3.2 Análise estatística

A partir dos dados encontrados no *Praia LOG*, aplicaram-se técnicas estatísticas multivariadas para análise dos dados, as quais permitem considerar mudanças simultâneas em diversas propriedades (Davis, 1986). As técnicas multivariadas utilizadas foram a Análise de Componentes Principais (*Principal Components Analysis - PCA*) e a análise de Escalonamento Multidimensional (*Multidimensional Scaling - MDS*).

A PCA consiste em uma técnica cujo objetivo é analisar um número p de variáveis ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$) e encontrar combinações que produzam índices ($Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_p$) sem correlação entre si. Esses índices são as componentes principais (Manly, 1994). Essa falta de correlação entre índices é uma propriedade prática, pois afirma que os índices estão medindo diferentes dimensões.

De acordo com Manly (1994) os passos de uma PCA podem ser resumidamente demonstrados em poucas etapas (Figura 2.4):

- Inicia-se através da padronização das variáveis ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$) para que todas apresentem médias zero e unidades em variância;
- Cálculo da matriz de covariância ou correlação;
- Encontro dos autovalores ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$) e autovetores correspondentes (a_1, a_2, \dots, a_p), onde o coeficiente de uma componente principal (i) é dado por a_i e a variância é dada por λ_i ;

- Descarte de componentes que contam apenas para uma pequena variabilidade dos dados.

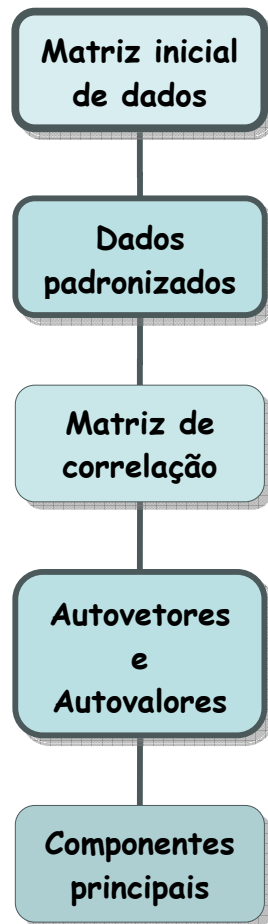


Figura 2.4. Diagrama indicando as principais etapas de uma Análise de Componentes Principais (PCA).

O principal intuito de realizar a análise PCA no presente estudo, foi o de confeccionar uma matriz de autovetores e autovalores que expressasse a maior variabilidade dos dados, reduzindo o número de variáveis envolvidas. A partir da matriz com os coeficientes de cada componente principal, aplicou-se a Análise de Escalonamento Multidimensional (MDS).

A MDS é uma técnica destinada à construção de diagramas que mostram a relação entre um número de objetos a partir de uma matriz de distância. A aplicabilidade da MDS provém de que certas

situações, onde a relação entre objetos não é bem conhecida, porém, uma matriz de distância entre eles pode ser gerada (Manly, 1994).

De acordo com Manly (1994), uma MDS começa com uma matriz de distâncias entre n objetos que apresentam δ_{ij} , distância do objeto i em relação ao j , nas linhas i e colunas j de uma matriz. O número de dimensões, t , para o mapeamento entre objetos é fixado para uma solução particular, podendo variar de uma, duas ou mais dimensões. Ainda segundo o referido autor, os seguintes passos podem resumir a MDS (Figura 2.5):

- Determinação da configuração inicial para n objetos em t dimensões;
- Cálculo da distância Euclidiana entre indivíduos a qual é calculada para a configuração inicial, onde d_{ij} representa a distância entre o indivíduo i e o indivíduo j ;
- Uma regressão de d_{ij} em δ_{ij} é realizada, podendo a regressão ser linear, polinomial ou monotônica;
- A medida do grau de enquadramento, ou ajustamento, entre a configuração das distâncias e as disparidades (d'_{ij}) é dada por uma estatística apropriada. Uma possibilidade é *stress*, *Kruskal's stress formula*: $STRESS = \left\{ \frac{\sum (d_{ij} - d'_{ij})^2}{\sum d_{ij}^2} \right\}^{1/2}$, onde as disparidades são as distâncias obtidas através das equações de regressão; as distâncias são as distâncias dos dados (δ_{ij}) escaladas para combinar com a distância da configuração (d_{ij}) o mais próximo possível;
- As coordenadas de cada objeto são mudadas de uma maneira que o stress seja reduzido.

Com exceção do primeiro passo, todos os demais são repetidos até que o stress não possa mais ser reduzido. A saída da análise são as coordenadas de n objetos em t dimensões. Essas coordenadas são usadas para desenhar o diagrama que mostra como os objetos podem ser relacionados.

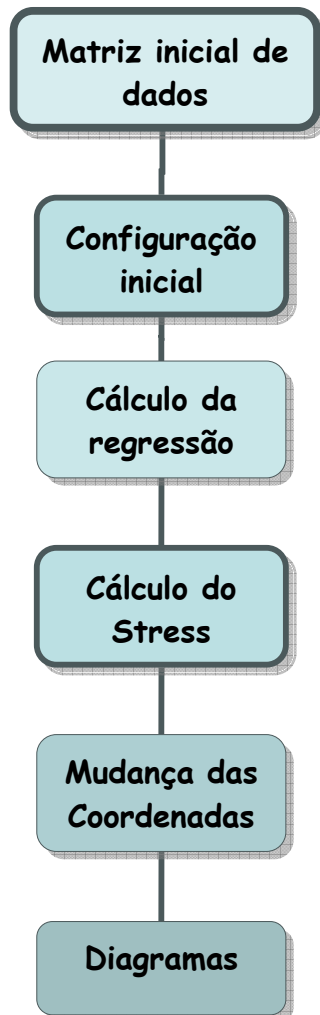


Figura 2.5. Diagrama indicando as principais etapas do Escalonamento Multidimensional (MDS).

A técnica de escalonamento multidimensional utilizada foi do tipo não métrica, onde uma regressão monotônica é requerida. Uma regressão do tipo monotônica assume que quando ocorrer um aumento de δ_{ij} o d_{ij} aumenta ou permanece constante, sem estabelecer algum tipo de relação entre as variáveis.

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Elaboração do banco de dados

Através do levantamento bibliográfico foi possível a reunião de 34 pontos de monitoramento costeiro (Figura 2.6) onde foram realizados levantamentos topográficos do ambiente praial, de acordo com o método de nivelamento expedito com nível e estadia descrito por Birkemeier (1985), utilizando aparelho de leitura topográfica (nível), régua de leitura e bússola de geólogo. Tal método é de rápida realização, levando-se aproximadamente 40 minutos para medir 200m de perfil praial.

Os dados de perfis praias, observações visuais e coletas de sedimentos possibilitaram aos diversos autores consultados o cálculo dos parâmetros morfométricos, ω , características das ondas e características granulométricas dos 34 pontos estudados (Tabela 2.1).

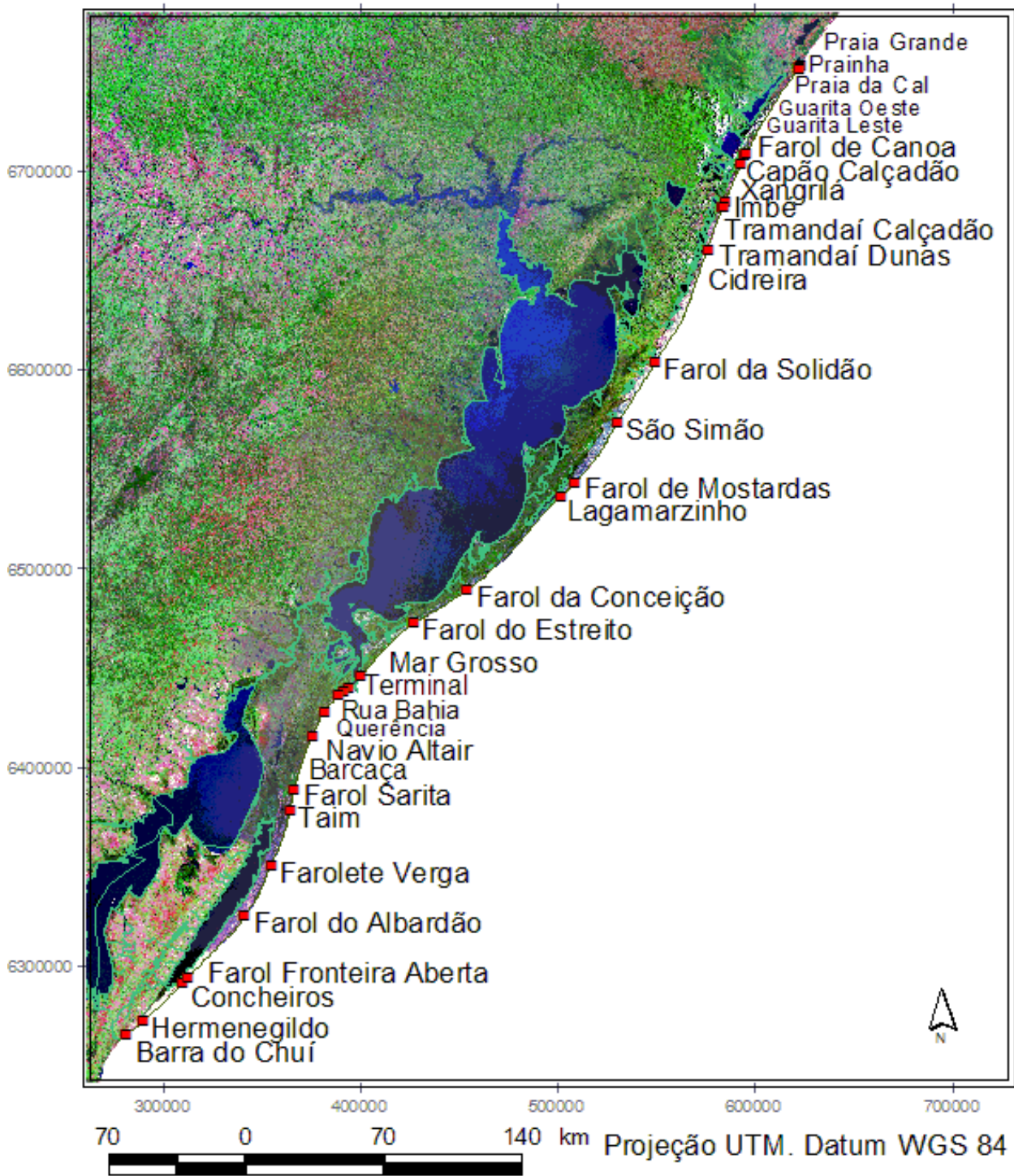


Figura 2.6. Área de estudo com a localização dos pontos estudados.

Tabela 2.1. Parâmetros morfométricos, ômega, permeabilidade e orientação da linha de costa para as praias do litoral norte.

Praias	N	M	Hb	T	Mz	Am*	Ws	Ω	β	Yb	σYb	CV	Vv	σVv	K_p^*	K_b^*	α^*	Fonte
<i>Praia Grande</i>	8	15	1	10,8	2,28	7	2,11	4,2	1,56	134	19	15	34	17	0,002006	0,003218	32	Pivel (1998)
<i>Prainha</i>	9	15	1,1	11,3	2,18	9	2,11	4,6	2,13	78	20	26	28	30	0,003267	0,003302	32	Pivel (1998)
<i>Praia da Cal</i>	8	14	1,3	11,9	2,29	21	1,8	5,8	2,3	91	19	20	30	24	0,001908	0,003716	32	Pivel (1998)
<i>Guarita Leste</i>	10	15	1,3	11,7	2,27	6	1,8	5,9	2,4	91	10	11	10	7	0,002804	0,002773	65	Pivel (1998)
<i>Guarita Oeste</i>	9	17	1,3	11,8	2,28	11	2,3	4,5	2,0	69	19	27	12	12	0,003164	0,003093	40	Pivel (1998)
<i>Capão Calçadão</i>	10	24	1,6	12,3	2,22	27	2,2	5,8	2,6	121	13	10	38	19	0,002900	0,003558	25	Pereira <i>et al.</i> (2003)
<i>F. Capão da Canoa</i>	9	23	1,3	11,7	2,22	27	2,2	4,8	2,6	140	13	9	29	24	0,002900	0,003558	25	Pereira <i>et al.</i> (2003)
<i>Xangrilá</i>	14	23	1,1	11,6	2,09	45	2,1	4,6	1,6	114	8	7	15	8	0,001776	0,003730	25	Toldo Jr. e Hasenak (1997)
<i>Imbé</i>	-	3	-	-	2,19	30	2,2	-	-	-	-	-	-	-	0,002927	0,004027	22	Toldo Jr. e Hasenak (1997)
<i>Tramandaí Calçadão</i>	10	23	0,9	10,8	2,26	22	1,9	3,6	2,4	117	17	15	25	21	0,002622	0,003359	21	Pereira <i>et al.</i> (2003)
<i>Tramandaí Dunas</i>	8	23	1,0	11,5	2,49	8	1,8	4,6	2,1	96	17	18	38	26	0,002005	0,003479	22	Pereira <i>et al.</i> (2003)
<i>Cidreira</i>	8	23	1,1	11,8	2,24	25	1,9	4,3	2,4	103	7	7	15	9	0,002427	0,003008	19	Toldo Jr. e Hasenak (1997)
<i>Pinhal</i>	12	23	0,9	11,5	-	-	-	-	2,4	108	19	18	19	12	-	-	-	Toldo Jr. e Hasenak (1997)

N = número de perfis; M= número de meses; Hb = altura da arrebentação (m); T = período das ondas (s); Mz = tamanho médio do sedimento (ϕ); Am= Percentagem de areia média (%); Ws= velocidade de sedimentação das partículas (cm/s); $\Omega = Hb/T.Ws$, ômega; β = declividade da face da praia ($^\circ$); Yb= largura média de praia (m); σYb = índice de mobilidade de praia (m); CV= índice de mobilidade do pós-praia (%); Vv= Variação de volume acima do datum (m^3/m); σVv = desvio padrão da variação de volume (m^3/m); K_p = permeabilidade do pós-pria (cm/s); K_b = permeabilidade da berma (cm/s); α = orientação da linha de costa em relação ao norte ($^\circ$); - falta de dados; * valores calculados pelo presente estudo.

Tabela 2.1 (continuação). Parâmetros morfométricos, ω , permeabilidade e orientação da linha de costa para as praias do litoral central .

Praias	N	M	Hb	T	Mz	Am*	Ws	Ω	β	Yb	σYb	CV	Vv	σVv	K_p^*	K_b^*	α^*	Fonte
<i>Farol da Solidão</i>	10	38	1,3	12,0	2,25	35	1,9	5,5	2,1	89	15	17	21	19	0,002234	0,003837	31	Barletta (2000)
<i>São Simão</i>	10	38	1,0	11,0	2,15	9	2,2	4,7	2,0	91	15	16	23	18	0,001886	0,003177	31	Barletta (2000)
<i>Farol de Mostardas</i>	9	34	1,1	10,0	2,22	25	2,2	4,8	2,3	75	9	12	19	15	0,002024	0,003994	46	Barletta (2000)
<i>Lagamarzinho</i>	13	88	1,3	11,0	2,30	28	2,2	5,5	1,8	65	21	33	14	13	0,002028	0,002044	46	Barletta (2000)
<i>Farol da Conceição</i>	35	96	1,0	11,0	2,30	33	1,9	4,8	2,1	62	15	24	15	13	0,001405	0,003501	54	Barletta (2000)
<i>Farol do Estreito A</i>	8	15	0,9	10,0	2,38	36	2,0	4,0	1,7	88	12	12	14	11	0,001405	0,003501	58	Barletta (2000)
<i>Farol do Estreito B</i>	12	16	0,8	10,0	2,15	36	2,1	3,4	1,8	81	19	23	17	21	0,003880	0,004045	58	Barletta (2000)
<i>Mar Grosso</i>	21	16	-	-	2,72	1	1,3	-	2,0	92	6	7	12	10	0,001754	0,002417	39	Silva e Calliari (2001)

N = número de perfis; M= número de meses; Hb = altura da arrebentação (m); T = período das ondas (s); Mz = tamanho médio do sedimento (ϕ); Am= Percentagem de areia média (%); Ws= velocidade de sedimentação das partículas (cm/s); $\Omega = Hb/T.Ws$, ω ; β = declividade da face da praia ($^\circ$); Yb= largura média de praia (m); σYb = índice de mobilidade de praia (m); CV= índice de mobilidade do pós-praia (%); Vv= Variação de volume acima do datum (m^3/m); σVv = desvio padrão da variação de volume (m^3/m); K_p = permeabilidade do pós-pria (cm/s); K_b = permeabilidade da berma (cm/s); α = orientação da linha de costa em relação ao norte ($^\circ$); - falta de dados; * valores calculados pelo presente estudo.

Tabela 2.1 (continuação). Parâmetros morfométricos, ômega, permeabilidade e orientação da linha de costa para as praias do litoral sul.

Praias	N	M	Hb	T	Mz	Am*	Ws	Ω	β	Yb	σYb	CV	Vv	σVv	K_p^*	K_b^*	α^*	Fonte
<i>Terminal</i>	52	3	0,8	9,8	2,88	0	1,3	6,4	2,0	77	6	8	9	2	0,001818	0,001897	56	Pereira (2003)
<i>Rua Bahia</i>	38	43	0,9	11,0	2,88	4	1,3	6,0	1,5	126	6	4	3	2	0,001075	0,003919	49	Tozzi (1995)
<i>Querência</i>	15	11	0,6	8,7	2,50	2	1,8	5,0	1,9	134	7	5	4	3	0,002479	0,003585	42	Calliari e Klein (1993)
<i>Navio Altair</i>	8	10	-	-	2,40	10	2,0	5,8	2,6	131	10	8	16	13	0,003835	0,003974	31	Figueiredo (2005)
<i>Barcaça</i>	23	14	-	-	2,38	14	2,0	3,1	4,4	108	11	10	11	8	0,003297	0,004053	24	Pereira da Silva (1998)
<i>Farol Sarita</i>	9	8	0,7	8,5	2,50	7	1,8	5,0	2,5	70	10	14	4	3	0,003572	0,004218	12	Calliari e Klein (1993)
<i>Taim</i>	8	7	0,8	8,4	2,38	6	2,0	5,0	3,2	85	6	7	8	3	0,003154	0,003983	11	Calliari e Klein (1993)
<i>Farolete Verga</i>	7	5	0,8	9,0	2,50	10	1,8	5,0	3,0	63	6	8	8	5	0,002352	0,004510	24	Calliari e Klein (1993)
<i>Farol do Albardão</i>	7	6	1,0	9,9	2,38	11	2,0	5,0	3,0	170	10	6	17	4	0,003049	0,004280	36	Calliari e Klein (1993)
<i>Concheiros</i>	10	8	1,0	10,5	0,5/2,25	40	2,20/15	2,3	4,4	109	3	2	9	11	0,005252	0,005160	46	Calliari e Klein (1993)
<i>F.Fronteiro Aberta</i>	22	7	-	-	1,347	26	4,0	4,00	4,4	98	7	7	9	8	0,005832	0,004436	46	Tozzi (1999)
<i>Hermenegildo</i>	7	5	0,86	7,5	2,5	16	1,81	4	2,6	118	15	12	19	11	0,002597	0,004060	48	Calliari e Klein (1993)
<i>Chuí</i>	5	5	0,9	7,5	2,5	12	1,81	4,8	2,2	147	12	8	20	12	0,003661	0,003037	48	Calliari e Klein (1993)

N = número de perfis; M= número de meses; Hb = altura da arrebentação (m); T = período das ondas (s); Mz = tamanho médio do sedimento (ϕ); Am= Percentagem de areia média (%); Ws= velocidade de sedimentação das partículas (cm/s); Ω = Hb/T.Ws, ômega; β = declividade da face da praia ($^\circ$); Yb= largura média de praia (m); σYb = índice de mobilidade de praia (m); CV= índice de mobilidade do pós-praia (%); Vv= Variação de volume acima do datum (m^3/m); σVv = desvio padrão da variação de volume (m^3/m); K_p = permeabilidade do pós-pria (cm/s); K_b = permeabilidade da berma (cm/s); α = orientação da linha de costa em relação ao norte ($^\circ$); - falta de dados; * valores calculados pelo presente estudo.

A partir dos dados encontrados na tabela 2.1 percebe-se que as praias do Rio Grande do Sul apresentam largura variável entre 134 e 62 metros, onde as praias de pente mais suave podem apresentar um ângulo 1,47° a 2° de inclinação da face da praia e as praias mais íngremes, ângulos de até 4,4°. O tamanho médio dos sedimentos dessas praias varia entre 2,88 e 1,35phi, apresentando percentuais de areia média entre 0 e 45%.

Os perfis praias estudados pelos diversos autores da tabela 2.1, compreendem um período de 13 anos, entre 1991 e 2003, sendo que 45,9% foram realizados nos anos de 1995 e 1996 (Figura 2.7), variando o número de meses estudados entre um mínimo de 3 e um máximo de 96. O número de perfis estudados variou entre um mínimo de 8 e um máximo de 52.

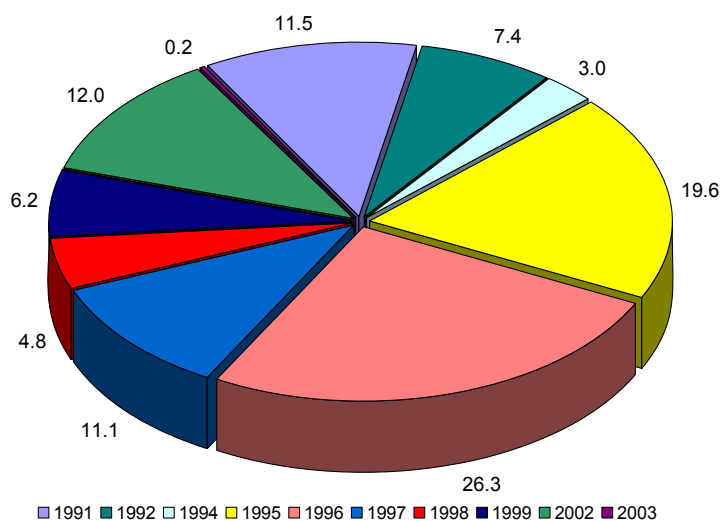


Figura 2.7. Diagrama indicando os principais anos estudados. Valores em percentagem.

Os valores encontrados para o ω oscilaram entre um máximo de 6,4 caracterizando um estágio praias dissipativo e mínimo de 2,25, caracterizando um estágio praias intermediário quase reflectivo. O coeficiente de variação do pós-praia apresentou um máximo de 33% e um mínimo de 2% e a variação do volume acima do datum valor máximo da ordem de 38 m³/m e mínimo de 3 m³/m.

2.4.2 Análise estatística

A partir dos dados apresentados na tabela 2.1 foi possível a análise através dos métodos multivariados. Aplicando-se a análise de componentes principais a oito das quinze variáveis encontradas na tabela, foi possível o cálculo dos autovalores e autovetores para a matriz inicial de dados. A PCA mostrou a existência de oito autovetores explicando 100% da variabilidade dos dados (Figura 2.8).

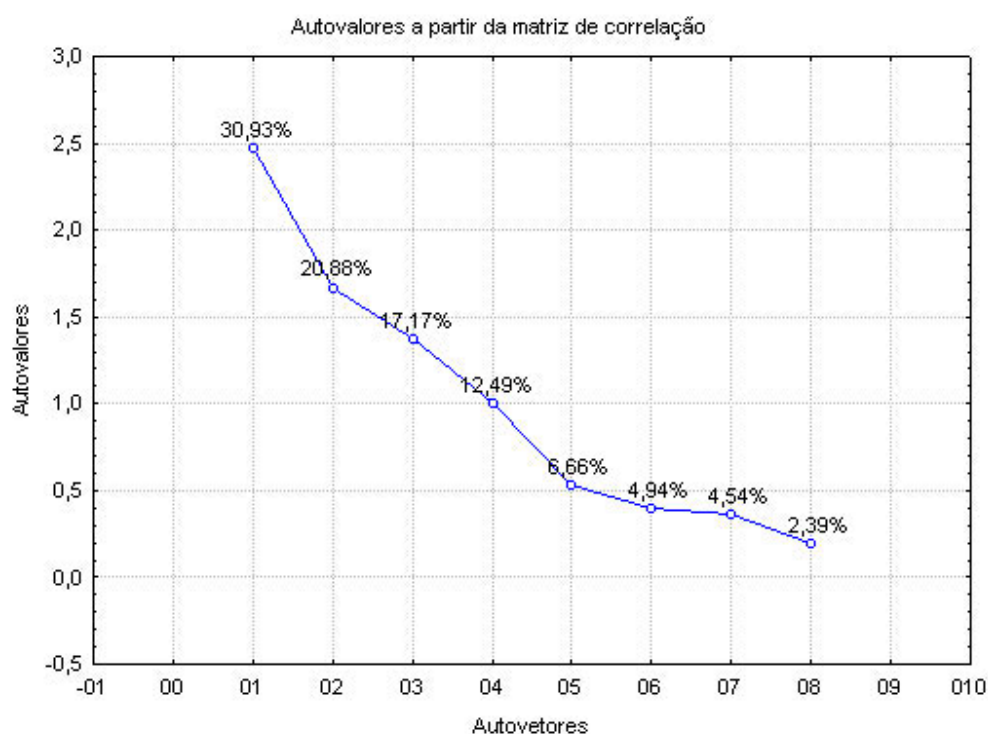


Figura 2.8. Autovetores versus autovalores. Valores em percentual correspondem a variação dos dados pela qual cada autovetor é responsável.

A redução das variáveis, de 15 para 8, deve-se exclusivamente ao fato das variáveis excluídas da análise apresentarem relação com as demais. As variáveis excluídas foram: os desvios padrões da variação de volume e largura da praia, altura e período das ondas, velocidade de sedimentação das partículas, permeabilidade do pós-praia e tamanho médio. Desta maneira, os desvios padrões da

variação do volume e da largura da praia serão representados pela média; a altura das ondas, o período e a velocidade de sedimentação das partículas serão representados pelo ômega; permeabilidade representada pela permeabilidade da berma; e por fim o tamanho do grão representado pelo percentual de areia média.

Os índices ou coeficientes representam o peso de cada variável analisada na variabilidade das componentes principais (Figura 2.9).

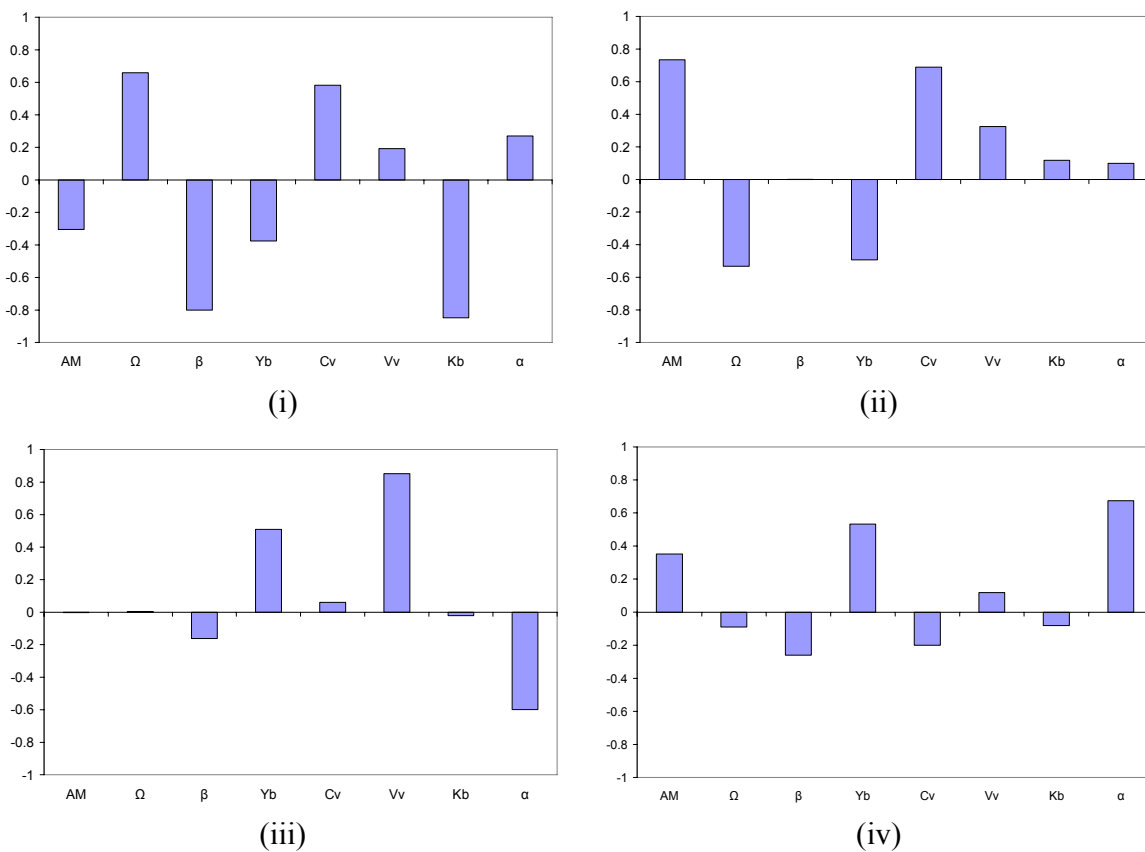


Figura 2.9. Valores encontrados para os coeficientes de cada componente principal: (i) primeira, (ii) segunda, (iii) terceira e (iv) quarta. Am= Percentagem de areia média; Ω = ômega; β = declividade da face da praia; Yb= largura média de praia; CV= índice de mobilidade do pós-praia; Vv= Variação de volume; Kb= permeabilidade da berma; e α = orientação da linha de costa.

Os maiores valores de coeficientes encontrados para cada componente são, respectivamente: a permeabilidade, inclinação da face da praia, ômega e coeficiente de variação do pós-praia, para a

primeira componente; percentagem de areia média, coeficiente de variação do pós-praia, ômega e largura da praia, para a segunda componente; a variação de volume, largura da praia e orientação da linha de costa, para a terceira componente; orientação e largura da praia para a quarta.

A partir da figura 2.8 fica nítida a representatividade de 81,5% da variabilidade dos dados pelos quatro primeiros autovetores, onde os dois primeiros são responsáveis por 51,8% (Figura 2.10) dessa variabilidade e o terceiro e quarto responsáveis por 29,7% (Figura 2.11). Por representarem a maior variabilidade dos dados, as quatro primeiras componentes serão as variáveis aqui descritas e analisadas, sendo as demais descartadas por representarem baixa variabilidade (18,5%).

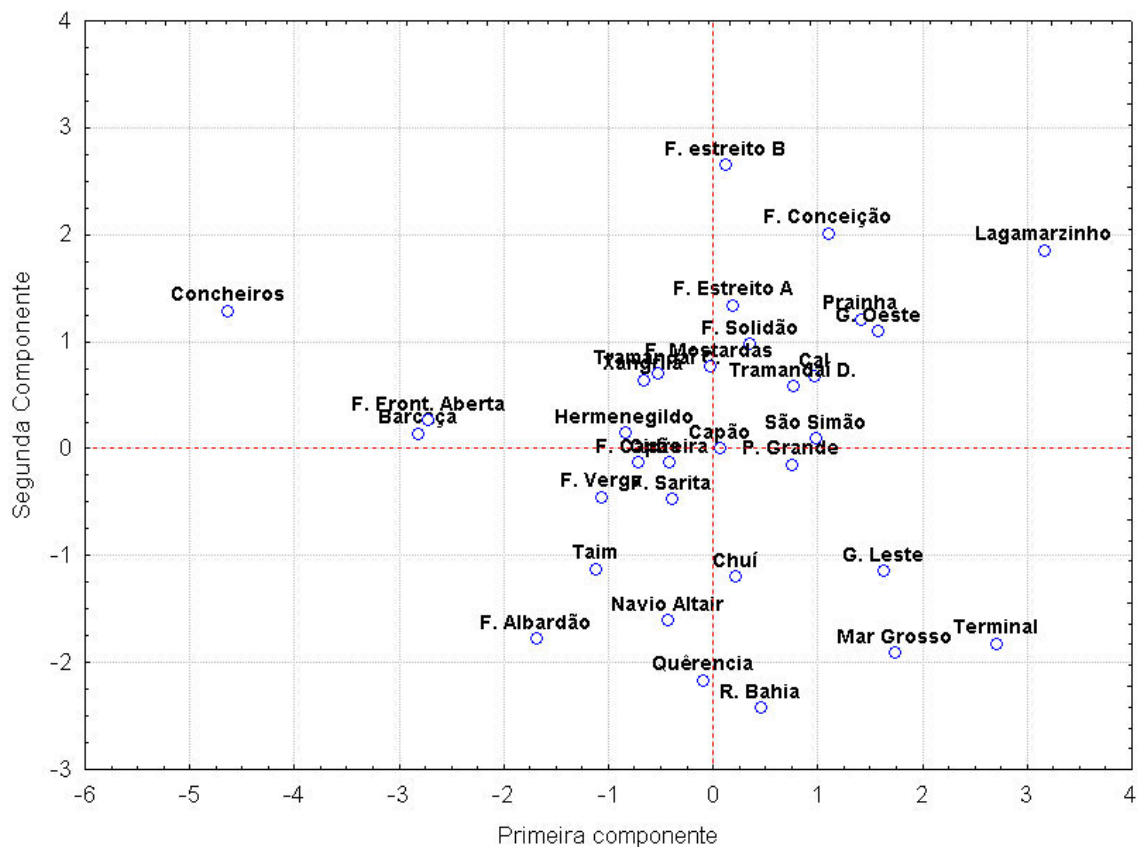


Figura 2.10. Distribuição das 32 praias analisadas em relação a primeira e segunda componentes.

