

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - CFH  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E SEDIMENTAR DO  
SEGMENTO PRAIAL NAVEGANTES/GRAVATÁ E SUA AÇÃO  
SOBRE OS ESFORÇOS DE RECOMPOSIÇÃO DA PRAIA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, como Requisito para a Obtenção do Título de Mestre em Geografia – Linha de Pesquisa: Oceanografia Costeira e Geologia Marinha.

**João Thadeu de Menezes**

**Jarbas Bonetti Filho  
orientador**


**Florianópolis**

**2002**

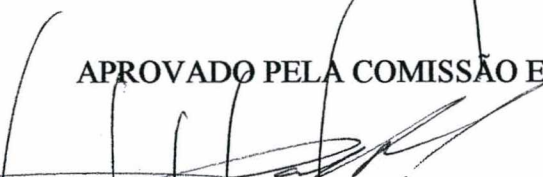
**“Alimentação Artificial do Segmento Praial Navegantes/Gravatá, SC”**


**João Thadeu de Menezes**

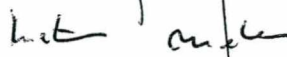
*Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Geografia, área de concentração, Utilização e Conservação de Recursos Naturais, do Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de Mestre em Geografia.*

  
Prof. Dr. Norberto Olmiro Horn Filho  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM: 02/10/2002

  
Dr. Jarbas Bonetti Filho (Presidente e Orientador-UFSC)

  
Dr. Norberto Olmiro Horn Filho (Membro-UFSC)

  
Dr. Dieter Carl Ernst Heino Muehe (Membro-UFRJ)

Florianópolis - 2002



**À minha esposa Josi pelo  
Amor, Apoio e Dedicção para  
que eu sempre continue  
crescendo pessoal e  
profissionalmente.**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar e antes de tudo, agradeço à minha adorável esposa, Josi, minha alma gêmea – por acreditar. Por ser Josi uma das pessoas mais inteligentes que conheço, sempre levo muito a sério seus conselhos e considerações. A meus filhos Kandú, Luna, Leca, Malu e Julia pelos momentos de descontração durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a minha família e a de minha esposa por todo apoio e força dados durante estes anos.

Agradeço a Deus pela saúde e disposição durante esta jornada dura.

Ao meu orientador Jarbas pela revisão final deste trabalho.

Ao amigo Klein pelas sugestões e horas despendidas nas muitas e muitas revisões a ele confiadas.

Ao amigo Fernando Diehl pelas correções finais desta dissertação.

Aos amigos Gláucio, Neto e Lelo pela força e incentivo para a finalização deste trabalho.

Ao amigo Lindino pela ajuda na confecção do Abstract.

Aos colegas de Laboratório Klein, Gustavo, Gláucio, Neto, Lourival, Sandrinha, Mauro, Eduardo, Inês, Fernando e Delamar pelas coletas de campo que possibilitaram a realização desta dissertação.

Ao amigo Nilberto pela digitalização das bases cartográficas necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

Ao seu Gentil e Marquinhos pelas muitas análises das amostras granulométricas realizadas.

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente - IBAMA pelo empréstimo do Soloncy Moura que possibilitou a realização dos campos.

Ao Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – PADCT do Ministério de Ciência e Tecnologia - MCT pelo financiamento do projeto *“Avaliação do Potencial de Recursos Arenosos da Plataforma Interna e Desembocadura de Rios para Engordamento Artificial de Praias”* que possibilitou a execução deste trabalho.

E finalmente, a Secretaria do Patrimônio da União - SPU pelas restituições aerofotogramétricas gentilmente cedidas.

<b>SUMÁRIO</b>
----------------

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>iii</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMO</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xvi</b>
<b>Capítulo Um - Introdução</b>	<b>18</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
1.2.1 Geral	20
1.2.2 Específicos	20
<b>1.3 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo Dois - Fundamentação Teórica</b>	<b>22</b>
<b>2.1 PROBLEMAS EROSIVOS NO LITORAL CENTRO-NORTE DE SANTA CATARINA</b>	<b>22</b>
<b>2.2 BALANÇO DE SEDIMENTOS</b>	<b>24</b>
<b>2.3 RECUPERAÇÃO DE PRAIAS ARENOSAS</b>	<b>25</b>
<b>2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE JAZIDAS SEDIMENTARES</b>	<b>28</b>
<b>2.5 ONDAS DE GRAVIDADE GERADAS PELO VENTO</b>	<b>31</b>
2.5.1 Modificações de Ondas em Águas Rasas	32
2.5.1.1 Fricção com o Fundo	32
2.5.1.2 Empinamento	32
2.5.1.3 Refração	33
2.5.1.4 Arrebentação das Ondas	34

<b>Capítulo Três – Área de Estudo</b>	<b>36</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	36
3.2 GEOLOGIA	37
3.3 MORFODINÂMICA PRAIAL	41
3.4 BALANÇO DE SEDIMENTOS	41
3.5 CLIMA	43
3.6 REGIME DE VENTOS	44
3.7 REGIME DE ONDAS	46
3.8 MARÉS	50
3.9 BATIMETRIA	51
<b>Capítulo Quatro – Caracterização do Problema</b>	<b>52</b>
<b>Capítulo Cinco - Materiais e Métodos</b>	<b>57</b>
5.1 VARIACÃO DA LINHA DE COSTA	57
5.1.1 Linha de costa de 1993	57
5.1.2 Linha de Costa de 2002	58
5.1.3 Variações na Posição da Linha de Costa	59
5.2 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA	60
5.2.1- Jazida Continental	60
5.2.2 Praia	61
5.2.3 Plataforma Interna (10-25 metros)	62
5.2.4 Plataforma Interna (3 a 10 metros)	62
5.2.5 Análises Laboratoriais	63
5.2.6 Tratamento Estatístico	63
5.3 FATOR DE ENCHIMENTO (RA)	63
5.4 DECLIVIDADE DA PLATAFORMA INTERNA	64
5.5 PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO INTERNA DO PERFIL PRAIAL	65
5.6 MODELO DE REFRAÇÃO DE ONDAS	65
5.6.1 Equações Básicas	69

5.6.2	Solução Técnica	70
5.7	TAXA DE OCUPAÇÃO DAS DUNAS FRONTAIS	71
<b>Capítulo Seis – Resultados e Discussão</b>		<b>73</b>
6.1	VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA	73
6.2	CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA	78
6.2.1	Jazida Continental	78
6.2.2	Praia	79
6.2.3	Plataforma Interna Adjacente	79
6.3	FATOR DE ENCHIMENTO	85
6.4	PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO	86
6.5	DECLIVIDADE DA PLATAFORMA INTERNA ADJACENTE	87
6.6	REFRAÇÃO DE ONDAS	88
6.7	TAXA DE OCUPAÇÃO DAS DUNAS FRONTAIS	94
6.8	VULNERABILIDADE À EROÇÃO	94
6.9	VOLUME SEDIMENTAR NECESSÁRIO PARA A ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL	97
6.10	ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL REALIZADA PELA PREFEITURA EM 1999	97
6.11	PROTEJO DE ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL PARA O SEGMENTO PRAIAL NAVEGANTES/GRAVATÁ	98
6.12	POTENCIAIS JAZIDAS À ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL	102
6.13	REALIMENTAÇÃO DO SEGMENTO PRAIAL NAVEGANTES/GRAVATÁ	103
<b>Capítulo Sete – Considerações Finais</b>		<b>105</b>
<b>Capítulo Oito – Limitações da Dissertação</b>		<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>108</b>



## RESUMO

Muitos municípios do litoral centro-norte catarinense sofrem com processos erosivos em suas praias decorrentes da falta de planejamento na ocupação da zona costeira. Um exemplo é o segmento praial Navegantes/Gravatá que na última década tem sofrido processos erosivos devido à retirada das dunas frontais para a construção de uma avenida beira-mar e um calçadão em sua porção norte.

Diante desta realidade, e na tentativa de entender as características ambientais responsáveis por estes processos, este projeto realizou o estudo das características morfológicas e sedimentares e sua ação sobre os esforços de recomposição da praia, bem como propôs subsídios para a realização de uma alimentação artificial.

A análise da vulnerabilidade da linha de costa demonstrou que um setor no norte da praia, com extensão aproximada de 2 quilômetros, é sensível à erosão e apresenta uma retração da linha de costa com taxas médias de 1,5 metro por ano.

Faz-se necessário à realização de uma obra de alimentação artificial neste setor da praia. O sedimento deverá ser explotado de um depósito arenoso localizado na plataforma continental a 14 quilômetros da praia. O volume sedimentar necessário e o custo estimado dependerão da largura final desejada para o projeto de alimentação.

Após projeto de alimentação é necessário o monitoramento periódico da taxa de retração da linha de costa para que possa se verificar o tempo de realimentação real para a praia.

## ABSTRACT

Along the central North Coast of Santa Catarina State several coastal municipalities suffer with beach erosion processes, these caused mainly by the improper planning of coastal urbanization, where constructions on the active beach are easily found. One good example is the beach of Navegantes/Gravata. This beach in the last decade suffered with aggravated beach erosion problems due to the replacement of frontal dunes to a beachfront avenue, public walkway and recreational facilities.

Facing this reality, and trying to understand the governing processes behind the erosional problem, this project studied the local morphology and sedimentary characteristics and its effects on beach protection measures adopted in the past, to propose targeted theoretical and scientific background for future beach restoration, by means of appropriate beach nourishment practice.

An analysis of the vulnerability of the coastline was conducted, and demonstrated that the 2 km long northern sector of the beach, is highly vulnerable to erosion processes and exhibits a shoreline erosion rate in the order of 1.5 meters per year.

It was indicated that in this sector it is necessary to supply sediments to the beach system towards nourishment. The sediment to be used for such a project shall be exploited from a sand deposit located in the adjacent continental shelf, 14 kilometers offshore. The sand volume necessary and the estimated cost will fluctuate according to the final beach width desired for this sector.

Continuous monitoring of project performance and erosion rates of the fill material is of extremely importance for an accurate calculation of future re-nourishment needs for the area.

## Capítulo Um - Introdução

### 1.1 INTRODUÇÃO

Embora as praias arenosas oceânicas ocupem apenas uma pequena parcela da superfície do planeta, é preciso considerar sua larga ocorrência e utilização ao longo de maior parte das costas tropicais e temperadas do mundo, onde assumem considerável importância sócio-econômica e ambiental (HOEFEL, 1988).

KOMAR (1976) observou que aproximadamente dois terços da população mundial vive numa estreita faixa adjacente à costa, tendo sido as praias e os estuários os primeiros ambientes a sofrer diretamente a ocupação e o impacto do crescimento demográfico mundial.

Do ponto de vista social e econômico, as praias representam importantes áreas recreacionais, em torno das quais desenvolvem-se cidades, balneários, atividades turísticas, comerciais e industriais. Porém as praias são ambientes altamente dinâmicos, sofrendo erosão no inverno e acresção no verão, devido a ação de ondas, correntes e ventos. Muitas praias são naturalmente erodidas, sofrendo uma variação na posição da linha de costa, entretanto esta variação pode ser potencializada pela ocupação humana.

Muitas estratégias têm sido utilizadas no esforço de manter a linha de costa para satisfazer necessidades sócio-econômicas. Estruturas fixas como quebra-mares, muros e espigões, têm sido usadas por muitos anos para criar uma barreira entre a terra e o mar. Porém eles podem interromper o transporte de

sedimentos ao longo da costa, aumentar os problemas erosivos em alguma instância ou ainda criar outros.

A alimentação artificial de praias é a colocação de forma hidráulica ou mecânica de areia sobre a praia e/ou antepraia para avançar a posição da linha de costa em direção ao mar ou manter o volume de sedimentos no sistema litorâneo. A utilização desta metodologia tem sido adotada em muitos países por ser a única forma de proteção que adiciona sedimentos ao sistema costeiro.

Segundo NORDSTROM (2000) a razão mais freqüente para a alimentação artificial é ser uma alternativa leve para a proteção de instalações humanas do ataque das ondas em locais onde a praia original tem sido erodida, mas há muitos outros usos para a alimentação. Estes usos incluem: (1) desenho e criação de novas praias onde estas não existiam, para suprir algum uso humano; (2) eliminar efeitos detritais de estruturas de proteção costeira para soterra-las; (3) prover proteção para dunas; (4) proteção de áreas naturais; (5) alargamento de praias para acomodar novas construções; e (6) contrabalançar os efeitos contemporâneos do aumento do nível do mar. Uma praia construída pelo homem em uma área urbana é geralmente bem recebida pelo público, e projetos de alimentação tem representado um papel considerável na valoração de muitos locais costeiros como destinos turísticos.

O volume de sedimentos utilizados na alimentação de praias na Europa e Estados Unidos da América está em torno de 30 milhões de m<sup>3</sup> por ano.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Geral**

Determinar as características morfológicas e sedimentares no segmento praial Navegantes/Gravatá e sua ação sobre os esforços de recomposição da praia até o momento, visando propor subsídios para uma alimentação artificial da praia.

### **1.2.2 Específicos**

- Analisar a variação da linha de costa no segmento praial Navegantes/Gravatá entre 1993 e 2002 confeccionando mapas de erosão e acresção para cada quilômetro;
- Analisar os sedimentos da praia e plataforma continental interna verificando sua compatibilidade para a alimentação praial;
- Calcular a profundidade de fechamento do perfil praial;
- Gerar cenários de refração de ondas para o segmento praial Navegantes/Gravatá identificando locais de concentração de energia de onda;
- Analisar a vulnerabilidade do segmento praial Navegantes/Gravatá à erosão.
- Sugerir potenciais depósitos arenosos para realizar a alimentação com a menor razão custo-benefício;
- Estimar o volume de sedimentos necessário para realizar o projeto de recuperação;

- Definir cenários de projetos de alimentação artificial para o segmento praial Navegantes/Gravatá;
- Calcular o tempo de realimentação para o segmento praial Navegantes/Gravatá.

### **1.3 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está dividida em 8 capítulos que estão assim distribuídos: (1) apresenta uma breve introdução, os objetivos e o escopo do trabalho; (2) engloba uma breve fundamentação teórica sobre o assunto abordado; (3) descrição da área de estudo; (4) caracterização do problema; (5) materiais e métodos; (6) resultados e discussão; (7) considerações finais; e (8) limitações da dissertação.

## Capítulo Dois - Fundamentação Teórica

### 2.1 PROBLEMAS EROSIVOS NO LITORAL CENTRO-NORTE DE SANTA CATARINA

O acelerado processo de urbanização verificado no litoral centro-norte de Santa Catarina acarretou em um incremento populacional considerável, especialmente nos últimos 30 anos (KLEIN *et. al.*, 1999).

Devido à falta de uma política de ocupação da zona costeira, alguns ecossistemas, como dunas, praias e mangues, foram indevidamente ocupados com a construção de casas, avenidas beira-mar e calçadões. Muitos municípios do litoral centro-norte catarinense hoje sofrem com processos erosivos em suas praias decorrentes da falta de planejamento na ocupação da zona costeira. Como exemplo podemos citar os municípios de Barra do Sul, Barra Velha, Piçarras, Navegantes e Balneário Camboriú (KLEIN *et. al.*, *op. cit.*).

A Figura 1 apresenta um mapa com as principais localidades no litoral centro-norte catarinense que apresentam processos erosivos e as prováveis causas destes processos.



	LOCALIDADE	PROVÁVEIS CAUSAS
	BARRA DO SUL (Município de Barra do Sul)	<p>Aparentemente os efeitos erosivos são resultado da fixação do Canal do Linguado através de guias correntes e urbanização da orla costeira.</p>
	BARRA VELHA (Município de Barra Velha)	<p>Sugere-se que esta região constitua-se numa área de não deposição, devido a canalização de sedimentos em sistemas de ilha-barreira. Outro fato importante a ser considerado é a intensificação da ocorrência de marés meteorológicas, conforme dados apresentados, que demonstram uma tendência de aumento da frequência de desvios positivos entre as décadas de 60 e 80, para a região sudeste do Brasil. Levantamentos de perfis topográficos praias, executados ao longo dos anos de 1994 e 1995, não demonstram recuo da linha de costa. Contudo, tais levantamentos demonstram a existência de uma sazonalidade bem definida nas trocas de sedimentos através da praia. Maiores perdas ocorrem no início do outono, quando da intensificação das ondas provindas do quadrante sul, associadas às marés meteorológicas.</p>
	PIÇARRAS (Município de Piçarras)	<p>Conforme registros fotográficos, estudos efetuados pelo INPH e análises de fotografias aéreas, conclui-se que os problemas tiveram início após a construção do guia corrente e aterro do sistema lagunar adjacente. Cabe registrar a existência de uma avenida beira-mar junto à linha de costa, construída sobre as dunas frontais. A presença de esgotos pluviais também favorecem a perda de sedimentos praias.</p>
	GRAVATÁ / MEIA PRAIA (Município de Navegantes)	<p>Em Gravatá, a migração de pequeno rio (hoje fixado), bem como os processos de refração e difração de ondas, podem ser os responsáveis pelos processos erosivos. Em Meia-Praia evidencia-se a presença de uma pequena escarpa nas dunas frontais durante os meses de inverno.</p>
	BARRA SUL (Município de Balneário Camboriú)	<p>Nesta área foi realizado aterro para construção da avenida beira-mar e retificação da orientação da linha de praia mediante utilização de muro de contenção.</p>

Figura 1 Setores do litoral centro-norte catarinense que vêm apresentando processos visíveis de erosão costeira e que necessitam de medidas recuperadoras urgentes (Klein et al., 1999)

## 2.2 BALANÇO DE SEDIMENTOS

O balanço de sedimentos nada mais é do que a aplicação do princípio de continuidade e conservação de massa para os sedimentos litorâneos. A taxa de troca de sedimentos e o sistema são dependentes, ou seja, a taxa de areia que entra no sistema e a taxa que sai dele. O balanço sedimentar envolve as contribuições sedimentares e as perdas de um compartimento litorâneo (BOWEN & INMAN, 1966).

O balanço de sedimentos entre perdas e ganhos de um sistema é refletido na erosão e deposição local de uma praia (KOMAR, 1976).

BOWEN e INMAN (1966) resumiram as principais fontes e perdas de sedimentos existentes em um balanço sedimentar litorâneo (Tabela 1). Em geral, o transporte sedimentar litorâneo ao longo da costa, a descarga fluvial e a erosão de costões promovem os maiores aportes de sedimentos para um sistema praial; o transporte de sedimentos ao longo da costa para fora do sistema praial, o transporte de sedimentos pelas correntes de retorno e o transporte pelo vento em direção à costa para formar as dunas são as principais formas de perda ou débito de sedimentos em um sistema praial.

Tabela 1. Balanço sedimentar litorâneo (BOWEN & ILMAN, 1966)

Fonte	Débito	Balanço
Transporte de sedimentos por correntes ao longo da costa para a praia	Transporte de sedimentos por correntes ao longo da costa para fora da praia	Deposição e erosão praial
Descarga Fluvial	Transporte eólico para formação das dunas	
Erosão dos costões	Transporte de sedimentos para a plataforma continental	
Transporte de sedimentos da plataforma continental		
Transporte eólico para a praia		
Alimentação praial		

Em uma praia em estabilidade dinâmica, ou seja, que não apresente variação da sua linha de costa por processos erosivos ou acrescivos, podemos afirmar que o volume sedimentar colocado nesta praia pelas fontes é semelhante ao volume retirado pelas perdas sedimentares.

### **2.3 RECUPERAÇÃO DE PRAIAS ARENOSAS**

Segundo o Comitê de Alimentação e Proteção de Praias dos Estados Unidos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995), uma praia necessita um projeto de recuperação quando vem sofrendo erosão por um tempo considerável e sofre diminuição da sua proteção contra tempestades e redução do seu potencial recreativo.

KRUMBEIN & JAMES (1965) desenvolveram o conceito no qual o sedimento original da praia é uma população hidraulicamente estável podendo ser comparado com sedimentos de jazidas arenosas com diferentes tamanhos de grão.

Posteriormente, o Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE, 1984) incorporou o conceito de KRUMBEIN & JAMES (1965) em suas experiências e desenvolveu dois fatores: (1) o fator de enchimento ( $R_A$ ) que prediz quanto de sedimento deverá ser adicionado no projeto para a sua adequação hidrodinâmica; e (2) o fator de realimentação ( $R_j$ ) que avalia o tempo necessário para se repetir o projeto de realimentação.

HALLERMEIER (1981, *apud* NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995) desenvolveu uma zonação para o perfil ativo da praia baseada em parâmetros de ondas. Duas profundidades limites foram definidas. A primeira ( $d_L$ ) é a máxima

profundidade de erosão e limite de transporte de areia em condições anuais extremas de onda, corresponde a profundidade máxima de alteração do perfil praias. A segunda é a máxima profundidade de transporte de areia por condições médias de onda. O autor sugere que  $d_L$  deve ser utilizado como base de projetos de alimentação artificial de praias para se estimar a forma do perfil praias após a alimentação.

DEAN (1983) propôs a utilização do conceito de perfil de equilíbrio em projetos de alimentação artificial de praias. Ele sugere que a forma do perfil praias pode ser aproximada pela seguinte fórmula:

$$h(y) = Ay^{0,67}$$

onde,  $h(y)$  é a profundidade na distância ( $y$ ) e  $A$  é um fator escalar relacionado ao tamanho de grão.

CAMPBELL *et al.* (1990) desenvolveram um modelo para estimar o volume de sedimentos a ser utilizado em um projeto de recuperação de praias:

$$V_T = (B + d_L) L W$$

onde,  $V_T$  é o volume total,  $B$  é a elevação da berma,  $L$  é a extensão do projeto de alimentação,  $d_L$  é a profundidade de fechamento do perfil praias e  $W$  é a largura de projeto desejada para a praia.

VERHAGEN (1992) apresentou um modelo para alimentação artificial de praias arenosas. Este modelo consiste de cinco passos:

- Obtenção da posição da linha de costa (preferivelmente por no mínimo 10 anos);

- Calcular a perda de sedimentos em  $m^3$ /ano por seção praial;
- Adicionar de 20 a 40% de perda de sedimento durante a acomodação deste no perfil praial;
- Multiplicar o volume calculado pelo número de anos que se pretende fazer a realimentação da praia;
- Colocar esta quantidade de sedimento em alguma área da praia entre a base da duna e um metro abaixo do baixo nível de maré.

Este método é simples e direto. Não necessita de modelos matemáticos e dados de ondas e ventos, mas medidas de boa qualidade da posição da linha de costa são absolutamente necessárias.

VERHAGEN (1996) definiu o volume de volume de sedimento que continuará no perfil praial após um certo tempo pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$V_t = V_0 - at$$

Onde,  $V_0$  é o volume utilizado na alimentação artificial ( $m^3/m$ ),  $V_t$  é o volume no tempo  $t$  ( $m^3/m$ ) e  $a$  é a taxa de retração da linha de costa ( $m/ano$ ).

O Volume  $V_0$  do modelo de VERHAGEN (*op. cit.*) é igual ao volume  $V_T$  utilizado por CAMPBELL *et. al.* (1990) e correspondem ao volume total utilizado na alimentação artificial.

## 2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE JAZIDAS SEDIMENTARES

Um problema de crescente interesse nos projetos de alimentação ou realimentação artificial periódica de praias arenosas é a localização de jazidas, com baixo custo econômico e volume sedimentar suficiente, contendo propriedades granulométricas similares ou aproximadamente similares as do sedimento nativo da praia (KRUMBEIN & JAMES, 1965).

A definição de áreas fonte (jazidas) deve atender a algumas exigências, isto é, deve garantir que o sedimento cubado seja compatível com as condições energéticas a que será submetido para que permaneça na praia por um tempo previsível. Devem ainda ser considerados os efeitos que a exploração de sedimentos marinhos poderá provocar sobre o ambiente, de modo que não exija futura reparação ambiental. Deste modo, não é recomendada a retirada de sedimentos de regiões adjacentes à praia, em profundidades inferiores a 10 metros, uma vez que a tendência natural será de que o relevo do fundo retorne a sua declividade original, causando transporte de sedimento naquela direção (USACE, 1984). Finalmente, a extração de areia deve ser realizada sobre uma área extensa, sem escavar o fundo original em demasia, evitando a formação de "panelas", as quais poderão afetar o regime energético local (ondas).

Quando o sedimento da jazida possui as mesmas características texturais do material original é o mais adequado para a alimentação; material levemente mais grosso também pode ser adequado. Existindo a disponibilidade destes sedimentos semelhantes aos originais, o volume requerido para a reconstrução pode ser determinado diretamente a partir das dimensões do projeto, assumindo

que apenas quantidades insignificantes de sedimentos serão perdidos através do transporte seletivo e que o processo de seleção é semelhante ao do material original. Nos casos em que estas condições não existem, um volume adicional de preenchimento é necessário, calculado através de um fator de enchimento (KRUMBEIN & JAMES, 1965; USACE, 1984).

O fator de enchimento é um índice multiplicador determinado a partir da média e do desvio padrão do tamanho dos sedimentos da praia e da jazida. O fator leva à determinação do volume de sedimentos que deve ser depositado na praia por metros cúbicos que ali venham a permanecer (USACE, *op. cit.*; JAMES, 1975). O gráfico representado na Figura 2 permite o cálculo do fator de enchimento ( $R_A$ ) através da relação entre as razões  $\sigma_{\phi b}/\sigma_{\phi n}$  e  $(M_{\phi b}-M_{\phi n})/\sigma_{\phi n}$ , sendo:

$R_A$  = número estimado de metros cúbicos de material dragado requerido para produzir um metro cúbico de material na praia quando a praia está em condições compatíveis com o material nativo;

$M_{\phi}$  = média do tamanho do grão em  $\phi$ , sendo:

$$M_{\phi} = \frac{(\phi_{84} + \phi_{16})}{2}$$

$\sigma_{\phi}$  = desvio padrão do tamanho de grão em  $\phi$ , sendo:

$$\sigma_{\phi} = \frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{2}$$

$b$  = índice subscrito que designa sedimentos da jazida;

$n$  = índice subscrito que designa sedimentos naturais da praia;

$\phi_{84}$  = percentil 84 em  $\phi$ ;

$\phi_{16}$  = percentil 16 em  $\phi$ .

Esta técnica assume que ambos os tipos de sedimentos (da jazida e naturais da praia) apresentam distribuições log-normais. Esta consideração se aplica à composição da maioria das distribuições sedimentares de depósitos sedimentares naturais de praias e jazidas.

Segundo CAMPBELL<sup>1</sup> (informação verbal) valores de  $R_A$  maiores que 2 normalmente inviabilizam o uso do sedimento em projetos de alimentação artificial de praias.

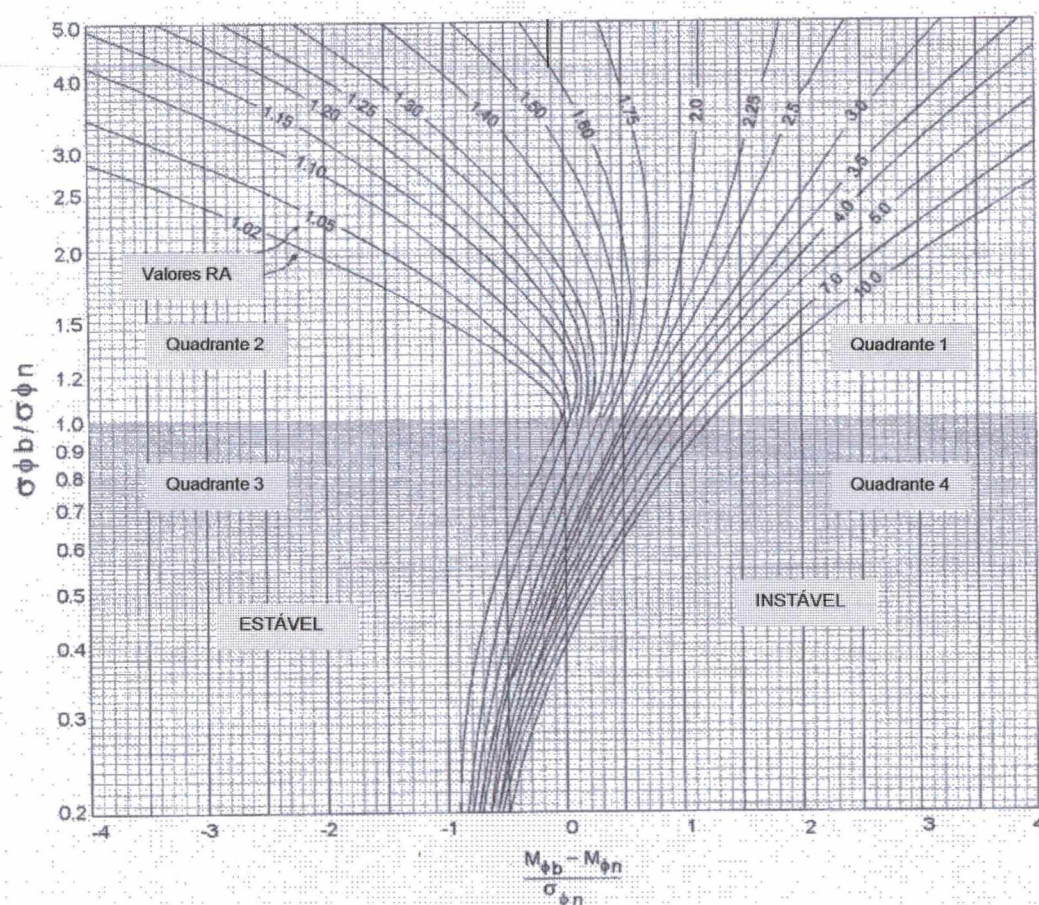


Figura 2 Isolinhas do Fator de Enchimento ( $R_A$ ) para valores  $\sigma_{\phi_b}/\sigma_{\phi_n}$  e  $(M_{\phi_b} - M_{\phi_n})/\sigma_{\phi_n}$  (JAMES, 1975).

<sup>1</sup> Engenheiro Thomas Campbell em Julho de 2002.



## 2.5 ONDAS DE GRAVIDADE GERADAS PELO VENTO

As ondas de gravidade geradas pelo vento são uma das fontes energéticas de maior importância para a definição da morfologia das costas. Em adição à sua capacidade de provocar erosão ou acresção costeiras, as ondas podem iniciar também o transporte de sedimentos, gerar correntes costeiras longitudinais ou transversais, gerar empilhamento de água na costa, além de fornecer energia para a ocorrência de vários outros fenômenos.

As ondas de gravidade são geradas pela tensão do vento na superfície da água, sendo que a gravidade exerce a função restauradora das oscilações, propiciando a propagação das ondas muito além de sua área de geração (HOEFEL, 1998).

As ondas geradas por ventos que atingem a costa podem ser divididas em dois tipos: (1) as ondulações; (2) e as vagas. As ondulações são aquelas ondas geradas pelo vento em oceano aberto que já se dispersaram de seu centro de geração, sendo dependentes da direção e intensidade do vento e do comprimento da "pista" (*fetch*) sobre a qual o vento atua. Estas ondas sofrerão modificações ao longo de sua trajetória, havendo um decaimento de energia à medida que elas se locomovem até atingir a linha de costa. Entretanto, estas são as ondas que chegam com maior energia ao atingirem a praia. As vagas, por sua vez, são ondas que permanecem na sua área de geração. As vagas são ondas bastante assimétricas, com cristas íngremes e angulosas, e que se superpõem desordenadamente, possuindo uma grande variedade de períodos (HOEFEL, *op. cit.*).

## 2.5.1 Modificações de Ondas em Águas Rasas

As ondas incidentes de águas profundas começam a interagir com a morfologia do fundo quando a razão entre a profundidade local e o seu comprimento de onda torna-se menor que  $\frac{1}{2}$ . Mudanças mais significativas são verificadas quando esta razão é de  $\frac{1}{4}$  (KOMAR, 1976). Os processos básicos de modificações das ondas em águas rasas incluem fricção com o fundo, a refração, o empinamento e arrebentação das ondas sobre a praia.