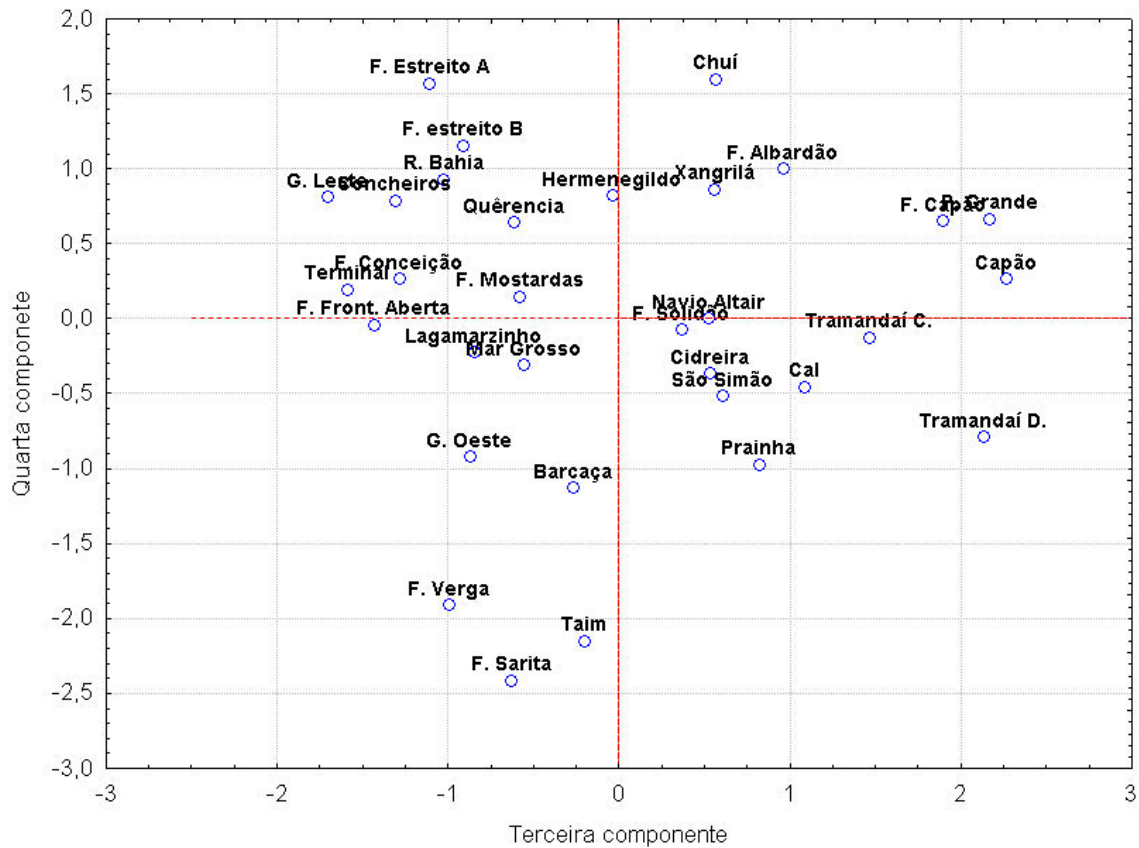


Figura 2.11. Distribuição das 32 praias analisadas em relação a terceira e quarta componentes.

Examinado a figura 2.10, tem-se como explicação inicial de que o eixo representado pela primeira componente principal corresponde aos estágios praias, onde praias com tendências mais dissipativas assumem valores positivos, à direita da figura, e praias com tendências mais reflectivas assumem valores negativos, à esquerda da figura, sendo os valores intermediários entre esses extremos ocupados por praias com tendências intermediárias. O eixo representado pela segunda componente representaria o percentual de areia média e o coeficiente de variação do pós-praia.

Seguindo a linha de raciocínio utilizada para análise da figura 2.10, o eixo representado pela terceira componente, figura 2.11, corresponde às variações de volume, onde as praias com as maiores variações de volume estariam situadas à direita da figura, apresentando valores positivos, e as praias

com os menores valores estariam situadas à esquerda da figura. O eixo representado pela quarta componente corresponderia a relação entre duas variáveis, possivelmente a orientação da linha de costa e largura média da praia.

A partir do escalonamento multidimensional foi possível a diferenciação das praias gaúchas em 5 grupos tanto em duas (Figura 2.12) como em três dimensões (Figura 2.13):

- Grupo 1: formado pelas praias da Guarita Leste, Mar Grosso, Rua Bahia, Terminal e Querência;
- Grupo 2: formado pelas praias do Chuí, Navio Altair, Taim, Barçaça, e Faróis do Albardão, Verga e Sarita;
- Grupo 3: formado pela Praia Grande, Praia da Cal, Capão da Canoa, Xangrilá, Hermenegildo, Tramandaí (calçadão e dunas), São Simão, Cidreira e os Faróis de Mostradas, Solidão e Capão da Canoa;
- Grupo 4: composto pelas praias da Guarita Oeste, Prainha, Lagamarzinho e os Faróis da Conceição e do Estreito (pontos A e B).
- Grupo 5: formado pelos Concheiros e Fronteira Aberta;

A figura 2.14 ilustra exemplos de perfis praias para cada um dos cinco grupos encontrados.

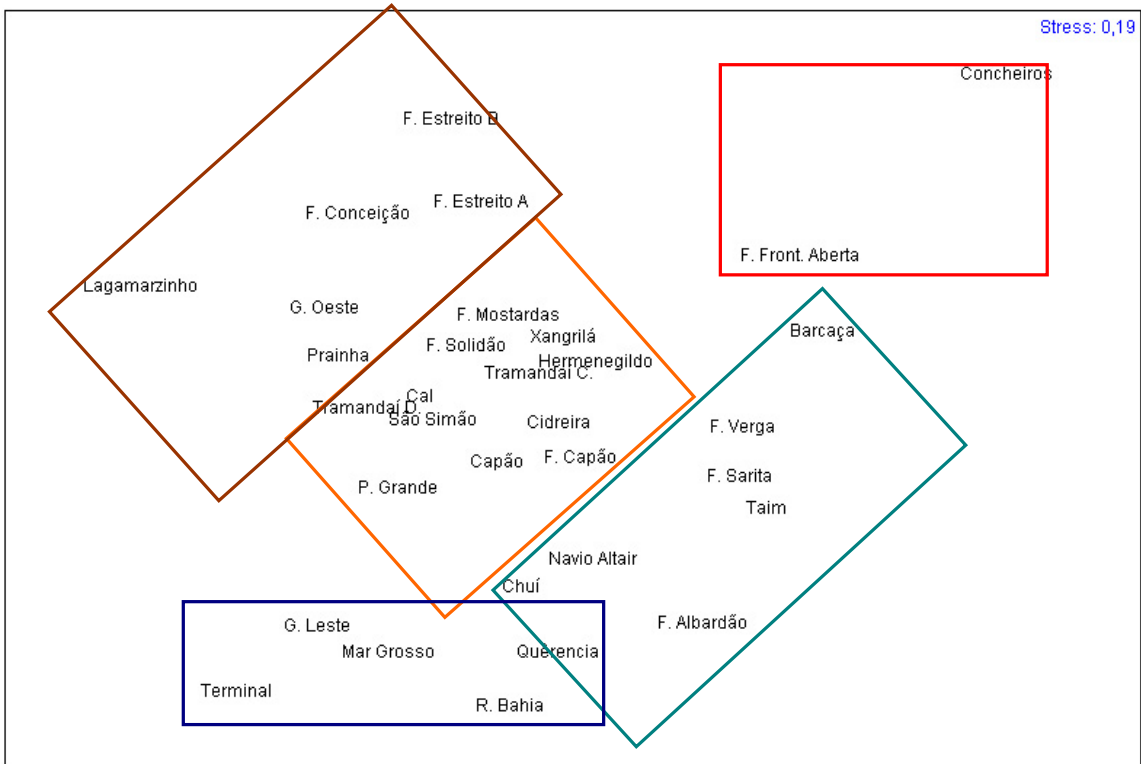


Figura 2.12. Resultado da análise de Escalonamento Multidimensional (MDS) em duas dimensões mostrando os diferentes grupos encontrados para as 32 praias estudadas. Retângulos azul, verde, laranja, marrom e vermelho correspondem respectivamente aos grupos 1, 2, 3, 4 e 5.

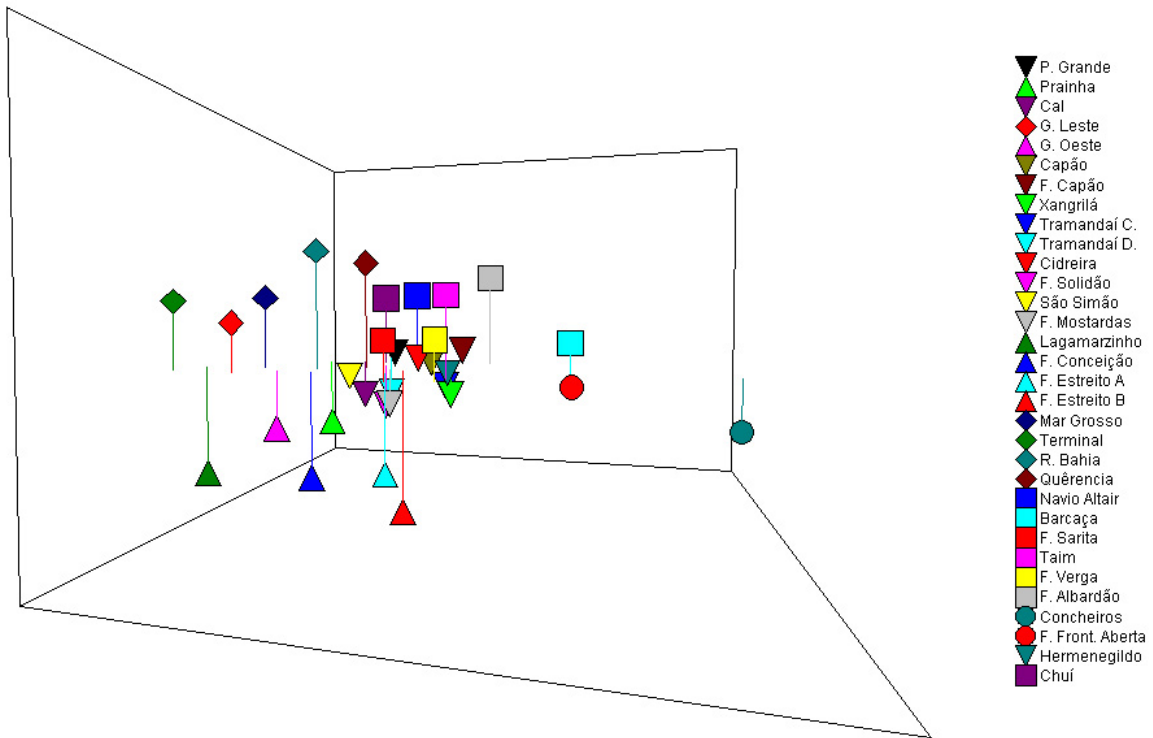


Figura 2.13. Resultado da análise de Escalonamento Multidimensional (MDS) em três dimensões mostrando os diferentes grupos encontrados para as 32 praias estudadas. Os losangos, círculos, retângulos, triângulos invertidos e triângulos normais correspondem respectivamente aos grupos 1, 2, 3, 4 e 5.

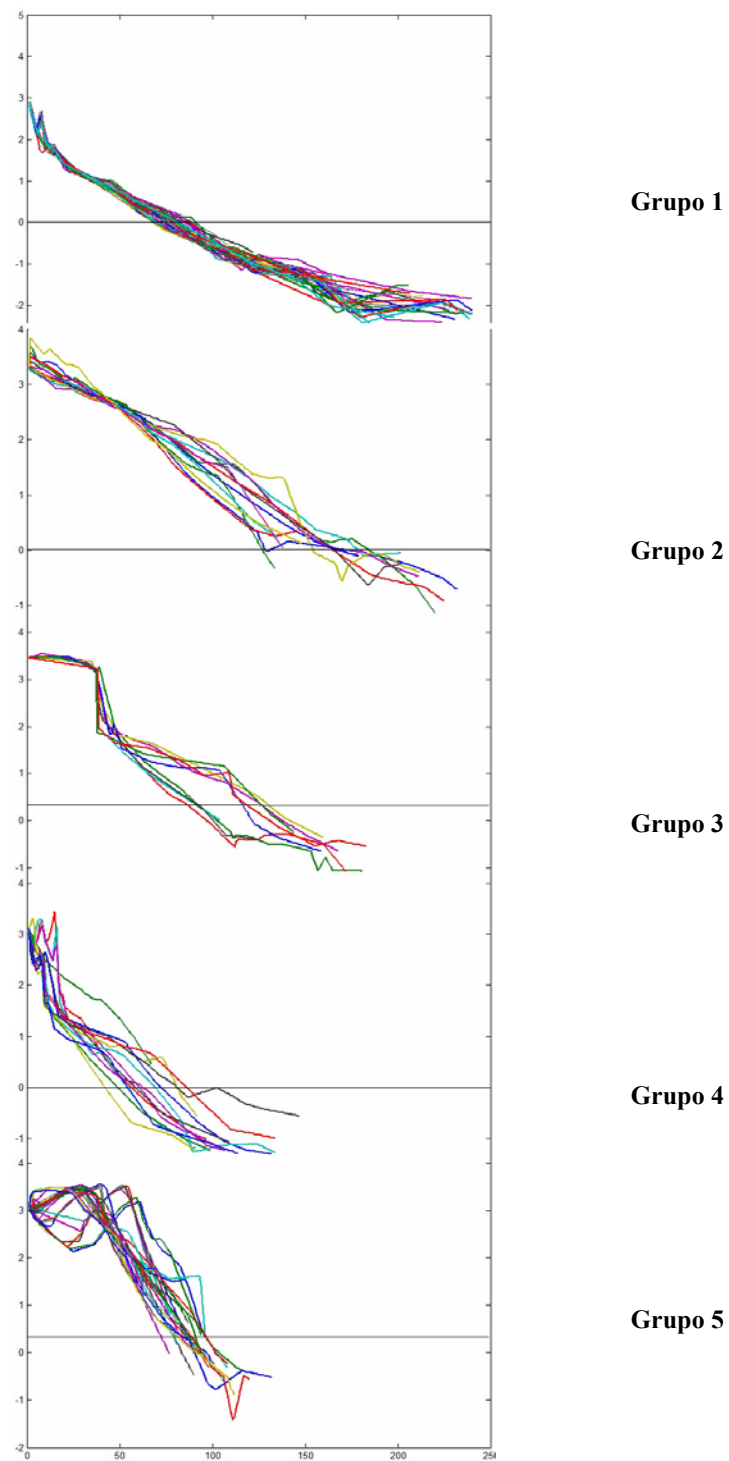


Figura 2.14. Exemplos de perfis topográficos para cada um dos grupos identificados no MDS. De cima para baixo: Terminal Turístico, Farol do Albardão, Calçadão de Tramandaí, Lagamarzinho e Concheiros, grupos 1,2,3,4 e 5, respectivamente. O eixo das abcissas representa a distância (m) e o eixo das ordenadas a elevação (m).

2.5 DISCUSSÃO

De acordo com Davis (1986) e Manly (1994), o emprego da análise de componentes principais pode ser utilizado na redução do número de variáveis representativas de um determinado conjunto de dados, tal redução não apresenta um caráter geral e muito menos obrigatório. Desta forma, a PCA seria uma maneira de hierarquizar variáveis, através dos autovalores, de forma a ressaltar as variáveis que representam a maior variabilidade dos dados.

A redução citada pelos referidos autores não foi encontrada no conjunto de dados analisados representado por oito variáveis, encontrando-se oito componentes principais.

Referindo-se a interpretação do significado de cada componente, Davis (1986) afirma que a redução da subjetividade na análise e interpretação dos dados pode ser realizada com auxílio dos índices ou coeficientes que compõem cada componente. O autor ressalta ainda que os coeficientes refletem a importância relativa das variáveis e não a própria componente.

Barletta *et al.* (2004) estudando funções empíricas ortogonais (*Empirical Orthogonal Functions*- EOF), um tipo de análise de componentes principais, afirma que interpretações físicas são comumente atribuídas a esse tipo de análise, ressaltando que este tipo de análise é uma entidade puramente estatística, representando a variância e a covariância, sem nenhum tipo de relação do tipo causa e efeito. Os autores ressaltam ainda que o conhecimento prévio sobre a morfologia costeira, quando combinado com a técnica utilizada, permite uma interpretação mais representativa dos resultados.

A primeira componente principal, pela interpretação da figura 2.10, aparenta ter, a primeira vista, uma ligação com o estágio praias apresentando à direita e à esquerda do gráfico praias classificadas como dissipativas e intermediárias com tendências reflectivas, respectivamente, de acordo com os estudos de Calliari e Klein (1993). Esse padrão observado, na verdade, apresenta como

variáveis dominantes a permeabilidade, a declividade da face da praia, ω e coeficiente de variação (Figura 2.9(i)), representados por maiores coeficientes.

As variáveis de maiores pesos na primeira componente apresentam uma relação inversa elucidada pelos sinais de cada variável. Sendo assim, a declividade da face praial e a permeabilidade da berma, coeficientes negativos, variam de forma contrária ao ω e ao coeficiente de variação do pós-praia, coeficientes positivos. Essa relação inversa pode ser chamada de oposição de fase (Peña e Lanfredi, 1988), de forma que, enquanto a declividade e permeabilidade aumentam seus valores, o ω e o coeficiente de variação diminuem.

A segunda componente aparenta ter relação com os percentuais de areia média e o coeficiente de variação do pós-praia. Essa relação, levantada na descrição da figura 2.10, é corroborada pelos coeficientes encontrados na figura 2.9 (ii), no entanto, através dos coeficientes, percebe-se a existência de uma relação inversa entre os percentuais de areia média e coeficiente de variação do pós-praia, com o ω e a largura da praia.

Essa segunda componente pode ser referida como componente tridimensional, responsável pela tridimensionalidade praial, sendo a ocorrência mais freqüente de feições geomorfológicas como bancos rítmicos, megacúspides e cúspides, ou seja, ritimicidade praial (Short, 1979; Wright e Short, 1984).

Os maiores coeficientes encontrados relativos à percentagem de areia média e ao coeficiente de variação do pós-praia, elucidam muito bem o fato da segunda componente ser chamada de componente tridimensional. Pereira *et al.*(2003), comparando perfis de praia e seus parâmetros morfométricos com fotografias aéreas e percentagem de areia média, mostraram que praias mais tridimensionais, com ritimicidades pronunciadas, apresentavam maiores percentuais de areia média e altos valores de coeficiente de variação do pós-praia.

No que diz respeito a relação inversa encontrada na segunda componente, cabe ressaltar que, de acordo com Short e Hesp (1982) e Wright e Short (1984) praias dissipativas, mais largas e com maiores valores de ω , apresentam-se menos tridimensionais.

De acordo com a interpretação preliminar dos resultados, a terceira componente seria responsável por representar as variações do volume das praias estudadas. Essa interpretação é corroborada pelos coeficientes encontrados para essa componente (Figura 2.9 (iii)). No entanto, cabe ressaltar a existência de mais duas variáveis controlando as variações referentes a essa componente, a largura da praia e a orientação da linha de costa, apresentando essa última relação inversa com as duas primeiras.

Através dos coeficientes encontrados para a terceira componente, observa-se que os valores positivos referentes às variações de volume e largura de praia, representam as variações no pacote dos perfis, podendo ser chamada de componente volume.

A quarta componente foi interpretada nos resultados como sendo um reflexo do ângulo de inclinação da linha de costa e a largura da praia. Essa interpretação foi confirmada pelos altos valores positivos de coeficientes encontrados para essas duas variáveis nessa componente (Figura 2.9 (iv)).

Apesar de terem sido encontradas mais quatro componentes, totalizando oito, o presente estudo deteve-se nas argumentações apenas das quatro primeiras. Isto deve-se ao fato de que as quatro primeiras representaram a maior variabilidade, sabendo-se que a medida que se aumenta o número de variáveis a serem explicadas, aumenta a dificuldade e a probabilidade de interpretações errôneas.

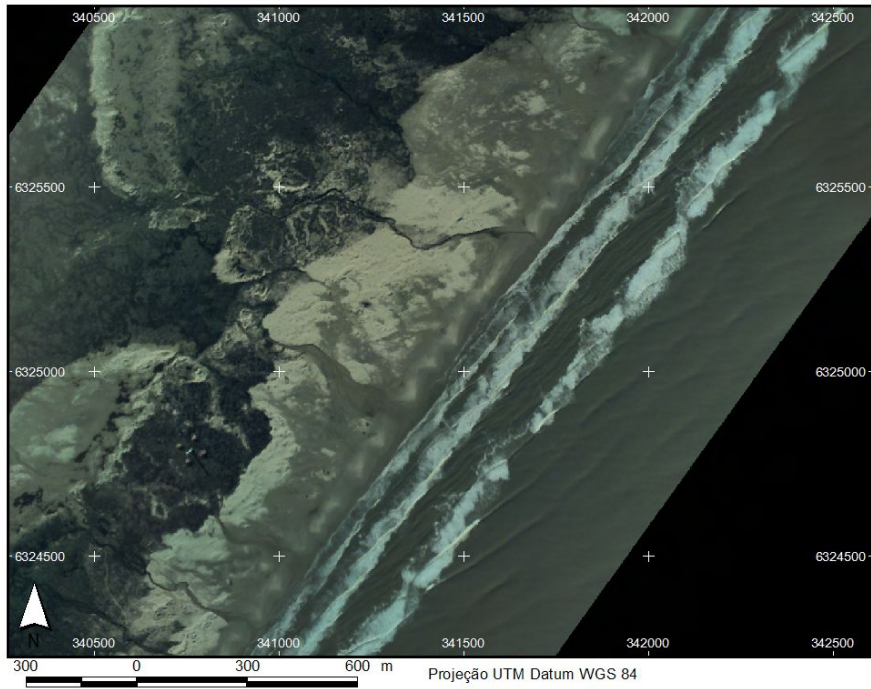
Os cinco grupos encontrados pelo escalonamento multidimensional estão de acordo com a literatura antecedente a este trabalho, de forma que o grupo 1 representa praias que apresentam tendências dissipativas (Calliari & Klein, 1993; Tozzi, 1999; Tozzi & Calliari, 2001). O grupo 5 representa praias intermediárias com tendências reflectivas (Calliari & Klein, 1993; Tozzi, 1999) e os

demais grupos reúnem praias com características intermediárias (Pivel e Calliari, 1999; Barletta, 2000; Pereira *et al.*, 2003).

A evolução deste trabalho em relação aos anteriores é a aplicação de técnicas que possibilitam um maior refinamento dos padrões já descritos para estas praias. Com base nos resultados da MDS fica nítida a existência de estágios intermediários diferenciados (grupos 2, 3 e 4). Esses três grupos refletem praias com características morfodinâmicas diferentes, nos aspectos relacionados à morfologia, mobilidade praial e características sedimentológicas.

Nos aspectos relacionados a mobilidade praial, as praias do grupo 2 podem ser classificadas como de mobilidade moderada a baixa, as do grupo 3 como moderada a alta e o grupo 4 como de alta mobilidade, sendo a mobilidade de acordo com Short e Hesp (1982) representada pela troca de sedimentos entre a zona de surfe e a praia subaérea. Com relação a percentagem de areia média, deve-se ressaltar que a mesma é fator fundamental na indução a tridimensionalidade das praias do RS (Pereira *et al.*, 2003) e conseqüente distinção entre os estágios intermediários. Assim as praias do grupo 3, 4 e 5 apresentam valores crescentes na percentagem de areia média.

Pereira *et al.*(2003), classificando as praias com base em aerofotos, perfis de praia e porcentagem de areia média, notou que algumas das praias dos grupos 2, 3 e 4 podem ser enquadradas nos estágios Banco e Cava Longitudinal (BCL) e Banco e Praia Rítmica (BPR). Segundo Wright e Short (1984) os estágios BCL e BPR apresentam moderada a baixa mobilidade e moderada a alta mobilidade, respectivamente. As praias dos grupos 2 e 3 parecem se enquadrar nestes estágios (Figura 2.15). Apesar de não ter sido registrado por Pereira *et al.*(*op cit.*) o estágio Banco e Cava Transversal (BCT), acredita-se que o grupo 4 possa se aproximar deste estágio intermediário de alta mobilidade.



A



B

Figura 2.15. Aerofotografias ilustrando estágios do tipo Banco e Cava Longitudinal (BCL) nas proximidades do Perfil localizado no Farol do Albardão e Banco e Praia Rítmica (BPR) nas proximidades do Perfil Tramandaí Calçadão, A e B respectivamente. Fonte: sistema ADAR 1000 LOG/DGEO/FURG.

A figura 2.14 ilustra os cinco grupos encontrados através da análise de escalonamento multidimensional. Nota-se claramente a existência de padrões morfodinâmicos distintos, representados pelos extremos dissipativos e reflectivos de baixa mobilidade e os grupos intermediários de mobilidade variada a semelhança dos resultados apresentados Wright e Short (1984) para as praias do sudeste australiano. Embora o padrão observado na figura tenha sido previamente verificado para o litoral do RS (Calliari e Klein, 1993; Pivel e Calliari, 199, Barletta, 2000, Pereira *et al.*, 2003), a análise atual permitiu a separação de grupos intermediários distintos.

A partir dos dados até aqui discutidos propõe-se uma classificação mais detalhada e com uma subdivisão das praias do RS em oito setores morfodinâmicos com características diferentes (Figura 2.16):

- (1) Da Barra do Chuí até as adjacências da praia do Hermenegildo, praias com características intermediárias do grupo 2 (moderada a baixa mobilidade) ;
- (2) Do Hermenegildo até o início dos Concheiros, praias intermediárias com características do grupo 3 (moderada a alta mobilidade);
- (3) Área de abrangência dos Concheiros, praias intermediárias com tendências reflectivas, grupo 5 (intermediária com tendências reflectivas);
- (4) Fim dos Concheiros até o Navio Altair, praias intermediárias com características do grupo 2 (moderada a baixa mobilidade);
- (5) Praias entre o Navio Altair e proximidades do balneário Mar Grosso, praias com tendências dissipativas, grupo 1 (dissipativas);
- (6) Praias entre o Mar Grosso e o balneário Lagamarzinho, grupo 4 (alta mobilidade);
- (7) Praias entre o Farol de Mostardas e Guarita Oeste, grupo 3 (moderada a alta mobilidade);
- (8) As praias de Torres que são enquadradas nos grupos 1, 3 e 4 (mistas).

Deve-se, entretanto, ressaltar que embora as características morfodinâmicas de um mesmo setor variarem temporalmente, a análise dos dados permite essa diferenciação em oito setores.

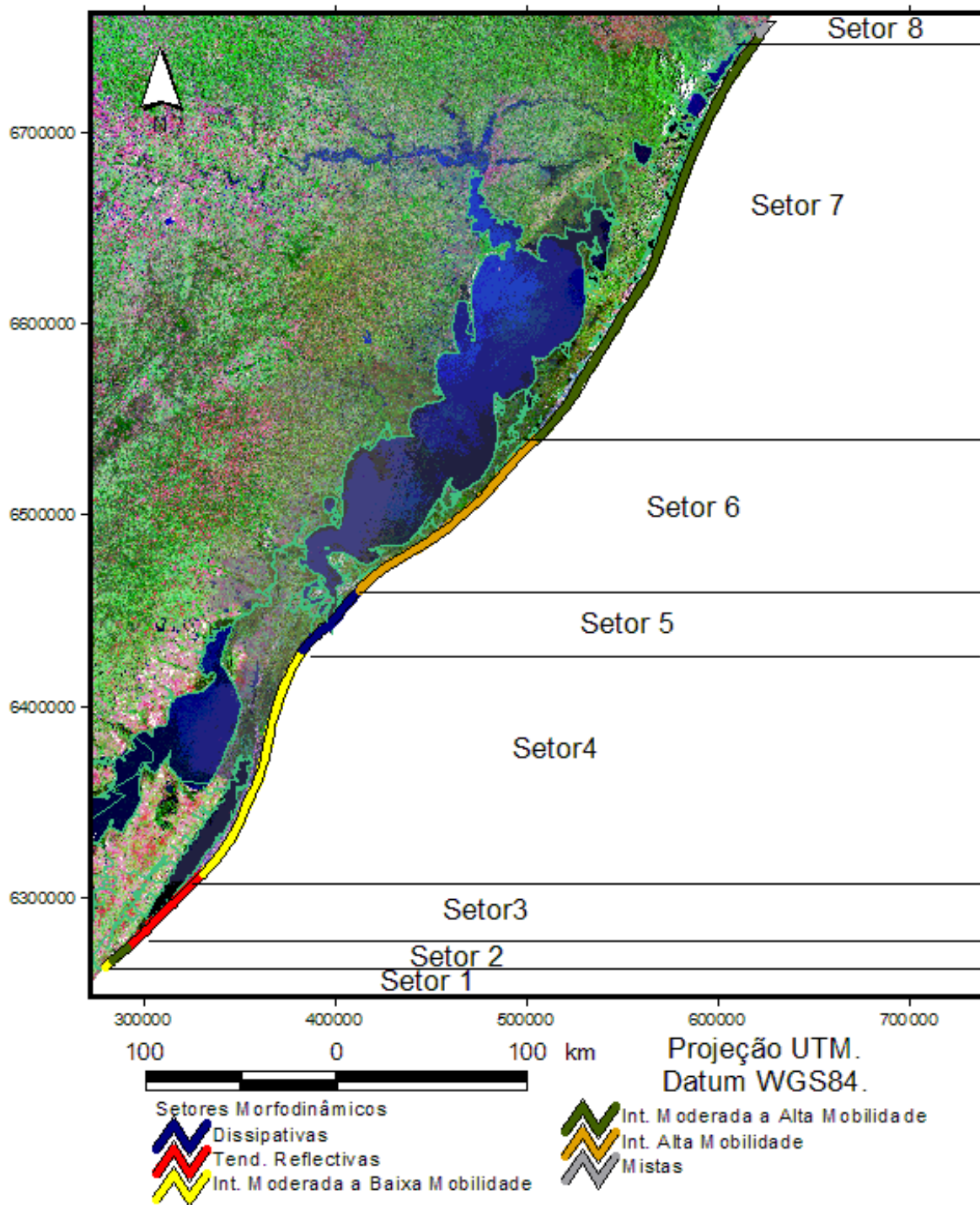


Figura 2.16. Setores morfodinâmicos resultantes do escalonamento multidimensional (MDS).

Como os dados aqui apresentados são referentes a perfis, dados pontuais, torna-se difícil definir com precisão o limite entre os setores aqui propostos. Entretanto, em setores com características sedimentológicas contrastantes, a transição entre os setores é bem marcada, como do 1 ao 5:

- (1) O primeiro setor estende-se da base do molhe leste da Barra do Chuí até 5 km ao norte, onde a berma apresentar tamanho médio (Figueiredo, 2005);
- (2) O segundo setor compreende a área que vai do final do primeiro setor até o início da região dos Concheiros a aproximadamente 16 km ao norte do molhe leste da Barra do Chuí (Araújo, 2002);
- (3) O terceiro setor abrange toda a região dos concheiros, com extensão 53 km segundo os estudos de Araújo (2002);
- (4) O quarto setor abrange as praias desde o fim dos concheiros, a aproximadamente 69 km ao norte da Barra do Chuí, e proximidades do Navio Altair. De acordo com os estudos de Figueiredo (2005) a 18 km ao sul da base do molhe oeste da Barra de Rio Grande, são encontrados sedimentos mais grossos que aqueles próximos a raiz dos molhes;
- (5) O quinto setor abrangeria as praias desde o Navio Altair até 23 km ao norte da base do molhe leste da Barra de Rio Grande, próximo ao naufrágio da embarcação pesqueira Schimidt Hasegawa, onde o tamanho dos sedimentos começa a aumentar em direção ao norte (Siegle, 1996; e Figueiredo, 2005).

A transição entre o setor 6 e 7 não apresenta limites bem definidos, no entanto, essa transição abrange uma área entre os 10km que separam o perfil localizado no Balneário Lagamarzinho e o perfil localizado no Farol de Mostardas, ambos estudados por Barletta (2001). Já a transição entre os setores 7 e 8 é marcada pela presença de um promontório rochoso que separa a praia de Itapeva das praias do município de Torres. A presença de outros promontórios rochosos no município de Torres, as

chamadas “torres”, são responsáveis pela transição entre as praias, enquadradas nos grupos 1, 4 e 5 do MDS.

Além de serem visíveis através de variações granulométricas essas mudanças podem ser percebidas através de outras indicações morfológicas e dinâmicas tais como a presença de feições tridimensionais, características físicas e hidrodinâmicas da zona de arrebentação e da face praial.

No que diz respeito ao *stress* encontrado pela análise de escalonamento multidimensional, o valor em duas dimensões foi de 0,19 já em três, foi de 0,09. Apesar do melhor ajustamento dos dados em três dimensões, comprovado pelo *stress*, optou-se por utilizar o escalonamento multidimensional em duas dimensões, por esta apresentar fácil interpretação. De acordo com Manly (1994), é desejável que boas soluções sejam encontradas em três ou poucas dimensões.

Um fato interessante que merece ser ressaltado é o de que o produto final encontrado pela análise de escalonamento multidimensional, a formação de cinco grupos a partir das quatro principais componentes, pode ser obtida através de apenas duas componentes, como pode ser observado na figura 2.10. A comparação entre as figuras 2.10 e 2.12 comprova que um dos objetivos do presente estudo, a divisão de setores da costa gaúcha, pode ser realizado com apenas as duas primeiras componentes principais.

2.6 CONCLUSÕES

A subdivisão da costa em oito setores parece ser mais objetiva na diferenciação das praias do RS, definindo assim a existência de heterogeneidades nos setores praias ao longo dos 620 km da orla gaúcha.

Os grupos encontrados pelo escalonamento multidimensional além de corroborar a diferenciação observada em estudos prévios permitiu uma diferenciação mais minuciosa das praias do RS, alcançando um detalhamento mais apropriado, ligado a mobilidade, para as praias intermediárias.

O trabalho permitiu a elaboração de um banco de dados que compila os principais parâmetros morfométricos e sedimentológicos imprescindíveis a trabalhos futuros tanto específicos como de caráter multidisciplinar.

De acordo com os grupos encontrados, pode-se afirmar que 6,86% da costa gaúcha pode ser classificada como dissipativa; 8,99% é intermediária com tendências reflectivas, 21,98%, 41,45% e 19,95% como sendo, respectivamente, praias intermediárias de mobilidade moderada a baixa, mobilidade moderada a alta e alta mobilidade. Cabe ressaltar que cada grupo representa uma média do comportamento de cada setor, visto que as praias estão sujeitas a constante variação da dinâmica.

Embora as praias do Rio Grande do Sul apresentem vários bancos, a diferenciação aqui obtida, com base no modelo de Wright e Short (1984) para praias de um único banco, é bastante válida uma vez que utiliza parâmetros e características morfométricas referentes a praia subaérea e ao primeiro banco, o qual é o mais variável em sistemas praias com múltiplos bancos.