### 2.5.1.1 Fricção com o Fundo

WRIGHT & SHORT (1984) enfatizaram a importância da dissipação energética por fricção com o fundo na determinação do clima de ondas de uma costa, dada a equação:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = -\frac{2}{3} \pi \rho f_w \mu_{\max}^3$$

onde P é o fluxo de energia da onda;  $\rho$  a densidade da água;  $f_w$  o fator de fricção com o fundo e  $\mu_{\max}$  a velocidade orbital máxima. A redução total de altura de onda entre a zona de água profunda e a ponto de quebra depende da integral sobre a distância entre o ponto do início da fricção com o fundo e o ponto de quebra.

### 2.5.1.2 Esbeltez

Segundo o princípio de conservação do fluxo de energia, a diminuição da velocidade de propagação das ondas, conseqüente diminuição da profundidade,

provoca um aumento na energia da onda, expresso fisicamente através de seu crescimento em altura, o que caracteriza o processo de esbeltez (HOEFEL, 1998).

### **2.5.1.3 Refração**

A refração de ondas é a gradual re-orientação das ondas em relação à morfologia do fundo do mar. As ondas muitas vezes se aproximam da costa obliquamente, abrangendo uma diversidade de ângulos. Quando isto ocorre, as profundidades ao longo da mesma crista de onda serão diferentes e, portanto, as velocidades de propagação da onda também serão diferentes. Nos locais de maior profundidade, a velocidade será maior, ocorrendo o inverso nas regiões mais rasas, onde a velocidade será menor. Este processo provoca a tendência da onda de se alinhar aos contornos batimétricos através da alteração de seu ângulo de aproximação.

Pelo princípio da refração de ondas, existe uma divergência de energia de onda em regiões mais profundas e uma convergência de energia em regiões mais rasas (Figura 3).

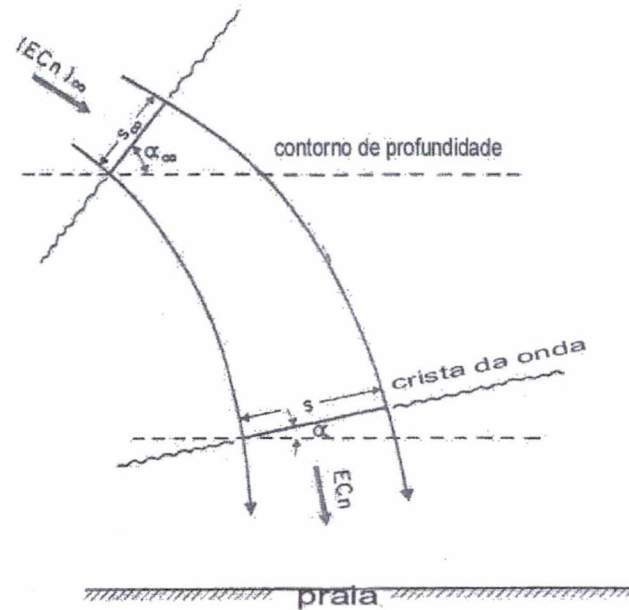


Figura 3 Padrões de convergência e divergência da energia de ondas através do processo de refração de ondas sobre diferentes condições morfológicas. Modificado de Komar (1976).

#### 2.5.1.4 Arrebentação das Ondas

Eventualmente, ondas que atingem águas progressivamente mais rasas ficam instáveis e quebram. O ponto de quebra da onda é uma função de suas características e da profundidade, dependendo primariamente da altura e período da onda. Existem quatro tipos básicos de arrebentação de ondas (Figura 4): progressiva ou deslizante, mergulhante, ascendente e frontal (CARTER, 1988).

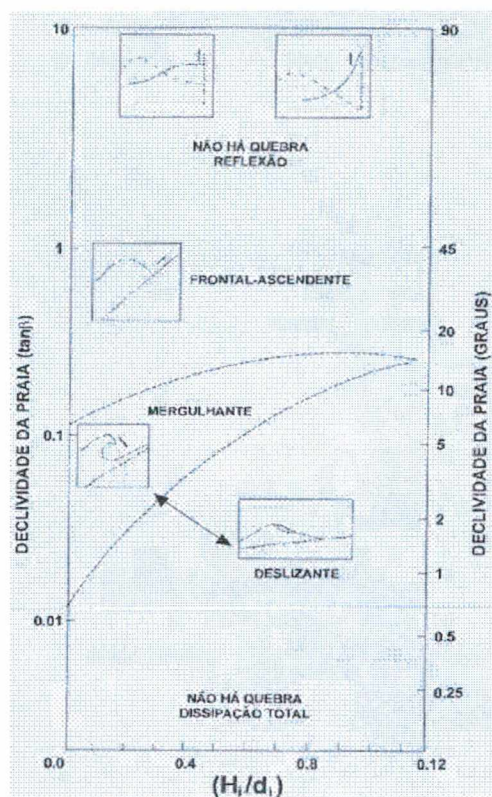


Figura 4 Tipos de arrebentação de ondas (modificado de CARTER, 1988).

O tipo deslizante ocorre em praias de baixa declividade, nas quais a onda se empina gradualmente para então “deslizar” pelo perfil, dissipando sua energia através de uma faixa mais larga (HOEFEL, 1998). O tipo mergulhante ocorre em praias de declividade moderada, quando a onda se empina abruptamente e quebra violentamente formando um tubo, dissipando sua energia sobre uma pequena porção do perfil. A arrebentação ascendente ocorre em praias de alta declividade na qual a onda ascende à face da praia. Em algumas praias de alta declividade a onda não chega a arrebentar caracterizando o tipo sem arrebentação.

## Capítulo Três – Área de Estudo

### 3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

O Município de Navegantes possui 97 km<sup>2</sup> (FLORIANI, 2001), estando limitado à leste pelo Oceano Atlântico, a norte pelo Município de Penha, ao sul pelo Município de Itajaí (rio Itajaí-Açú) e a oeste pelos municípios de Luiz Alves e Ilhota. A praia de Navegantes, objeto deste estudo, possui aproximadamente 10.000 metros de comprimento e largura média de 28 metros. Está limitada ao sul pelos molhes de estabilização do rio Itajaí-Açú e ao norte pela ponta da Enseada. O seu extremo norte é conhecido como praia do Gravatá, que possui 430 metros de comprimento. Apresenta-se orientada na direção N-S estando exposta às ondulações provenientes de sul e sudeste (Figura 5).

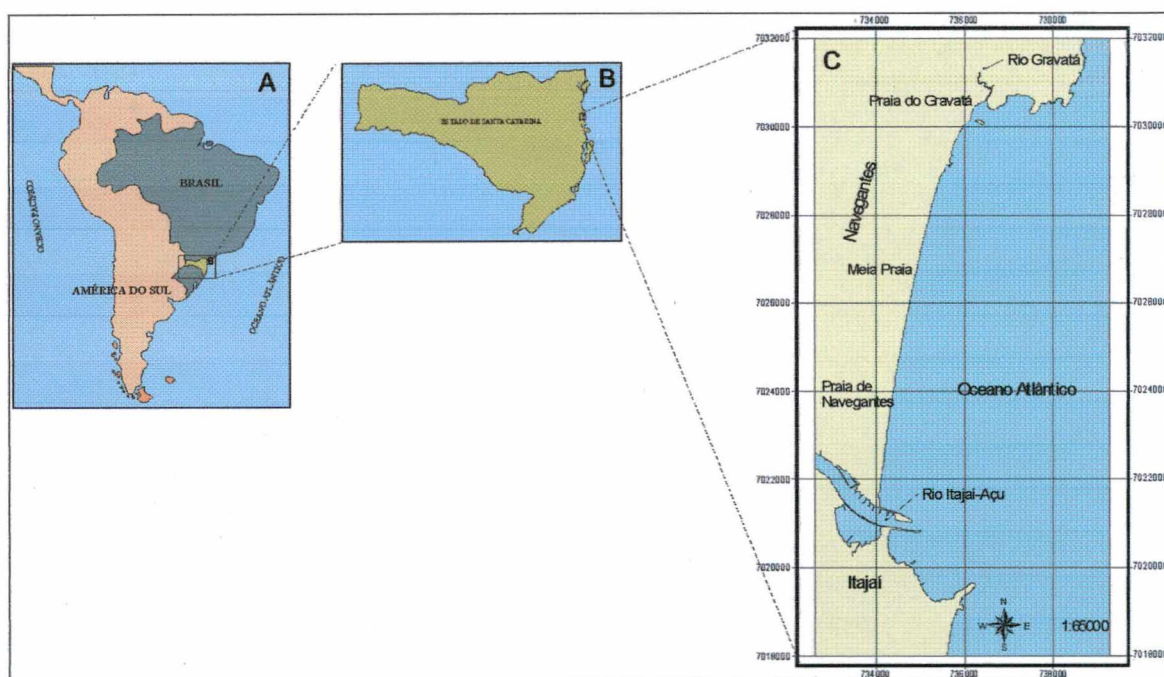


Figura 5 Localização da área de estudo.

### 3.2 GEOLOGIA

A geologia da planície costeira do estado de Santa Catarina é caracterizada pela existência de duas grandes unidades: o Embasamento e a Planície Costeira; sendo que os tipos litológicos da primeira unidade estão situados predominantemente a oeste dos depósitos costeiros (HORN FILHO & DIEHL, 1994).

A segunda unidade está subdividida em dois sistemas deposicionais interdigitados: sistema deposicional de encosta e sistema deposicional Laguna-Barreira. O primeiro inclui os depósitos e fácies continentais de origem terrígena, tais como: colúvios, leques aluviais, e as porções dos aluviões mais continentalizados. O segundo sistema deposicional compreende os depósitos e fácies transicionais originados por processos trans-regressivos marinhos. Neste sistema, considera-se o depósito praial intermarés, eólico litorâneo, lagunar, aluvial, paludial e de manguezal, bem como a possível existência de outros depósitos costeiros não relacionáveis ao sistema deposicional Laguna-Barreira (DIEHL & HORN FILHO, 1996).

A área de estudo apresenta depósitos aluviais do Quaternário indiferenciados, originados dos rios Itajaí-Açu e Itajaí-Mirim, bem como a influência destes corpos fluviais meandriformes na sedimentação adjacente (DIEHL & HORN FILHO, *op. cit.*). As rochas do Embasamento Cristalino afloram em significativa área, caracterizando ainda, promontórios e costões constituídos de granitos, gnaisses, quartzitos e xistos dos complexos Granulíticos de Santa Catarina, Tabuleiro e Brusque.

Segundo CARUSO (1999), a área de estudo, que compreende o segmento litorâneo Navegantes/Gravatá apresenta algumas unidades geológicas de grande importância, assim caracterizadas (Figura 6).

Depósitos praias marinhos/eólicos de idade pleistocênica – constituídos por areias quartzosas, boa maturidade textural e mineralógica, coloração amarelo-acastanhado até avermelhado, decorrente de processos pedogenéticos através do enriquecimento por matriz argilosa e ricas em óxidos de ferro e granulometria variando de fina à média. Encontram-se parcialmente recobertos por um pacote de areias eólicas de aspecto maciço, coloração semelhante e granulometria fina, apresentando-se geralmente fixados por vegetação arbustiva;

Depósitos praias marinhos/eólicos de idade holocênica – constituídos por areias marinhas quartzosas, de coloração esbranquiçada, bem selecionada, com granulometria variando de fina à média e laminação plano-paralela. Estão recobertas por um pacote de areias eólicas esbranquiçadas com estratificação cruzada angular;

Depósitos paludiais – constituídos de sedimentos argilo-arenosos, de origem fluvio-lagunar, com espessura normalmente inferior a 2 (dois) metros e geralmente encontram-se sobrepostos à camadas arenosas de origem marinha. Ocorrem em áreas alagadiças onde o nível do lençol freático é bastante elevado, formando brejos e áreas alagadas. As áreas de baixo curso dos canais fluviais podem sofrer, ocasionalmente, a ação das marés;

Depósitos de planície de cristas de praias regressivas – constituída por areias quartzosas e arcoseanas, sobrejacentes a camadas lamo-arenosas



biodetríticas. Encontram-se dispostas na forma de uma série de cristas de praias regressivas, alinhadas paralelas à linha de costa. A extensão da progradação das praias regressivas é indicada pela zona de cristas de praia que, no caso específico da área de estudo, é de cerca de 6.300 metros. Como as praias regressivas formam-se em costas onde há um excesso no suprimento de sedimentos, no presente caso, fornecidos pelo rio Itajaí-Açu bem como, numa menor escala, pelo arroio Gravatá, pode-se inferir que essa planície já foi parte integrante de uma planície deltaica.

KLEIN & MENEZES (2001) sugerem que os depósitos da planície costeira de navegantes são cristas de dunas frontais regressivas e não cristas de praias regressivas de acordo com conceitos descritos por SHORT & HESP (1999).

FRACASSO (2001) caracterizou as dunas frontais ao longo do segmento praias Navegantes/Gravatá. A autora mostrou que são observadas dunas em praticamente toda a sua extensão da praia, com exceção do segmento norte conhecido como praia do Gravatá. Entretanto, salientou que a dimensão das dunas frontais sofre grande variabilidade ao longo do ano, conforme a maior ou menor intensidade dos momentos episódicos de alta energia, bem como disponibilidade de sedimentos e, ainda, de condições meteorológicas favoráveis.

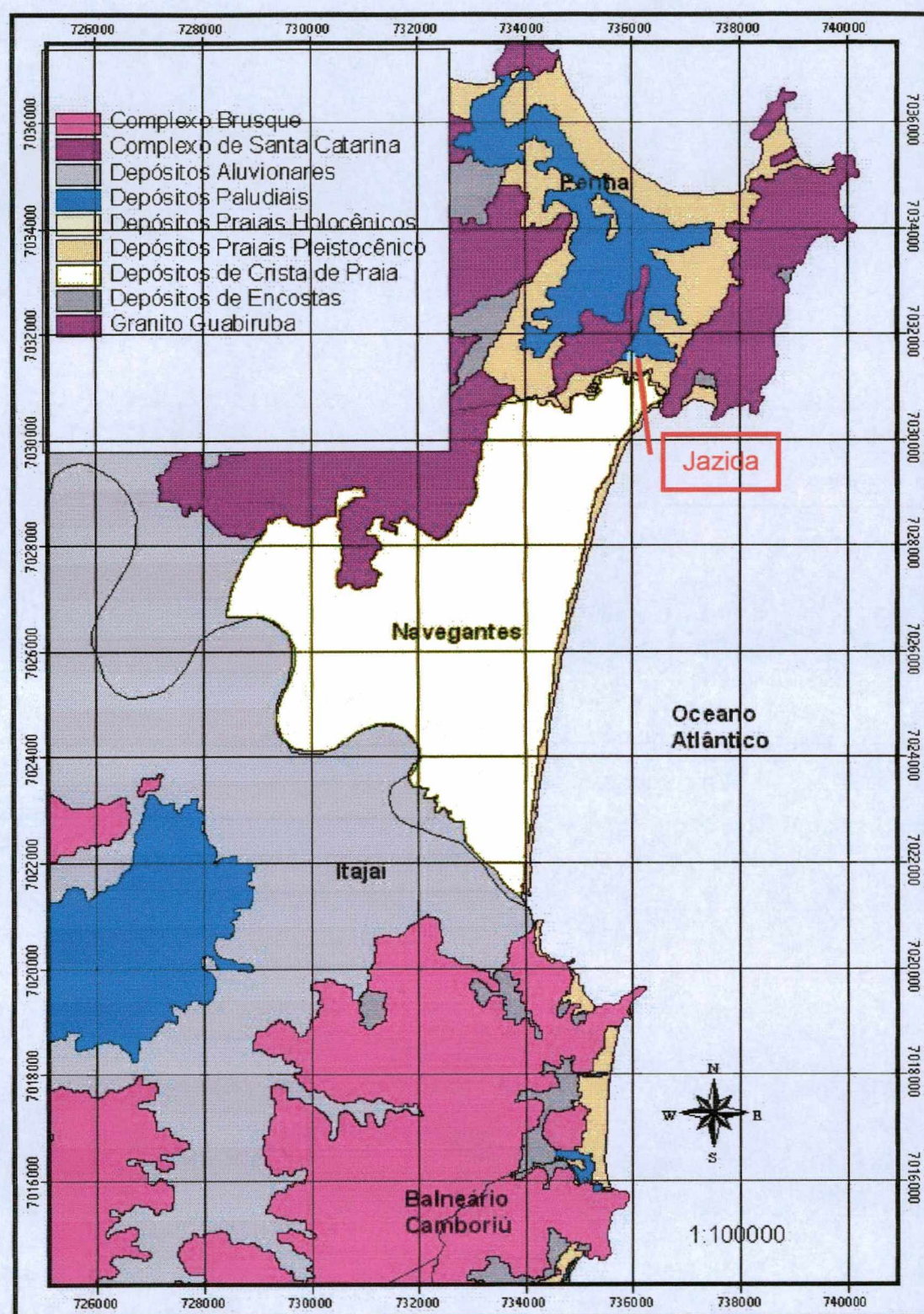


Figura 6 Mapa Geológico da área de estudo, localizando a jazida utilizada pela Prefeitura Municipal no aterro mecânico realizado em 1999. (segundo CARUSO, 1999).

### **3.3 MORFODINÂMICA PRAIAL**

MENEZES & KLEIN (1997); KLEIN & MENEZES (2000) e KLEIN & MENEZES (2001) caracterizaram o estágio morfodinâmico para a praia de navegantes. As principais características são descritas abaixo:

A praia de Navegantes apresenta-se composta por areia fina com granulometria média aumentando de 0,15mm do extremo norte para 0,19mm na parte central da praia. A declividade média varia entre 2,5 e 3,5 graus, atuando ondas do tipo deslizante e mergulhante com altura média entre 0,8 e 0,9 metros e período de 8 a 10,5 segundos. A plataforma interna adjacente à praia de Navegantes apresenta uma declividade aproximada de 1:200.

A praia de Navegantes apresenta um estágio morfodinâmico modal dissipativo, com presença de dois bancos arenosos submersos, constituindo a única praia com múltiplos bancos do litoral centro-norte catarinense.

### **3.4 BALANÇO DE SEDIMENTOS**

Sugere-se que o segmento praial Navegantes/Gravatá apresente como principais fontes de sedimentos a descarga fluvial dos rios Itajaí-açu e Gravatá, o transporte da plataforma continental para a praia e o transporte sedimentar ao longo da costa; as principais perdas sedimentares ocorrem através do transporte de sedimentos para a plataforma continental por correntes de retorno, correntes ao longo da costa e pelo transporte eólico para a formação das dunas frontais (Figura 7).

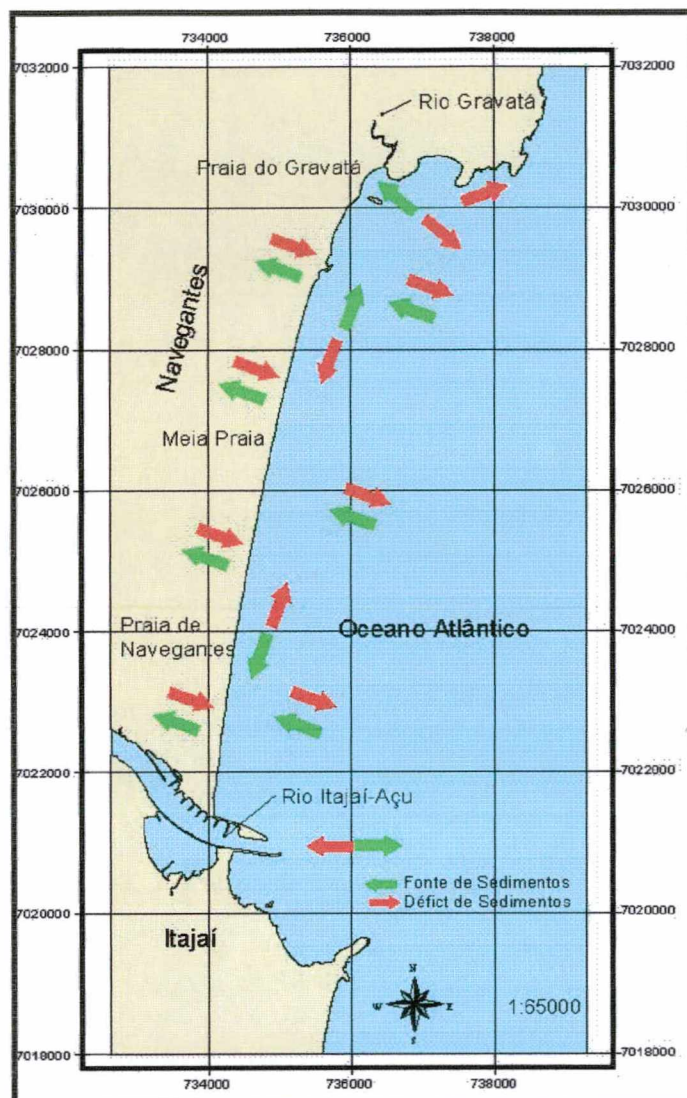


Figura 7 Fontes e perdas de sedimentos para o sistema praias Navegantes/Gravatá.

Na praia de Navegantes evidencia-se aparentemente uma retração da linha de costa nos últimos anos, principalmente na região da praia do Gravatá, o que sugere uma diminuição no volume sedimentar naquela área. Isto deve estar ocorrendo por um desequilíbrio no balanço sedimentar, no qual a taxa de perdas supera as fontes de sedimentos provocando uma erosão do sistema praias.

### 3.5 CLIMA

As Figuras 8(A, B, C e D) apresentam um quadro geral da circulação atmosférica e sua alteração em função da entrada de sistemas frontais.

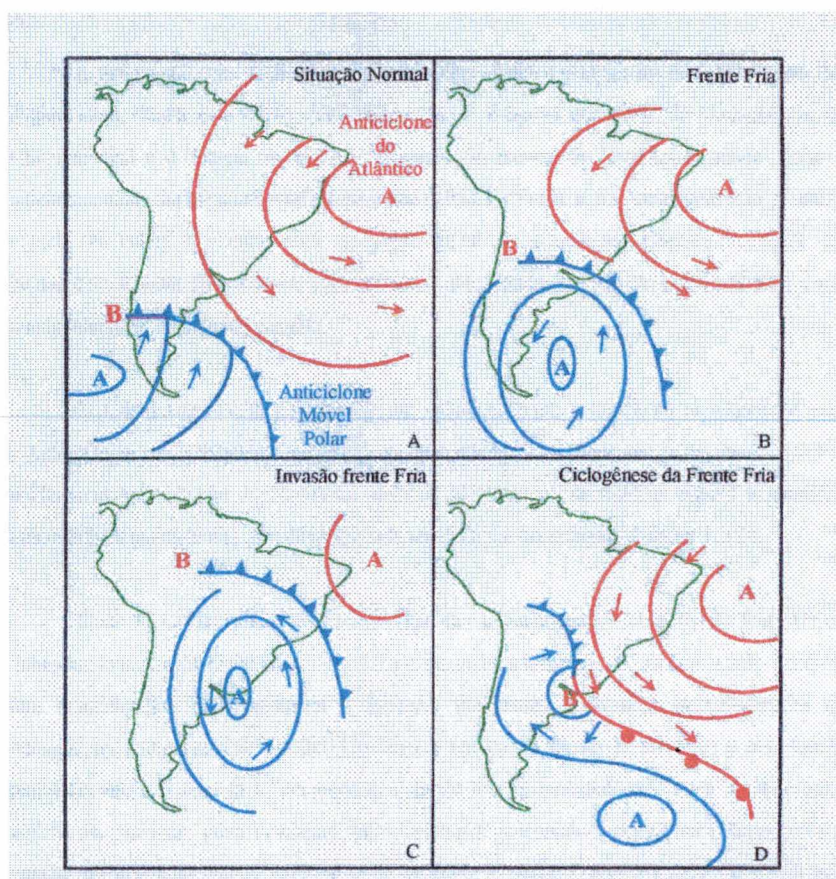


Figura 8 Circulação atmosférica no sul do Brasil e sua alteração devido a entrada de frentes frias: (A) situação normal; (B) geração da frente fria; (C) invasão da frente fria; (D) ciclogênese da frente fria (DHN, 1994 apud TRUCOLLO, 1998).

O quadro é caracterizado pela atuação do sistema semi-fixo de alta pressão, denominado Anticiclone do Atlântico-Sul (Figura 8A). A situação habitual é o domínio do sistema semi-fixo com ventos de NE, juntamente com o efeito local da brisa marinha. Periodicamente o sistema é perturbado pela passagem de frentes frias originadas pelo Anticiclone Móvel Polar (Figura 8B), que migra sobre a região sudoeste para nordeste (DHN, 1994). Estas frentes frias estão associadas ao escoamento ondulatório de grande escala, intensificando-se ou

dissipando-se de acordo com as características atmosféricas sobre o continente (NIMER, 1989).

A progressão do Anticiclone Móvel Polar sobre a porção sul da América do Sul origina uma frente que divide as massas de ar tropical marítima do Anticiclone do Atlântico Sul e a massa de ar fria. Durante os meses de inverno a massa polar é suficientemente forte para levar a frente até o Rio da Prata e, em consequência, a massa tropical se retrai e ocorre uma alteração geral na circulação (Figura 8B, C). As frentes frias atuam com maior intensidade no sul do Brasil devido a proximidade das zonas de geração (TRUCOLLO, 1998).

O Anticiclone Polar pode progredir sobre o Brasil e fundir-se rapidamente com o Anticiclone do Atlântico. No entanto, nem sempre a frente progride para o norte, podendo estacionar nas regiões sul e sudeste. Neste caso, ele ondula e gera depressões atmosféricas secundárias que se deslocam em direção ao oceano (Figura 8D) (TRUCOLLO, *op. cit.*).

### **3.6 REGIME DE VENTOS**

O quadro atmosférico típico é caracterizado pelo regime de ventos provenientes de nordeste durante todo o ano, juntamente com o efeito local das brisas. Estes são altamente influenciados pela propagação de ciclones extratropicais, que se intensificam nos meses de inverno e primavera alterando a meteorologia local em períodos aproximadamente semanais, onde ocorre um aumento na importância dos ventos provenientes do quadrante sul (NIMER, 1989 *apud* TRUCOLO, 2000).

TRUCOLLO, 1998 realizou observações de ventos entre os meses de junho e dezembro de 1996 no município de São Francisco do Sul caracterizando a distribuição de frequência com respeito a sua direção e intensidade. Observam-se três regiões de maior concentração (Figura 9).

- 1) De direção norte-nordeste, mais expressiva, com uma intensidade entre 2 à 4 m s<sup>-1</sup> que corresponde à atuação do Anticiclone do Atlântico Sul;
- 2) De direção oeste e leste, com intensidades de aproximadamente 2 m s<sup>-1</sup> correspondendo às brisas marinha e terra, ortogonais à linha de costa;
- 3) De direção sudeste, alcançando os maiores valores de intensidade, em torno de 6 à 8 m s<sup>-1</sup> correspondendo aos ventos associados à passagem das frentes frias;

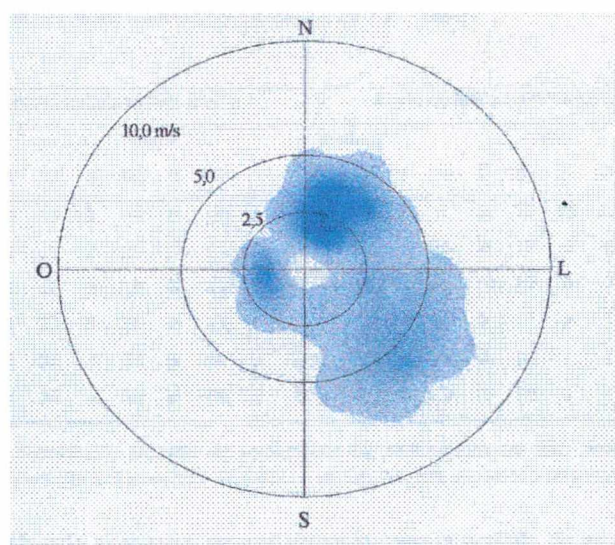


Figura 9 Distribuição de frequência de vento em função de sua intensidade e direção (TRUCOLLO, 1998).

### 3.7 REGIME DE ONDAS

Com o auxílio de um ondógrafo direcional fundeado a uma profundidade de 18 metros na costa de São Francisco do Sul (SC), aproximadamente sessenta quilômetros ao norte da região costeira de Navegantes, ALVES & MELO (1999) identificaram quatro estados de mar predominantes, os quais podem ser gerados e agrupados em: (a) ondas geradas por ventos marinhos locais; (b) ondulações (*swell*) à sudeste – (b-i) local e a (b-ii) grandes distâncias e; (c) ondas de leste (lestada ou maral).

Ondas geradas por ventos marinhos locais que prevalecem são: Leste-Nordeste (ENE) e Sul-Sudeste (SSE). O primeiro é observado principalmente no verão, onde os períodos de picos variam entre 3 a 8 segundos e o tamanho médio das ondas é de 0,75 m, não havendo, portanto, uma contribuição para o orçamento energético do clima de ondas (ALVES & MELO, *op. cit.*).

Entretanto, quando da incidência do vento SSE, embora suas condições representem 5%, o tamanho de ondas geradas variam de 1 a 3,5 metros e os períodos de pico de 3 a 8 segundos. Neste caso, os estados de mar gerados, bem como as ondulações de SE descritas posteriormente, correspondem aos mais severos em função da altura das ondas alcançada. Isto pode ser explicado devido ao fato destas condições serem geradas por ventos associados com sistema de baixa pressão ao longo da costa por frentes frias (ALVES & MELO, *op. cit.*).

Ainda segundo os autores citados, associado ao que se descreve acima, velocidades típicas de progressão do sistema frontal e gradientes de pressão,



direção do vento e mudanças muito bruscas na intensidade dos ventos resultam na geração de campos de ondas locais.

As ondas que chegam nos sentidos leste e sudeste dominam localmente. Os períodos de picos e o tamanho destas ondas embora aumentem gradativamente, variam entre 6 a 11 segundos e de 0,5 a 1,5 metro, respectivamente. Sua ocorrência está geralmente ligada a sistemas frontais como as frentes frias e ao anticiclone polar migratório (ALVES & MELO, 1999).

As ondulações de sudeste apresentam grandes períodos de picos (7 a 16 s) e o tamanho das ondas varia de 1 a 2,5 metros, sem correspondência com a velocidade e direção de ventos locais. Uma das fontes responsáveis por esta ondulação está associada aos "caminhos" seguidos por grandes massas de água (*storms*) que migram ao longo da costa da América do Sul. Estas "massas d'água" migram em áreas, geralmente, dominadas por massas de ar quente, os quais desenvolvem fortes gradientes de pressão e conseqüentemente, fortes campos de ventos. Esta fonte encontra-se a aproximadamente 1.000 quilômetros da área de estudo.

As figuras 10, 11 e 12 apresentam espectros direcionais de energia de onda medidos por ALVES (1996). Estes foram utilizados como fonte de ondas para o modelo de refração de ondas.