A subdivisão da costa pode ser mais detalhada se outros fatores geológicos, geomorfológicos e hidrodinâmicos, respectivamente representados pela presença de turfas e arenitos no substrato praias, a ocorrência de sangradouros e dunas frontais e setores com diferenciação na altura de ondas forem incorporados. Desta forma a divisão da costa representaria não só setores morfodinâmicos e sim setores geomorfológicos, tomando a forma de Atlas costeiros, ricos em informações relacionadas a geomorfologia e morfodinâmica de praias.

Os métodos multivariados utilizados demonstraram-se de grande utilidade no agrupamento das diversas localidades estudadas, através de levantamentos topográficos e estudos sedimentológicos. No entanto, a interpretação dos resultados ressalta a necessidade de um amplo conhecimento prévio dos setores praias bem como das variáveis envolvidas.

O comportamento das praias estudadas foi representado, em sua maioria, por quatro componentes principais, podendo as demais serem descartadas. No entanto, para fins equacionais, as demais componentes devem ser levadas em conta, principalmente em análises quantitativas mais precisas ou em estudos de modelagem numérica. O fato das quatro últimas componentes apresentarem baixa representatividade dos dados analisados não quer dizer que as mesmas sejam desnecessárias ou não representem de forma satisfatória o conjunto de dados estudados.

A introdução da variável relativa a percentagem de areia média das amostras e nos resultados obtidos na análise fornecem fortes indícios de que o tamanho de grão é um fator preponderante na diferenciação morfodinâmica dos setores praias. Estudos adicionais que venham a considerar as características sedimentológicas ao longo de todo perfil podem melhorar substancialmente a diferenciação aqui apresentada.

A divisão em setores, fruto das análises estatísticas empregadas apresenta diversas implicações ao gerenciamento costeiro. Podem ser ressaltadas as aplicações dessa divisão no que se refere a questão do risco costeiro, sobretudo na segurança de praias, onde os setores de praias com características intermediária podem, em determinadas épocas do ano, apresentar correntes de retorno, responsáveis por grande número de afogamentos.

Uma outra aplicação é em relação a eventuais derrames de óleo onde, setores dissipativos seriam menos impactados em função da baixa permeabilidade quando comparados a setores reflectivos.

PERMEABILIDADE DAS PRAIAS ARENOSAS DO RIO GRANDE DO SUL

3.1 INTRODUÇÃO

3.1.1 Permeabilidade em praias

Solos em geral apresentam poros conectados entre si além de apresentar caminhos preferenciais pelos quais fluídos podem circular. A facilidade com que um fluído escoar através de uma matriz sedimentar porosa constitui uma importante propriedade conhecida como permeabilidade, a qual é quantificada pelo coeficiente de permeabilidade (K).

De acordo com Vargas (1977), o coeficiente de permeabilidade representa um índice de maior ou menor dificuldade que o solo opõe à percolação d'água através de seus poros, isto é, mede a permeabilidade do solo.

McLachlan (1990) verificou que grandes volumes de água são filtrados pelas praias arenosas. Ainda segundo este autor, praias com baixa declividade e pequeno tamanho de grão (dissipativas) apresentam baixa capacidade de infiltração e um alto tempo de residência, enquanto que praias com alta declividade e grande tamanho de grão (reflectivas) apresentam alta taxa de infiltração, porém um pequeno tempo de residência, sendo o volume filtrado em função da amplitude da maré e, sobretudo, da altura das ondas.

Também chamada de condutividade hidráulica (Cabral *et al.*, 2000), o coeficiente de permeabilidade considera as características do fluído e do meio, incluindo porosidade, tamanho, forma, arranjo e distribuição das partículas, além das características do fluido de escoamento, como viscosidade e massa específica. Fluídos mais viscosos terão no meio poroso, velocidade de escoamento diferente da água, a qual tem baixa viscosidade (Cabral *et al.*, *op. cit.*).

Masselink e Li (2001) realizaram simulações numéricas para examinar o efeito da permeabilidade na morfologia praial, onde a dinâmica da água intersticial é função da condutividade hidráulica dos sedimentos praiais. Os autores encontraram que o volume subaéreo da praia e o gradiente de equilíbrio na zona de espraiamento, entre a face da praia e a berma, são ambos positivamente relacionados a condutividade hidráulica. Ainda segundo esses autores, a relação entre a morfologia praial e a permeabilidade ocorre de uma maneira não linear.

A resistência à descarga de líquidos é de grande importância no estudo de praias arenosas por determinar, em parte, a dissipação de energia das ondas movendo-se sobre a face da praia (Klein e Calliari, 1997).

Segundo Grant (1948), quando a onda se propaga para a região do máximo espraiamento, sua velocidade gradualmente diminui. Essa diminuição de velocidade na face da praia, que é função do momento, ângulo de declividade da face da praia, profundidade de fluxo e rugosidade, decresce o poder de transporte do prisma de subida da água (“*run-up*”).

Grant (*op. cit*) afirma que um nível elevado do lençol freático acelera a erosão da praia, e contrariamente, um nível baixo pode resultar em uma pronunciada acreção da face da praia. Ondas altas, acompanhadas de excessiva turbulência, geram fatores dinâmicos para uma rápida erosão, mas o grau de umidade da praia contribui de maneira importante para a erosão e acreção (Figura 3.1).

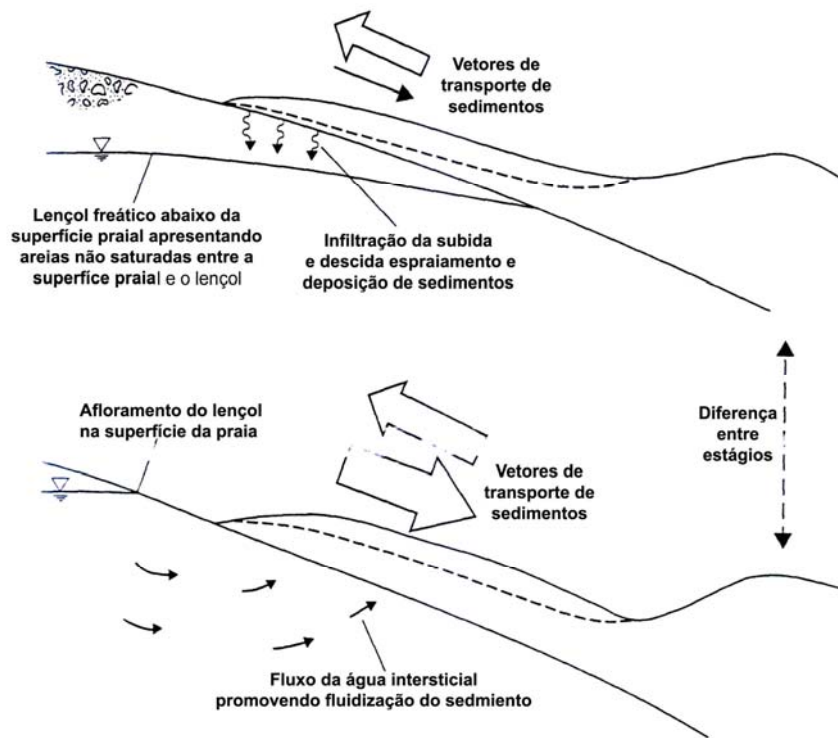


Figura 3.1. Modelo conceitual da relação entre o lençol freático e o transporte de sedimentos na zona de espraimento de acordo com Grant (1948) (modificado de Baird e Horn, 1996).

A partir dessa formulação inicial desenvolvida por Grant (*op. cit*), diversos autores detiveram-se no estudo das variações sofridas pelo lençol freático em praias arenosas e sua relação com a dinâmica praial, merecendo destaques os estudos desenvolvidos por Waddell (1976), Turner (1993), Turner e Nielsen (1997), Baird e Horn (1996), Li e Barry (2000), Masselink e Li (2001), Teo *et al.* (2003).

Flutuações na altura do lençol freático desempenham um importante papel na estabilidade da linha de costa, troca de solutos na sub-superfície de estuários, distribuição e dinâmica da vegetação costeira, além da taxa de introdução de contaminantes na zona costeira como, por exemplo, derrames de óleo (Werner e Lockington, 2003).

A grande maioria dos estudos acima citados, os quais visam uma melhor compreensão do lençol freático e das trocas de sedimento na face da praia, consideram a permeabilidade e porosidade em seus modelos e equações governantes.

Packwood (1983) analisou a influência da porosidade praial na excursão do espraiamento da onda. Como conclusão esse autor relata que os resultados numéricos indicam que a excursão vertical do espraiamento (“*run-up*”) dos vagalhões na face da praia, em praias planas de pendente suave, é pouco influenciada pela permeabilidade do leito, desde que o mesmo seja constituído de areia média e fina.

A infiltração do espraiamento e conseqüente transporte de sedimentos em direção a costa, na zona de espraiamento, pode ser promovida através do rebaixamento artificial do lençol freático (Chappell *et al.*, 1979; Masselink e Li, 2001). Engenheiros costeiros têm aplicado esse método, conhecido como drenagem praial, em praias sujeitas a processos erosionais com o objetivo de promover o aumento da infiltração do espraiamento e conseqüente acresção de sedimentos na praia (Turner e Leatherman, 1997).

Segundo Nielsen *et al.* (2001) não existem dúvidas sobre o efeito da infiltração e expulsão da água na estabilidade dos sedimentos e taxas de erosão e acresção praial. No entanto, esses autores afirmam que, através das evidências disponíveis, o método de drenagem praial ainda carece de conclusões mais efetivas. De acordo com esses autores, estudos de campo que visam comprovar a eficiência da técnica de drenagem são complicados pela variabilidade natural da morfologia praial sendo as evidências de experimentos realizados em laboratório bastante complexas.

De acordo com Baird e Horn (1996), diversas pesquisas de lençol freático em praias têm ignorado as propriedades hidráulicas dos sedimentos praiais. O autor explica que tal fato pode ocorrer através do uso de modelos analíticos que usam valores “representativos” da condutividade hidráulica.

A variabilidade da condutividade hidráulica ao longo da praia pode ser determinada através da realização de ensaios ou através de uma das fórmulas empíricas que relacionam a condutividade hidráulica com algumas das características representativas do tamanho dos sedimentos (Baird e Horn, *op. cit.*).

Uma fórmula comumente usada é a da permeabilidade através da equação desenvolvida por Krumbein e Monk (1942), onde k , algumas vezes chamado de permeabilidade intrínseca, é dado por:

$$k = 760D^2 \exp(1,31\sigma)$$

sendo D o diâmetro médio em milímetros (mm), σ é o grau de seleção em unidades de phi (Φ), e k em unidades de Darcies, onde 1 Darcy = $9.87 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$. A partir do resultado a condutividade hidráulica é dada por: $K = (kg)/\nu$, onde ν é a viscosidade cinemática ($0.102 \text{ cm}^2/\text{s}$) e g a aceleração da gravidade ($981 \text{ cm}/\text{s}^2$).

Bear (1972) desenvolveu uma fórmula empírica onde a condutividade hidráulica se dá em função da densidade do fluido ($\rho = 1009 \text{ kg}/\text{m}^3$), viscosidade dinâmica ($\mu = 10^{-3} \text{ Ns}/\text{m}^2$), porosidade (n) e diâmetro médio dos sedimentos (D):

$$K = \left(\frac{\rho g}{\mu} \right) \left(\frac{n^3}{(n-1)^2} \right) \left(\frac{D^2}{180} \right).$$

Além das formulações empíricas aqui apresentadas inúmeras existem outras para determinar a permeabilidade dos sedimentos em geral, sendo que a maioria inclui praticamente os mesmos parâmetros sedimentológicos das equações acima, representadas pelo tamanho do grão e grau de seleção.

Em geotécnica, o valor de K é comumente expresso como um produto de um número por uma potência negativa de 10. Como exemplo $K = 1.3 \times 10^{-8}$ cm/s, valor característico de solos considerados impermeáveis ou de baixíssima permeabilidade (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Valores Típicos do Coeficiente de Permeabilidade (Vargas, 1977).

Tipo de Sedimento	K (cm/s)	Classificação Quanto a Permeabilidade
Pedregulhos	$> 10^{-1}$	Alta
Areias	10^{-1} a 10^{-3}	Média
Siltes e areias argilosas ou siltosas	10^{-3} a 10^{-5}	Baixa
Argilas siltosas	10^{-5} a 10^{-7}	Muito baixa
Argilas	$< 10^{-7}$	Baixíssima

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Geral

O objetivo do presente trabalho é estudar a permeabilidade das praias arenosas a fim de averiguar diferenças no comportamento da percolação de fluídos na matriz sedimentar em função da variabilidade sedimentológica e morfodinâmica encontrada ao longo do litoral do Rio Grande do Sul.

3.2.2 Específicos

Averiguar a existência de padrões espaciais tanto lateral como transversal de permeabilidade nas praias do RS;

Verificar a maior ou menor permeabilidade nos subambientes do perfil praial;

Estudar a permeabilidade das praias e sua relação com a geologia e evolução da planície costeira do Rio Grande do Sul, discutindo a relação com a granulometria;

Definir áreas mais vulneráveis a eventuais derrames de óleo;

Discutir possíveis diferenças entre a permeabilidade do petróleo, seus derivados e a água no ambiente praial.

Com base na permeabilidade, sedimentologia e características morfodinâmicas determinar a vulnerabilidade das praias do RS.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 Ensaio de permeabilidade com água

Experimentalmente, Darcy em 1850, verificou como diversos fatores geométricos influenciam a vazão da água, formulando a chamada Lei de Darcy, expressando a equação que ficou conhecida pelo seu nome: $Q = K \cdot (h/L) \cdot A$, onde Q é a vazão, fluxo transmitido por unidade de tempo (área x velocidade); K é uma constante para cada solo (coeficiente de permeabilidade); h/L o gradiente hidráulico, ou variação da pressão, sendo h a carga que se dissipa na percolação e L a distância ao longo da qual a carga se dissipa; e A a área da seção.

A vazão dividida pela área (Q/A) indica a velocidade com que a água sai da areia. Esta velocidade, v , é chamada de velocidade de percolação. Substituindo na equação anterior, v pode ser representado da seguinte forma: $v = k \cdot (h/L)$. Desta forma a permeabilidade, através da Lei de Darcy pode ser expressa apenas em função da velocidade de percolação do fluido no solo e gradiente hidráulico.

A permeabilidade foi medida sobre a berma e pós-praia. Os ensaios de permeabilidade foram realizados em 31 pontos do litoral do estado do Rio Grande do Sul, os quais foram monitorados pelo Laboratório de Oceanografia Geológica ao longo dos seus quinze anos de estudos do ambiente praial, desde o extremo sul do Brasil, divisa com o Uruguai, até o norte do estado, divisa com o estado de Santa Catarina (Figura 3.2).

As saídas de campo foram realizadas em três etapas: (i) a primeira foi realizada no litoral central, em Novembro de 2004; (ii) a segunda se estendeu desde a base do molhe leste, em São José do Norte, até a Praia Grande em Torres, cobrindo todo o litoral central e norte, em janeiro de 2005; (iii) a terceira e última foi realizada entre a Praia do Cassino e a Barra do Chuí, abrangendo todo o litoral sul em fevereiro de 2005.

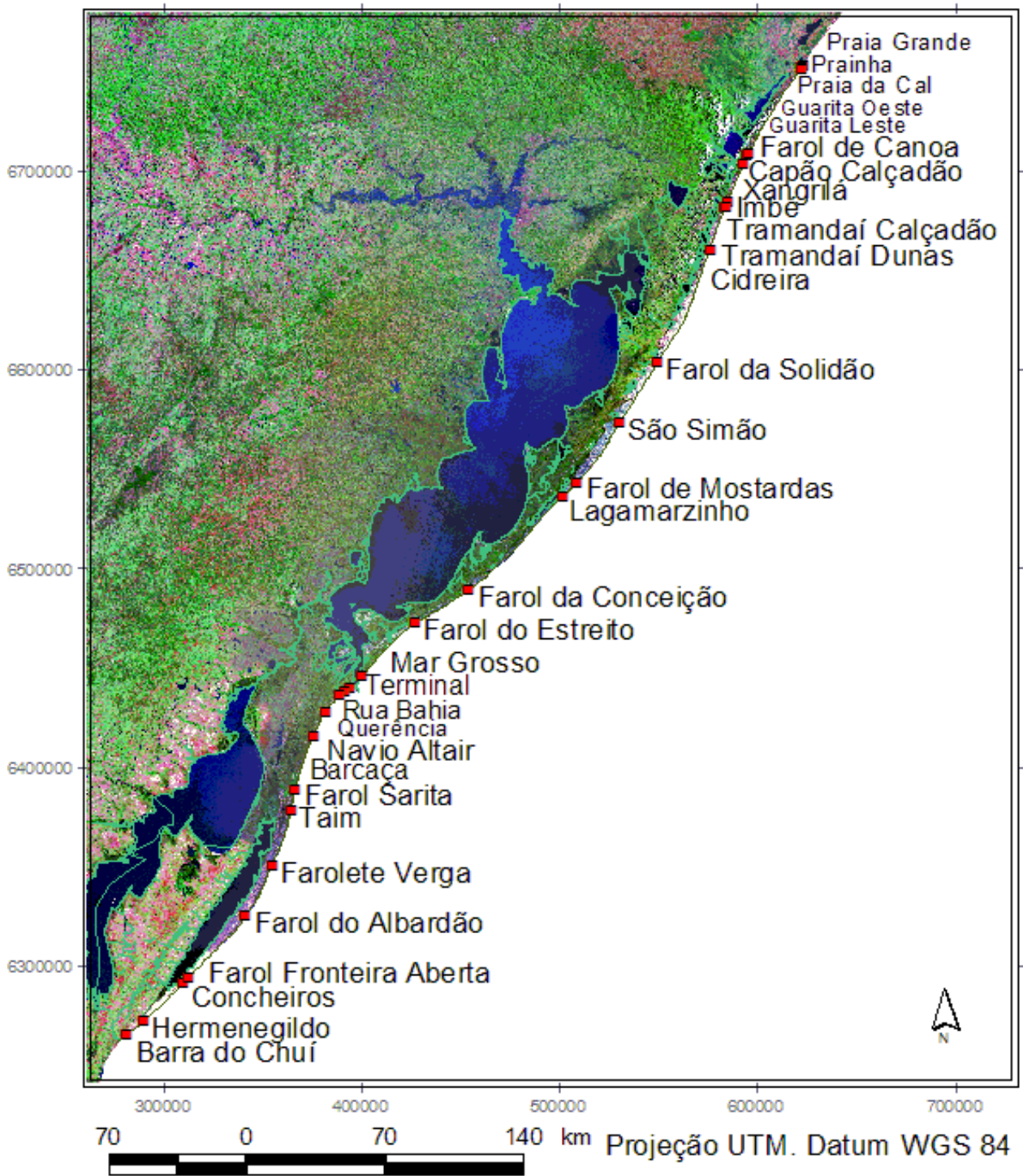


Figura 3.2. Locais onde foram realizados os ensaios de permeabilidade.

As determinações de permeabilidade foram baseadas em ensaios geotécnicos em tubos abertos de PVC (permeâmetro), segundo o método descrito por Caputo (1980). O tubo era enterrado até uma profundidade de 5 cm no solo e preenchido com água até o topo. Com o tubo cheio cronometrava-se o tempo que a coluna de água levava para percorrer o intervalo de 5 e 10 cm entre dois níveis pré-determinados (Figura 3.3). O tubo era preenchido 5 vezes com a finalidade de verificar a variação da permeabilidade com o grau de saturação do solo.



Figura 3.3. Esquema do tubo utilizado.

A partir dos valores obtidos em campo era calculada a permeabilidade através da equação $K = \left(\frac{r}{4h_m} \right) \left(\frac{dh}{dt} \right)$, onde r representa o raio do tubo; h_m é dado pela média da altura da coluna d'água no nível inicial e final (níveis 1 e 2 da figura 3.3, respectivamente); dh a distância do tubo percorrida pelo fluido; e dt o intervalo de tempo. Todos os

ensaios foram realizados em situações acima do nível do lençol freático.

3.3.2 Ensaios de permeabilidade com óleo

A metodologia utilizada para os ensaios utilizando óleo foi a mesma utilizada para os ensaios com água, sendo que ao invés de água, utilizou-se o óleo bruto Hydra como fluido de percolação.

O Petróleo Hydra é um óleo leve utilizado para refino na Refinaria de Petróleo Ipiranga S.A., localizada na cidade de Rio Grande, Rio Grande do Sul, as margens do Saco da Mangueira. Apresenta um API de 49,3 e densidade de $0,778 \text{ g/cm}^3$ à $20/4^\circ\text{C}$ (Anexo 1), sendo classificado como leve (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Classificação dos tipos de óleos.

Classificação dos tipos de óleo					
Grupo	Densidade (g/cm³)	API	Composição	Meia Vida	Persistência
I	< 0,8	> 45	Leve	~ 24 h	1 - 2 dias
II	0,80 à 0,85	35 à 45	Leve	~ 48 h	3 - 4 dias
III	0,85 à 0,95	17,5 à 35	Pesado	~ 72 h	5 - 7 dias
IV	> 0,95	< 17,5	Pesado	~ 168 h	> - 7 dias

Fonte: ITOPF - The International Tanker Owners Pollution Federation (1986).

Após os ensaios dois tipos de tratamentos foram dados aos sedimentos contaminados, a queima em “*situ*” e remoção dos sedimentos.

3.3.3 Coletas de sedimentos

As coletas de sedimentos foram realizadas nos mesmos pontos onde ocorreram os ensaios de permeabilidade. Através do próprio tubo utilizado nos ensaios de permeabilidade foram coletadas amostras de sedimentos dos cinco centímetros superficiais.

Em laboratório as amostras foram pesadas, secas em estufa e depois pesadas de novo, a fim de determinar o percentual de umidade, após esse processo foram lavadas para remoção do sal. Novamente foram secas em estufa e então foi realizada a análise granulométrica através da peneiragem mecânica utilizando peneiras com $\frac{1}{4}$ de phi (Φ) de intervalo, utilizando a escala de Wentworth (1922). O processamento dos dados foi realizado através do software SysGran[®] (1999), onde a interpretação granulométrica usada é aquela sugerida por Folk e Ward (1957), que considera a classificação, selecionamento, achatamento e tendência, com base nas curvas de frequência simples e acumulada. Parâmetros como média, grau de seleção (desvio padrão), assimetria e curtose são calculados através do referido software.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Ensaio de permeabilidade com água

Valores mínimos e máximos dos coeficientes de permeabilidade são encontrados, respectivamente, nas adjacências dos molhes da Barra do Rio Grande (Rua Bahia, Terminal e Mar Grosso) e região dos concheiros (Concheiros e Fronteira Aberta), figura 3.4. Com exceção do Farol da Conceição as demais praias do estado apresentaram valores intermediários entre esses dois extremos.

Em geral houve uma nítida diferenciação entre a berma e o pós-praia, tendo a primeira apresentado valores mais elevados. Raras exceções ocorreram em alguns pontos como nas praias do Chuí, Fronteira Aberta e Concheiros no litoral sul e nas praias das Guaritas Leste e Oeste no litoral norte, estes últimos apresentando diferenças ínfimas (Figura 3.4).

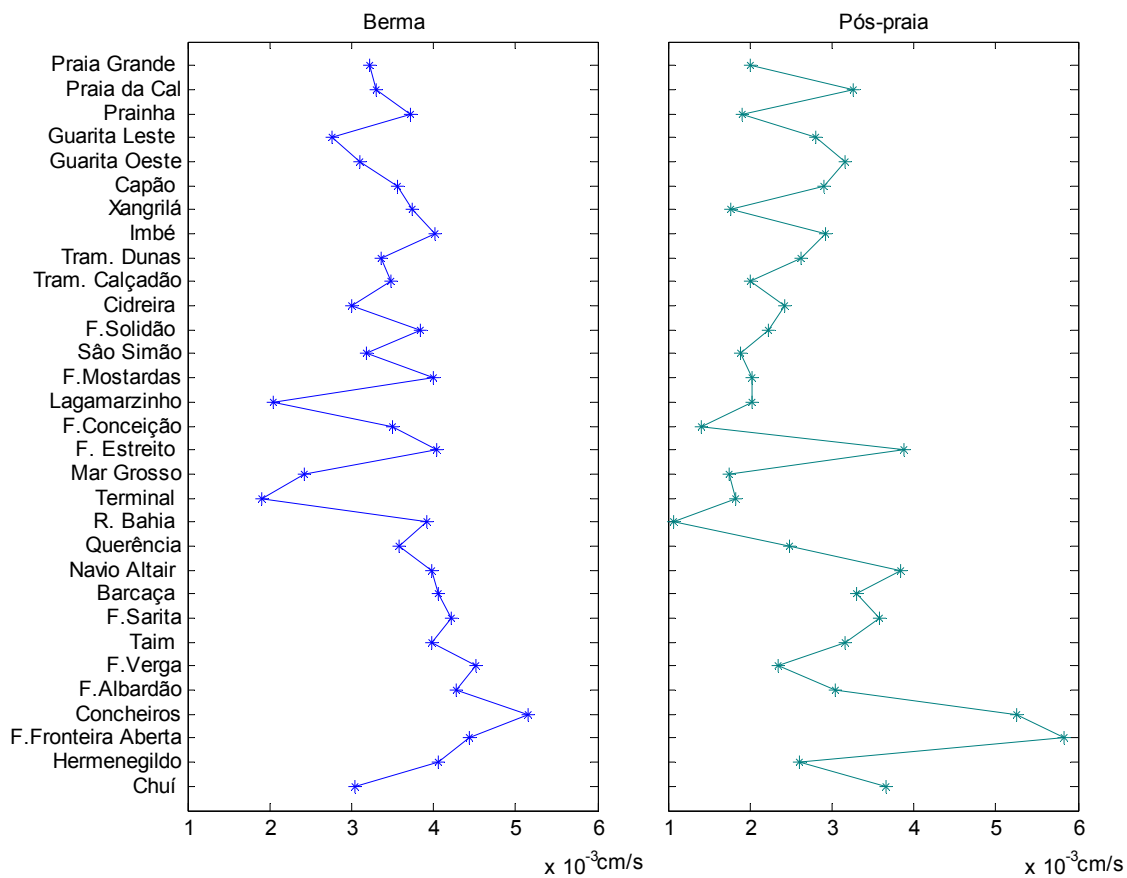


Figura 3.4. Permeabilidade do pós-praia e berma para as praias estudadas.

Apesar de ser mínima a diferença, de modo geral, o litoral sul, a partir do Navio Altair, apresentou uma maior permeabilidade do que o litoral médio e norte, com exceção de apenas cinco pontos da berma: Chuí, no litoral sul; os Faróis do Estreito, Mostardas e Solidão, no litoral central; e Imbé, no litoral norte. Já na região do pós-praia apenas o Farolete Verga apresentou menor permeabilidade do que os pontos do litoral central e norte.

Essa diferença não se restringe apenas a distribuição espacial dos pontos, mas estende-se também como também aos pontos ao longo do perfil. É nítido, em todos os pontos do litoral central uma menor diferença entre a permeabilidade medida na região do pós-praia e a região da berma.

Uma das saídas foi realizada na primavera de 2005 sob condições de forte ressaca. Em diversos pontos do litoral central a altura das ondas estimada a partir de observação visual ultrapassou três metros. Em certos pontos, como no Farol do Estreito, o espraiamento das ondas ultrapassou os 100 metros de largura, cobrindo quase que todo o pós-praia, reflexo do alto “*set-up*” e da maré meteorológica (Figura 3.5).



Figura 3.5. Fotos ilustrando o espraiamento das ondas durante a realização dos ensaios de permeabilidade em novembro de 2004 em frente ao farol do estreito (fotos: Rafael Guedes).

Em alguns pontos do litoral central foi possível a realização dos ensaios de permeabilidade sob as condições descritas acima. Comparando a permeabilidade encontrada em condições de tempestade com as condições normais de baixa dinâmica, como as dos dados discutidos até agora, percebe-se menor permeabilidade em condições de tempestade (Figura 3.6).

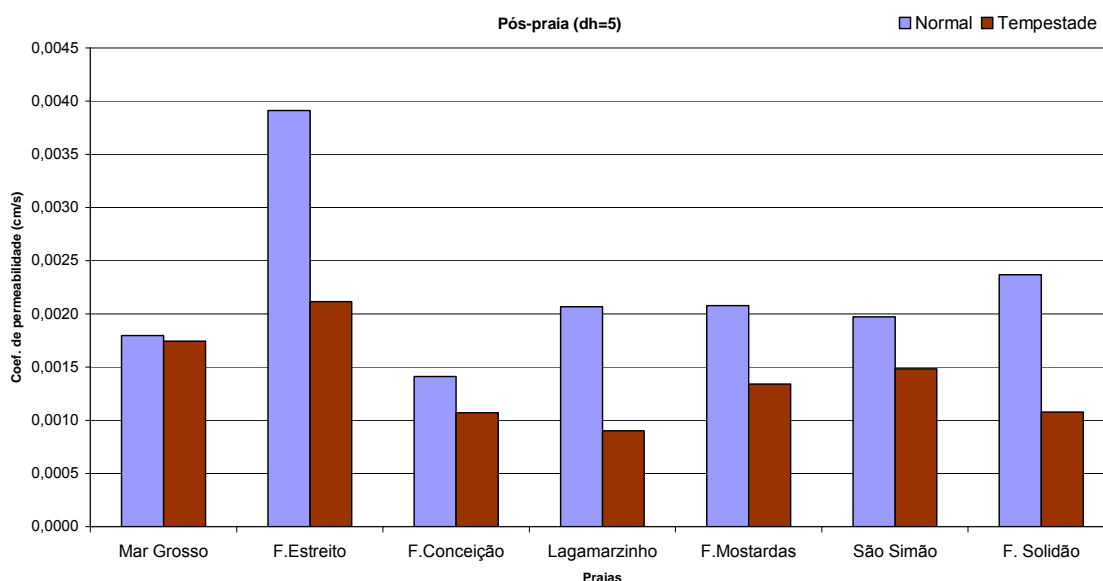


Figura 3.6. Comparação entre a permeabilidade medida sob condições consideradas normais e condições de tempestade para um dh=5cm na região do pós-praia.

3.4.2 Ensaios de permeabilidade com óleo

Diferente dos ensaios realizados com água, os ensaios com óleo foram realizados em apenas alguns pontos do litoral gaúcho: Concheiros, Navio Altair e proximidades, Querência e Farol da Conceição (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Coeficientes de permeabilidade (K) encontrados para ensaios utilizando água e óleo como fluidos.

Local	Região do perfil	K óleo (cm/s)	K água (cm/s)	K Água/ K Óleo
Concheiros	Berma	$8,7 \times 10^{-3}$	$9,8 \times 10^{-3}$	1,125
Concheiros	Berma	$9,8 \times 10^{-3}$	$9,8 \times 10^{-3}$	1,000
Proximidades do Navio Altair	Pós-praia	$2,5 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$	1,419
Navio Altair	Pós-praia	$3,1 \times 10^{-3}$	$5,6 \times 10^{-3}$	1,786
Navio Altair	Berma	$1,1 \times 10^{-3}$	$4,6 \times 10^{-3}$	4,294
Querência	Pós-praia	$1,3 \times 10^{-3}$	$5,2 \times 10^{-3}$	3,933
Farol da Conceição	Pós-praia	6×10^{-4}	$2,0 \times 10^{-3}$	3,364

Os dados mostram uma menor permeabilidade do óleo em relação a água com um mínimo de 6×10^{-4} cm/s para o Farol da Conceição e máximo de $9,8 \times 10^{-3}$ cm/s para a região dos Concheiros. Através da razão entre os coeficientes de permeabilidade da água e do óleo, foi possível a obtenção de uma relação quantitativa que expressa a velocidade de percolação entre os dois fluidos. Essa relação foi de 1,0 a 1,125 para os Concheiros e 4,294 a região da berma do Navio, conforme demonstrado na tabela 3.3.

Baixos valores relativos encontrados para os Concheiros indicam uma velocidade de percolação muito semelhante entre os fluidos utilizados. Desta forma uma determinada carga de óleo leva quase o mesmo tempo que uma carga de água para se infiltrar no sedimento praial. Já em locais como as praias do Navio, Querência e Farol da Conceição a relação encontrada sugere que o tempo de infiltração do óleo é cerca de 3,4 a 4,2 vezes maior.

3.4.3 Análise dos sedimentos

A grande maioria dos sedimentos coletados no pós-praia foi classificada como sendo areia fina (Tabelas 3.3), com exceção de pontos como Fronteira Aberta e Concheiros que foram classificados como areia média e grossa, respectivamente. Essa classificação foi a mesma para a região da berma (Tabela 3.4), com exceção apenas dos Concheiros que apresentou areia média.

Tabela 3.3. Características granulométricas para a região do pós-praia dos locais onde foram realizados ensaios de permeabilidade, valores em phi.

Local	Média	Classificação	Desvio Padrão	Classificação
Chuí	2,49	Areia fina	0,26	Muito bem selecionado
Hermenegildo	2,52	Areia fina	0,25	Muito bem selecionado
Fronteira Aberta	1,42	Areia média	1,19	Pobrememente selecionado
Concheiros	0,83	Areia grossa	1,61	Pobrememente selecionado
Farol do Albardão	2,42	Areia fina	0,26	Muito bem selecionado
Farolete Verga	2,48	Areia fina	0,27	Muito bem selecionado
Taim	2,46	Areia fina	0,30	Muito bem selecionado
Farol Sarita	2,39	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado
Barçaça	2,47	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado
Navio Altair	2,38	Areia fina	0,35	Bem selecionado
Querência	2,75	Areia fina	0,31	Muito bem selecionado
Rua Bahia	2,90	Areia fina	0,26	Muito bem selecionado
Terminal	2,91	Areia fina	0,25	Muito bem selecionado
Mar Grosso	2,97	Areia fina	0,31	Muito bem selecionado
Farol do Estreito	2,18	Areia fina	0,30	Muito bem selecionado
Farol da Conceição	2,70	Areia fina	0,54	Moderadamente selecionado
Lagamar	2,54	Areia fina	0,26	Muito bem selecionado
Farol de Mostardas	2,20	Areia fina	0,26	Muito bem selecionado
São Simão	2,59	Areia fina	0,27	Muito bem selecionado
Farol da Solidão	2,41	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado
Cidreira	2,43	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado
Tramandaí Calçadão	2,14	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado
Tramandaí Dunas	2,43	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado
Imbé	2,23	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado
Xangrilá	2,50	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado
Capão da Canoa	2,36	Areia fina	0,37	Bem selecionado
Guarita Oeste	2,44	Areia fina	0,27	Muito bem selecionado
Guarita Leste	2,48	Areia fina	0,25	Muito bem selecionado
Praia da Cal	2,41	Areia fina	0,29	Muito bem selecionado
Praia da Cal	2,38	Areia fina	0,29	Muito bem selecionado
Praia Grande	2,50	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado

Tabela 3.4. Características granulométricas para a região da berma dos locais onde foram realizados ensaios de permeabilidade, valores em ϕ .