### Espectro Direcional de Energia

Data: 01/03/96 22:00

Lestada (Estágio Inicial)

$f_p = 0,14$  Hz

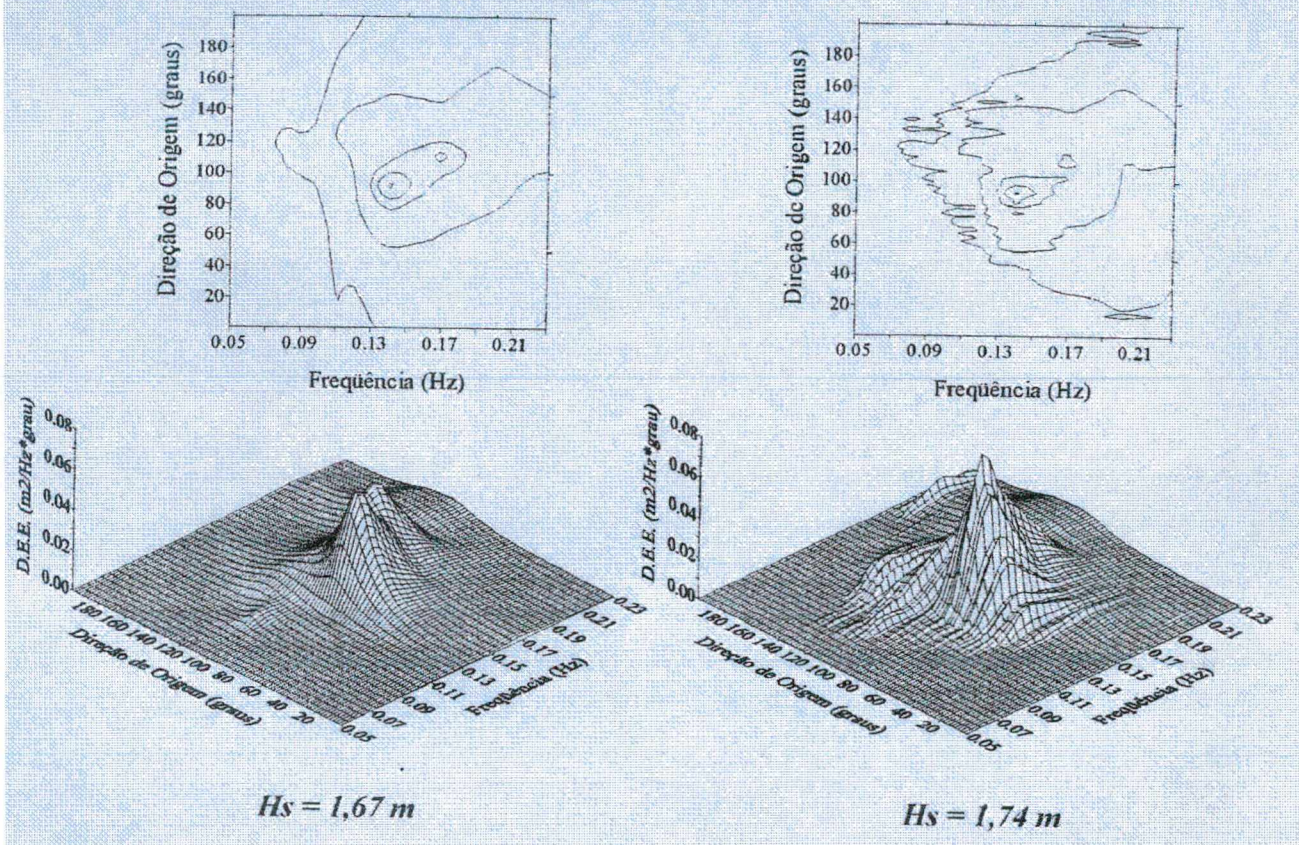


Figura 10 Espectro direcional medido em águas rasas (esquerda) e de referência em águas profundas (direita) para o dia 01 de março de 1996. Nos diagramas superiores são mostrados contornos de densidade de energia correspondentes a 1%, 10%, 50%, 75% e 100% do valor máximo. A altura significativa em águas rasas é 1,67 e em águas profundas 1,74 metro (ALVES, 1996).

### Espectro Direcional de Energia

Data: 04/03/96 01:00

Lestada (Estágio Maduro)

$f_p = 0,12 \text{ Hz}$

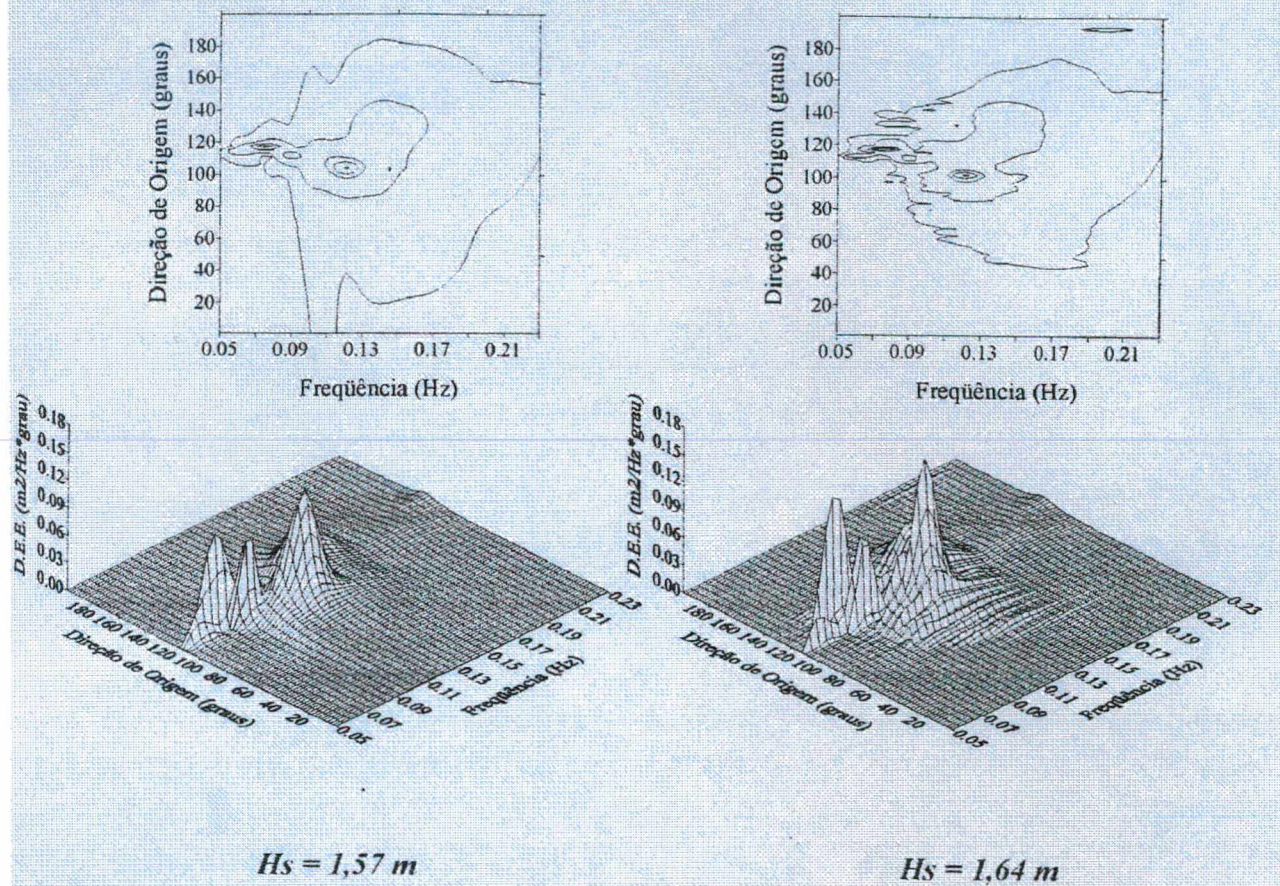


Figura 11 Espectro direcional medido em águas rasas (esquerda) e de referência em águas profundas (direita) para o dia 04 de março de 1996. Nos diagramas superiores são mostrados contornos de densidade de energia correspondentes a 1%, 10%, 50%, 75% e 100% do valor máximo. A altura significativa em águas rasas é 1,57 e em águas profundas 1,64 metro (ALVES, 1996).

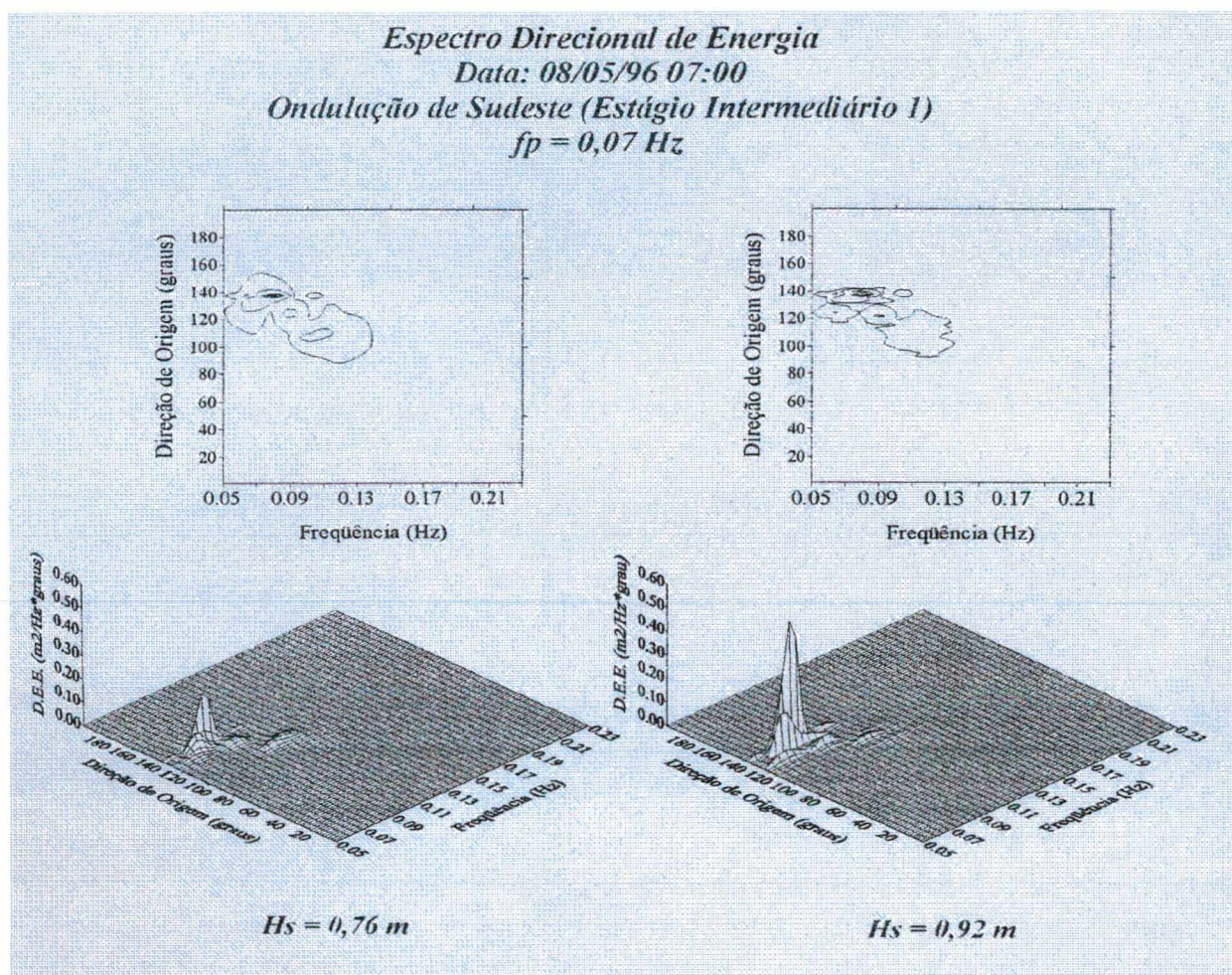


Figura 12 Espectro direcional medido em águas rasas (esquerda) e de referência em águas profundas (direita) para o dia 08 de março de 1996. Nos diagramas superiores são mostrados contornos de densidade de energia correspondentes a 1%, 10%, 50%, 75% e 100% do valor máximo. A altura significativa em águas rasas é 0,76 e em águas profundas 0,92 metro (ALVES, 1996).

### 3.8 MARÉS

A maré da região é caracterizada como sendo de micro-maré mista com predominância semidiurna. A altura média de maré na desembocadura do estuário do rio Itajaí-Açu é de 0,8 m, com mínimas de 0,3 m durante os períodos de quadratura e 1,2 m durante os períodos de sizígia (SCHETTINI *et al.*, 1996).

A variação do nível do mar decorrente da maré astronômica é influenciada sobremaneira por forçantes locais. Pressão atmosférica e tensão de cisalhamento são os principais agentes sendo que o último é consideravelmente mais importante (SCHETTINI, 2001). Sob condições extremas, a sobre-elevação do nível da água por efeitos atmosféricos pode ser da ordem de 1 m em relação ao nível da maré astronômica (TRUCOLLO, 1998).

### 3.9 BATIMETRIA

ABREU (1998) evidencia uma variação da batimetria para o litoral centro norte catarinense do norte para o sul. Na região de Navegantes se verifica que as isóbatas estão bem mais próximas no norte do que no sul, mostrando uma maior declividade da plataforma interna adjacente neste local (Figura 13).

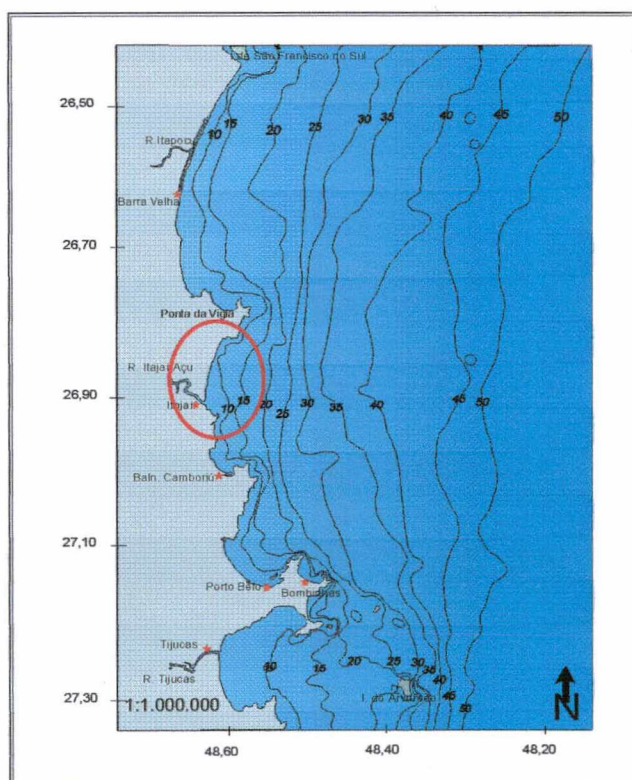


Figura 13 Batimetria para a região centro-norte catarinense. Em detalhe a área de estudo. Modificado de ABREU (1998).

## Capítulo Quatro – Caracterização do Problema

Os processos inadequados de urbanização da zona costeira muitas vezes resultam em futuras intervenções (ex: obras de proteção) que podem apresentar efeitos negativos no desenvolvimento turístico local. O município de Navegantes, situado no litoral centro-norte catarinense, é um exemplo desta ocupação desordenada. Um breve histórico, segundo informações da Prefeitura Municipal de Navegantes (P.M.N.), resume os problemas advindos desta ocupação:

- No ano 1972 iniciou-se a retirada de sedimentos das dunas frontais e a construção da avenida beira-mar Ivo Silveira. Nesta época, Vê-se o início da ocupação da região com a construção das primeiras residências.
- Em 1975 verificou-se a diminuição do campo de dunas ao longo de toda a orla do Município de Navegantes. Cinco anos mais tarde foram retiradas as dunas da praia de Gravatá com o objetivo de urbanizar a área, com a ampliação da avenida beira-mar e abertura de loteamentos.
- No ano de 1981, são verificados os primeiros indícios de processos erosivos na praia de Gravatá. Em 1984 iniciou-se à pavimentação da avenida beira-mar Ivo Silveira, sendo concluída em 1987.
- Na década de 90 houve uma expansão imobiliária da região e a construção dos primeiros edifícios. Foram verificados vários eventos de tempestade que danificaram sobremaneira a avenida beira-mar. Salienta-se, entretanto, que a praia ainda possuía estoque sedimentar para se recompor parcialmente (Figura 14).



*Figura 14 Fotografia orientada para sul mostrando uma vista aérea do segmento praiial Navegantes/Gravatá antes dos graves problemas de erosão costeira, 1995 (Foto: P.M.N.).*

- No ano de 1995 foi construído um calçadão diretamente sobre a faixa de areia e uma praça localizada no extremo norte da praia de Gravatá. A partir desta época acentuaram-se os processos de erosão, intensificando as alterações no perfil natural da praia, eliminando grande parte de seu estoque sedimentar.
- Com o aumento dos processos erosivos, em 1996, a prefeitura municipal colocou blocos de rochas na praia, na tentativa de proteger o patrimônio adjacente à praia (avenida e calçadão) (Figura 15).
- No ano seguinte ocorreram tempestades intensas no inverno e primavera, provocando a destruição parcial do passeio e do muro de proteção (Figuras 16 e 17).