Local	Média	Classificação	Desvio Padrão	Classificação
Chuí	2,39	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado
Hermenegildo	2,32	Areia fina	0,31	Muito bem selecionado
Fronteira Aberta	2,01	Areia fina	0,88	Moderadamente selecionado
Concheiros	1,97	Areia média	0,47	Bem selecionado
Farol do Albardão	2,33	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado
Farolete Verga	2,40	Areia fina	0,31	Muito bem selecionado
Taim	2,45	Areia fina	0,30	Muito bem selecionado
Farol Sarita	2,44	Areia fina	0,29	Muito bem selecionado
Barçaça	2,38	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado
Navio Altair	2,44	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado
Querência	2,69	Areia fina	0,35	Bem selecionado
Rua Bahia	2,73	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado
Terminal	2,90	Areia fina	0,29	Muito bem selecionado
Mar Grosso	2,73	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado
Farol do Estreito	2,12	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado
Farol da Conceição	2,16	Areia fina	0,29	Muito bem selecionado
Lagamar	2,18	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado
Farol de Mostardas	2,21	Areia fina	0,29	Muito bem selecionado
São Simão	2,32	Areia fina	0,27	Muito bem selecionado
Farol da Solidão	2,16	Areia fina	0,30	Muito bem selecionado
Cidreira	2,24	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado
Tramandaí Calçadão	2,49	Areia fina	0,37	Bem selecionado
Tramandaí Dunas	2,26	Areia fina	0,35	Muito bem selecionado
Imbé	2,19	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado
Xangrilá	2,09	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado
Capão da Canoa	2,22	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado
Guarita Oeste	2,33	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado
Guarita Leste	2,41	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado
Prainha	2,49	Areia fina	0,27	Muito bem selecionado
Praia da Cal	2,23	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado
Praia Grande	2,40	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado

A média do tamanho do grão dos sedimentos do pós-praia para as praias classificadas como de areia fina apresentaram valores máximo de 2,97 Φ e mínimo de 2,18 Φ , respectivamente para as praias do Mar Grosso e Tramandaí Calçadão. Já para a região da berma esses valores ficaram entre 2,90 Φ e 2,01 Φ , praias do Terminal e Fronteira Aberta respectivamente.

A classificação em relação ao grau de seleção variou entre muito bem selecionada, bem selecionada, moderadamente selecionada e pobremente selecionado. O menor valor encontrado para o desvio padrão e conseqüente melhor selecionamento foi 0,25 Φ para as praias do Terminal e Guarita

Leste, na região do pós-praia, e $0,27 \Phi$ para as praias de São Simão e Prainha, região da berma. Já o maior valor encontrado foi de $1,61 \Phi$ para a praia do Concheiros, região do pós-praia, e $0,88 \Phi$ para o Fronteira Aberta, região da berma.

De uma forma geral, todas as amostras de sedimento coletadas apresentaram uma distribuição normal do tamanho dos sedimentos para as diferentes classes granulométricas encontradas, com exceção do pós-praia e berma dos perfis Fronteira Aberta, Concheiros e do pós-praia do Farol da Conceição (Figura 3.7).

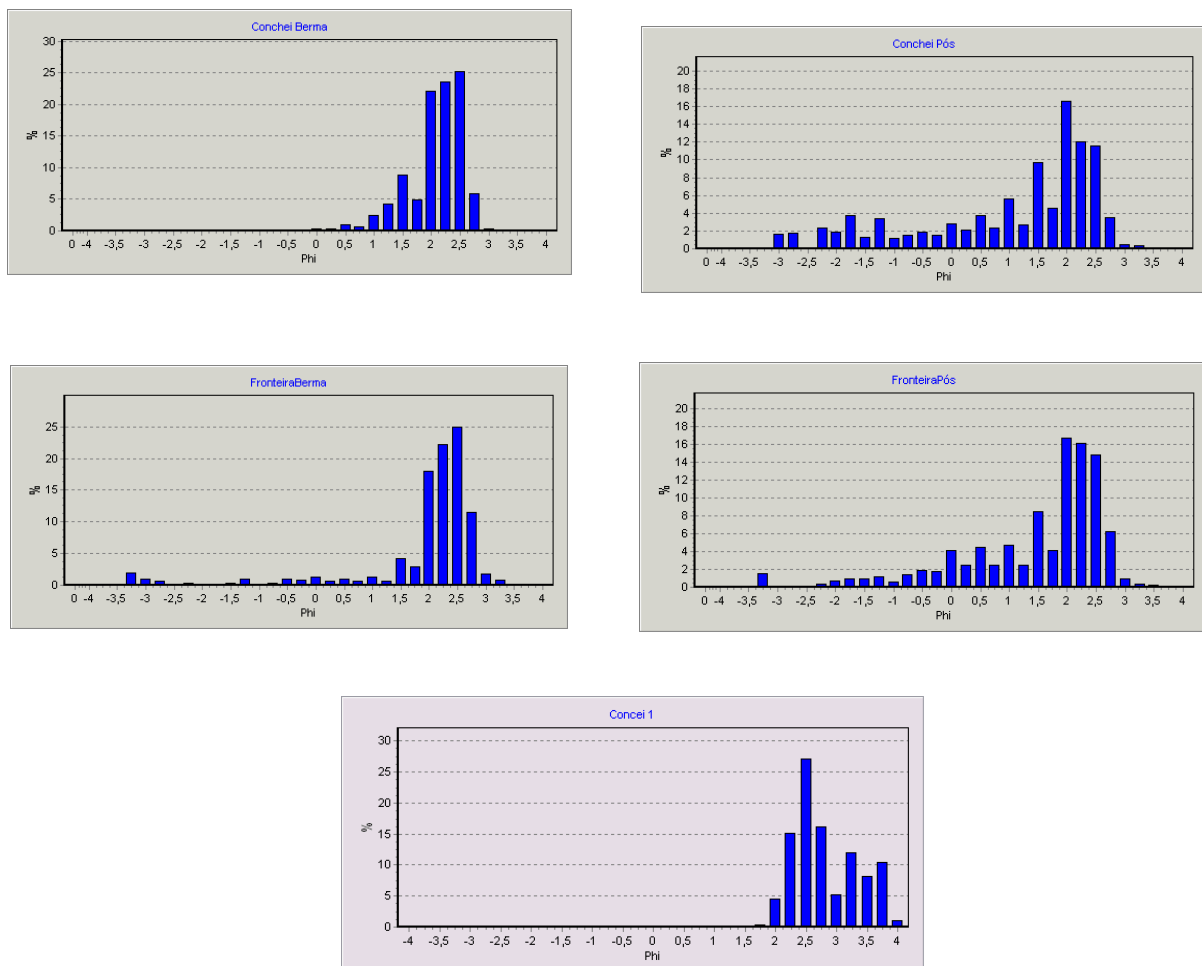


Figura 3.7. Histogramas mostrando a distribuição das diferentes classes para as praias dos Concheiros, Fronteira Aberta e Farol da Conceição.

Os dados sedimentológicos mostram que durante a tempestade a média do tamanho dos sedimentos foi maior do que a média daqueles coletados sob condições normais em apenas três dos sete pontos estudados (Tabela 3.5).

Tabela 3.5. Tamanho médio do sedimento (ϕ), desvio padrão (ϕ) e teor de umidade (%) para a região do pós-praia dos pontos onde foram realizados os ensaios de permeabilidade sob condições normais e de tempestade.

Local	Condições de Tempestade			Condições Normais		
	Tamanho médio	Desvio Padrão	Teor de Umidade	Tamanho médio	Desvio Padrão	Teor de Umidade
Mar Grosso	2,58	0,39	-	2,97	0,31	10,71
Farol do Estreito	2,11	0,30	17,98	2,18	0,30	6,32
Farol da Conceição	2,39	0,33	17,62	2,70	0,54	12,48
Lagamar	2,46	0,25	18,46	2,54	0,26	10,38
Farol de Mostardas	2,51	0,27	16,10	2,20	0,26	13,85
São Simão	2,58	0,26	18,86	2,59	0,27	14,33
Farol da Solidão	2,41	0,25	17,67	2,41	0,28	15,68

3.5 DISCUSSÃO

Os valores mais elevados de permeabilidade mostram que a mesma aumenta com o tamanho do grão, razão pela qual foram encontrados maiores valores de permeabilidade para berma e menores para o pós-praia (Hazen, 1892 *apud*: Krumbein e Monk, 1942). Já as diferenças na permeabilidade ao longo da praia podem apresentar diversas explicações, sobretudo na herança geológica do litoral.

Através da análise da figura 3.3 fica nítido a ocorrência de maiores valores de permeabilidade para as praias encontradas na região dos Concheiros (Concheiros e Fronteira aberta) e menores para as regiões em torno dos molhes da Barra do Rio Grande (Rua Bahia, Terminal e Mar Grosso).

A região dos Concheiros e as praias adjacentes a desembocadura da Lagoa dos Patos apresentam características sedimentológicas singulares em relação as demais praias do estado. Tais singularidades se refletem nas características morfodinâmica dessas praias. Nos Concheiros os sedimentos são caracteristicamente polimodais constituídos por uma mistura de fragmentos de concha e areia quartzosa de granulometria mais grossa provindos da ante-praia, resultando em praias de pendente

mais inclinada, com tendências reflectivas (Figueiredo Jr., 1975; Calliari e Klein, 1993; Klein, 1996; Araújo, 2002). As praias adjacentes a Lagoa dos Patos são compostas pelas areias mais finas de todo o litoral gaúcho, características estas herdadas da descarga lagunar na barra de Rio Grande, resultando em praias de pente suave (Calliari e Fachin, 1993; Siegle, 1996; Figueiredo, 2005).

Tanto ao sul quanto ao norte da Lagoa dos Patos ocorre uma transição de sedimentos mais finos para sedimentos mais grossos. Essa característica descrita por Siegle (1996) e Figueiredo (2005) é bastante evidente na figura 3.4, onde os pontos estudados nas proximidades do Navio Altair, ao sul da desembocadura, e nas proximidades do Farol do Estreito, ao norte da desembocadura, (Navio e Estreito na figura 3.4, respectivamente) apresentam maior permeabilidade que os pontos mais próximos a desembocadura da Lagoa dos Patos.

A marcada transição entre valores menores de permeabilidade na praia do Mar Grosso e valores maiores no Farol do Estreito é um reflexo não só da contribuição de sedimentos finos da Lagoa dos Patos para as praias adjacentes mais também um reflexo dos sedimentos relíquias encontrados nessa região (Siegle, 1996).

Apesar de ter sido encontrada uma maior permeabilidade no Farol do Estreito na região do pós-praia, esperava-se que esse ponto do litoral gaúcho também apresentasse uma acentuada permeabilidade para a região da berma. Tal expectativa deve-se ao fato de que, ao longo de anos de monitoramento feito pelo Laboratório de Oceanografia Geológica, invariavelmente observa-se nesse ponto uma granulometria mais elevada, caracterizada por distribuição bimodal dos sedimentos, reflexo da existência de sedimentos relíquias nessa porção da planície. A amostragem de campo reproduziu os valores de granulometria, mas não foi verificada bimodalidade dos sedimentos.

Um fato interessante de ser discutido é a presença de depósitos paludiais ou afloramentos de turfas. De acordo com Tomazelli *et al.* (1997) existem três setores da costa do Rio Grande do Sul onde os afloramentos de turfas são comumente encontrados e utilizados como indicativos de erosão, são eles de norte para o sul: (1) Jardim do Éden (litoral norte); (2) Farol da Conceição (litoral médio ou central); (3) Hermenegildo (litoral sul). Essas turfas são indicativas de ambientes de retrobarreiras (Tomazelli *et al.*, *op. cit.*).

Em pontos como o Farol da Conceição e proximidades de Cidreira, onde foram realizados ensaios, foi possível a visualização dessas turfas e sua influência sobre a permeabilidade. Em ambos pontos, a região do pós-praia apresentava-se mais saturadas do que nas demais regiões. Tal fato ocorre pela a presença da turfa abaixo do sedimento praial, causando impermeabilização do solo.

Nas proximidades do ponto de monitoramento do perfil praial de Cidreira foi realizado um ensaio de permeabilidade a fim de averiguar a influência da turfa. Os valor encontrados indicam uma menor permeabilidade na região do pós-praia onde o lençol aflora na superfície e maior na região da berma, que não apresenta influência da turfa (Figura 3.8).

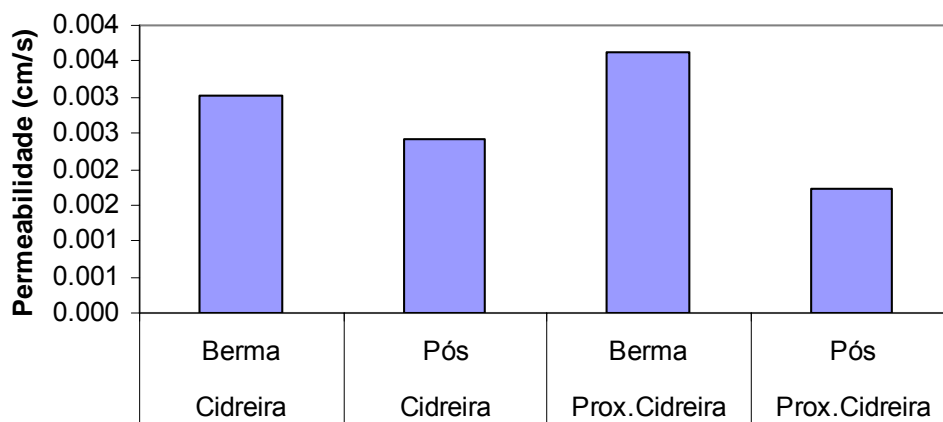


Figura 3.8. Permeabilidade para o pós-praia e berma em Cidreira, sem turfa, e proximidades com turfa.

Figueiredo (2002) observou que nas praias do litoral norte do estado, sobretudo nas proximidades de Cidreira, ocorre uma grande concentração sangradouros, reflexo da urbanização e das turfás encontradas sobre os sedimentos arenosos praias.

Em situação semelhante Bagnold, (1940) estudou a influência de camadas impermeáveis sobre o processo de infiltração. Mediante a utilização de modelos reduzidos, o referido autor demonstrou que a existência de uma camada impermeável sobre uma praia diminui o processo de infiltração durante o espriamento da onda sobre a face da praia. A situação descrita aumenta a força do refluxo, favorecendo o processo de erosão.

Na figura 3.4 o Farol da Conceição apresenta uma menor permeabilidade do que os demais pontos do litoral central, com um valor similar as praias do entorno da desembocadura da Lagoa dos Patos. Acredita-se que esse fato seja devido tanto da maior impermeabilização do solo quanto do maior desvio padrão dos sedimentos.

De acordo com Krumbein e Monk (1942) a permeabilidade em sedimentos arenosos é controlada basicamente pelo tamanho médio dos sedimentos e desvio padrão. No pós-praia do Farol da Conceição o sedimento foi classificado como moderadamente selecionado apresentando o terceiro maior desvio padrão do litoral gaúcho, sendo inferior apenas dos Concheiros e Fronteira Aberta (Tabela 3.5). Tal fato apenas ocorreu para a região do pós-praia já que para a berma o Farol da conceição apresentou baixo valor de desvio padrão (Tabela 3.4).

Em praias onde a herança geológica e a proximidade da área fonte não interferem na permeabilidade foi observado o controle mutuo da permeabilidade pelo grau de seleção e o tamanho médio do grão.

Estudos realizados por McLachlan (1979) indicam que o processo de filtração da água pela praia é controlado pelo grau de saturação da areia, que por sua vez, é relacionado com a distância acima do lençol freático. Sendo assim os maiores fluxos intersticiais ocorrem acima da praia, nas areias mais secas. O autor complementa dizendo que a quantidade de água filtrada é maior na superfície do que em camadas mais profundas.

As conclusões de McLachlan (*op. cit.*) reforçam os dados observados no presente estudo para as praias que apresentam depósitos turfaceos abaixo dos sedimentos praias, causando uma impermeabilização da praia e rápida saturação, bem como confirma a baixa permeabilidade encontrada durante a realização dos ensaios em condições de tempestade.

Comparando-se os dados da saída realizada em condições de tempestade com as condições chamadas normais, foi encontrada maior permeabilidade durante condições normais (Figura 3.6), acredita-se que tal fato esteja relacionado ao maior grau de saturação do sedimento causado pelo

espraçamento das ondas durante a tempestade. Esse aspecto é corroborado pelos dados de porcentagem de umidade do sedimento medida em cada amostra coletada (Tabela 3.6).

Partindo-se do princípio que o tamanho médio e desvio padrão de uma amostra apresentam uma relação direta com a permeabilidade (Krumbein e Monk, 1942) podendo também ser utilizados na diferenciação de ambientes, foi realizada uma análise de correlação entre os dados de permeabilidade e os dois parâmetros texturais anteriormente citados (Figura 3.9).

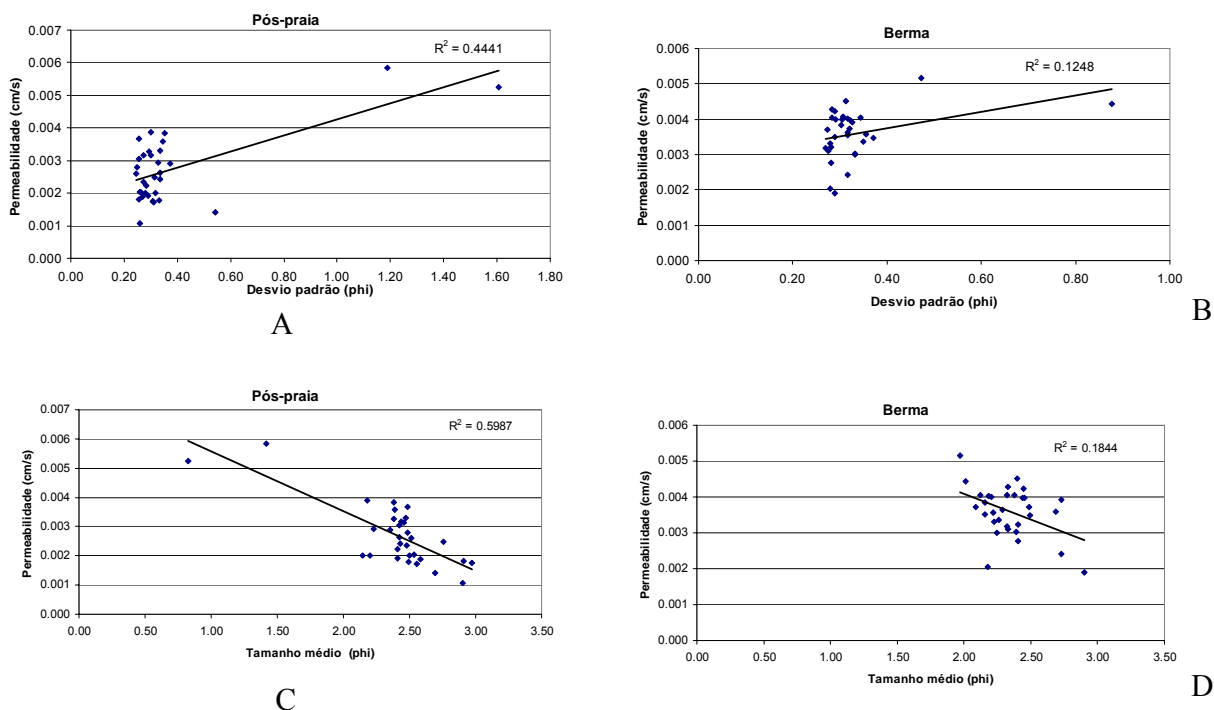


Figura 3.9. Desvio padrão versus permeabilidade para as regiões do pós-praia e berma (A e B, respectivamente). Tamanho médio versus permeabilidade para as regiões do pós-praia e berma (C e D, respectivamente).

A análise das linhas de tendência contidas na figura 3.9 (A, B, C e D) indica a correlação entre as variáveis analisadas em cada figura. Para um n amostral de 30 obteve-se um valor crítico para o coeficiente de correlação de Pearson igual 0,361 (Triola, 1998) para um intervalo de confiança de 5%. O valor de correlação (R) encontrado foi de 0,67 e 0,35 entre o desvio padrão e a permeabilidade, 0,77 e 0,42 entre o tamanho médio e a permeabilidade, valores respectivos ao pós-praia e berma. Em quase

todas as correlações realizadas foram encontrados valores maiores de r do que o crítico, apresentando assim correlações significativas, com exceção apenas da correlação encontrada entre a permeabilidade e o desvio padrão para a berma, onde não foi encontrada correlação significativa.

Esperava-se encontrar valores mais altos para os coeficientes de correlação encontrados, sobretudo para a berma, pela existência direta da relação demonstrada por Krumbein e Monk (1942), entre o grau de seleção e tamanho médio do sedimento com a permeabilidade. Acredita-se que a baixa correlação encontrada possa ser influenciada pela compactação dos sedimentos, natural ou antrópica, percentual de umidade, altura do lençol freático e perturbação biológica dos sedimentos praias.

Da mesma forma que se acredita que a relação entre o tamanho médio do grão e o baixo grau de seleção seja um dos motivos da menor permeabilidade encontrada no Farol da Conceição, acredita-se que a inversão do padrão geral (maior permeabilidade para a região da berma em relação ao pós-praia) em praias como o Chuí, Fronteira Aberta, Concheiros, Guaritas Sul e Norte seja resultante dessa relação.

Uma comparação dos dados atuais com dados pretéritos de Klein e Calliari (1997), mesmo tendo os ensaios sido realizados ao nível do lençol freático, corroboram o comportamento dos dados aqui apresentados.

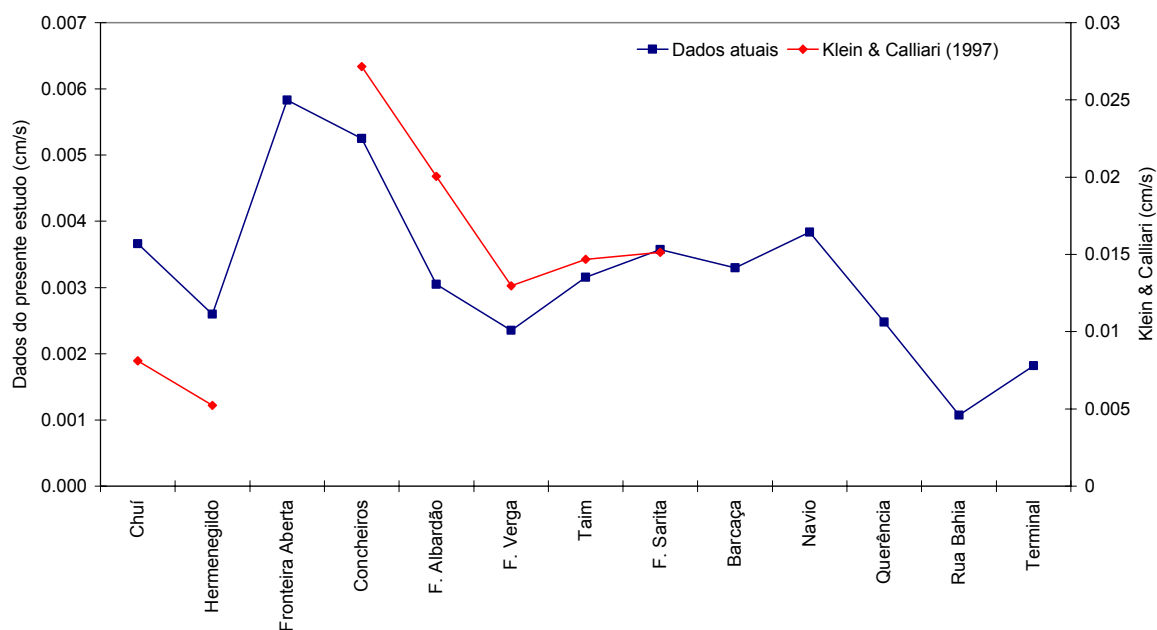


Figura 3.10. Comparação entre os dados encontrados por Klein e Calliari (1997) e os dados encontrados pelo presente estudo para a região do pós-praia.

De acordo com Klein e Calliari (1997), as variações do coeficiente de permeabilidade ao longo da área estão diretamente relacionadas à geologia regional. Os autores ressaltam ainda que as praias do Hermenegildo e Barra do Chuí apresentam os menores valores devido aos sedimentos mais finos e compactados na região do pós-praia, originários do retrabalhamento da Barreira III e de sedimentos lagunares de idade holocênica.

De uma forma geral, como já esperado, a permeabilidade do óleo foi menor e mais lenta do que a da água, sendo a baixa densidade e alta viscosidade fatores governantes desse processo. No entanto a diferença encontrada entre os coeficientes de permeabilidade pode ilustrar dois aspectos fundamentais para derrames de óleo: as características granulométricas dos sedimentos que constituem as praias e o estágio morfodinâmico.

Um fato interessante encontrado foi o comportamento do bulbo formado pelos fluidos de percolação quando da realização dos ensaios. Assim que ocorre a infiltração dos fluidos no sedimento a

percolação adquire um determinado formato que, acredita-se variar de acordo com a distribuição granulométrica, grau de compactação e seqüência das camadas encontradas. Fatores adicionais levantados por Cabral *et al.*(2000) como porosidade, forma, arranjo e distribuição das partículas e as características do fluido de escoamento, também influenciam este comportamento.

O formato predominantemente encontrado foi um formato marcadamente circular ou elipsóide para os ensaios realizados com água, figuras 3.11 A e B. Em ensaios com óleo foi observado um formato cônico com tendências retangulares em praias de granulometria fina e tendências circulares ou elípticas em praias de granulometria média a grossa, figuras 3.11 C e D, respectivamente.

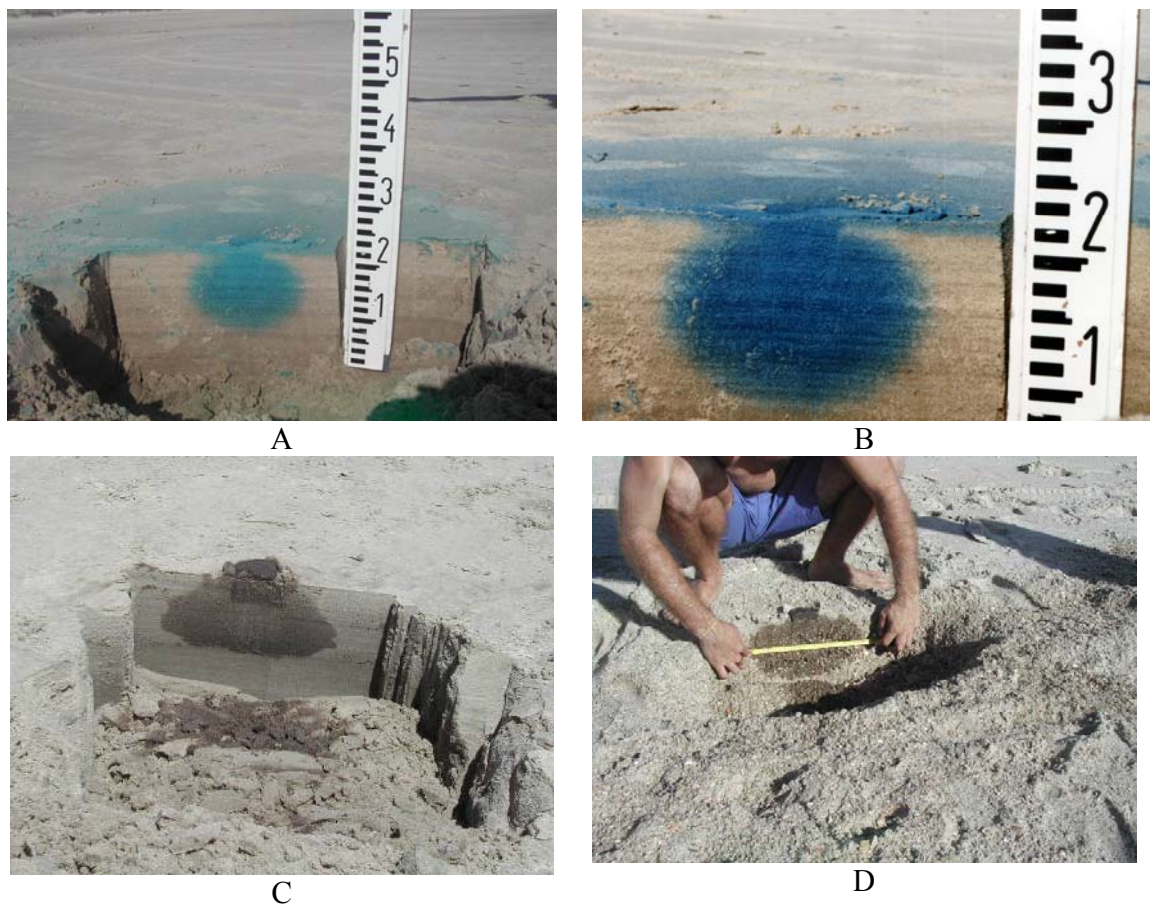


Figura 3.11. Bulbos observados nos ensaios de permeabilidade. A e B são utilizando água, C e D utilizando óleo.

A diferença encontrada nos formatos dos bulbos pode ser explicada através de duas alternativas:

- (i) A partir das variações nos coeficientes de permeabilidade horizontais e verticais: de acordo com Rocha *et al.* (2005) a permeabilidade pode variar no interior do pacote de sedimentos em função da sua heterogeneidade. Em situações de poros isotrópicos a permeabilidade é igual em todas as direções. No entanto, sedimentos em ambientes naturais são predominantemente anisotrópicos, significando que a permeabilidade horizontal é diferente da vertical (Rocha *et al.*, *op. cit.*);
- (ii) Água intersticial: de acordo com a porcentagem de água encontrada nos interstícios dos grãos o óleo, de menor densidade, tende a apresentar um maior espalhamento horizontal, funcionando a água como uma barreira.

Acredita-se que ambas alternativas sejam válidas para explicar os diferentes formatos dos bulbos encontrados. No caso das figuras 3.11 A e B os sedimentos encontrados são finos apresentando uma distribuição dos coeficientes verticais e horizontais de permeabilidade homogênea sem nenhuma estratificação aparente e grande quantidade de água intersticial. Já na figura 3.11 C, o formato cônico do bulbo quase retangular, deve-se tanto ao fato da água intersticial quanto ao fato de que o óleo talvez tenha apresentado uma maior permeabilidade horizontal que vertical. Na figura 3.11 D o formato mais elíptico deve-se ao fato do sedimento praiado ser distribuído em camadas intercaladas de areia e cascalho. Os formatos registrados nas Figuras 3.11 A e B foram encontrados em todas as praias onde se utilizou água como fluido de percolação. O formato caracterizado na Figura 3.11 C foi encontrado em todos os pontos com exceção dos Concheiros que apresentou o comportamento encontrado na Figura 3.11D.

Um outro aspecto interessante foi a baixa permeabilidade encontrada para a berma na praia do Navio Altair nos ensaios com óleo. Normalmente a região da berma apresenta maior permeabilidade do que a região do pós-praia, fato explicado pelo maior tamanho do grão conseqüente maior

permeabilidade. No entanto neste local, foi encontrado uma permeabilidade aproximadamente 3 vezes menor para a berma, em relação ao pós-praia. A explicação para tal discrepância é o fato da região da berma ser utilizada comumente como faixa de rolagem para carros, diminuindo o espaço de vazios entre os sedimentos, aumentando a compactação e conseqüente diminuindo a permeabilidade (Vieira *et. al.*, 2004).

Vieira *et. al.* (2004) estudando a permeabilidade versus a compactação dos sedimentos praias em um setor de praia do RS com intenso trafego de veículos ressaltam que o coeficiente de permeabilidade é inversamente proporcional ao grau de compactação experimentado pela areia, sendo esta ultima diretamente proporcional a resistência à penetração, o que parece corroborar a hipótese dos pesquisadores em relação a alteração do meio ambiente pelo fluxo de veículos motorizados.

Dos valores de coeficientes de permeabilidade encontrados para as diferentes praias estudadas, apenas o pós-praia da Rua Bahia apresentou a marcada influência do trafego de veículos na compactação dos sedimentos praias.

3.6 CONCLUSÕES

Para poder melhor prever a infiltração do óleo em praias é necessário antes de tudo saber quais variáveis ambientais dominam ou controlam os processos da infiltração de fluidos no ambiente praias. Desta forma se torna crucial o entendimento e o estudo da permeabilidade em praias arenosas como ferramenta para o manejo costeiro na forma de medidas mitigatorias mais eficazes.

Com base nos resultados aqui encontrados observa-se uma nítida diferenciação do padrão de permeabilidade de óleo leve utilizado e a morfodinâmica das praias. Em praias dissipativas como a Querência o substrato apresenta uma permeabilidade quatro vezes menor para o óleo comparativamente a água. Nas praias intermediárias com tendências reflectivas como os Concheiros do Albardão a

permeabilidade do substrato é alta e semelhante para ambos os fluídos. Cabe ressaltar que o óleo na Querência apresenta uma tendência a ter maior espalhamento horizontal do que nos Concheiros. Esse fato demonstra que o espalhamento do óleo é maior para praias dissipativas. Por outro lado a infiltração é maior em praias intermediárias a reflectivas. Sob o ponto de vista operacional durante a realização de planos de contingência e limpeza de praias esse tipo de informação pode ser de grande utilidade na redução de impactos causado por eventuais derrames, minimizando também esforços e aumentando o sucesso de medidas mitigatorias.

As praias que apresentaram maior permeabilidade como as da região dos concheiros, devem ser consideradas áreas de proteção prioritária, onde os esforços devem ser concentrados, impedindo que o óleo atinja essa região.

A permeabilidade encontrada no Farol da Conceição revela dois aspectos da questão do óleo em praias. O primeiro é o fato de a permeabilidade estar relacionada tanto ao tamanho médio dos sedimentos quanto ao seu desvio padrão. Sugere-se desta forma que o grau de classificação dos sedimentos seja considerado na elaboração seja levado em conta na confecção de índices de sensibilidade ou na execução de planos de contingência. A segunda seria a sugestão de um novo método de contingência relacionado a saturação do sedimento praial. Assim, a chegada e permanência de óleo na praia através do empilhamento pelas ondas, seria minimizado pela maior saturação, de maneira oposto ao processo de drenagem praial descrito por Chappell *et al.* (1979). No entanto outros fatores devem ser considerados uma vez que tal medida pode amplificar o processo de erosão permanente que ocorre em algumas praias.