Figura 15 Fotografia orientada para norte mostrando os blocos de rocha colocados na praia de Gravatá para protege-la da ação da energia das ondas, 1996 (Foto: P.M.N.).

- A situação da praia de Gravatá no ano de 1999 era grave, observando-se a destruição do passeio público e de parte da avenida beira-mar.

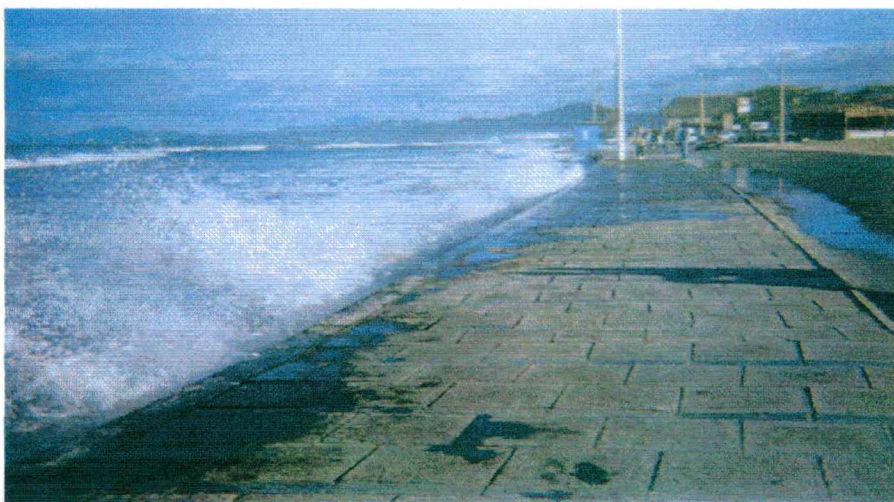


Figura 16 Fotografia orientada para sul mostrando uma visão da ação das ondas sobre o calçamento na praia de Gravatá, em momentos de alta energia (ressacas), 1997 (Foto: P.M.N.).





Figura 17 Fotografia orientada para sul mostrando uma visão sobre os efeitos destrutivos da praia de Gravatá após um evento de alta energia (tempestade) sobre o calçadão, 1997 (Foto: P.M.N.)

- Assim em outubro de 1999 a prefeitura municipal realizou um aterro mecânico para recuperar a praia erodida. Foram adicionados aproximadamente 80000 m<sup>3</sup> de sedimentos retirados de uma jazida continental localizada no bairro de Santa Lídia, Penha - SC (Figuras 18 e 19) (ABREU *et. al.*, 2000).
- Porém, o volume de sedimento utilizado na alimentação não se manteve na praia por mais de 8 meses (Figura 20).

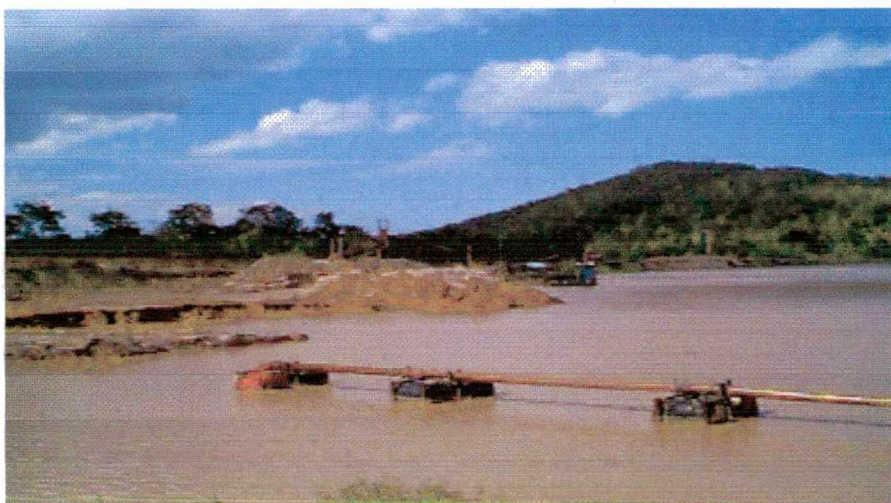
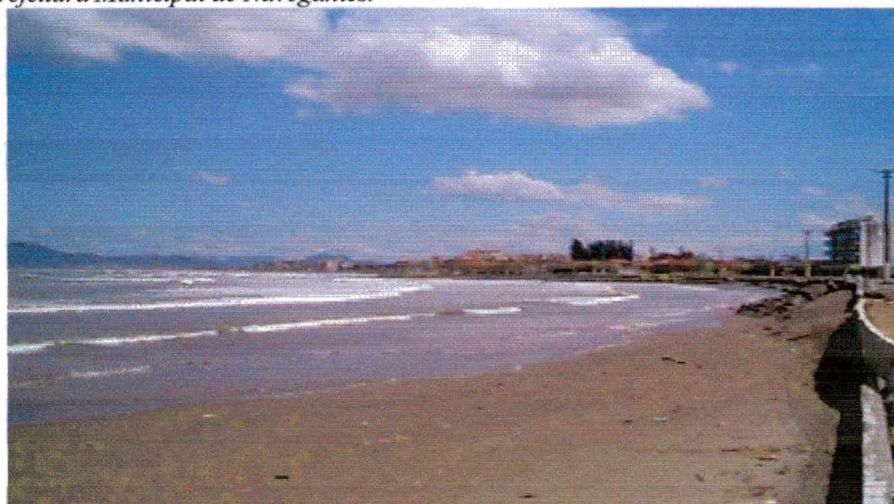


Figura 18 Fotografia da retirada de sedimentos na jazida localizada no bairro Santa Lídia, Penha -SC.



*Figura 19 Fotografia orientada para norte mostrando a Praia do Gravatá após a alimentação realizada pela Prefeitura Municipal de Navegantes.*



*Figura 20 Fotografia orientada para norte mostrando o efeito da ressaca ocorrida no início de 2001 resultando na perda do sedimento utilizado na realimentação artificial.*

## Capítulo Cinco - Materiais e Métodos

A Figura 21 apresenta o fluxograma com a descrição da metodologia a ser desenvolvida para alcançar os objetivos desta dissertação.

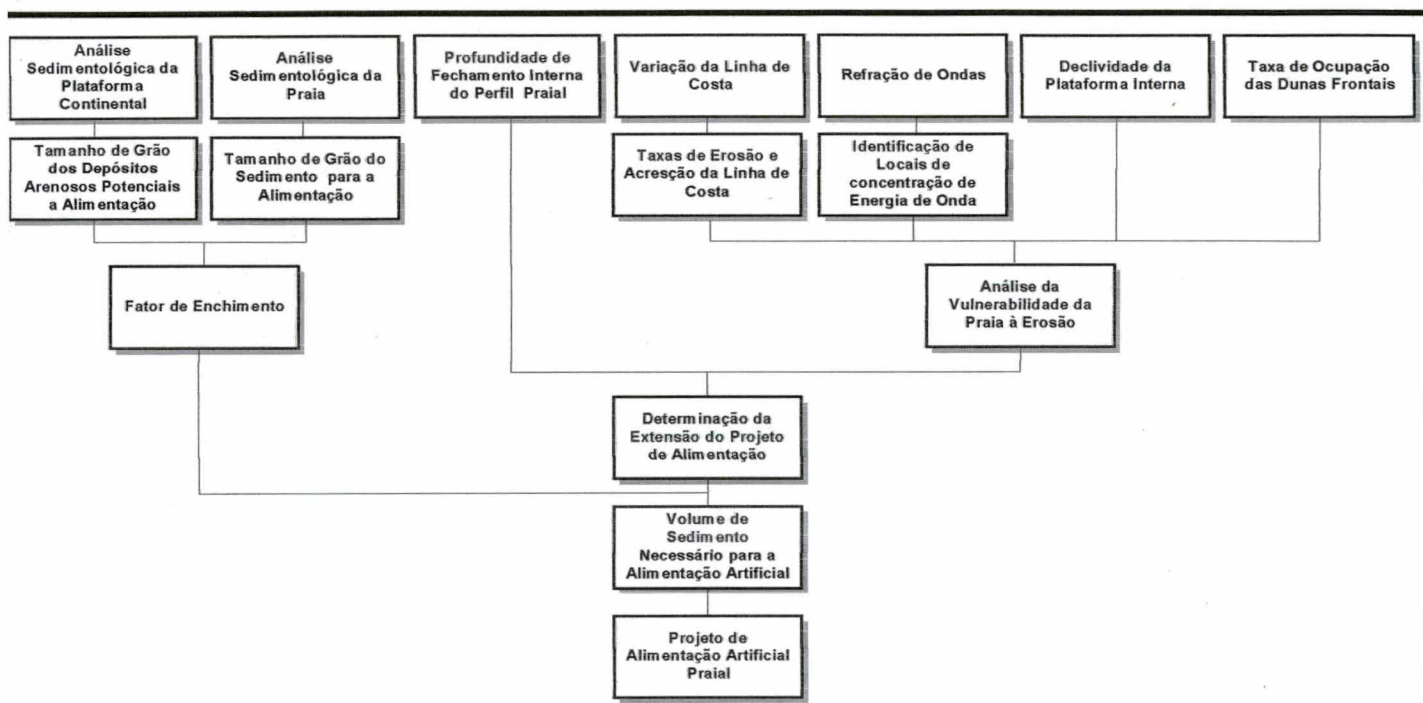


Figura 21 Fluxograma da metodologia utilizada na dissertação.

### 5.1 VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

#### 5.1.1 Linha de costa de 1993

A linha de costa de 1993 foi obtida através de levantamentos aerofotogramétricos. A etapa inicial constituiu na identificação das fotografias aéreas da área de estudo, bem como localização de bases cartográficas para o georeferenciamento destas.

A seguir elaborou-se uma rede de pontos controle objetivando a orientação das fotografias entre si e em relação ao solo. Foram utilizados cruzamentos de estradas e construções como referência.

As fotografias aéreas foram digitalizadas com uma resolução de 600 pixels por polegadas (dpi) utilizando-se um “scanner” de mesa.

O georeferenciamento das fotografias aéreas foi realizado através de modelo Affine, que utiliza um mínimo de 4 pontos de controle, com o auxílio do programa Microstation Descartes<sup>®</sup> da Bentley.

Para a determinação da posição da linha de costa existem três alternativas em função da qualidade da imagem ou da morfologia local: 1) determinação em função da linha de duna (LD); 2) determinação da linha de água mais elevada (preamar) e; 3) determinação em função da linha de vegetação.

A linha de dunas frontais por estender-se ao longo de toda a praia e apresentar escarpas bem pronunciadas se demonstrou como a morfologia mais favorável na determinação da linha de costa para o segmento praias Navegantes/Gravatá.

### **5.1.2 Linha de Costa de 2002**

No dia 18 de junho de 2002 foi realizado um campo para a obtenção da linha de costa (linha de duna) para o segmento praias Navegantes/Gravatá com o auxílio de um equipamento DGPS marca NovAtel<sup>®</sup>, com 2 receptores de sinal de satélite e um coletor de dados modelo PC 9800.

As coordenadas geográficas X e Y foram obtidas em projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), utilizado como datum referencial o *South American 1969* (SAD-69).

Os dados de linha de costa coletados foram pós-processados no programa Softsurvey e exportados em arquivo texto com os valores das coordenadas X e Y.

### **5.1.3 Variações na Posição da Linha de Costa**

Após a obtenção das posições da linha de costa para os anos 1993 e 2002. O segmento praiial Navegantes/Gravatá foi dividido em nove áreas de aproximadamente um quilômetro cada (Figura 22). A variação da linha de costa foi calculada em taxas de erosão e acreção médias por ano e metro de praia utilizando-se o programa arcview 3.2<sup>®</sup> da ESRI.

A incerteza deste método esta relacionada a distorções das fotografias, distorções de digitalização da fotografia, erros de georeferenciamento e obtenção da linha de costa a partir das fotografias georeferenciadas, bem como incertezas advindas do DGPS.

SHALOWITZ (1964), ao realizar pesquisas na costa americana, sugeriu que a incerteza envolvida na determinação da posição da linha de costa varia de 3 a 4 metros. DOLAN *et al.* (1980) determinaram uma incerteza média entre 1 e 2 metros. Para este trabalho foi determinada uma incerteza média de 5% da escala da fotografia (1:8.000), adicionada a incerteza de 20 cm do posicionamento com DGPS, sendo estimada uma incerteza total de 5 metros, tendo sido todas as taxas de variação inferiores a 5 metros consideradas nulas.

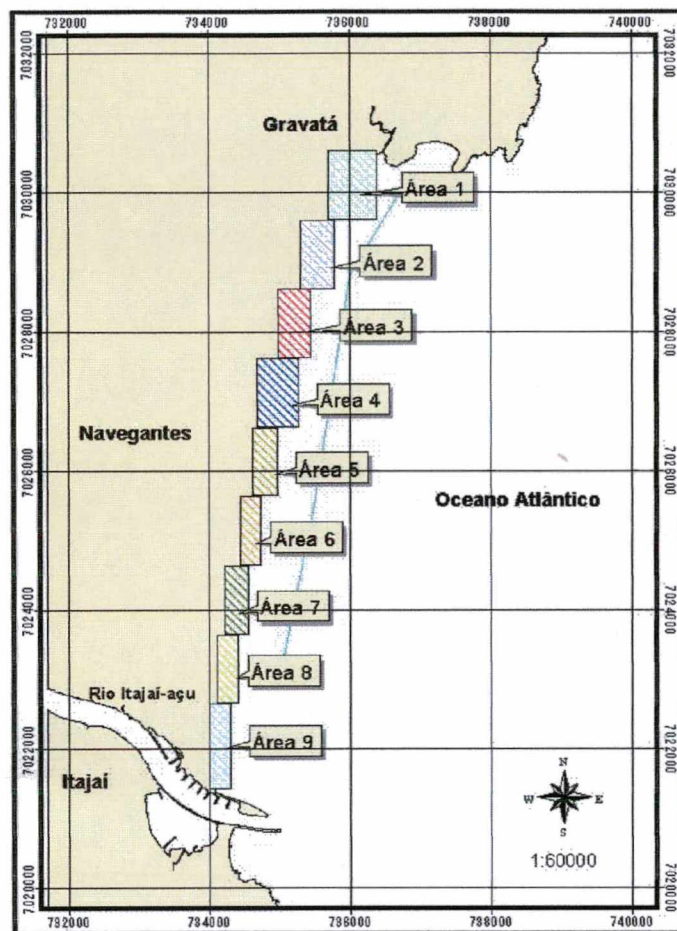


Figura 22 Áreas da praia de Navegantes para o cálculo da variação da linha de costa.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA

### 5.2.1- Jazida Continental

Para a caracterização da jazida sedimentar, localizada no município de Penha, utilizada pela prefeitura municipal na alimentação mecânica foram coletadas nove amostras, através de furos de sondagem, posteriormente analisadas no laboratório de sedimentologia do CTTMar/UNIVALI (ABREU *et. al.*, 2000).

### 5.2.2 Praia

No mês de março de 1999 foram realizadas amostragens em 11 perfis perpendiculares à linha de costa, distanciados 1000 metros entre si ao longo de toda a praia de Navegantes (Figura 23) (ALVES & SANTOS, 2000).

Em cada perfil foram coletadas quatro amostras nos diversos sub-ambientes praias (reverso da duna, duna, pós-praia e zona de espraiamento das ondas). A amostragem foi realizada em uma camada de 20 cm de sedimento para evitar a caracterização somente dos sedimentos recentemente trabalhados.

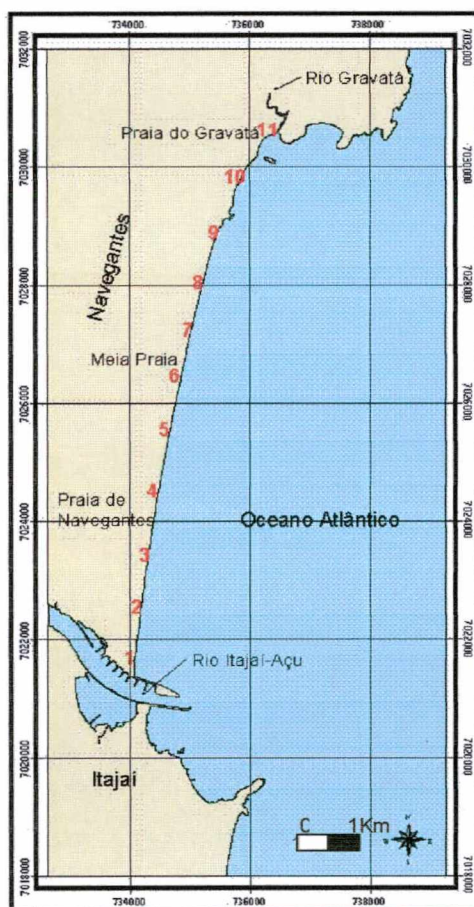


Figura 23 Localização dos perfis aonde foram coletadas amostras de sedimento na praia Navegantes/Gravatá (ALVES & SANTOS, 2000).

### **5.2.3 Plataforma Interna (10-25 metros)**

Em março de 1999 foi realizada uma campanha oceanográfica para coleta de sedimentos de fundo na plataforma continental adjacente a praia de Navegantes. Nesta campanha foi utilizado o navio de pesquisa do IBAMA Soloncy Moura.

A amostragem geológica superficial foi realizada com o emprego de um amostrador tipo "petit ponar" em locais previamente determinados, com uma malha amostral em escala de 1:50.000, ou seja, coletas distanciadas em 500 m entre si e distribuídos entre as isóbatas limites de 10 e 25m.

Foram coletadas 228 amostras ao longo de toda a plataforma interna em frente a Navegantes, Penha e Itajaí. A distribuição dos pontos amostrais esta ilustrada através da Figura 24 (ALVES & SANTOS, 2000).

O posicionamento das amostras foi efetuado por DGPS com uma incerteza aproximada de 10 metros. Simultaneamente foram obtidas as profundidades registradas pelo ecobatímetro do navio (ALVES & SANTOS, *op. cit.*).

### **5.2.4 Plataforma Interna (3 a 10 metros)**

Foram coletadas 26 amostras de sedimento superficial de fundo a cada 2 metros de profundidade, ao longo de oito perfis perpendiculares à linha de costa utilizando um busca fundo "Petit Ponar" (ALVES & SANTOS, *op. cit.*).

O posicionamento das amostras foi realizado através de DGPS. A Figura 24 mostra o posicionamento das amostras.



### **5.2.5 Análises Laboratoriais**

As amostras de sedimento foram lavadas com água destilada para a retirada de sais e secas em estufa a uma temperatura aproximada de 60°C. Após secas foram quarteadas para a obtenção sub-amostras representativas. Aproximadamente 40g foram utilizadas para a análise granulométrica dos sedimentos.

A fração de sedimentos grossos da amostra ( $> 0,062\text{mm}$ ) foi submetida ao processo de peneiramento mecânico e a fração fina ( $<0,062\text{mm}$ ) foi analisada segundo o método da pipetagem.

### **5.2.6 Tratamento Estatístico**

O tratamento estatístico das amostras de sedimentos foi realizado através do método dos momentos de FOLK & WARD (1957), utilizando o programa ANGRA (MORAES & GRIEP, 1985).

Para todas as amostras foi calculado, o parâmetro estatístico média e desvio padrão.

### **5.3 FATOR DE ENCHIMENTO (RA)**

O fator de enchimento (RA) foi calculado a partir do método proposto por JAMES (1975). Somente as amostras que continham porcentagem inferior a 5 % de sedimentos finos (silte e argila) foram utilizadas no cálculo do RA.

#### 5.4 DECLIVIDADE DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA

A declividade da plataforma interna da praia de Navegantes foi calculada através do método do triângulo retângulo entre as isóbatas de 0 e -10 metros para as nove áreas da praia (Figura 22).

$$\text{Tan}\alpha \equiv \frac{\text{Cat.oposto}}{\text{Cat.Adjacente}}$$

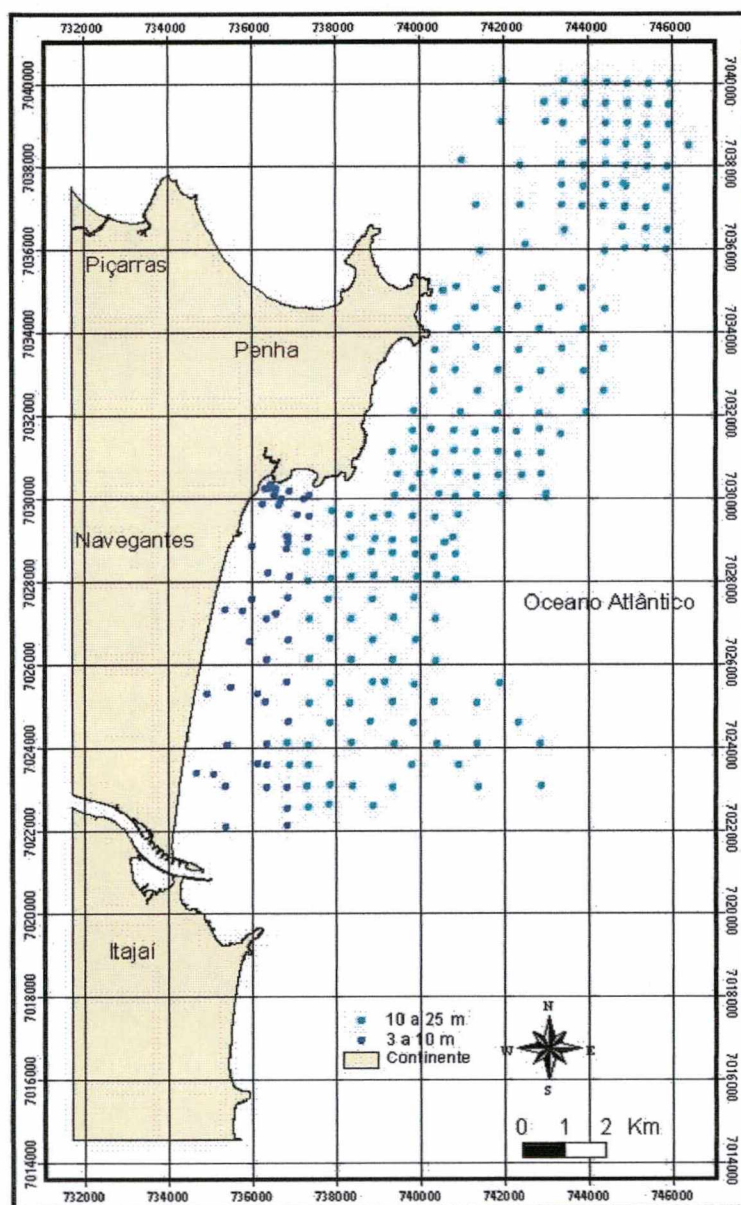


Figura 24 Mapa de localização dos pontos amostrais ao longo da plataforma interna de Navegantes, SC (ALVES & SANTOS, 2000).

## 5.5 PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO INTERNA DO PERFIL PRAIAL

A profundidade de fechamento interna do perfil de Navegantes foi calculada pela fórmula de HELLERMEIER (1981).

$$d_L = 2H_s + 11\sigma$$

onde,  $H_s$  é a média anual da altura significativa de onda (m) e  $\sigma$  é o desvio padrão anual da altura significativa de onda.

Os Valores de  $H_s$  e  $\sigma$  foram obtidos das medições de ALVES (1996). Para este cálculo foi utilizado o programa "Beach Fill Module – Depth of Closure Calculator".

A profundidade de fechamento foi testada comparando-a com a profundidade de limite entre sedimentos finos e grossos na plataforma interna adjacente à praia de Navegantes, segundo a teoria de HESP & HILTON (1996) em que a profundidade de fechamento coincide com este limite.

## 5.6 MODELO DE REFRAÇÃO DE ONDAS

A batimetria utilizada no modelo de refração de ondas foi obtida de duas fontes de dados diferentes. Primeiro foram utilizados dados batimétricos digitalizados de cartas náuticas e folhas de bordo para o litoral catarinense (Tabela 2). A partir destes dados foi confeccionada uma malha batimétrica entre as isóbatas de 10 e 170 metros. Esta matriz é composta por 65.000 pontos dispostos em 1.800 colunas e 1.200 linhas. A Figura 25 mostra os pontos batimétricos.

O segundo tipo de dado batimétrico utilizado foi obtido através de levantamentos batimétricos executados pelo *Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar / CTTMAR -UNIVALI* através dos serviços da empresa PETCON, durante o mês de Março de 1999. Os trabalhos foram efetuados na plataforma interna em frente ao Município de Navegantes.

Estes dados bem mais detalhados são compostos por mais de 300.000 pontos, distribuídos em uma matriz de 1.800 linhas por 1.200 colunas e uma malha de 15 metros de lado. A figura 26 mostra a batimetria para a plataforma interna de Navegantes.

Tabela 2. Documentos utilizados para a digitalização da batimetria da região.

	<b>Documento</b>	<b>Fonte</b>	<b>Escala</b>
1	Carta Náutica 1800	DHN	1:284530
2	Carta Náutica 1801	DHN	1:15000
3	Carta Náutica 1809	DHN	1:30000
4	Carta Náutica 1811	DHN	1:7500
5	Carta Náutica 1830	DHN	1:89459
6	Carta Náutica 1900	DHN	1:279329
7	Carta Náutica 1903	DHN	1:50075
8	Carta Náutica 1904	DHN	1:49918
9	Carta Náutica 1905	DHN	1:12600
10	Folha de Bordo 1809_1_51	DHN	1:20000
11	Folha de Bordo 1800_01_88	DHN	1:20000
12	Folha de Bordo 1800_1_56	DHN	1:284530

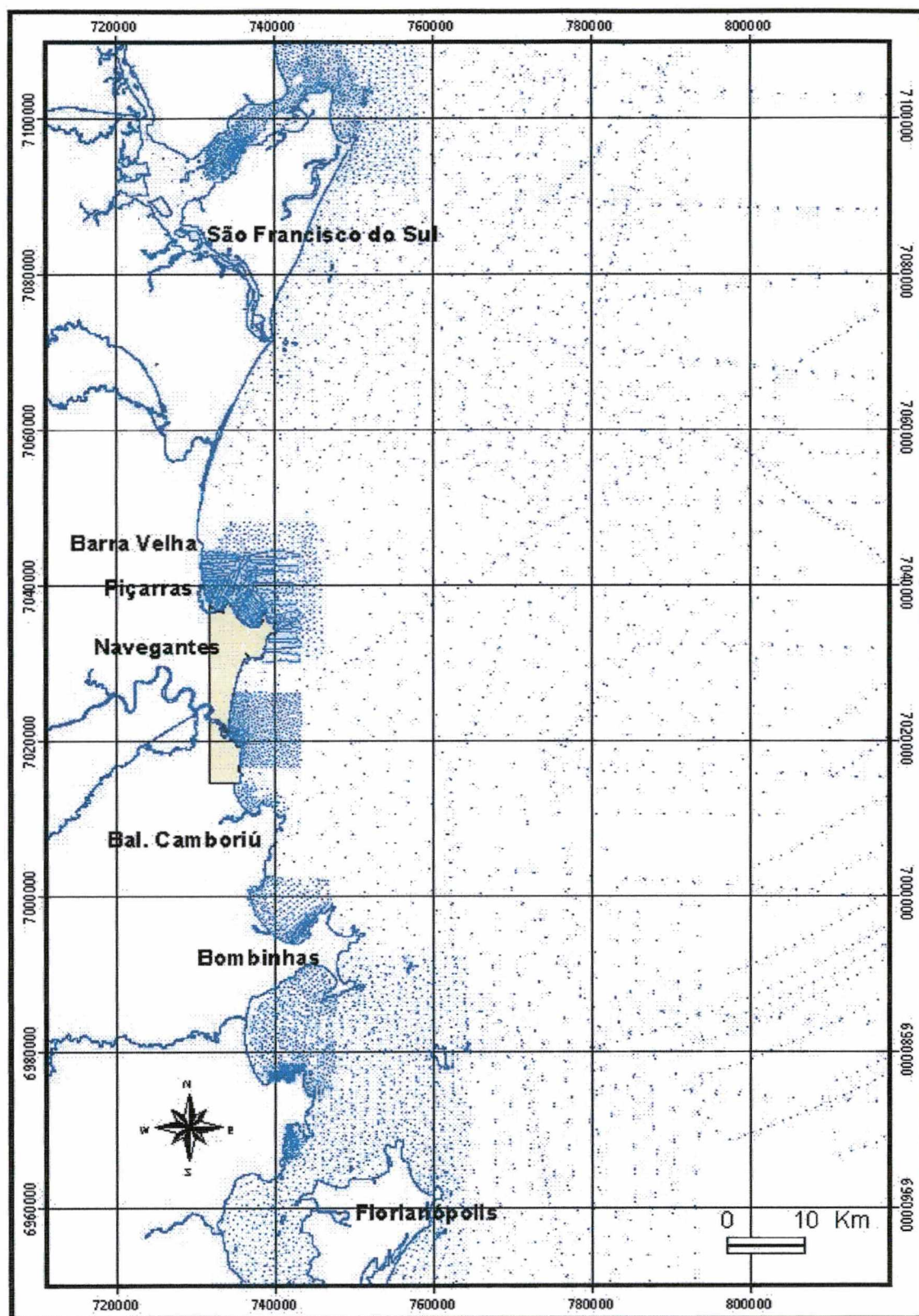


Figura 25 Pontos Batimétricos obtida das cartas e folhas de bordo do DHN para o litoral catarinense.

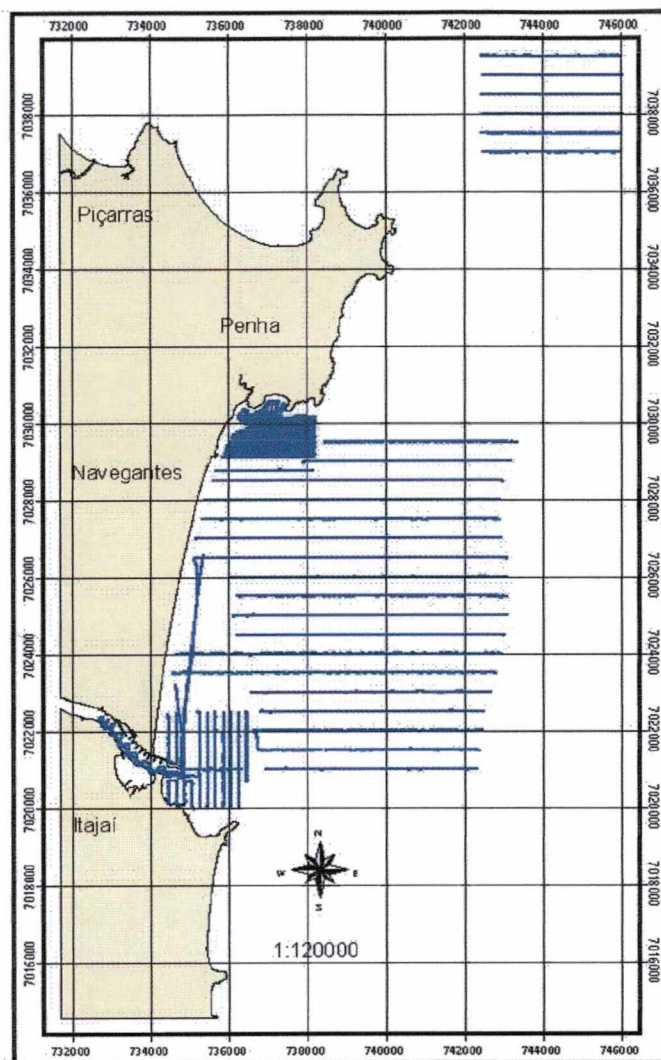


Figura 26 Pontos batimétricos obtidos pelo CTTMar/UNIVALI na plataforma interna junto à praia de Navegantes.

Para geração de cenário de refração de ondas foi utilizado o programa Mike21 NSW ("Nearshore Spectral Waves").

O MIKE21 NSW é um modelo espectral de vento-onda, que descreve a propagação, empinamento e o decaimento de ondas de curto período em áreas próximas à costa.