No que diz respeito a vulnerabilidade das praias estudadas em relação a permeabilidade do óleo, a praia dos Concheiros apresenta-se como a mais vulnerável seguida em ordem decrescente pelas praias do Navio, Querência e Farol da Conceição. Tal fato é reflexo da granulometria, do

comportamento morfodinâmico e da herança geológica da planície costeira e dos sistemas praias nela incluídos.

Como sugestões para trabalhos futuros indicamos a realização de pesquisas que visem obter um melhor entendimento das variações naturais do lençol freático nas praias do Rio Grande do Sul e suas alterações espaço-temporais de acordo com os processos hidrodinâmicos. Tal sugestão baseia-se no fato de que diversos autores consideram o lençol freático como uma barreira a penetração do óleo.

Adicionalmente, necessita-se analisar o comportamento de percolação e permeabilidade de óleos com diferentes densidades, além da realização de experimentos que visem estudar a interação das diferentes fases (água, óleo e ar) envolvidas no processo de chegada do óleo na praia.

Os coeficientes de permeabilidade encontrados apresentam, de uma forma geral, uma estreita relação com os estágios morfodinâmicos. Em praias mais dissipativas, adjacentes a desembocadura da Lagoa dos Patos, foram registrados menores valores. Já as praias intermediárias com tendências reflectivas, no setor dos concheiros, registraram os maiores valores. As demais praias do estado, registraram valores intermediários.

A variação da permeabilidade ao longo das praias arenosas do Rio Grande do Sul mostrou-se um reflexo, além dos estágios morfodinâmicos, da herança geológica da planície costeira do estado. Essa herança diz respeito a ocorrência localizada de sedimentos mais grosseiros com baixo grau de seleção, dois fatores primordiais para a permeabilidade. Além dessa relação, a permeabilidade mostrou-se dependente da presença de depósitos paludiais, onde a ocorrência desses favorece uma rápida saturação do solo.

A menor permeabilidade encontrada no Farol da Conceição, devido ao alto grau de saturação e moderado grau de seleção sugere algum tipo de relação entre a permeabilidade e o caráter erosivo dessa

região. Sugere-se aqui a necessidade de um estudo que vise integrar os processos costeiros que resultam na acentuada erosão deste local com a permeabilidade de praias.

3.7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No contexto do estudo da permeabilidade em praias arenosas, sugere-se alguns itens a serem considerados no desenvolvimento desta linha de pesquisa:

- Analisar a variabilidade sazonal da permeabilidade e parâmetros sedimentológicos;
- Testar aplicabilidade de modelos conceituais de permeabilidade propostos por Krumbein e Monk (1942) e Bear (1972) para as praias do Rio Grande do Sul, sobretudo a aplicação destes em banco de dados granulométricos;
- Estudar as flutuações do lençol freático na permeabilidade de praias bem como sua relação direta com a profundidade de penetração do óleo em praias arenosas;
- Desenvolver estudos mais detalhados que visem encontrar algum tipo de relação entre o grau de compactação dos sedimentos praias e a permeabilidade;
- Desenvolver métodos de coleta e transporte de testemunhos do ambiente praial os quais retirem e transporte integralmente amostras da estratigrafia praial, bem como o arranjo natural dos grãos, sem que haja acomodação dos sedimentos, possibilitando a determinação da permeabilidade através de métodos mais precisos em laboratório;
- Analisar variações na permeabilidade do óleo em praias com outros tipos de óleo, variando o API.
- Estudar mecanismos de duas ou três fases (água e óleo; água, óleo e ar, respectivamente) envolvidos na permeabilidade e chegada do óleo em praias;

VULNERABILIDADE À DERRAME DE ÓLEO NA ORLA DO RIO GRANDE DO SUL E SUAS IMPLICAÇÕES NA ELABORAÇÃO DE PLANOS DE CONTINGÊNCIA.

INTRODUÇÃO

4.1.1 Poluição por petróleo

O petróleo é um combustível fóssil de grande significado para a economia mundial, representando também um problema devido à sua freqüente introdução ao ambiente marinho, não somente por atividades relacionadas ao transporte, mas também pela sua larga utilização no setor industrial (Bícego, 1988).

Assunto polêmico desde muitas épocas, a poluição marinha por óleo é tratada muitas vezes, de maneira emotiva, pelo fato de ter a imagem associada a grandes derrames catastróficos. As diversas atividades de exploração, transporte, estocagem e refino do óleo têm grande potencial poluidor, sendo suscetível a acidentes que acarretam sérios danos ambientais, sociais e econômicos, entre outros. Toda atividade envolvida com petróleo representa um risco ao meio ambiente que dificilmente é nulo, de modo que, uma das maneiras de mitigar possíveis danos ambientais é o conhecimento prévio do ambiente onde se inserem as atividades (Demore, 2001).

Um derrame típico de óleo cru na água irá seguir certos padrões naturais de processos que envolvem o seu intemperismo, como o espalhamento, deriva, dissolução, dispersão, emulsificação, sedimentação, biodegradação e foto-oxidação (Figura 4.1).

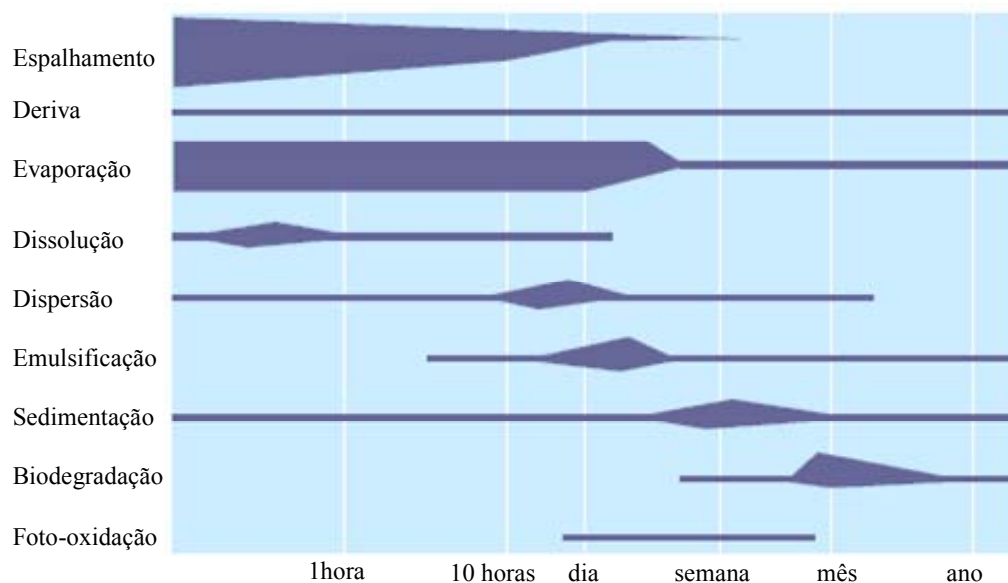


Figura 4.1. Processos de intemperismo do óleo no mar para um típico óleo cru. O comprimento das linhas representa o período de duração de cada processo, a largura denota a fase mais crítica de cada etapa. Fonte: IPIECA (2000).

A velocidade e intensidade que estes processos ocorrerão mutuamente com o grau de persistência do óleo no ambiente dependem das características (composição química e propriedades físicas) e volume do óleo, combinado com as condições ambientais (fatores bióticos e abióticos) (Bícego, 1988; Clark, 1992; IPIECA, 2000).

Os impactos causados à zona costeira como consequência da contaminação por óleo comprometem não só a integridade da paisagem natural, como também as atividades econômicas, os investimentos realizados pela sociedade e o sustento de comunidades locais. A ruptura de processos ecológicos, a degradação de habitats e a grande mortalidade de organismos se somam aos prejuízos financeiros advindos da suspensão repentina de atividades econômicas. A persistência do óleo em praias arenosas e em sistemas internos abrigados das ondas, como estuários e canais, contribui para o agravamento do cenário da poluição (Carmona *et al.*, 2003).

4.1.2 Índices de sensibilidade

Para uma adequada compreensão dos índices de sensibilidade é necessário o esclarecimento de termos como vulnerabilidade, sensibilidade e susceptibilidade (CETESB, 2003):

- *Susceptibilidade*: probabilidade de uma área ser atingida por um derramamento, em função da influência de ventos e das correntes;
- *Sensibilidade*: possibilidade dos organismos sofrerem danos em função dos derramamentos de petróleo. É altamente dependente do tipo de poluente e persistência no meio;
- *Vulnerabilidade*: interação das variáveis físicas, biológicas e sócio-econômicas, as quais envolvem a susceptibilidade do ambiente, a sensibilidade dos organismos ao óleo e os fatores relacionados à capacidade de recuperação do meio.

O tipo de costa, grau de exposição frente às ondas e correntes, associados à sensibilidade, tem sido usado como principais critérios para seleção de técnicas adequadas de tratamento de áreas contaminadas (Gundlach e Hayes, 1978; NOAA, 1992). A previsão do comportamento e persistência do óleo em ambientes entre marés, é baseada na compreensão do ambiente costeiro como um todo, não somente no tipo do substrato e tamanho do grão (Gundlach e Hayes, 1978). A vulnerabilidade de um habitat intermaré depende de vários fatores, entre eles, o tipo de costa, grau de exposição ao regime hidrodinâmico (ondas e marés), produção e sensibilidade biológica, e da facilidade de limpeza.

Todos esses fatores são usados para determinar a sensibilidade relativa dos ambientes costeiros. O conhecimento da relação entre os processos físicos, substrato, tipo de costa, tipo de produção, transporte de sedimento e taxa de produção, é essencial na hierarquização da sensibilidade, onde a intensidade de energia incidente na costa, pela ação de ondas, marés e descargas de rios, afetam diretamente a persistência do óleo retido.

Esses conceitos são usados no desenvolvimento de índices ambientais os quais, hierarquizam os ambientes costeiros em relação à sensibilidade relativa a derrames de óleos, potencial de prejuízo ecológico e a facilidade de limpeza (Gundlach e Hayes, *op. cit*), hierarquizados em uma escala de 1 a 10, em ordem crescente de sensibilidade (Tabela 4.1). No entanto, fazendo uma reavaliação dos índices criados na década de 70, Owens e Robilliard (1981) discutem o amplo uso e consideração de características biológicas na sensibilidade das costas. Segundo estes autores, a classificação de zonas costeiras baseada em feições geológicas e processos costeiros são suficientes na determinação da sensibilidade das zonas costeiras.











Tabela 4.1. Índice de sensibilidade de acordo com Gundlach e Hayes (1978).

Índice de Sensibilidade		Comentários
1	Costões rochosos expostos, estruturas artificiais impermeáveis.	A reflexão de ondas mantém a maioria do óleo mar adentro. Não é necessário limpeza.
2	Plataformas erodidas pela ação das ondas	A maioria do óleo é removido por processos naturais em algumas semanas.
3	Praias de areia fina	O óleo não penetra no sedimento, facilitando a remoção mecânica se necessária. No entanto, o óleo persiste por meses.
4	Praias de areia grossa	O óleo pode penetrar no sedimento rapidamente, tornando difícil a limpeza. Sob condições de alta energia o óleo será removido da face da praia naturalmente em alguns meses.
5	Áreas intermarés planas expostas	A maioria do óleo não adere nem penetra na planície compacta de maré. A limpeza é usualmente desnecessária.
6	Praias de areia mista e cascalho	O óleo pode penetrar e ser soterrado rapidamente. Sob condições de moderada a baixas condições de energia. O óleo pode persistir por anos.
7	Praias de cascalho	O mesmo descrito acima. A limpeza deve ser concentrada em áreas de espriamento durante a maré alta. Um sólido pavimento de asfalto pode ser formado durante grandes acumulações de óleo.
8	Costões rochosos abrigados	Áreas de reduzida ação de ondas. O óleo pode persistir durante anos. A limpeza não é recomendada a menos que a concentração de óleo seja muito alta.
9	Áreas intermarés planas abrigadas	Áreas de grande atividade biológica e baixa energia de ondas. Óleo persiste por anos. A limpeza não é recomendada a menos que a concentração de óleo seja muito alta. Essas áreas devem receber proteção prioritária usando-se barreiras de contenção.
10	Marismas, manguezais.	O mais produtivo dentre os ambientes aquáticos. O óleo persiste por anos. A limpeza das marismas deve ser feita pela queima sob condições de grande derrame. Os manguezais não devem ser alterados. Essas áreas devem receber primeira proteção usando-se barreiras de contenção

Posteriormente, o Brasil adotou o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), adaptado de Araújo *et al.* (2000) com base na metodologia da NOAA (1997), utilizada para mapeamento de sensibilidade ambiental em relação a derrames de óleo em várias outras partes do mundo. Para tanto, verificou-se a necessidade de adaptação dos índices de sensibilidade do litoral aos habitats e feições costeiras brasileiras (MMA, 2002).

As cartas de sensibilidade utilizadas no Brasil, cujas especificações estão contidas na publicação: *Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo (Cartas SAO)* do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002), classificam a linha de costa utilizando o índice de sensibilidade do litoral (ISL). Este índice hierarquiza os diversos tipos de contorno da costa em uma escala de 1 a 10, cada qual representado por uma cor, sendo o índice tanto maior quanto maior o grau de sensibilidade (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) de acordo com as Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo (Cartas SAO) do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002).

COR	ÍNDICE	TIPOS DE COSTA
	ISL 1	<ul style="list-style-type: none"> • Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos • Falésias em rochas sedimentares, expostas • Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas
	ISL 2	<ul style="list-style-type: none"> • Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos • Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.)
	ISL 3	<ul style="list-style-type: none"> • Praias dissipativas de areia média a fina, expostas • Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo "long beach") • Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos • Campos de dunas expostas
	ISL 4	<ul style="list-style-type: none"> • Praias de areia grossa • Praias intermediárias de areia fina a média, expostas • Praias de areia fina a média, abrigadas
	ISL 5	<ul style="list-style-type: none"> • Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais • Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação • Recifes areníticos em franja
	ISL 6	<ul style="list-style-type: none"> • Praias de cascalho (seixos e calhaus) • Costa de detritos calcários • Depósito de tálus • Enrocamentos ("rip-rap", guia corrente, quebra-mar) expostos • Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
	ISL 7	<ul style="list-style-type: none"> • Planície de maré arenosa exposta • Terraço de baixa-mar
	ISL 8	<ul style="list-style-type: none"> • Escarpa / encosta de rocha lisa, abrigada • Escarpa / encosta de rocha não lisa, abrigada • Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados • Enrocamentos ("rip-rap" e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados
	ISL 9	<ul style="list-style-type: none"> • Planície de maré arenosa / lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas • Terraço de baixa-mar lamoso abrigado • Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
	ISL 10	<ul style="list-style-type: none"> • Deltas e barras de rio vegetadas • Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas • Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; apicum • Marismas • Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)

4.1.3 Planos de contingência

De acordo com a Lei 9.966/2000 (Lei do Petróleo), plano de contingência é o conjunto de procedimentos e ações que visam à integração dos diversos planos de emergência setoriais, bem como a definição dos recursos humanos, materiais e equipamentos complementares para a prevenção, controle e combate da poluição das águas.

Instrumentos responsáveis pela definição da estrutura organizacional e dos procedimentos para preparação e resposta a acidentes, os planos de contingência representam o estado de preparação dos atores envolvidos para uma ocorrência acidental (ITOPF, 1985; CETESB, 2003). Desta forma, a elaboração de planos de contingência deve ser cuidadosa e detalhista para que seja possível obter sucesso através de sua utilização, em meio a cenários complexos desenvolvidos durante a ocorrência de vazamentos.

Os planos de contingência apresentam diferentes níveis de abrangência de acordo com as dimensões dos derrames, podendo ser dividido em três níveis (Lei 9.966; CETESB, 2003):

- Plano de contingência local: desenvolvido por empresas que desenvolvem atividades com óleo, direta ou indiretamente. Apresenta semelhança a planos emergenciais, recomendados nos Estudos de Análise de Risco, com certas peculiaridades, sobretudo nos aspectos ambientais. Esta categoria pode contemplar planos de auxílios mútuos, desenvolvidos por um grupo de empresas estabelecidas em uma mesma área geográfica;
- Plano regional de contingência: abrange uma área de um estado (ou grupo de estados), território ou região do território nacional. Pode ser considerado como subdivisão hierárquica do Plano Nacional. A responsabilidade da viabilização do plano regional é do estado ou do território;

- Plano nacional de contingência: é a diretriz geral para o atendimento em caso de acidentes e vazamentos, estabelecendo o aspecto organizacional e regras, além da estrutura de preparação e resposta. Em casos de grandes acidentes, onde os recursos nacionais não sejam suficientes para atender a ocorrência, pode-se requerer auxílio internacional. A responsabilidade pela construção e implantação do plano nacional de contingência é de agências do governo federal, podendo ter a participação e responsabilidade nos âmbitos federal, estadual, municipal, bem como da iniciativa privada e sociedade civil.

Além dos níveis de abrangência apresentado nas esferas locais, regionais e nacional, devem ainda apresentar planos individuais de contingência de navios, portos, terminais, plataformas de produção e demais instalações que realizam operações com óleo (Lei 9.966).

O conteúdo básico dos planos de contingência contempla temas, tais como, aspectos relacionados à abrangência e dimensões de acidentes, análise de risco e cenários, mapeamento de áreas vulneráveis, áreas de importância sócio-econômica, áreas prioritárias para proteção, determinação de técnicas de contenção e remoção, bem como estratégias de limpeza.

De acordo com o ITOPF (1985) a eficiência de planos de contingência pode ser avaliada através do questionamento e averiguação da existência de itens como:

- Abordagem realística da natureza e tamanho das possíveis ameaças e dos recursos em risco;
- Prioridades de proteção definidas;
- Estratégias de proteção e limpeza definidas;
- Claro estabelecimento da responsabilidade de todas as partes envolvidas;
- Quantificação de equipamentos, materiais e recursos humanos;
- Locais para disposição temporária e final de resíduos;

- Procedimentos garantidos entre as frentes de solo, mar e ar;
- Detectar falta ou deficiência de qualquer aspecto relevante ao plano de contingência;
- Compatibilidade entre o plano de contingência para óleo com os planos existentes em áreas adjacentes bem como com planos de contingência de outras atividades.

As praias representam o destino final do petróleo e de seus derivados quando da ocorrência de derrames próximos as zonas costeiras, uma vez que ventos, correntes e ondas empurram o petróleo em direção à costa. Quando o petróleo derramado atinge às praias, este deposita-se prontamente na zona de estirâncio, onde, via de regra, ocorre os maiores impactos ambientais. O conhecimento das características do petróleo, dos sedimentos e da dinâmica ambiental, pode ajudar a prever o comportamento do óleo e sua persistência no substrato.

Diferentes tipos de óleo depositados na praia durante períodos de baixa energia de ondas, podem causar diferentes taxas de percolação nos sedimentos praias, causando problemas quanto à limpeza dos mesmos, além de não corresponder a escalonamentos e classificações de vulnerabilidade pré-existentes para a região (Tsouk *et al.*, 1985).

As praias, de uma maneira geral, estão sujeitas a inúmeros agentes físicos, e estes por sua vez ocasionam mudanças nas suas características em escalas de tempo que variam de segundos a anos. O conhecimento destas mudanças permite uma melhor predição do comportamento de derrames de óleo e a persistência de sedimentos contaminados (NOAA, 1992).

Sobre a perspectiva do comportamento de óleo em praias, três são os fatores básicos: a profundidade de penetração nos sedimentos praias; o potencial de soterramento da camada de óleo por sedimentos limpos; a habilidade dos sedimentos suportarem equipamentos.

Cada um desses fatores é reflexo de inúmeros de características das praias. O primeiro fator se dá em função de parâmetros sedimentológicos que influenciam a penetração e permeabilidade (Krumbein e Monk, 1942; Vandermeule, 1988; NOAA, 1992; Michel, *et al.*, 1993; CETESB, 2003) bem como a profundidade na qual se encontra o lençol freático (Strain, 1986; Oliveira e Vinzon, 2003).

O segundo fator é um reflexo da dinâmica e sua relação com a forma da praia, resultando em diferentes taxas de deposição e erosão de sedimentos, variação do volume do perfil, mostrando o ciclo do perfil praial entre perfis erosionais e acrescionais (Shepard, 1950; Bascon, 1954). O terceiro reflete o grau de compactação e suporte de equipamentos pesados, mostrando a importância no manejo de sedimentos contaminados por máquinas.

Praias arenosas compostas de areia fina de baixa declividade apresentam baixa capacidade de penetração do óleo (Gundlach *et al.*, 1978; CETESB, 2003), além de lentas mudanças na forma do perfil em função da dinâmica (NOAA, 1992). De acordo com Gundlach *et al.* (1978), estudando o caso do acidente com o Navio *Urquiola*, na costa da Espanha, observaram uma penetração máxima de 10 cm em praias compostas por areia fina, além de um soterramento máximo de menos de 20 cm em um período de três semanas.

Medidas da penetração do óleo e do seu soterramento realizada em 19 praias por Gundlach *et al.* (*op. cit*) mostraram uma boa correlação entre a penetração do óleo e o seu soterramento com o tamanho do grão.

Praias arenosas compostas de areia grossa de alta declividade apresentam alta capacidade de penetração (Gundlach *et al.*, *op. cit*; CETESB, 2003), além de rápidas mudanças na forma do perfil em função da dinâmica (NOAA, 1992). Os resultados mostrados por Gundlach *et al.* (*op. cit*) indicam que sedimentos mais porosos permitem a penetração do óleo em profundidades superiores a 25 cm em praias compostas por areia grossa. Estudos realizados por Gundlach e Hayes (1978) após o derrame de

óleo do Navio *Amoco Cadiz* (Inglaterra e França) mostraram que o óleo foi soterrado por uma camada de areia limpa de 82 cm, em nove meses de monitoramento.

As profundidades de penetração mostradas pelos estudos de Gundlach *et al.* (1978) representam de forma geral a percolação do óleo no ambiente praias. De acordo Davies e Topping (1995), a penetração do petróleo em praias arenosas depende diretamente das características granulométricas, características do óleo (como viscosidade) e do grau e tipo de perturbação biológica.

De acordo com Oliveira e Vinzon (2003) a máxima profundidade de percolação do óleo em praias é função da posição do lençol freático, sendo este um fator preponderante em processos advectivos em meios porosos.

Gundlach *et al.* (1981) comparando a ocorrência de óleo em praias compostas por areia fina com praias compostas por areia grossa e fragmentos de conchas, mostraram uma maior disposição vertical do óleo em praias de areia grossa. Já em praias de areia fina, ocorre o predomínio da disposição do óleo de uma forma mais superficial resultando em um maior espalhamento.

Uma outra forma de soterramento do óleo em praias, além dos ciclos de acreção e erosão do perfil, ocorre através da migração de feições rítmicas trazendo sedimentos limpos sobre os contaminados por óleo, processo este observado por Hayes e Gundlach (1975), durante os derrames dos navios *Metula* e *Exxon Valdez*.

4.2 OBJETIVO

4.2.1 Geral

Elaborar um mapa de vulnerabilidade a eventuais derrames de óleo na orla do Rio Grande do Sul através de uma avaliação multicritério que considere de forma integrada fatores como a morfodinâmica praias, variabilidade do sistema de dunas frontais, densidade de sangradouros e presença de áreas urbanas.

4.2.2 Específicos

- Elaborar um banco de dados digital em um sistema de Informações Geográficas, com informações pertinentes sobre a costa do Rio Grande do Sul, que possam ser úteis para elaboração de planos de contingência;

- Determinar a variação da vulnerabilidade, áreas prioritárias de proteção e áreas de sacrifício;

- Averiguar a aplicabilidade de ferramentas de geoprocessamento, sobretudo estatística de mapas, na elaboração de mapas de vulnerabilidade em relação a eventuais derrames de óleo.

4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração dos mapas de vulnerabilidade à derrames de óleo na costa do Rio Grande do Sul seguiu uma série de etapas que são descritas a seguir:

4.3.1 Revisão bibliográfica e elaboração do banco de dados.

A exemplo do executado no segundo capítulo uma revisão bibliográfica foi realizada com a finalidade de resgatar as informações referentes a diversos aspectos geomorfológicos, sedimentológicos e morfodinâmicos, este último, tema central do segundo capítulo. Essa revisão deteve-se em monografias, teses e relatórios técnico-científicos.

Posterior a revisão, os dados foram tabulados em planilhas do banco de dados do Sistema de Informações Geográficas ArcView[®] GIS 3.2. Com base nessas informações, vários mapas temáticos foram gerados a partir de uma base definida por uma imagem Landsat ETM-7, pela digitalização de pontos, linhas ou polígonos, conforme cada caso. Os mapas temáticos que definem os parâmetros de vulnerabilidade são:

a) Índice de Sensibilidade segundo MMA

Esse mapa foi criado para efeito de comparação com o mapa de vulnerabilidade a ser gerado. Para a elaboração do mesmo foram utilizados dados sedimentológicos provenientes de revisões

bibliográficas e amostras de sedimentos praias coletadas ao longo da costa, em intervalos que variaram entre cinco e dez quilômetros. Foram realizadas 53 amostras na berma e no pós-praia. As coletas de sedimentos foram realizadas em novembro de 2001 e janeiro de 2005.

A primeira saída de campo compreendeu todo o litoral Central e parte do litoral Norte. A segunda compreendeu o trecho do litoral Norte não amostrado na saída de novembro.

Em laboratório as amostras foram lavadas para remoção do sal e pesadas, após terem sido secas em estufa. A análise granulométrica foi realizada através da peneiragem mecânica utilizando peneiras com $\frac{1}{4}$ de phi (Φ) de intervalo, utilizando a escala de Wentworth (1922).

O processamento dos dados foi realizado através do software SysGran[®] (1999), onde a interpretação granulométrica usada é aquela sugerida por Folk e Ward (1957), que considera a classificação, selecionamento, achatamento e tendência, com base nas curvas de frequência simples e acumulada. Parâmetros como média, grau de seleção (desvio padrão), assimetria e curtose são calculados através do referido software. Com os dados obtidos, foi realizada uma classificação da costa que permitiu classificá-la em relação ao Índice de Sensibilidade do Litoral, utilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2000).

b) Densidade de Sangradouros

A metodologia utilizada para determinar a densidade de ocorrência de sangradouros foi a contagem individual e o posterior agrupamento por trechos de dez quilômetros, seguindo a metodologia já utilizada por Pereira da Silva (1998) e Figueiredo (2002).

Foram utilizados dados já existentes (Pereira da Silva, 1998) e dados novos coletados na porção central e norte da Planície costeira, referentes a saída de campo realizada em julho de 2005.

No software ArcView foi criado um plano de informação referente a distribuição dos sangradouros ao longo da costa. Para tal, digitalizou-se a linha de costa em trechos de dez quilômetros, posteriormente foi adicionado o número de sangradouros referentes a cada trecho de 10 quilômetros digitalizado.

c) Proximidade de Áreas Urbanas

A determinação dos setores urbanizados ao longo da orla do Rio Grande do Sul teve como base um mosaico de aerofotos digitais, georreferenciadas, disponíveis no Laboratório de Oceanografia Geológica e no *CD-ROM Erosão Costeira: Causa, análise de risco e sua relação com depósitos minerais*, editado por Martins *et al.* (2001).

A partir das imagens, foram digitalizados os setores urbanizados da costa utilizando o software ArcView.

Em setores onde não existem aerofotos georreferenciadas disponíveis, o mapeamento ocorreu através da aquisição dos pontos das coordenadas geográficas representativas do início e fim das áreas urbanizadas a partir de um GPS *etrex* da marca GARMIN[®], com quatro metros de precisão, em saída de campo realizada em julho de 2005.

d) Setores Morfodinâmicos

Segundo metodologia detalhada no capítulo 2, a costa do Rio Grande do Sul foi classificada segundo 8 setores morfodinâmicos, os quais representam o produto final da combinação de uma análise de agrupamento com dados sedimentológicos, gerando o mapa de setores morfodinâmicos da costa do RS.

Novamente através do ArcView, os setores foram digitalizados, tendo o início e fim de cada setor baseado em dados granulométricos pontuais disponíveis no banco de dados elaborado.

e) Variabilidade do campo de dunas frontais

Esse fator de vulnerabilidade representa dados referentes a situação do atual sistema de dunas frontais do estado do RS. Com base em saídas de campos e na orientação da linha de costa, Calliari *et al* (no prelo) identificaram e classificaram a atual configuração do sistema de dunas, delimitando o início e fim das feições geomorfológicas encontradas. Novamente através do software ArcView, cada feição registrada em campo foi digitalizada com base no seu início e fim.

4.3.2 Padronização dos fatores

Para a confecção do mapa de vulnerabilidade ambiental da área de estudo foram aplicadas rotinas de apoio à decisão do Sistema de Informações Geográficas IDRISI Kilimanjaro[®].

Uma regra de decisão é um procedimento para combinar os critérios que serão utilizados para definir o grau de vulnerabilidade ambiental de cada pixel da área de estudo. Com o auxílio de métodos estatísticos é possível atribuir peso aos fatores envolvidos em uma análise ambiental de modo a ponderar a participação de cada variável na análise desejada (Hasenack, in Tagliani, 2002).

A avaliação por critérios múltiplos é um método muito utilizado para avaliar e agregar inúmeros critérios. O método de agregação de critério múltiplos utilizado foi o de combinação linear ponderada, onde cada um dos fatores foi padronizado para uma escala contínua de aptidão (no caso, de vulnerabilidade). A necessidade de padronização surge quando da agregação de inúmeras variáveis com diferentes unidades. Com esta técnica utiliza-se o conceito relativo, ou *fuzzy* para definir a vulnerabilidade e o limite entre o mais vulnerável e o menos vulnerável para os fatores em consideração.

A combinação linear ponderada permite não apenas reter toda a variabilidade dos dados contínuos mas também a possibilidade dos fatores serem compensados uns com os outros. Um escore de vulnerabilidade baixo em um fator, para uma área qualquer, pode ser compensado por um de

vulnerabilidade alta em outro fator. A forma como ocorre a compensação de um fator com outro será determinada por um conjunto de pesos dos fatores que indicam a importância relativa de cada fator.

4.3.3 Ponderação de fatores

A próxima etapa é utilizar um método de agregação que considere todos os fatores padronizados ao mesmo tempo para atingir o resultado final – o mapa de vulnerabilidade ambiental da área de estudo.

Inicialmente, empregou-se a técnica de comparação pareada (rotina *Weight*), onde cada fator é comparado aos demais por meio de uma matriz (x), levando-se em conta a importância relativa para a vulnerabilidade ambiental. Cada elemento da matriz indica quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante que o fator correspondente na linha superior. Foi utilizada a escala de comparadores de Saaty (1977) que estabelece as seguintes relações qualitativas (Tabela 4.3).

Tabela 4.3. Escala de comparadores de Saaty indicando o peso atribuído a cada variável na comparação pareada.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Extrema- mente	Muito fortemente	Fortemente	Modera- damente	Igualmente	Modera- damente	Fortemente	Muito fortemente	Extrema- mente	
← Menos importante									Mais importante →

A comparação entre os pares assume valor igual a um quando as duas variáveis em comparação apresentam o mesmo nível de importância, valores menores a um quando uma determinada variável é menos importante em relação a outra e valores maiores que um quando uma variável é mais relevante que o seu par (Tabela 4.4).

Tabela 4.4. Exemplo de matriz de comparação pareada entre as variáveis.

Fatores	Setores Morfodinâmicos	Dunas	Sangradouros	Áreas Urbanizadas
Setores Morfodinâmicos	1			
Dunas	1/3	1		
Sangradouros	1/5	1/3	1	
Áreas Urbanizadas	3	5	7	1

O cálculo dos pesos de compensação resultantes da matriz acima indica a importância de qualquer fator em relação aos demais (Tabela 4.5).

Tabela 4.5. Exemplo de pesos calculados para cada fator inserido na comparação pareada.

Fatores	Pesos
Setores Morfodinâmicos	0.26622
Dunas	0.1175
Sangradouros	0.0553
Áreas Urbanizadas	0.5650
Setores Morfodinâmicos	0.26622

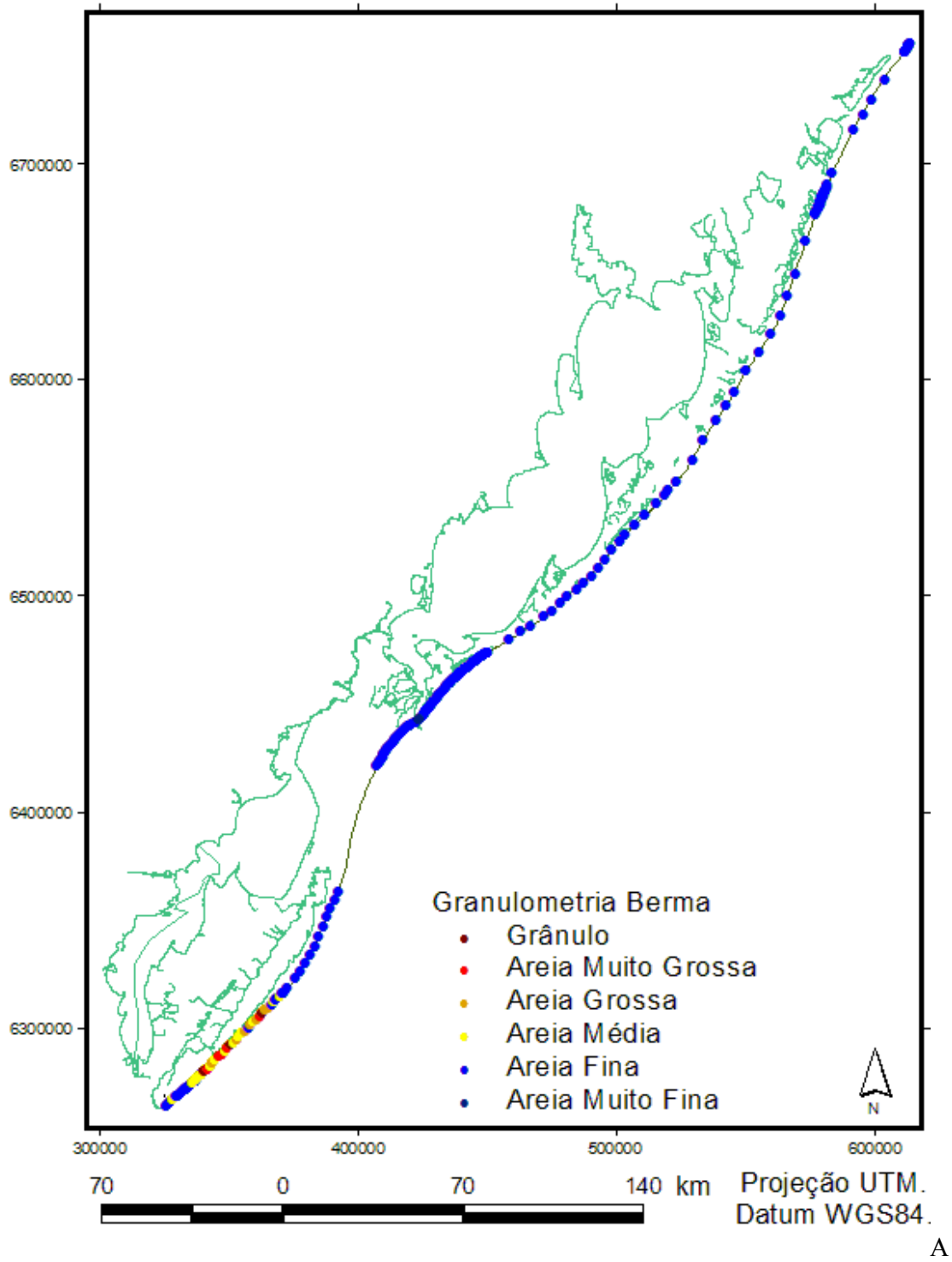
Apesar do critério de atribuição de pesos ser um processo subjetivo, leva em conta a experiência e conhecimento do pesquisador. Ademais, como é um processo automatizado, é muito simples e rápido alterar os pesos considerando a opinião de um grupo de especialistas, o que diminui a subjetividade e auxilia a tomada de decisão.

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Índice de sensibilidade segundo MMA

Com base na revisão bibliográfica e em dados de saídas de campos, que se encontravam disponíveis para análise no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG), um total de 228 amostras sedimentológicas foram reunidas para a região do pós-praia e 240 para a região da berma (Figura 4.2 A e B, respectivamente). As amostras representam os dados coletados e discutidos por Araújo (2002) e Figueiredo (2005), sendo as coletas realizadas por Araújo em fevereiro e novembro de 2001, e as

coletas realizadas por Figueiredo durante o verão de 2002/2003, além de amostras coletadas em outubro de 2001 e janeiro de 2005 que se encontravam disponíveis no LOG e foram utilizadas com a finalidade de abranger uma maior área.



A

Figura 4.2. A. Distribuição das amostras sedimentológicas para a região da berma.

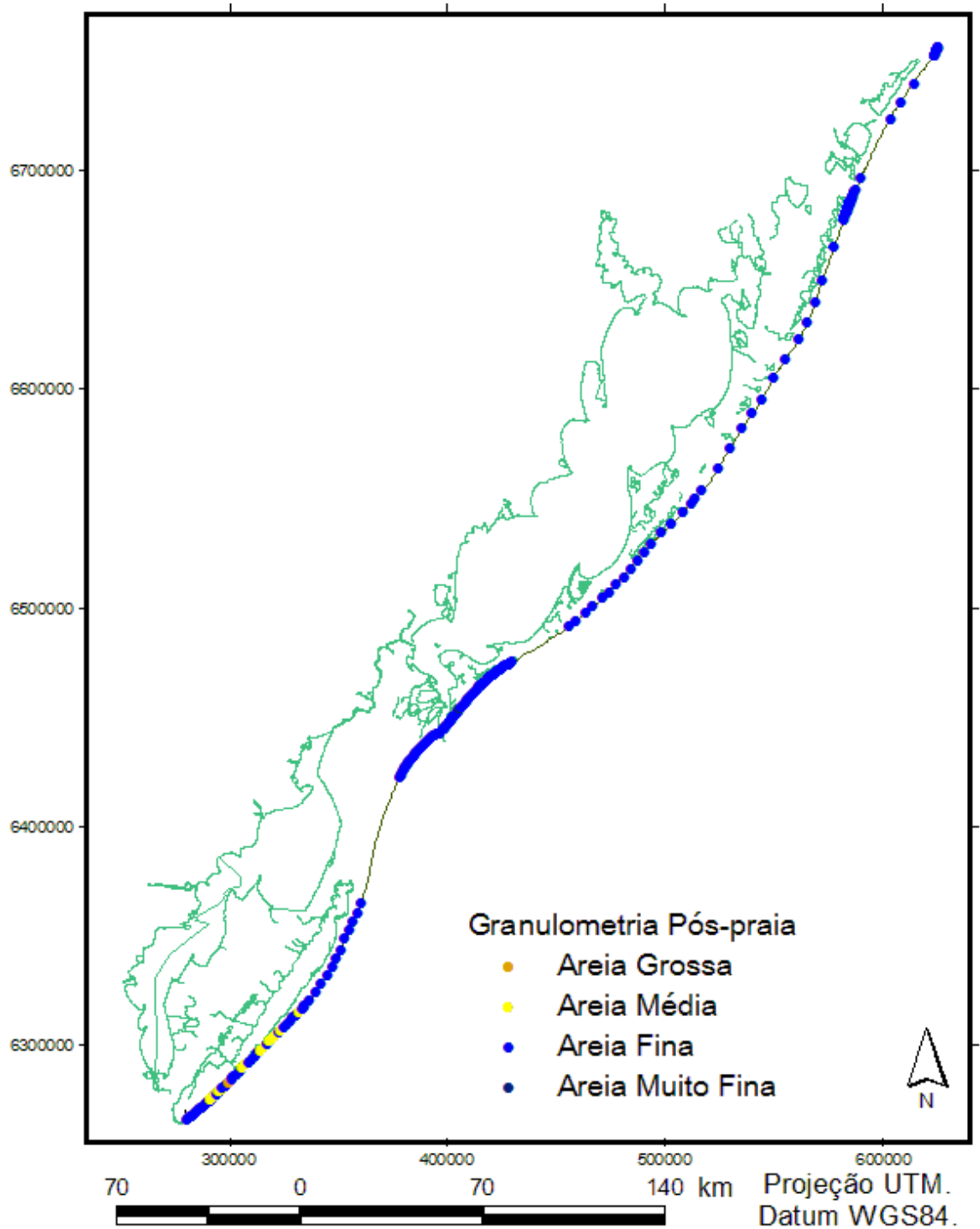


Figura 4.2. B. Distribuição das amostras sedimentológicas para a região do pós-praia.

Com base no material reunido, percebe-se que a grande maioria das praias arenosas do RS, tanto para a região do pós-praia quanto para a região da berma, são compostas por areia fina com exceção da região compreendida pelos Concheiros do Albardão e a praia do Mar Grosso (Figura 4.2 A e B). Os Concheiros apresentam tamanho médio variando desde areia fina a areia grossa para o pós-praia e tamanho variando desde areia fina a grânulo para a região da berma. Já a praia do Mar Grosso representa o local onde foram encontradas as areias mais finas do estado.

A partir dos dados granulométricos foi elaborado um mapa contendo o Índice de Sensibilidade do Litoral (Figura 4.3). Com base nos dados sedimentológicos encontrados, as praias do Rio Grande do Sul podem ser enquadradas em praias representativas do ISL 3, 4 e 5. Na região de Torres, norte do estado, o índice alcança os menores valores (ISL 1) devido a presença dos costões rochosos.

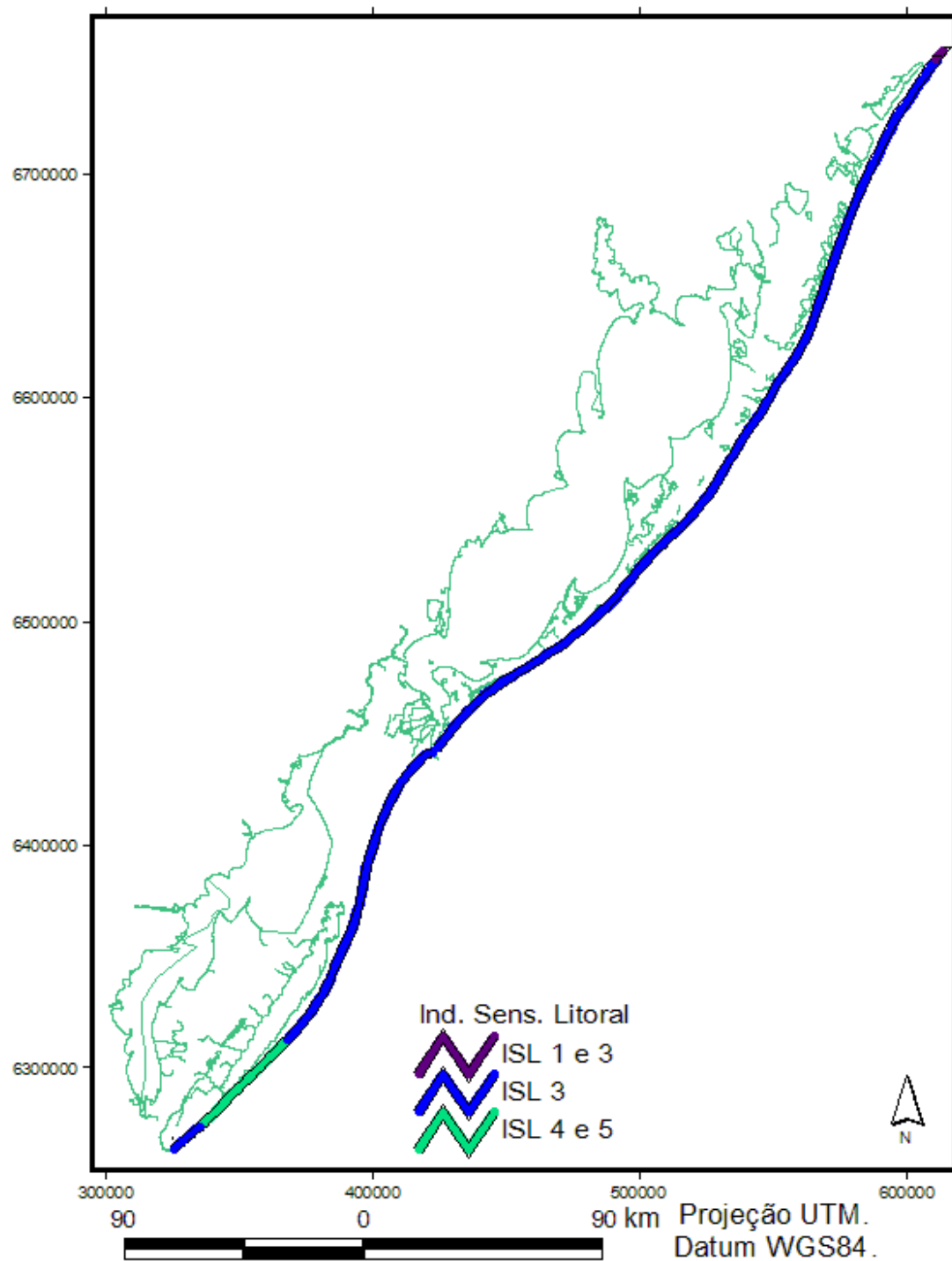


Figura 4.3. Índice de Sensibilidade do Litoral de acordo com publicação do MMA (2002).

4.4.2 Densidade de Sangradouros

Com base na revisão bibliográfica e nos dados da saída de campo, foi possível a composição de um mapa geral da distribuição e ocorrência de sangradouros na costa do Rio Grande do Sul (Figura 4.4).

Os dados referentes ao litoral Sul, representam a média dos dados coletados e discutidos por Pereira da Silva (1998) e Pereira da Silva *et al.* (2003) entre os anos de 1991 a 1995. De acordo com esses autores o número de sangradouros apresenta um máximo de 14/10 km para a região do Hermenegildo e 13/10 km para a região do Albardão e um mínimo de 4/10 km para a região dos Concheiros.

Os dados referentes ao litoral Central e Norte, representam os dados coletados em uma saída de campo realizada em julho de 2005. De acordo com os dados utilizados no presente estudo, o número máximo de sangradouros encontrados foi de 35/10 km nas proximidades de Cidreira e a ausência de sangradouros nas proximidades da Lagoa do Peixe.

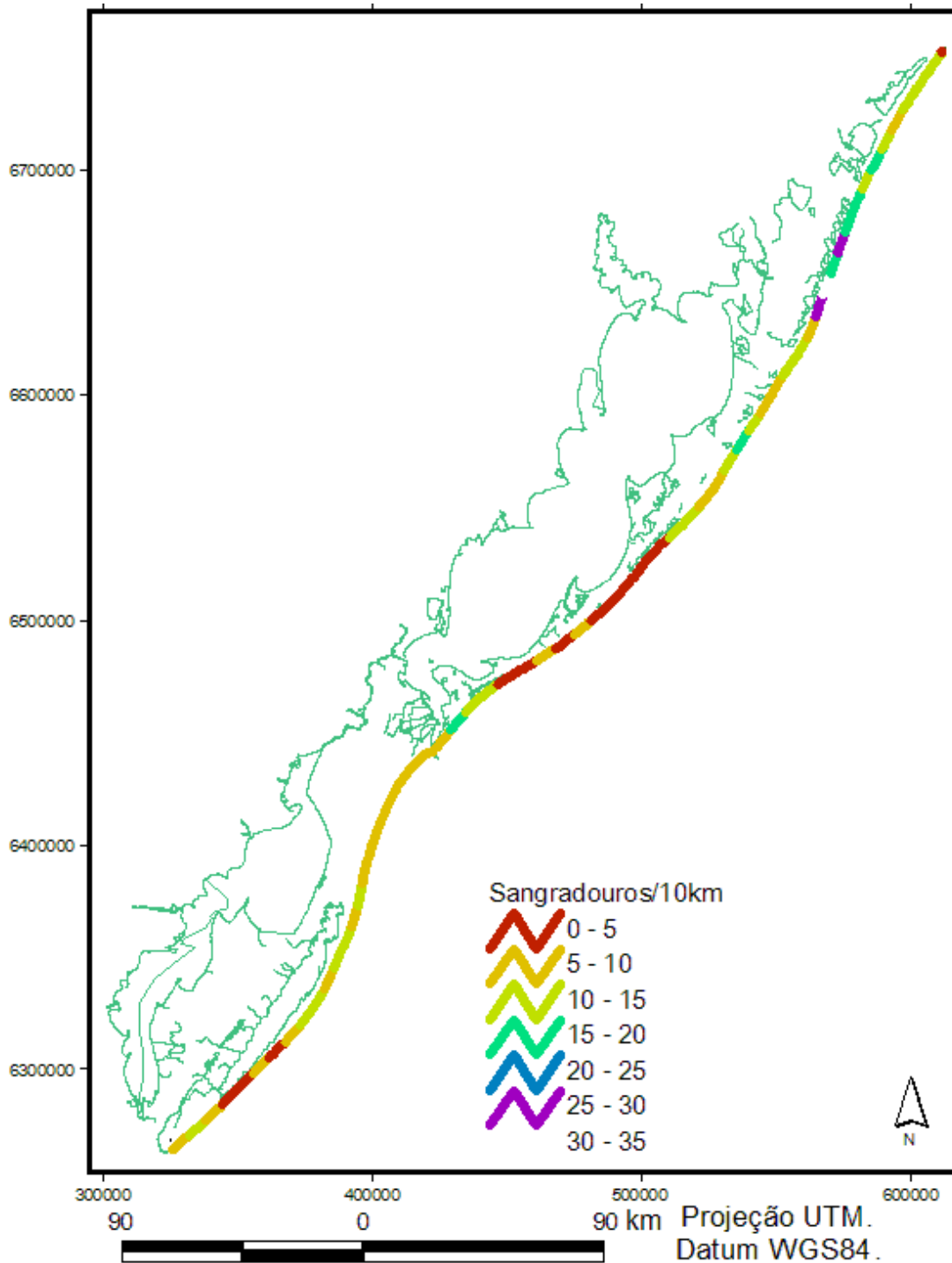


Figura 4.4. Mapa ilustrando o número de sangradouros por trechos de 10 quilômetros.

Padronização do fator Sangradouros

A classificação dos sangradouros como feições geomorfológicas relevantes à vulnerabilidade costeira em relação ao óleo foi realizada de acordo com o número de sangradouros existente em cada trecho de 10 quilômetros, sendo trechos com maior número de sangradouros considerados mais vulneráveis. Por serem corpos d'água que interrompem o sistema de dunas frontais, trechos de costa com elevado número de sangradouros apresentam o cordão de dunas frontais bastante recortados. Tal descontinuidade permite, por diversas vezes, a invasão de áreas de banhados e outras áreas atrás dos campos de dunas pela água quando da ocorrência de elevações do nível do mar ocasionado pelas marés meteorológicas, podendo contaminar outros tipos de ecossistemas, além de servir de reservatórios para futuras contaminações.

Da mesma forma que o elevado número de sangradouros pode aumentar a sensibilidade a óleo de um determinado trecho de costa, pode também reduzir a vulnerabilidade. De acordo com Pereira da Silva *et al.* (2003) trechos do litoral sul com elevado número de sangradouros são trechos mais suscetíveis à erosão praial. Assim o elevado número de sangradouros pode ocasionar uma remoção natural de sedimentos contaminados, além de servir como uma barreira à penetração de óleo na área de sua atuação, devido à saturação dos sedimentos praias.

Neste contexto a vulnerabilidade relacionada ao número de sangradouros pode assumir a forma de dois cenários: o primeiro onde o elevado número de sangradouros pode resultar em uma eventual contaminação de outros ecossistemas; e o segundo onde os próprios sangradouros podem ajudar na remoção de sedimentos contaminados.

4.4.3 Setores morfodinâmicos

A partir da revisão bibliográfica e do emprego de métodos estatísticos multivariados foi possível a elaboração de um mapa temático contendo os setores morfodinâmicos do litoral gaúcho (Figura 4.5), cujos limites podem ser estabelecidos através de diferenças sedimentológicas ao longo da planície costeira oriundas da herança geológica e proximidades a desembocaduras lagunares e fluviais (Capítulo 2).

O mapa de setores morfodinâmicos apresenta-se dividido em oito setores, sendo as praias classificadas em seis grupos como dissipativas, intermediária de moderada baixa e moderada alta mobilidade, intermediária de alta mobilidade, intermediárias com tendências reflectivas e praias mistas.

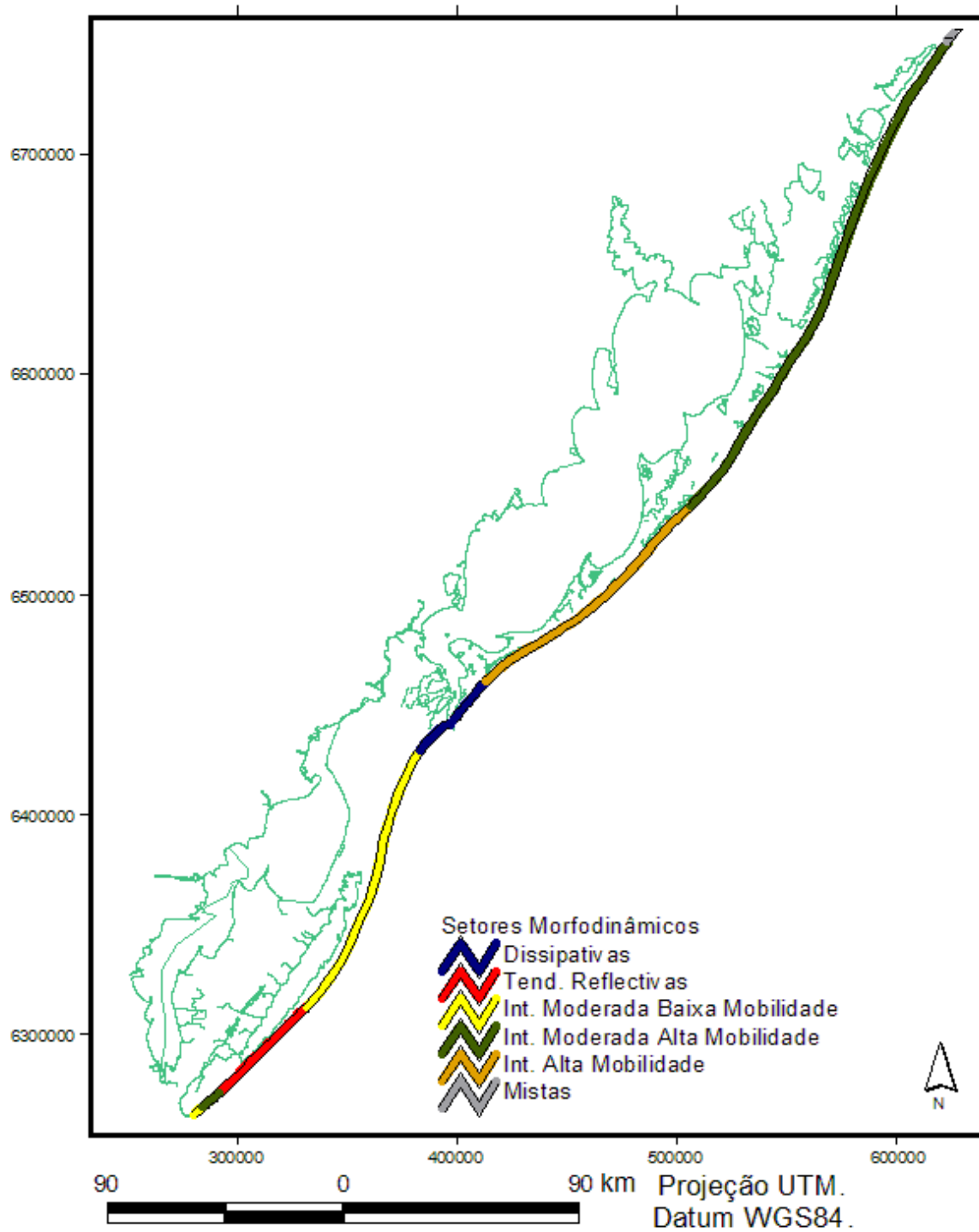


Figura 4.5. Mapa ilustrando os setores morfodinâmicos.

Padronização do fator Setor morfodinâmico

Em relação aos setores morfodinâmicos as praias dissipativas foram classificadas como sendo as praias de menor vulnerabilidade em relação ao óleo devido ao baixo potencial de penetração do óleo relativo a baixa permeabilidade associada aos sedimentos mais finos. No extremo oposto ao dissipativo encontram-se as praias com tendências reflectivas classificadas como de maior vulnerabilidade devido ao potencial de penetração do óleo ser maior por causa da alta permeabilidade oriunda de sedimentos grossos (Gundlach *et al.*, 1978; NOAA, 1992; CETESB, 2003).

Em casos de retrabalhamento dos sedimentos contaminados, devido a maior permeabilidade, as praias reflectivas apresentam um grande potencial como fonte contaminante para praias vizinhas, sendo esta mais uma razão para que essas praias apresentem uma maior vulnerabilidade.

Entre os extremos dissipativos e reflectivos encontram-se as praias intermediárias que podem ser classificadas de acordo com as feições geomorfológicas submersas e emersas (Wright e Short, 1984) ou de acordo com índices de maior ou menor mobilidade (Short e Hesp, 1982). Utilizando a classificação sugerida no primeiro capítulo, as praias intermediárias foram agrupadas em intermediárias de moderada a baixa, intermediárias de moderada a alta e intermediárias de alta mobilidade, sendo essa também a seqüência crescente de vulnerabilidade.

Um outro aspecto relevante das praias intermediárias é o fato de estas apresentarem correntes de retorno (Short, 1979; Wright e Short, 1984). Essas correntes, normalmente são carregadas de sedimentos em suspensão oriundos da erosão da praia, possuindo direção transversal (Komar, 1976). Uma vez contaminada as praias intermediárias, podem servir de fonte de contaminação para as praias vizinhas e o óleo depositado na praia pode retornar à coluna d'água e ser transportado na direção mar afora através dessas correntes.

Cabe ressaltar que a escala de vulnerabilidade utilizada também corresponde a escala de facilidade de limpeza de praias, onde praias com maior dificuldade de limpeza são consideradas mais vulneráveis. Praias dissipativas apresentam-se maior facilidade de limpeza, devido a contaminação mais superficial dos sedimentos, facilitando as atividades de limpeza, diferentes das praias reflectivas, onde ocorre uma maior penetração, e conseqüentemente maior espalhamento horizontal e vertical o que dificulta as atividades de limpeza (Gundlach *et al.*, 1978; Gundlach e Hayes, 1978; NOAA, 1992; CETESB, 2003).

4.4.4 Sistema de dunas frontais

Com base em fatores como altura das dunas, orientação da linha de costa e geomorfologia das dunas, Calliari *et al.* (no prelo) propuseram um mapa geral da atual situação do cordão de dunas frontal do estado do Rio Grande do Sul. Os autores classificaram o sistema em oito classes, com base em aspectos geomorfológicos: dunas frontais bem desenvolvidas, áreas de colapso do sistema frontal, áreas transicionais, planícies arenosas ou *sand plains*, *hummocks*, dunas incipientes e escarpa erosional (Figura 4.6).

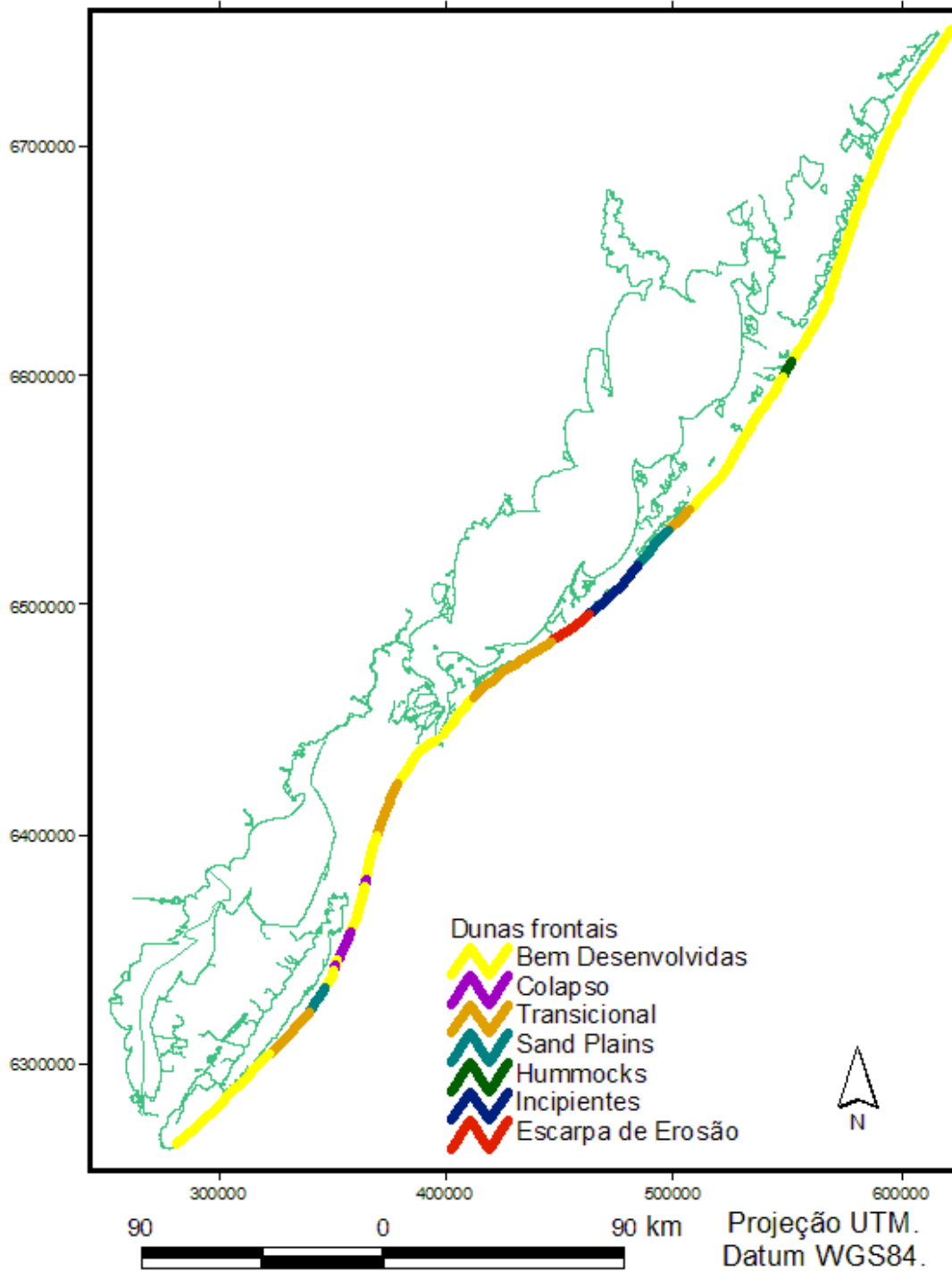


Figura 4.6. Mapa ilustrando a atual situação do sistema de dunas frontais.

Padronização do fator Dunas

A configuração atual das dunas frontais é mais uma variável importante na determinação de áreas mais vulneráveis a eventuais derrames de óleo. Novamente sobre o ponto de vista das marés meteorológicas, as dunas representam uma barreira contra a contaminação de outros ecossistemas. Neste contexto, áreas que não apresentam a proteção oferecida pelas dunas frontais são consideradas áreas de alta vulnerabilidade. Em áreas como as planícies arenosas, o óleo através da ação das marés meteorológicas pode ser depositado em extensas áreas, infiltrando e se alojando no solo, servindo como fonte de contaminação para futuras remobilizações de sedimentos. Já áreas que apresentam cordão de dunas bem desenvolvidas apresentam uma barreira natural à contaminação do óleo.

A classificação em ordem crescente de vulnerabilidade das feições geomorfológicas mais comuns encontradas por Calliari *et al.* (no prelo) para o campo de dunas frontais ficou da seguinte forma: escarpa erosional, dunas frontais bem desenvolvidas, transicional, *hummocks*, incipientes, áreas de colapso e por fim com mais alta vulnerabilidade as planícies arenosas. O critério utilizado para tal foi o fato da presença de dunas frontais bem desenvolvidas funcionarem como uma barreira a contaminação por óleo de áreas de banhados atrás do campo de dunas. Desta forma, áreas que apresentam dunas frontais bem desenvolvidas estariam protegidas a contaminação por óleo e áreas que não apresentam dunas, planícies arenosas, estariam desprotegidas, áreas menos e mais vulneráveis respectivamente.

Um fator interessante que cabe ser ressaltado é o fato de que as áreas conhecidas como planícies arenosas servirem como áreas de possível reservatório de óleo quando da contaminação dessas áreas por óleo, aumentando a vulnerabilidade. Esse fato é esperado pelo aspecto plano, sem barreiras físicas, dessas feições. Uma vez contaminadas, o óleo depositado nas planícies arenosas só será removido durante um novo evento de alta energia, servindo então de fonte contaminante para áreas vizinhas.

4.4.5 Áreas urbanas

Com base em mosaicos aerofotográficos digitais e em dados de GPS foi possível a distinção de 28 áreas urbanizadas ao longo do litoral gaúcho (Figura 4.7). Essas áreas variam tanto em extensão como em densidade demográfica, representando em sua quase totalidade balneários turísticos intensamente povoados no verão.

A zona onde se encontra a maior parte dos balneários é a região que compreende o litoral Norte do estado, seguida pelo litoral Sul e Central, este último muito pouco urbanizado.

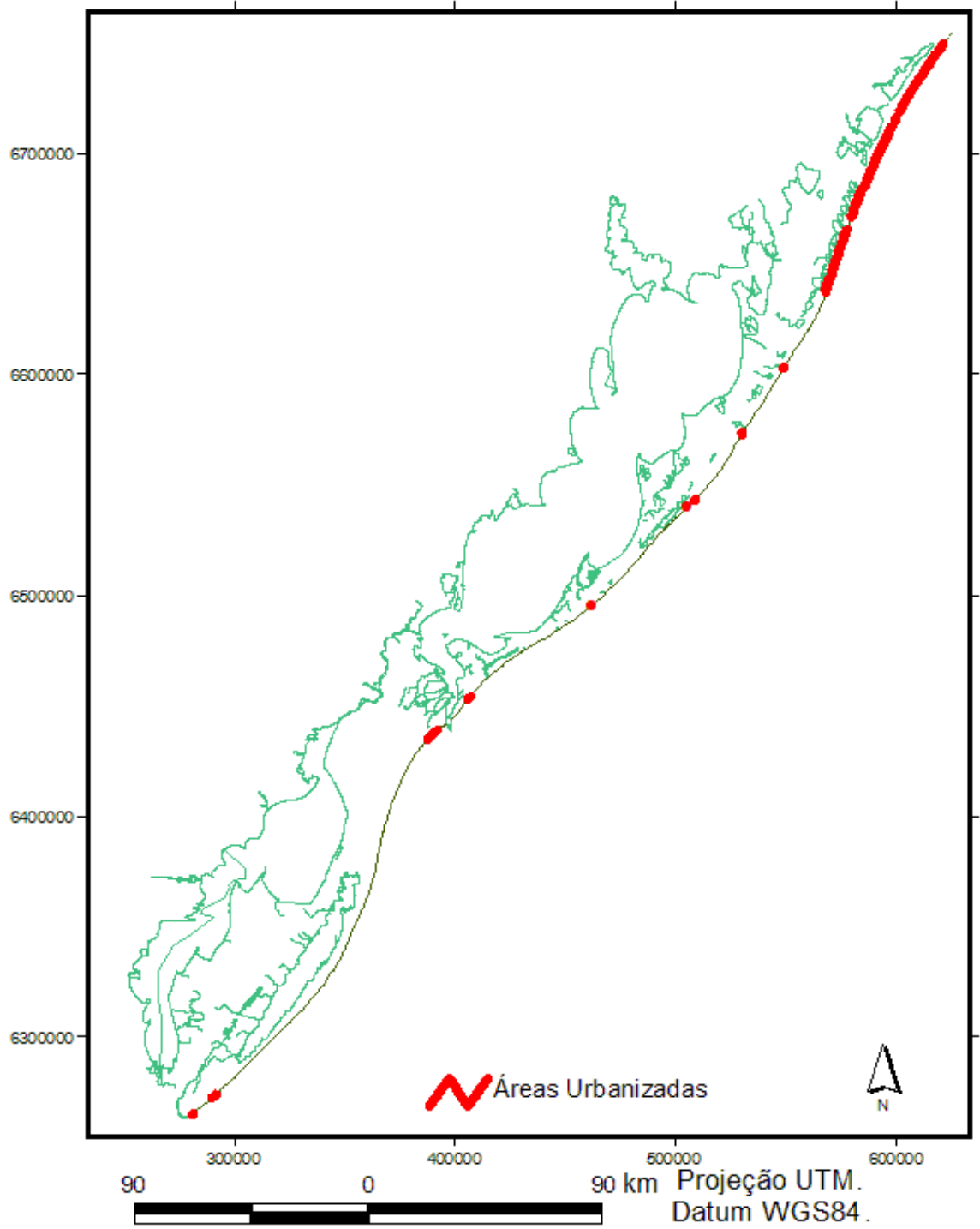


Figura 4.7. Mapa ilustrando as áreas urbanizadas ao longo do litoral do Rio Grande do Sul.

Padronização do fator Áreas urbanizadas

Como na definição de vulnerabilidade usada pela CETSB (2003) os aspectos sócio-econômicos devem ser levados em conta, optou-se pelo o uso da variável urbanização na confecção do mapa de vulnerabilidade. Sendo assim, a partir do mapa com a distribuição das áreas urbanizadas, executou-se a rotina *Distance* para criação de uma superfície contínua de distâncias a partir dos limites das áreas urbanizadas. A imagem resultante foi submetida, então, à rotina fuzzy para padronizar os dados segundo uma função linear decrescente, ou seja, quanto maior a distância das áreas urbanas, menor a vulnerabilidade e vice-versa.

4.5 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores padronizados foram agregados e avaliados conjuntamente pela aplicação da rotina MCE (*multi criteria evaluation*) do SIG Idrisi Kilimanjaro[®] com o objetivo de gerar o mapa final de vulnerabilidade ambiental à derrame de óleo.

De acordo com as análises realizadas no segundo capítulo do presente estudo, o fator setores morfodinâmicos foi a variável para a qual foram atribuídos os maiores pesos dentre as variáveis geomorfológicas (Tabela 4.6).

Em relação aos pesos atribuídos às variáveis sangradouros e dunas, foram criados dois cenários, cada um com diferentes pesos (Tabela 4.6). O primeiro cenário com maior peso para as dunas representa as dunas como uma barreira à contaminação costeira por óleo, uma proteção. Já o segundo, representa o sangradouro como um agente facilitador da contaminação.

A variável áreas urbanizadas foi a variável que se atribui maior peso (Tabela 4.6). Diversos argumentos justificam a utilização de um maior peso para esta variável, dentre os quais podem ser

ressaltados a utilização intensa dessas áreas para habitação, turismo, lazer, comércio, etc. e, conseqüentemente os efeitos potenciais para a saúde humana.

Tabela 4.6. Matriz elaborada para a comparação pareada entre as variáveis em dois cenários.

<i>Cenário com maior peso para as dunas</i>				
	Setores Morfodinâmicos	Dunas	Sangradouros	Áreas Urbanizadas
Setores Morfodinâmicos	1			
Dunas	1/3	1		
Sangradouros	1/5	1/3	1	
Áreas Urbanizadas	3	5	7	1
<i>Cenário com maior peso para os sangradouros</i>				
	Setores Morfodinâmicos	Sangradouros	Dunas	Áreas Urbanizadas
Setores Morfodinâmicos	1			
Sangradouros	1/3	1		
Dunas	1/5	1/3	1	
Áreas Urbanizadas	3	5	7	1

Como resultado da comparação pareada entre as variáveis obtém-se o peso final para cada uma (Tabela 4.7).

Tabela 4.7. Pesos calculados para cada fator inserido na comparação pareada.

<i>Cenário com maior peso para as dunas</i>		<i>Cenário com maior peso para os sangradouros</i>	
Setores Morfodinâmicos	0.26622	Setores Morfodinâmicos	0.26622
Dunas	0.1175	Sangradouros	0.1175
Sangradouros	0.0553	Dunas	0.0553
Áreas Urbanizadas	0.5650	Áreas Urbanizadas	0.5650

Com o intuito de analisar primariamente a importância das variáveis geomorfológicas executou-se a rotina MCE sem as áreas urbanizadas, na forma de dois cenários, um com maior peso para as dunas e outro com maior peso para os sangradouros (Figuras 4.8 A e B, respectivamente).

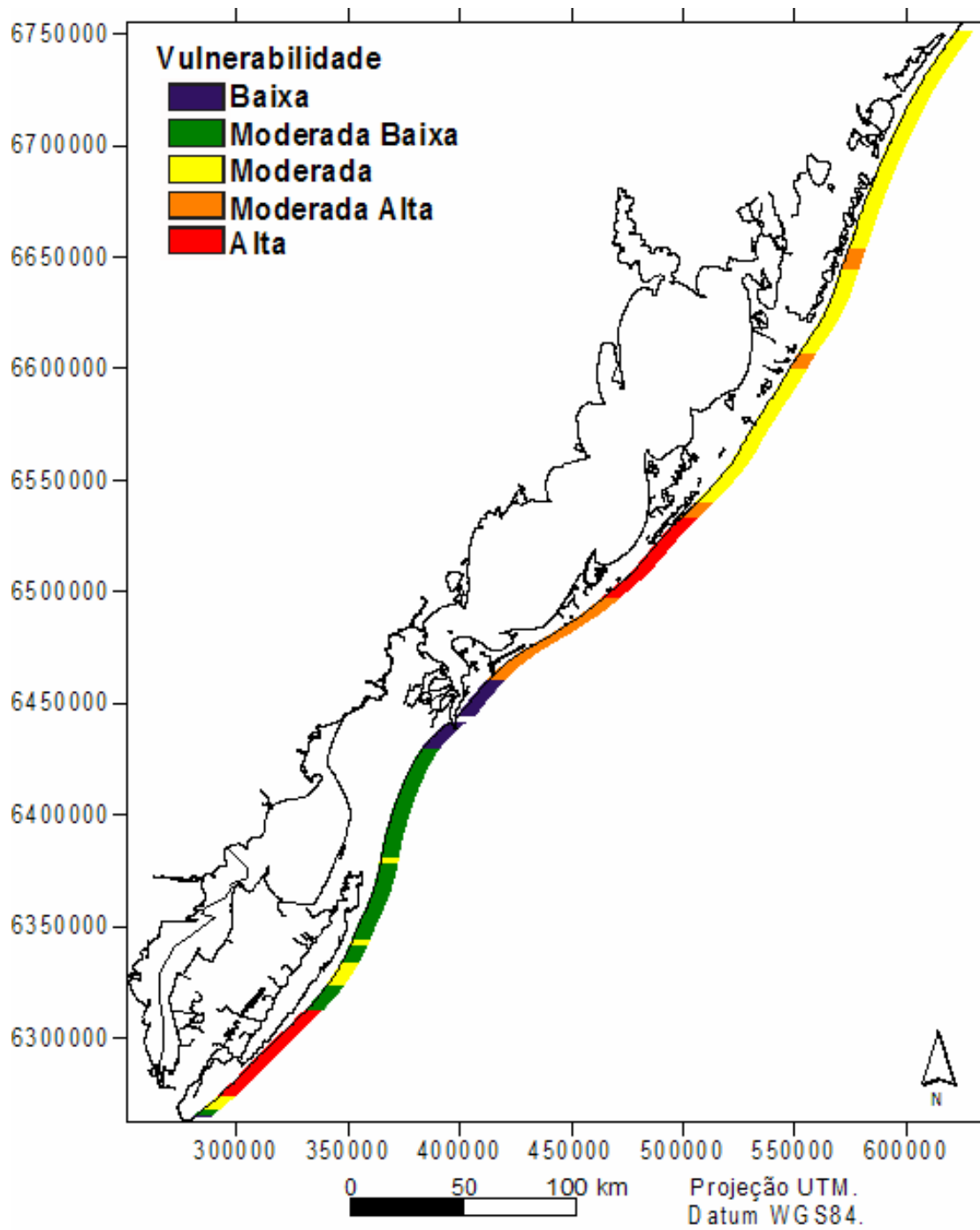


Figura 4.8. A. Resultado da integração das variáveis geomorfológicas no cenário com maior peso para as dunas.

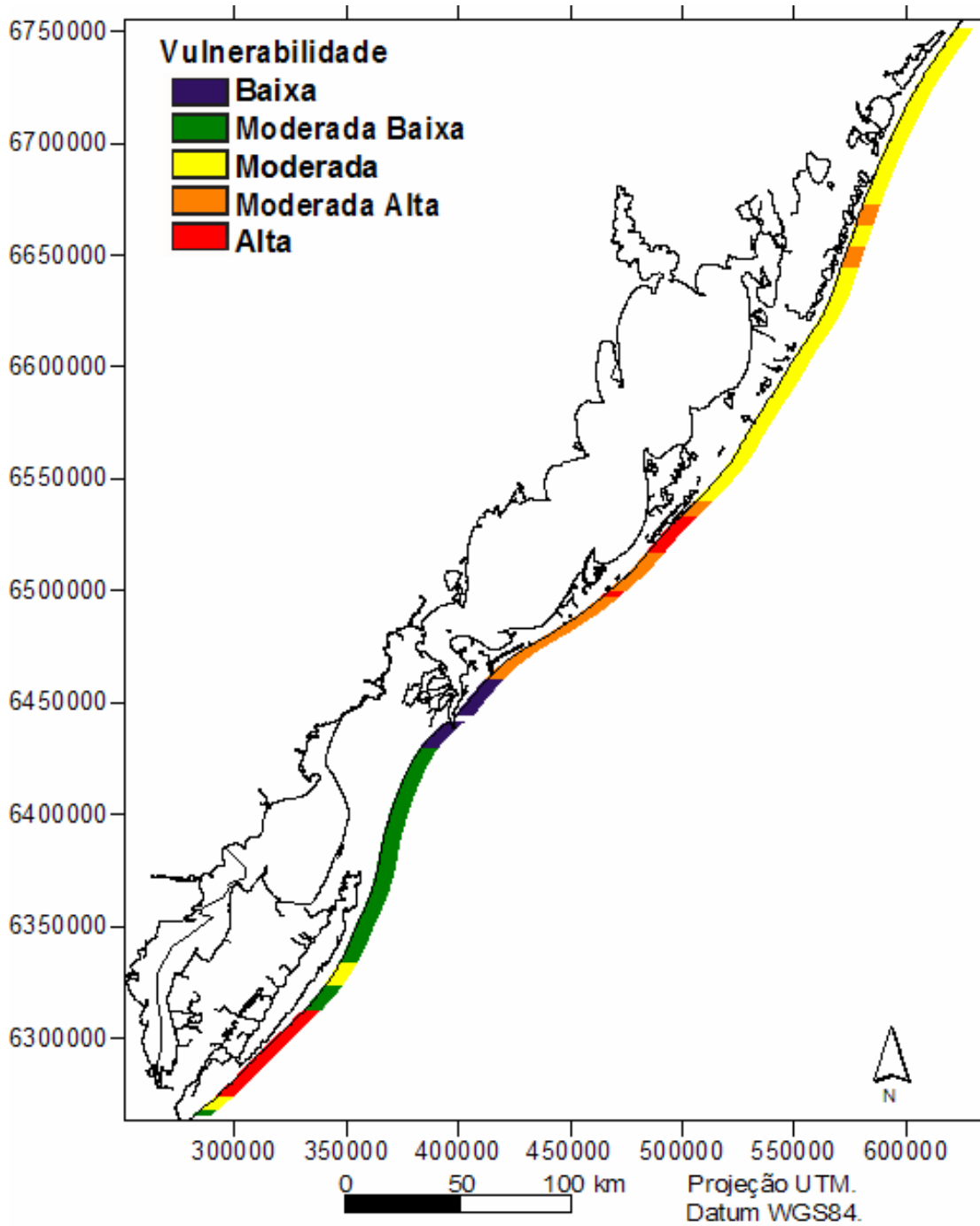


Figura 4.8. B. Resultado da integração das variáveis geomorfológicas no cenário com maior peso para os sangradouros, estes sendo um agente facilitador da contaminação de ecossistemas costeiros por óleo.

Do uma forma geral os mapas de vulnerabilidades gerados com diferentes pesos para as dunas e sangradouros apresentaram uma vulnerabilidade muito próxima uma da outra, com exceção de pequenos setores.

De sul para o norte são encontradas condições de moderada vulnerabilidade nas proximidades da Barra do Chuí, extremo sul do Brasil, aumentando gradualmente até a região dos Concheiros. No limite sul da região dos Concheiros ocorre um aumento brusco da vulnerabilidade, atingindo o maior índice de vulnerabilidade encontrado.

No limite norte dos concheiros ocorre diminuição da vulnerabilidade, ocorrendo índices de moderada baixa vulnerabilidade aumentando a vulnerabilidade nas proximidades do Farol do Albardão (140 km ao sul da desembocadura da Lagoa dos Patos) até o fim da área mapeada como planície arenosa (Figura 4.6).

Do final da planície arenosa até o Navio Altair (18 km ao sul da desembocadura da Lagoa dos Patos) a vulnerabilidade encontrada foi moderada baixa (Figura 4.6). Em ambos cenários as praias do Cassino e Mar Grosso, adjacentes a desembocadura da Lagoa dos Patos, apresentaram baixa vulnerabilidade. Da praia do Mar Grosso até o início da área de dunas, classificadas como planície arenosa, a vulnerabilidade encontrada foi moderada alta.

A partir do trecho com escarpas de erosão, ocorre novo acréscimo na vulnerabilidade, atingindo novamente o maior escore, desta vez na área da planície arenosa (Figura 4.6), localizada antes da Lagoa do Peixe (130 km ao norte da desembocadura da Lagoa dos Patos). Do final da área de planície arenosa ocorre um decréscimo da vulnerabilidade, que permanece moderada até os costões rochosos de Torres, com pequenos aumentos na vulnerabilidade, relativos ao aumento da concentração de sangradouros.

As maiores diferenças entre o cenário elaborado com maior peso para as dunas do cenário com maior peso para os sangradouros está basicamente nas áreas de planície arenosa e nas áreas onde houve colapso do sistema de dunas frontais, onde a vulnerabilidade é maior devido à ausência de dunas.

Comparando o cenário de vulnerabilidade gerado para os sangradouros como sendo um fator que facilitaria a contaminação de outros ecossistemas costeiros durante a ocorrência das marés meteorológicas (Figura 4.8 B) com o cenário gerado para os sangradouros como sendo um fator de limpeza de praias (Figura 4.9), percebe-se um aumento da vulnerabilidade da porção sul da orla do RS.

De acordo com Figueiredo (2003) o baixo número de sangradouros encontrado na região da Lagoa do Peixe deve-se pelo fato dos banhados adjacentes apresentarem drenagem em direção à lagoa. Já em relação à área ao sul do Farol do Albardão, Pereira da Silva (1998) atribui o baixo número de sangradouros na área ao sul do Albardão a alta permeabilidade encontrada na região dos Concheiros.

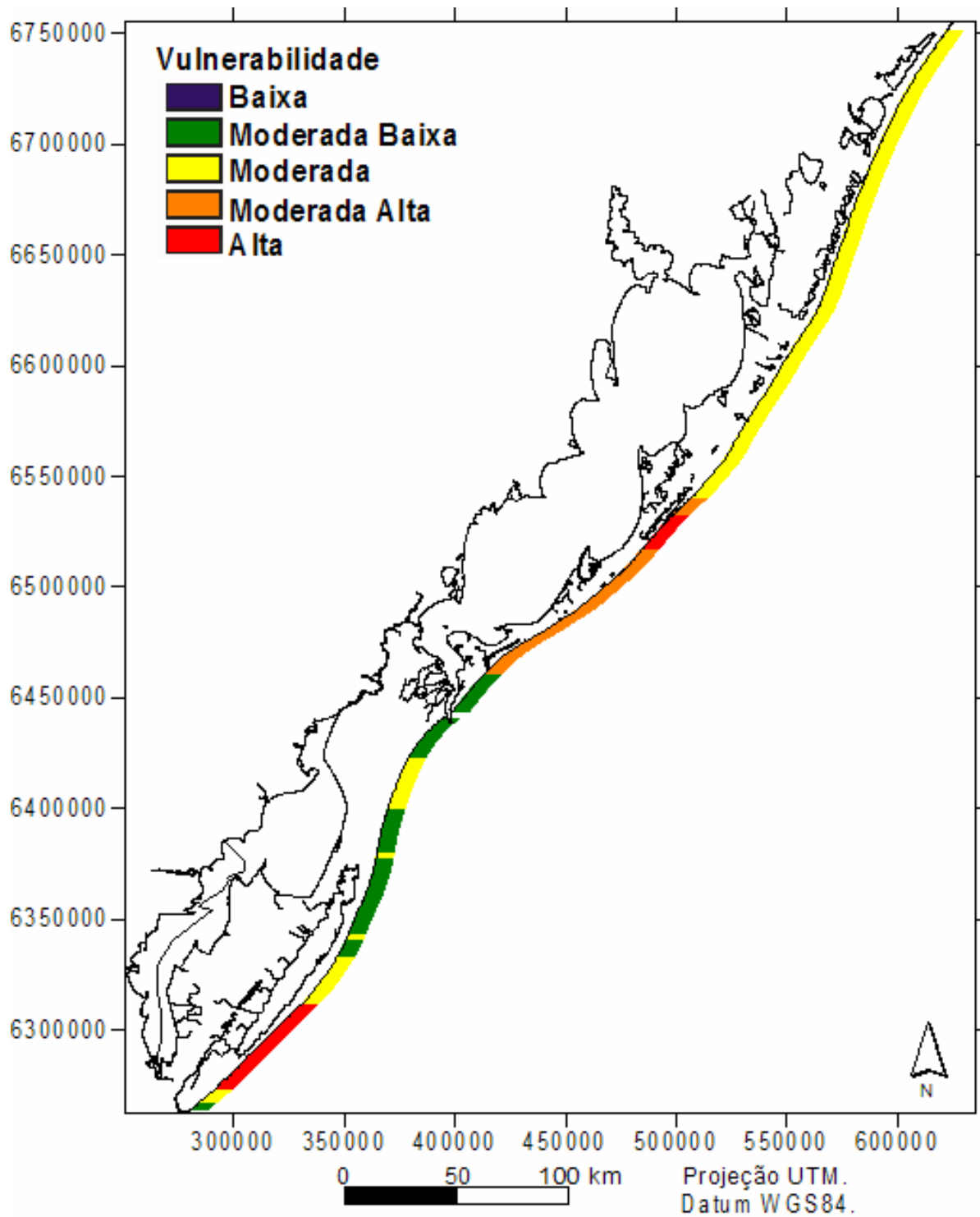


Figura 4.9. Resultados da integração das variáveis geomorfológicas no cenário com os sangradouros sendo um agente facilitador da limpeza do ambiente praias contaminado por óleo.

As Figuras 4.10 A e B ilustram a integração das variáveis geomorfológicas com a variável urbanização, sendo nítido o aumento da vulnerabilidade nestas áreas. Setores que antes apresentavam moderada vulnerabilidade, no litoral norte do estado, agora apresentam alta vulnerabilidade.

A menor vulnerabilidade encontrada foi para a região onde se localiza o Farolete Verga (90 km ao sul da desembocadura da Lagoa dos Patos), seguida pela região da estação ecológica do Taim (73 km ao sul da desembocadura Lagoa dos Patos) (Figura 4.10). A área de abrangência dos Concheiros, antes com alta vulnerabilidade (Figura 4.8), agora apresenta moderada alta vulnerabilidade, com alta vulnerabilidade apenas no seu limite sul, próximo ao Balneário do Hermenegildo.

Os dois cenários desenvolvidos com diferenças nos pesos atribuídos as dunas e aos sangradouros, antes discutidos, apresentaram diminuição na vulnerabilidade no litoral central e norte quando da integração com a variável urbanização (Figura 4.10 A e B).

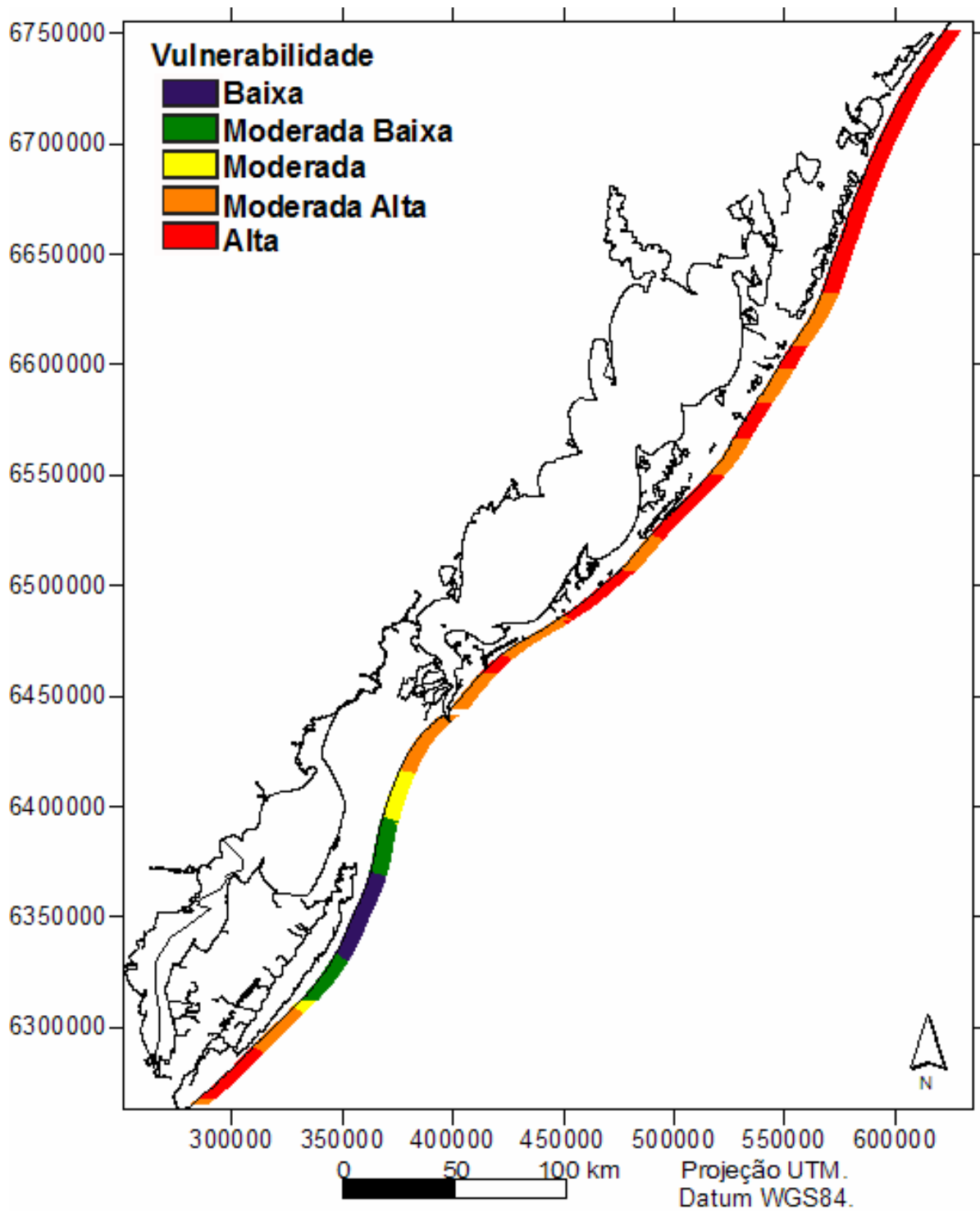


Figura 4.10. A. Resultado da integração das variáveis geomorfológica e urbanização no cenário com maior peso para as dunas.

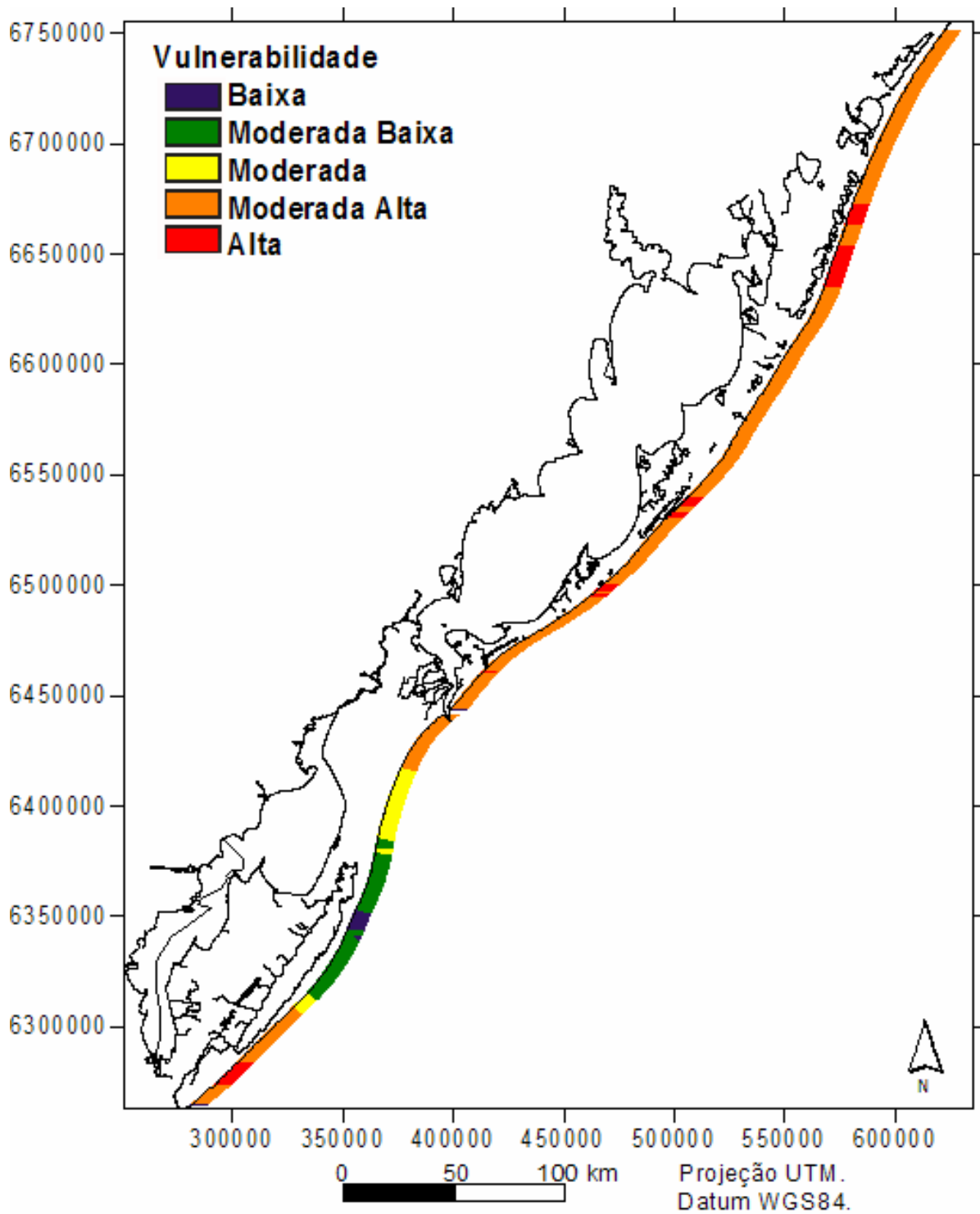


Figura 4.10. B. Resultado da integração das variáveis geomorfológica e urbanização no cenário com maior peso para os sangradouros, estes sendo um agente facilitador da contaminação costeira por óleo.

A integração das variáveis geomorfológicas com a variável sócio-econômica, em um cenário onde os sangradouros representam um agente facilitador da limpeza de praias, apresenta algumas características distintas das encontradas em situações onde o sangradouro representa um facilitador da contaminação, sobretudo para trechos do litoral Médio e Norte, além da área dos Concheiros (Figura 4.11).

No geral houve uma diminuição da vulnerabilidade do litoral Norte e um aumento da vulnerabilidade do litoral médio, sobretudo no trecho compreendido entre o Farol de Mostardas e o Farol da Conceição (150 e 75 km ao norte da desembocadura da Lagoa dos Patos, respectivamente), e na região de abrangência dos Concheiros.

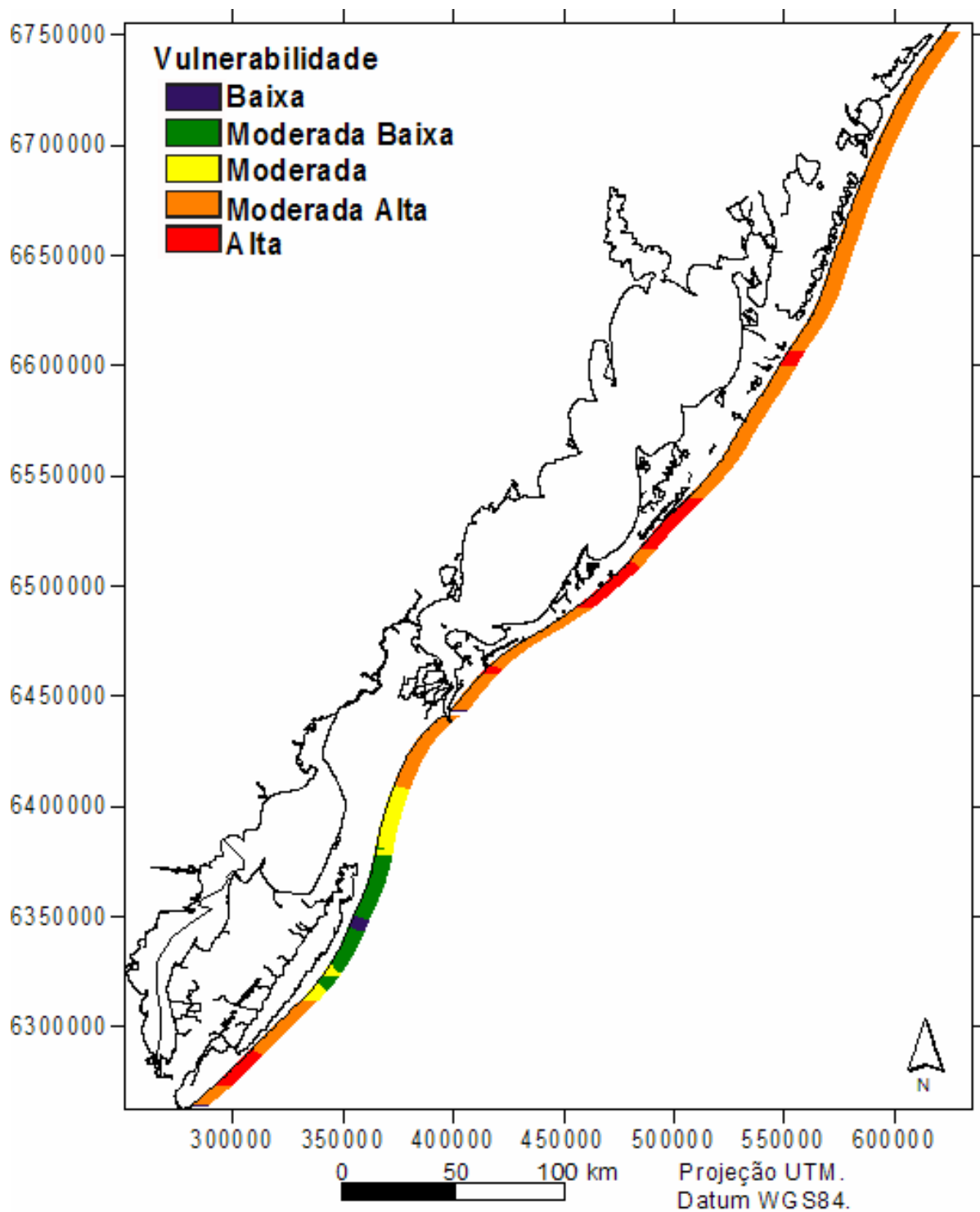


Figura 4.11. A. Resultados da integração das variáveis geomorfológicas e urbanização em dois cenários, um com maior peso para as dunas (A) e outro com maior peso para os sangradouros, estes sendo um agente facilitador da limpeza do ambiente praial contaminado por óleo (B).

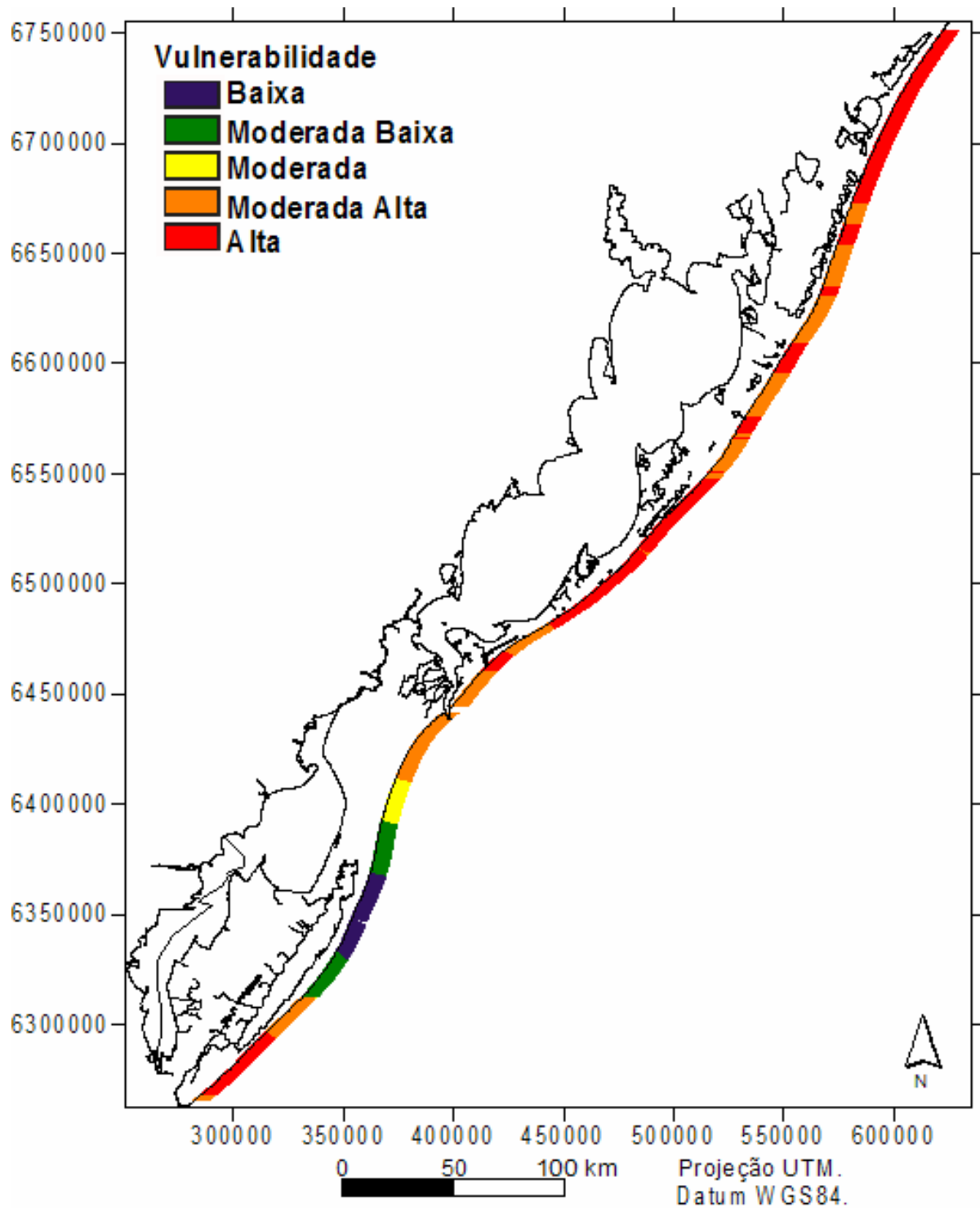


Figura 4.11. Resultados da integração das variáveis geomorfológica e urbanização em dois cenários, um com maior peso para as dunas (A) e outro com maior peso para os sangradouros, estes sendo um agente facilitador da limpeza do ambiente praial contaminado por óleo (B).

Cabe aqui salientar, que as praias do município de Torres, extremo norte do estado, foram excluídas da análise de vulnerabilidade. Tal exclusão baseou-se na ausência de informações de sangradouros desse local, bem como na importância da presença dos costões rochosos, que atribuem um comportamento de praia semi-protegidas a algumas das praias, sendo necessárias considerações diferentes das desenvolvidas ao longo do presente estudo.

A partir dos dados sedimentológicos existentes na figura 4.2 A e B, é possível a classificação da costa do Rio Grande do Sul em relação ao Índice de Sensibilidade do Litoral (MMA, 2002), Figura 4.3.

Através da comparação entre os mapas de vulnerabilidade gerados (Figuras 4.7 e 4.8) com o mapa que contém os índices de sensibilidade do litoral (figura 4.3) para o litoral fica nítida uma melhor representatividade da realidade da costa gaúcha através dos mapas de vulnerabilidade.

Os índices de sensibilidade representam uma maneira simples de determinar a sensibilidade de um ambiente em relação a derrames de óleo, de fácil compreensão, de forma que os diversos profissionais que atuam na área de proteção ambiental possam rapidamente identificar quais ambientes precisam de proteção e cuidados especiais. No entanto, não existe nesses índices a peculiaridade de cada região contida por exemplos em mapas de vulnerabilidade que melhor representam as peculiaridades locais.

De acordo com CETESB (2003) praias compostas por sedimentos mais grossos permitem ao óleo permanecer longos períodos. Desta maneira acredita-se que os altos índices de vulnerabilidade encontrados, sem a variável sócio-econômica, para a região dos Concheiros, condizem com a literatura, corroborando também com os dados de permeabilidade descritos no Capítulo 2 do presente estudo.

A vulnerabilidade ambiental de um ecossistema pode ser avaliada pela sua capacidade de resposta frente a situações instáveis, ou seja, sua maior ou menor capacidade em desenvolver mecanismos que permitam suportar as perturbações sem perder as funções ambientais que mantêm o

sistema em equilíbrio. Uma avaliação de vulnerabilidade, nestes termos, é uma tarefa praticamente impossível, dada a quantidade de variáveis envolvidas, a complexidade e variabilidade das escalas de análise e respectivos processos em curso e o tempo de pesquisa necessário (Tagliani, 2002).

No contexto da descrição de vulnerabilidade ambiental atribuída por Tagliani (*op. cit.*), acredita-se que os resultados encontrados condizem com a capacidade de resposta do ambiente praias frente a derrames de óleo.

De acordo com estudos de Tsouk *et al.* (1985) a capacidade de auto limpeza das praias através da dinâmica das ondas é a característica mais importante a afetar a vulnerabilidade desses ambientes em relação à poluição por óleo. Assumindo que tal capacidade é determinada primeiramente pelos níveis de energia predominantes, os autores afirmam que locais onde as características afetam o processo de empilhamento das ondas, gerando características previsíveis, devem ser considerados parâmetros fundamentais em índices de vulnerabilidade. Desta forma seria interessante em trabalhos futuros inserir os padrões de refração das ondas (Calliari e Speranski, 2002; Calliari *et al.*, 2003), locais onde ocorre concentração de energia podem ser considerados menos vulneráveis.

Estudos realizados por Harper *et al.* (1992) indicam que costas arenosas podem apresentar maior poder de retenção de óleo do que costas rochosas. Estes mesmos autores, entretanto, notaram que praias constituídas por areia fina ou por de material impermeável (como turfa ou afloramentos de fundos lamosos antigos relativamente consolidados) limitam substancialmente a penetração de óleo.

Com base nos estudos de permeabilidade desenvolvidos e apresentados no Capítulo 1, as observações de Harper *et al.* (*op. cit.*) se tornam aplicáveis também para a costa do Rio Grande do Sul, no que se refere a limitação da penetração do óleo por camadas de turfas. De acordo com Tomazelli *et al.* (1997) existem três setores da costa do Rio Grande do Sul onde os afloramentos de turfas são comumente encontrados, são eles de norte para o sul: (1) Jardim do Éden (litoral norte); (2) Farol da

Conceição (litoral médio ou central); (3) Hermenegildo (litoral sul). A inserção de informações referentes a localização destas turfas seria de grande importância na questão da vulnerabilidade, uma vez que as praias que apresentam as turfas podem ser consideradas praias menos vulneráveis.

4.6 CONCLUSÕES

No contexto da vulnerabilidade através da integração de fatores geomorfológicos, a área de maior vulnerabilidade em relação a eventuais derrames de óleo seria a região de abrangência dos Concheiros. Após esse trecho segue-se um outro do Litoral Médio que vai desde a embarcação pesqueira naufragada Schimidt Hasegawa, 23 km ao norte da desembocadura da Lagoa dos Patos, até proximidades do Farol de Mostardas, tanto em cenários com maior peso para as dunas quanto para sangradouros. A região de entorno da Lagoa dos Patos áreas de menor vulnerabilidade, as demais áreas restantes apresentam moderada vulnerabilidade.

A presença de áreas urbanizadas altera a configuração da vulnerabilidade baseada apenas em variáveis geomorfológicas. O uso dessa variável sócio-econômica resulta em maiores índices de vulnerabilidade para todas as praias.

Os mapas de vulnerabilidade gerados podem ser interpretados como mapas de prioridades de medidas emergenciais, principalmente no que se refere a instalação de barreiras de contenção e limpeza de praias, trazendo uma abordagem mais realística tornando-se ferramentas fundamentais na elaboração e execução de planos de contingências a níveis tanto locais como regionais.

A análise da vulnerabilidade das praias do Rio Grande do Sul aqui demonstrada encontra-se longe de ser finalizada frente as diversas variáveis e situações existentes no ambiente praias. A medida que novos estudos sejam elaborados novas situações podem ser criadas.

Abordagens como a do presente trabalho permite racionalizar recursos sendo mais adequada sob o ponto de vista técnico e ambiental. O resultado obtido revela que o SIG é uma ferramenta

extremamente útil e ágil na integração de informações espaciais para medidas operacionais emergenciais em casos de derrames. Os métodos empregados facilitam a multi e interdisciplinaridade.

Os dados gerados e disponíveis em ambiente SIG favorecem a inclusão de novos dados e desenvolvimento de novos cenários quando desejado. Em situações de derrames de óleo o banco de dados favorece a tomada de decisões de forma rápida e eficaz, reduzindo riscos de desastres ambientais.

4.7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Inserção de novos planos de informações tais como diagramas de refração e difração, localização das turfas, áreas de progradação e retração da linha de costa, além é claro de variáveis como a localização de áreas de reservas ecológicas e parques nacionais;
- Integração entre os resultados de vulnerabilidade das praias, baseado em variáveis geomorfológicas e na localização de áreas urbanas, com resultado de modelos numéricos que visem mapear a trajetória de derrames bem como áreas de maior probabilidade de contaminação por óleo;
- Integração entre os dados aqui gerados com variáveis biológicas como área de concentração de organismos bentônicos, áreas de alimentação e repouso de aves migratórias, entre outros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O estudo aqui desenvolvido foi realizado através do emprego de técnicas estatísticas, análise de dados de campo e técnicas de geoprocessamento que possibilitaram uma caracterização geral da costa do Rio Grande do Sul em termos da morfodinâmica, permeabilidade de praias e vulnerabilidade costeira em relação a eventuais derrames de óleo.

Os grupos encontrados pelo escalonamento multidimensional além de corroborar a diferenciação observada em estudos prévios permitiu uma diferenciação mais minuciosa das praias do RS, alcançando um detalhamento mais apropriado, resultando em uma subdivisão da costa gaúcha em oito setores, definindo assim de forma mais objetiva os setores morfodinâmicos.

A transição entre os diferentes setores encontrados além de ser perceptível através de variações granulométricas podem ser também visualizadas através de outras indicações morfológicas e dinâmicas tais como a presença de feições tridimensionais, características físicas e hidrodinâmicas da zona de arrebentação e da face praial.

A utilização de métodos estatísticos multivariados na análise de parâmetros que caracterizam as variações na morfologia sofridas pela ação da dinâmica costeira mostrou-se uma ferramenta interessante na determinação dos fatores que melhor representam as variações sofridas pelas praias bem como a comparação e agrupamento entre praias distintas de uma mesma costa.

O estudo da permeabilidade possibilitou a identificação dos setores de maior vulnerabilidade frente a derrames de óleo. Testes realizados em praias dissipativas mostraram uma maior resistência destas frente a infiltração, fato caracterizado pelo baixo coeficiente de permeabilidade encontrado para o óleo, quando comparado com a água. Praias com tendências reflectivas, com maior permeabilidade são mais vulneráveis.

Sob o ponto de vista operacional durante a realização de planos de contingência e limpeza de praias informações referentes a permeabilidade pode ser de grande utilidade na redução de impactos causado por derrames, minimizando esforços e aumentando o sucesso de medidas mitigatorias.

Variações laterais da permeabilidade ao longo das praias arenosas do RS mostraram-se um reflexo, além dos estágios morfodinâmicos, da herança geológica. Essa herança refere-se a ocorrência localizada de sedimentos mais grosseiros com baixo grau de seleção, dois fatores primordiais para a permeabilidade. Adicionalmente a esta relação, a permeabilidade mostrou-se dependente da presença de depósitos paludiais, os quais favorecem a rápida saturação do solo, diminuindo a infiltração.

Os mapas de vulnerabilidade gerados podem ser interpretados como mapas de prioridades de medidas emergências, principalmente no que se refere a locais mais adequados para instalação de barreiras de contenção e limpeza de praias, trazendo uma abordagem mais realística tornando-se ferramentas fundamentais na elaboração e execução de planos de contingências na esfera local e regional.

Abordagens como a do presente trabalho permite racionalizar recursos sendo mais adequada sob o ponto de vista técnico e ambiental. O resultado obtido revela que o SIG é uma ferramenta extremamente útil e ágil na integração de informações espaciais para medidas operacionais emergenciais em casos de derrames. Os métodos empregados facilitam a multi e interdisciplinaridade.

Espera-se que as discussões e conclusões referentes a este trabalho sirvam de exemplo aos demais estados costeiros brasileiros, de forma que no futuro possa ser criada uma rede nacional de dados sobre as praias brasileiras e sua vulnerabilidade em relação a acidentes envolvendo petróleo.

A metodologia empregada na elaboração dos mapas de vulnerabilidade pode ser considerada de fácil aplicação e interpretação podendo ser adotada por órgão ambientais e empresas da área ambiental na determinação de áreas vulneráveis a eventuais derrames de óleo. No entanto, a qualidade do produto

final esta relacionada a quantidade e qualidade de informações disponíveis para a realização da análise, quanto mais representativas da realidade forem os dados, mais representativo será o produto final da vulnerabilidade costeira.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, R. O. S. 2002. Caracterização sedimentar lateral e transversal da praia dos Concheiros do Albardão, RS. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Rio Grande, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*: 146.
- Araújo, S. I., Silva, G. H. e Muehe, D. 2000. Minuta do Manual Básico para Elaboração de Cartas de Sensibilidade no Sistema PETROBRAS.: 170.
- Bagnold, R. A. 1940. Beach formation by waves: some model- experiments in the wave tank. *J. Inst. Civ. Eng* **15**(7): 27-52.
- Baird, A. J. e Horn, D. P. 1996. Monitoring and Modelling Groundwater Behaviour in Sandy Beaches. *Journal of Coastal Research* **12**(3): 630-640.
- Barletta, R. C. 1997. Aspectos morfodinâmicos das praias situadas ao norte da desembocadura da Laguna dos Patos- Farol da Conceição e praias adjacentes, R.S. Monografia de conclusão de curso em Oceanologia. Rio Grande, RS, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*.
- Barletta, R. C. 2000. Efeito da interação oceano-atmosfera sobre a morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Rio Grande, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*.
- Barletta, R. C., Calliari, L.J., 1996. Caracterização morfodinâmica de praias compreendidas entre o Farol da Conceição e São José do Norte- RS. *Anais X Congresso Brasileiro de Oceanografia*. Itajaí. pp 24-26.
- Barletta, R. C., Franco, D., Melo, E., Pereira, P. S., Tozzi, H. e Calliari, L. J. 2004. Application of the Empirical Orthogonal Functions for the analysis of southern Brazilian beach profiles. *Journal of Coastal Research Special Issue* (39): *In press*.

- Bascom, W. H. 1954. Characteristics of natural beaches. *Proc. 4th Conf. on Coastal Engineering Geology*: 163-180.
- Bear, J. 1972. Dynamics of fluids through porous media. New York, *Elsevier*.
- Bícego, M. C. 1998. Contribuição ao estudo de hidrocarbonetos biogênicos e do petróleo no ambiente marinho. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico. São Paulo, *Universidade de São Paulo*: 156.
- Birkemeier, W. A. 1985. A User's Guide to ISRP: The interactive Survey Reduction Program. Instructions Report CERC84-11. Vicksburg, Mississippi, *U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center*: 101.
- Cabral, J., Koide, S., Simões, S. e Montenegro, S. 2000. Recursos Hídrico Subterrâneos. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Piava, J. B. D., Paiva, E.M.C.D., Santa Maria, RS.
- Calliari, L. J. e Klein, A. H. F. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, R.S. *Pesquisas* **20**: 48-56.
- Calliari, L. J. e Fachin, S. 1993. Laguna dos Patos: Influência nos depósitos lamíticos costeiros. *Pesquisas* **20**: 57-69.
- Calliari, L. J. e Klein, A. H. F. 1995. Variabilidade das praias oceânicas entre Cassino e Chuí, RS. *Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de São Paulo* **11**(Publicação especial): 55-63.
- Calliari, L. J. e Speranski, N. S. 2001. Padrões de refração para a costa do RS e erosão costeira. Erosão Costeira: Causas, Análise de Risco e sua relação com a Gênese de Depósitos Minerais. MARTINS, R. S. T. J., E. E.; DILLENBURG, S. R. Porto Alegre, RS, *Artigos em CD-Rom.OEA/ UFRGS/ FURG*.
- Calliari, L. J., Muehe, D., Hoefel, F. G. e Toldo Jr., E. E. 2003. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia* **51**(único): 63-78.

- Calliari, L. J., Boukareva, I., Pimente, F. e Speranski, N. S. 2003. Classification of the southern brazilian coast according to storm wave patters and geomorphologic evidence of coastal erosion. *Journal of Coastal Research Special Issue* (35): 339-342.
- Calliari, L. J., Pereira, P. S., De Oliveira, A. O., Figueiredo, S. A. (no prelo). Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul. *GRAVEL* 3.
- Camargo, M. G. 2005. SYSGRAN: Análises e gráficos sedimentológicos.
- Caputo, H. P. 1980. Mecânica de solos e suas aplicações. Rio de Janeiro, *Editora Livro Técnicos e Científicos*.
- Carmona, L. S., Gherardi, D. F. M. e Tessler, M. G. 2003. Dados de sensoriamento remoto e de geoprocessamento para apoio aos planos de contingência durante eventos de derramamento de óleo em regiões costeiras: o caso do litoral norte do estado de São Paulo. *XI SBSR*, Belo Horizonte, MG, Brasil, INPE.
- Chappell, J., Eliot, I. G., Bradshaw, M. P. e Lonsdale, E. 1979. Experimental control of beach face dynamics by water-table pumping. *Engineering Geology* **14**: 29-34.
- Clark, R. B. 1992. Marine Polution. Oxford, *Claredon Press*.
- CETESB. 2003. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Curso derrames de óleo no mar e os ecossistemas costeiros.
- Davis, J. C. 1986. Statistics and data analysis in geology, *Wiley*.
- Davies, J. M. e Topping, G. 1995. O impacto de um derrame de óleo em águas turbulentas: O Braer. Rio de Janeiro, *FEMAR*.
- Dean, R.G. 1973. Heuristic models of sad transport in the surf zone. *Proceedings of Conference on Engineering Dynamics in the Coastal Zone*: 208-214.

- Demore, J. P. 2001. Aspectos sedimentares do estuário da Lagoa dos Patos e sua interação com a poluição por Petróleo: subsídios para um plano de contingência. Monografia de conclusão de curso em Oceanologia. Rio Grande, RS, *Universidade Federal do Rio Grande*.
- ESRI. 1999. ArcView GIS 3.2, *ESRI*.
- Figueiredo, S. A. 2002. Distribuição espaço-temporal dos sangradouros da costa gaúcha no trecho São José do Norte - Farol de Mostardas. Monografia de conclusão de curso em Oceanologia. Rio Grande, RS, Brasil, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*: 46.
- Figueiredo, S. A. 2005. Sedimentologia e suas implicações na morfodinâmica das praias adjacentes a desembocaduras lagunares e fluviais da costa do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Rio Grande, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*: 189.
- Figueiredo JR., A. G. 1975. Geologia dos depósitos calcáreos biodetríticos da plataforma continental do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS, *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*: 72.
- Folk, R. L. e Ward, W. C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* **27**(1).
- Grant, U. S. 1948. Influence of the water table on beach aggradation and degradation. *Journal of Marine Research* **VII**(3): 655-660.
- Guza, R. T. e Inman, D. L. 1975. Edge waves and the beach cusps. *Journal of Geophysical Research* **80**: 2997-3012.
- Gundlach, E. R. e Hayes, M. O. 1978. Classification of coastal environments in terms of potential vulnerability to oil spill damage. *Marine Technology Society Journal* **12**(4): 18-27.
- Gundlach, E. R. e Hayes, M. O. 1978. Chapter 4: Investigations of beach processes. Boulder, Colorado, *NOAA/EPA Special Report. National Oceanic and Atmospheric Administration*.

- Gundlach, E. R., Ruby, C. H., Hayes, M. O. e Blount, A. E. 1978. The *Urquiola* oil spill La Caruna, Spain: Impact and reaction on beaches and rocks coasts. *Environmental Geology* **2**(3): 131-143.
- Gundlach, E. R., Finklestein, K. J. e Sadd., J. L. 1981. Impact and persistence of Ixtoc 1 oil on the south Texas coast. *Proceedings of the 1981 Oil Spill Conference*, Atlanta, Georgia.
- Harper, J. R., Dickins, D. F., Howes, D. e Sergy, G. 1992. Recent shoreline mapping projects in British Columbia and significance to oil spill countermeasure planning. *15th Environ. Can. Arctic & Mar. Oil spill program tech. Seminar. Proc.*: 293-300.
- Hayes, M. O. e Gundlach, E. R. 1975. Coastal geomorphology and sedimentation of the Metula oil spill site in the Strait of Magellan. Columbia, South Carolina, *Dept. of Geology, Univ. of South Carolina*: 103.
- Hegge, B., Eliot, I. e Hsu, J. 1996. Sheltered Sandy Beaches of Southwestern Australia. *Journal of Coastal Research* **12**(3): 48-760.
- Hoefel, F. G. 1995. Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: Uma Revisão Bibliográfica. Monografia de graduação de curso em Oceanologia. Rio Grande, RS, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*: 71.
- Idrisi Kilimanjaro. 2004. *Clark Labs, Clark University*.
- IPIECA. 2000. A Guide to Contingency Planning for Oil Spills on Water • A summary of the IPIECA report. London, *International Petroleum Industry Environmental Conservation Association*.
- ITOPF. 1985. Contingency Planning for Oil Spills. Technical Information Paper. no 9, *International Tanker Owners Pollution Federation*.
- ITOPF. 1986. Response marine oil spill. Londres, Reino Unido, Whitherby *The International Tanker Owners Pollution Federation*: 150.
- Klein, A. H. F. 1996. Concheiros do Albardão: variações espaço-temporais dos sedimentos e da

morfologia praial. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Porto Alegre, *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*: 120.

Klein, A. H. F. e Calliari, L. J. 1997. Praias oceânicas entre Cassino e Chuí (RS): variações da permeabilidade e sua influência no processo de troca de sedimentos. *VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Curitiba, PR.

Komar, P. D. 1976. Beach processes and Sedimentation. New Jersey, Prentice Hall, *Englewood Cliffs*, First edition.

Komar, P. D. 1998. Beach processes and Sedimentation. New Jersey, Prentice Hall, *Englewood Cliffs*, Second edition.

Krumbein, W. C. e Monk, G. D. 1942. Permeability as a function of the size parameters of unconsolidated sand. *American Institute of Mining and Metallurgical Engineering, Technical Publication*: p.11.

Lei Nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Disponível em: <http://www.lei.adv.br/9966-00.htm>.

Li, L. e Barry, D. A. 2000. Wave-induced beach groundwater flow. *Advances in Water Resources* **23**: 325-337.

MMA. 2002. Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derrames de óleo (CARTAS SAO), *Publicação do Ministério do Meio Ambiente*: 94.

Manly, B. F. J. 1994. Multivariate Statistical Methods. London, *Chapman & Hall*.

Martins, L. R., Urien, C. M. e Eichler, B. B. 1967. Distribuição dos sedimentos modernos da plataforma continental sul brasileira e uruguaia. *21º Congresso Brasileiro de Geologia*, Curitiba, Anais. SBG.

Masselink, G. e Li, L. 2001. The role of swash infiltration in determining the beachface gradient: a numerical study. *Marine Geology* **176**: 139-156.

- McLachlan, A. 1979. Volumes of sea water filtered through Eastern Cape sandy beaches. *S.Afr. J. Sci* **75**: 75-79.
- McLachlan, A. 1990. Dissipative Beaches and Macrofauna Communities on exposed Intertidal Sands. *Journal of Coastal Research* **6**(1): 57-71.
- Michel, J., Hayes, M. O. e Montello, T. M. 1993. Oil in the intertidal and subtidal sediment of the Saudi Arabian Coast one year after the Gulf War oil spill. *8th Amer. Soc. Civil. Eng. Et al. Coastal & Ocean Manage. Symp. (Coastal zone 93)*, New Orleans.
- MMA. 2002. Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derrames de óleo (CARTAS SAO), *Publicação do Ministério do Meio Ambiente*: 94.
- Nielsen, P., Robert, S., Moller-Christiansen, B. e Oliva, P. 2001. Infiltration effects on sediment mobility under waves. *Coastal Engieeniring* **42**: 105-114.
- NOAA. 1992. An introduction to coastal habitats and biological resources for oil spill response. Seattle, *National Oceanic and Atmospheric Administration*.
- NOAA. 1997. Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 2.0. NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 115. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. 79 pp. + apêndices.
- Oliveira, F. A. M. e Vinzon, S. B. 2003. Dinâmica do Escoamento da Face da Praia. *IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Recife, PE, Brasil.
- Owens, E. H. e Robilliard, G. A. 1981. Shoreline Sensitivity and Oil Spills- a Re-evaluation for the 1980's. *Marine Pollution Bulletin* **12**(3): 75-78.
- Packwood, A. R. 1983. The influence of beach porosity on wave uprush and backwash. *Coastal Engieeniring* **7**: 29--40.
- Peña, H. G. e Lanfredi, N. W. 1988. Beach Profile Analysis by Empiric Orthogonal Functions. *Journal*

of Coastal Research 4(3): 457-463.

Pereira, P. S. 2003. A morfodinâmica praial como ferramenta para a segurança dos banhistas da praia do cassino: estudo de caso da temporada 2002. Monografia de conclusão de curso em Oceanologia. Rio Grande, RS, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*: 77.

Pereira, P. S., Calliari, L. J. e Lélis, R. J. F. 2004. High frequency beach profile monitoring: implications in beach safety at Cassino beach, southern Brazil. *Journal of Coastal Research Special Issue*(39): *In press*.

Pereira, P. S., Calliari, L. J., Lélis, R. J. F. e Figueiredo, S. A. 2003. Riscos associados ao banho de mar e sua relação com a heterogeneidade morfodinâmica das praias do Rio Grande do Sul, Brasil: Projeto Segurança nas Praias. *IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Recife, PE.

Pereira da Silva, R. 1998. Ocorrência, distribuição e caracterização dos sangradouros na zona costeira do Rio Grande do Sul: trecho Rio Grande-Chuí, RS. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências. Porto Alegre, *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*: 146.

Pereira da Silva, R., Calliari, L. J. e Tozzi, H. A. M. 2003. The Influence of Washouts on the Erosive Susceptibility of Rio Grande do Sul between Cassino and Chuí Beaches, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research Special Issue*(35): 332-338.

Pivel, M. A. G. 1997. Caracterização morfodinâmica e sedimentológica das praias de Torres (RS). Monografia de conclusão de curso em Oceanologia. Rio Grande, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*: 72.

Pivel, M. A. G. e Calliari, L. J. 1999. Mobilidade das praias de Torres. *VII congresso da ABEQUA*, Porto Seguro, BA.

Rocha, C., Forster, S., Koning, E. e Epping, E. 2005. High-resolution permeability determination and two-dimensional porewater flow in sandy sediment. *Limnology and Oceanography: Methods* 3: 10-

23.

- Shepard, F. P. 1950. Longshore bars and longshore troughs. *U.S. Army Corps of Eng., B.E.B. Tech. Memo* **15**: 31.
- Short, A. D. 1979. Three dimensional beach stage model. *Journal of Geology* **87**: 553-571.
- Short, A. D. e Hesp, P. 1982. Wave, Beach and Dune Interactions southeastern Australia. *Marine Geology* **48**: 259-284.
- Short, A. D. 1999. Beach and shoreface morphodynamics, *John Wiley, Chinchester*.
- Siegle, E. 1996. Distribuição dos sedimentos litorâneos entre o Farol da Conceição e Farol do Chui, RS, e fatores condicionantes. Departamento de Geociências. Rio Grande, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*: 1-88.
- Silva, A. R. P. e Calliari, L. J. 2001. Erosão versus progradação da linha de costa de praias expostas e contíguas a grandes estruturas. *VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Mariluz, Imbé-RS.
- Strain, P. M. 1986. The Persistence and Mobility of a Light Crude Oil in a Sandy Beach. *Marine Environmental Research* **19**: 49-76.
- Tabajara, L. L. e Almeida, L. E. S. B. 2003. Morfodinâmica dos bancos na praia de Atlântida Sul, RS. *IX Congresso da ABEQUA*, Recife, PE.
- Tagliani, C. R. A. 2002. A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado. Doutorado. Programa de pós-graduação em geociências. Porto Alegre, *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*.
- Teo, H. T., Jeng, D. S., Seymour, B. R., Barry, D. A. e Li, L. 2003. A new analytical solution for water table fluctuations in coastal aquifers with sloping beaches. *Advances in Water Resources* **26**: 1239-

1247.

- Terra, S. G. 2003. Construção de um trenó marítimo (*sea sled*) para monitoramento topográfico do perfil do fundo do mar na zona de surfê em Rio Grande- RS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica. Rio Grande, *Fundação Universidade Federal de Rio Grande*: 76.
- Tessler, M. G. e Mahiques, M. M. 2000. Por uma terminologia brasileira para o ambiente praial. *Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas*, Itajaí, UNIVALI.
- Toldo Jr., E. E. e Hasenak, H. 1997. Relatório Técnico, Projeto Estudos Ambientais em Áreas Costeiras e Oceânicas na Região Sul do País, Geologia Área de Tramandaí. *Petrobrás*. **1**: 99.
- Toldo Jr., E. E., Dillenburg, S. R., Almeida, L. E. S. B., Tabajara, L. L., Martins, R. R. e Cunha, L. O. B. P. 1993. Parâmetros Morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. *Pesquisas* **20**(1): 27-32.
- Tomazelli, L. J., Villwock, J. A., Dillenburg, S. R., Bachi, F. A. e Dehnhardt, B. A. 1997. A erosão costeira e a transgressão marinha atual na costa do Rio Grande do Sul. *VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (VI ABEQUA)*, Curitiba, Paraná, Brasil.
- Tozzi, H. A. M. 1995. Morfodinâmica da praia do Cassino, R.S. Monografia de conclusão de curso em Oceanologia. Rio Grande, RS, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*.
- Tozzi, H. A. M. 1999. Influência das Tempestades Extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, *UFRGS*: 115 p.
- Tozzi, H. A. M. e Calliari, L. J. 2000. Morfodinâmica da praia do Cassino. *Pesquisas* **27**: 29-42.
- Tsouk, E., Amir, S. e Goldsmith, V. 1985. Natural Self-cleaning of Oil-pollute Beaches by Waves. *Marine Pollution Bulletin* **16**(1): 11-19.
- Triola, M. F. 1999. Introdução a estatística. Rio de Janeiro, *Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.*

- Turner, I. L. 1993. Total water content of sand beaches. *Journal of Coastal Research* **15**(Special Issue): 11-26.
- Turner, I. L. e Leatherman, S. P. 1997. Beach dewatering as a soft engineering solution: a history and critical review. *Journal of Coastal Research* **13**: 1050-1063.
- Turner, I. L. e Nielsen, P. 1997. Rapid water table fluctuations within the beach face: implications for swash zone sediment. *Coastal Engineering* **32**: 45-59.
- Vandermeulen, J. H., Harper, J. e Humphery, B. 1988. Environmental factors influencing oil penetration and persistence in fine sediment tidal flats. *Oil and Chemical Pollution* **4**(3): 155-177.
- Vargas, M. 1977. Introdução a mecânica dos solos. São Paulo, *Editora MCgraw-Hill do Brasil da Universidade de São Paulo*.
- Viera, H., Calliari, L. J. e Oliveira, G. P. 2004. O estudo do impacto da circulação de veículos em praias arenosas através de parâmetros físicos: um estudo de caso. *ENGEVISTA* **6**(3): 54-63.
- Villwock, J. A. e Tomazelli, L. J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas* **8**: 1-45.
- Waddel, E. 1976. Swash-groundwater-beach profile interactions, *SERV*.
- Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* **30**: 377-392.
- Werner, A. D. e Lockington, D. A. 2003. Influence of hysteresis on tidal capillary fringe dynamics in a well-sorted sand. *Advances in Water Resources* **26**: 1199-1204.
- Weschenfelder, J., Ayup-Zouain, R. N., Zomer, S. L. C. e Souto, R. P. 1997. Caracterização morfológica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS. *Notas Técnicas* **10**: 35-48.
- Wright, L. D. e Short, A. D. 1984. Morphodynamics variability of high energy surf zones and beaches:

a synthesis. *Marine Geology* **56**: 93-118.

Wright, L. D., Guza, R. T. e Short, A. D. 1982. Dynamics of a High-energy Dissipative Surf Zone. *Marine Geology* **45**: 41-62.

Wright, L. D., Chappell, J., Thom, B. G., Bragshaw, M. P. e Cowell, P. 1979. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems, southeastern Australia. *Marine Geology*, **32**: 105-140.

7 APÊNDICES



Refinaria de Petróleo Ipiranga S. A. Depto. Controle de Qualidade e M. A.					
CERTIFICADO DE ANÁLISE DO PRODUTO Produto: Petróleo Hydra Data: 10/10/2003					
ENSAIOS		MÉTODOS REFERÊNCIA		RESULTADOS	
Densidade à 20/4°C		ASTM D1298		0,778	
API		ASTM D1298		49,3	
Viscosidade a 30°C, (cSt)		IP-100		33,164	
Nitrogênio Básico, (ppm)				143,96	
Cloretos, (mg/l)		MB-298		5,0	
Resíduo de Carbono Ramsbottom, (%)		ASTM D524		1,217	
Enxofre, (%)		ASTM D1552		0,045	
Água e Sedimento, (%)		ASTM D4007		0,05	
TAN, (mgKOH/g)		ASTM D664		0,15	
Ponto Fluidez, (°C)		ASTM D97		Inf 0	
Pressão Vapor Reid, (Kgf/cm ²)		ASTM D5482		7,8	
Ferro, (ppm)		Absorção Atômica		1,46	
Vanádio, (ppm)		Absorção Atômica		0,31	
Cobre, (ppm)		Absorção Atômica		Zero	
Níquel, (ppm)		Absorção Atômica		Zero	
Sódio, (ppm)		Absorção Atômica		8,37	
Benzeno/Tolueno (% volume)		Cromatografia		0,050/0,197	
Mercúrio, (ug/Kg)					
P. Inicial, °C	33				
		210° C	56,0	310° C	70,0
30° C		220° C	57,0	320° C	71,0
40° C	1,0	120° C	32,5	230° C	58,0
50° C	3,0	130° C	37,0	240° C	58,5
60° C	7,0	140° C	40,0	250° C	60,5
70° C	13,0	150° C	42,0	260° C	62,0
80° C	16,5	160° C	45,0	270° C	63,0
90° C	21,0	170° C	47,0	280° C	64,0
100° C	25,0	180° C	49,0	290° C	66,0
110° C	30,0	190° C	53,0	300° C	68,0
		200° C	54,0	310° C	70,0
				320° C	71,0
				330° C	72,5
				340° C	76,0
				350° C	77,0
				360° C	78,0
				370° C	79,0
				380° C	
				390° C	
				Cracking, °C	377,0
OBS: Não temos Método para Análise de Mercúrio em Óleos.					

Refinaria de Petróleo Ipiranga S. A.
 Rua Engenheiro Heitor Amaro Barcaiolo, 551
 CEP 96202-900 - Rio Grande - RS