### 5.6.1 Equações Básicas

As equações básicas do MIKE21 NSW são derivadas da equação da conservação para a densidade espectral da ação da onda baseada na aproximação proposta por HOLTHUIJSEN *et. al.* (1989). Uma parametrização da equação da conservação no domínio da frequência é executada introduzindo o momento zero e o primeiro no espectro da ação da onda como variáveis dependentes. Isto conduz as seguintes equações diferenciais parciais:

$$\frac{\partial(c_{gx} m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy} m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(c_{\theta} m_0)}{\partial \theta} = S_0$$

$$\frac{\partial(c_{gx} m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy} m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(c_{\theta} m_1)}{\partial \theta} = S_1$$

Onde,  $\mathbf{m}_0(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \theta)$  é o momento zero do espectro de ação ( $m^2$ );  $\mathbf{m}_1(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \theta)$  é o primeiro momento do espectro de ação ( $m^2/s$ );  $\mathbf{C}_{gx}$  e  $\mathbf{C}_{gy}$  são componentes nas direções  $\mathbf{x}$  e  $\mathbf{y}$  respectivamente da velocidade de grupo  $\mathbf{C}_g$  (m/s);  $\mathbf{C}_{\theta}$  é a velocidade de propagação representando a mudança de ação na direção  $\theta$  (m/s);  $\mathbf{x}$  e  $\mathbf{y}$  são coordenadas cartesianas (m);  $\theta$  direção de propagação da onda ( $^{\circ}$ ) e  $\mathbf{S}_0$  e  $\mathbf{S}_1$  são termos fonte ( $m^2$  e  $m^2/s$ ).

O mn(q) espectral dos momentos é definido por:

$$m_n(\theta) = \int_0^{\infty} \omega^n A(\omega, \theta) d\omega$$

onde,  $\omega$  é a frequência absoluta e o A é a densidade espectral da ação da onda.

A velocidade de propagação  $cq$  e a velocidade do grupo  $cgx$  e  $cgy$  são obtidas usando a teoria linear da onda.

As equações básicas explicam o efeito da refração e empinamento. Os termos  $S0$  e  $S1$  da fonte esclarecem o efeito da entrada de energia do vento, da dissipação de energia pela fricção com o fundo e pela quebra da onda. Os efeitos da corrente nestes fenômenos também estão incluídos.

No MIKE21 NSW, os termos da fonte para a geração local do vento são derivados diretamente formula de crescimento de onda em água profunda em pista limitada do USACE (1984).

### 5.6.2 Solução Técnica

A discretização espacial das equações diferenciais parciais básicas é executada usando uma técnica de diferenças finitas Eulerianas. Os momentos zero e o primeiro do espectro de ação são calculados em uma malha retangular para um número de direções discretas. Na direção  $x$ , diferenciação linear é aplicada, enquanto que nas direções  $y$  e  $q$  é possível escolher entre uma diferenciação linear no sentido do vento, uma diferenciação central e uma diferenciação quadrática no sentido do vento. Os melhores resultados são geralmente obtidos usando-se a diferenciação linear no sentido do vento tanto para a direção  $y$  como para a  $q$ .

Os termos da fonte devido à geração local do vento são introduzidos explicitamente, enquanto que os termos da fonte devido a dissipação de energia



de onda com o fundo e pela quebra da onda são introduzidos implicitamente. Então, uma interação não-linear é executada em cada ponto da malha.

O sistema algébrico não-linear da equação que resulta da discretização espacial é resolvido usando o procedimento de migração da onda na direção  $x$  (direção predominante de propagação da onda) que restringe o ângulo entre a direção de propagação da onda e do eixo  $x$  para ser menor que 90 graus. Na prática, este ângulo deve ser menor do que aproximadamente 60 graus devido às considerações numéricas da estabilidade.

A dissipação da energia da onda com o fundo é baseada na lei quadrática da fricção para representar a tensão de cisalhamento (SVENDSEN & JONSSON, 1980) e a dissipação de energia pela quebra da onda é baseada nas expressões dadas por BATTJES & JANSSEN (1978). Os efeitos de dissipação de energia com o fundo e pela quebra médios da onda também são incluídos.

De  $m_0(q)$  e de  $m_1(q)$ , dois parâmetros da onda podem ser calculados; o espectro direcional  $A_0(q) = m_0(q)$  e a frequência média da ação da onda por direção  $w_1(q) = m_1(q)/m_0(q)$ .

## **5.7 TAXA DE OCUPAÇÃO DAS DUNAS FRONTAISIS**

A ocupação das dunas frontais para o segmento praias Navegantes/Gravatá foi analisada para as nove áreas na qual a praia foi dividida (Figura 22).

A análise foi feita a partir da restituição aerofotogramétrica realizada em 1995 pela Aeroimagem S.A. em uma escala de 1:2000 (Figura 27). Os resultados foram calculados em função da porcentagem de ocupação das dunas frontais.

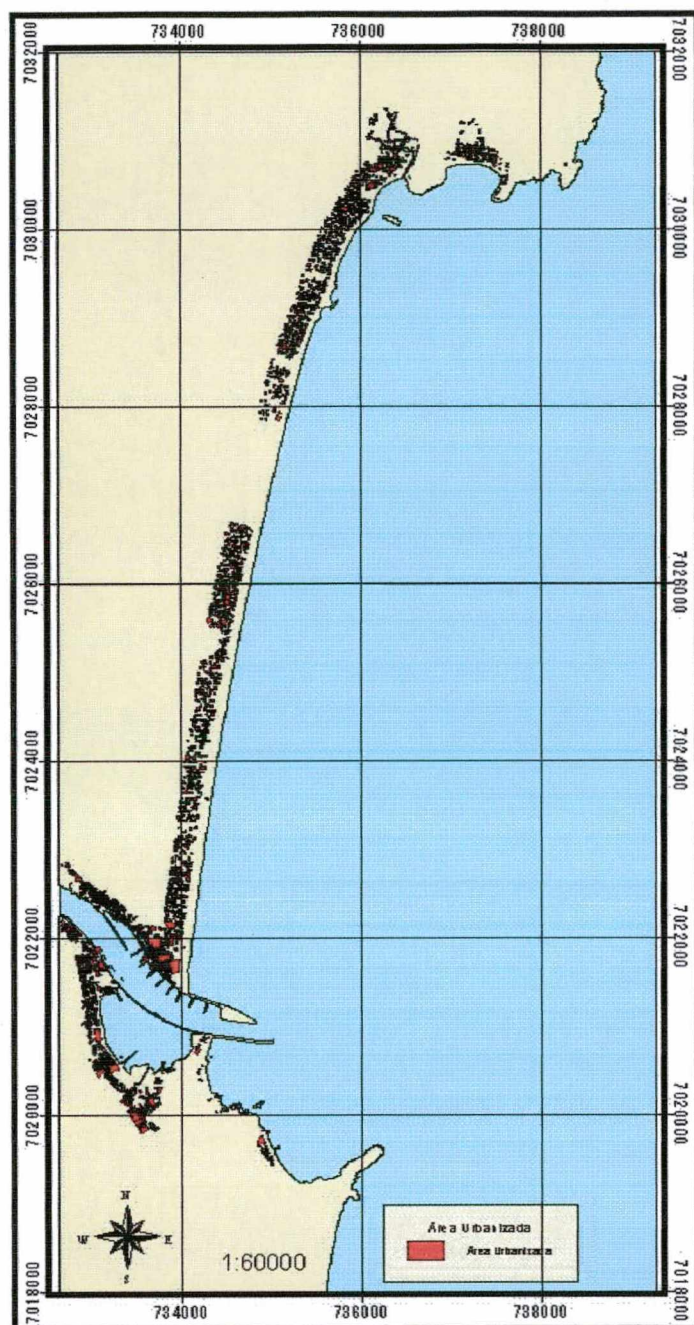


Figura 27 Restituição aerofotogramétrica de 1995 para a segmento praial Navegantes/Gravatá(1:2.000).

## Capítulo Seis – Resultados e Discussão

### 6.1 VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

A Tabela 3 mostra os dados de variação de linha de costa positivos (acresção) e negativos (erosão), apresentando os valores em área (m<sup>2</sup>) e linear (m/ano) entre 1993 e 2002 para o segmento praial Navegantes/(Gravatá).

Tabela 3. Valores de variação da linha de costa para a segmento praial Navegantes/Gravatá entre os anos de 1993 e 2002.

Área	Variação Média Total		Variação Linear Média		Variação Linear Média por Ano	
	Acresção (m <sup>2</sup> )	Erosão (m <sup>2</sup> )	Acresção (m)	Erosão (m)	Acresção (m/ano)	Erosão (m/ano)
01	0	15000	0	15	0	1,6
02	0	14366	0	14,3	0	1,6
03	0	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0
05	9627	0	9,6	0	1,07	0
06	15084	0	15	0	1,67	0
07	10338	0	10,3	0	1,14	0
08	0	0	0	0	0	0
09	7758	0	7,7	0	0,86	0

As áreas que apresentaram maiores variações negativas da linha de costa (erosão) foram as áreas 1 e 2 localizadas no norte do segmento praial Navegantes/Gravatá. As áreas que apresentaram maiores taxas de acresção (variação positiva da linha de costa) foram as áreas 5, 6, 7 e 9 localizadas na parte central e sul da praia.

As Figuras 28 a 36 apresentam a variação da linha de costa (linha de duna) para as 9 áreas para a segmento praial Navegantes/Gravatá entre os anos de 1993 e 2002.

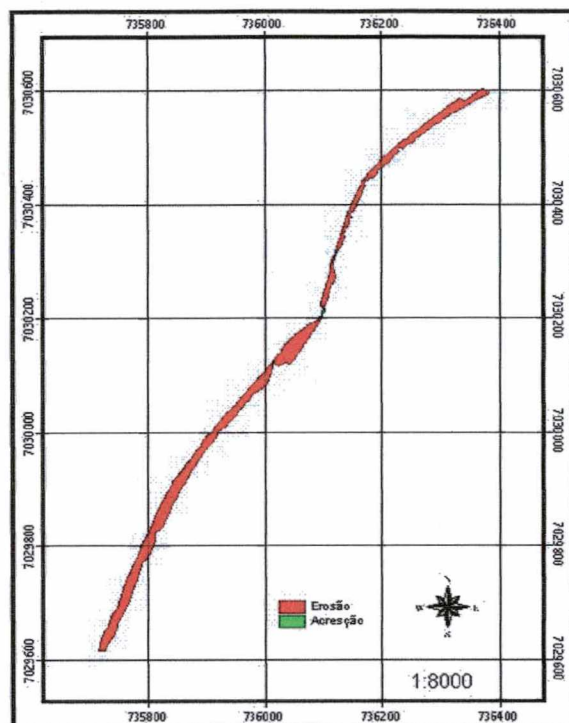


Figura 28 *Varição da linha de costa para a área 1.*

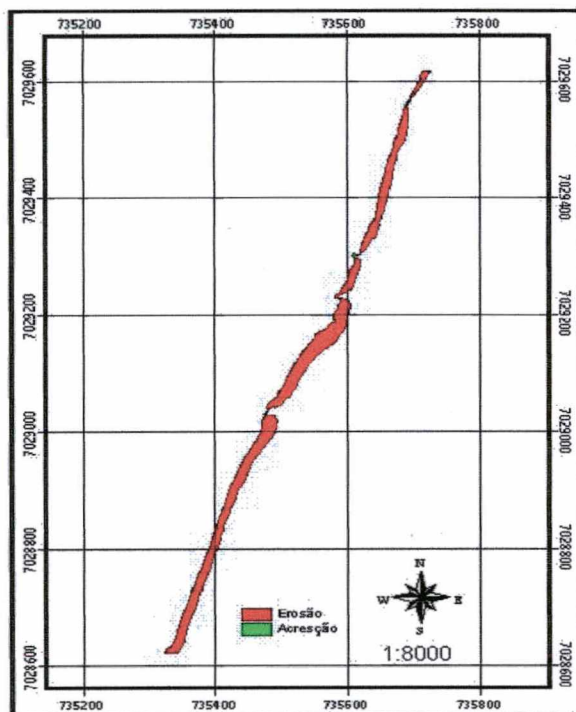


Figura 29 *Varição da linha de costa para a área 2*

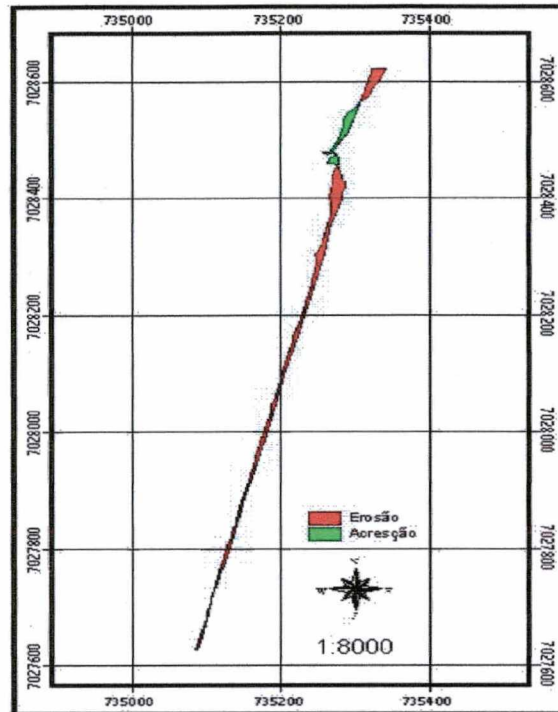


Figura 30 Variação da linha de costa para a área 3.

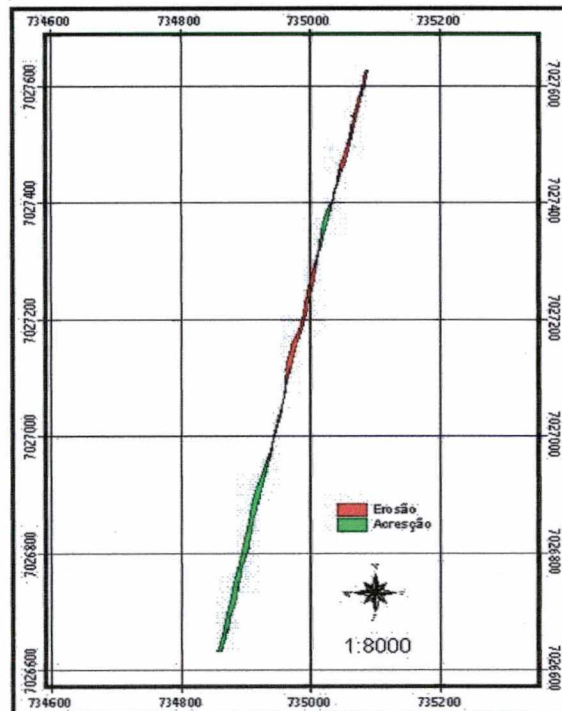


Figura 31 Variação da linha de costa para a área 4.

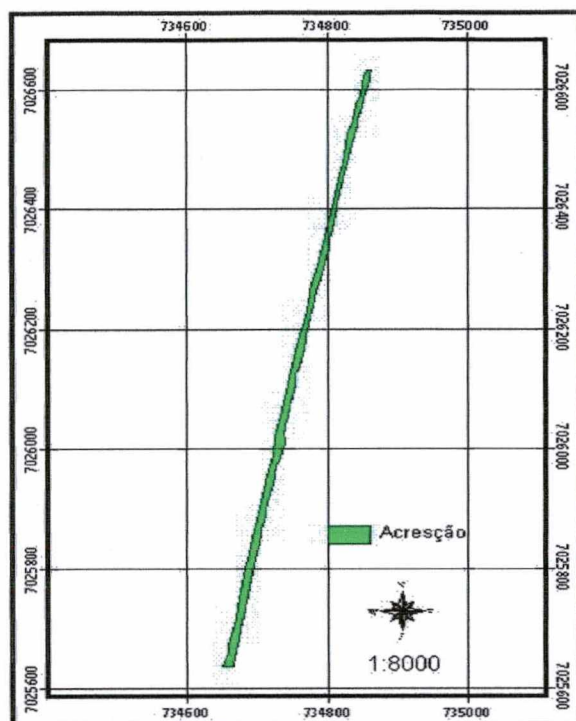


Figura 32 Variação da linha de costa para a área 5.

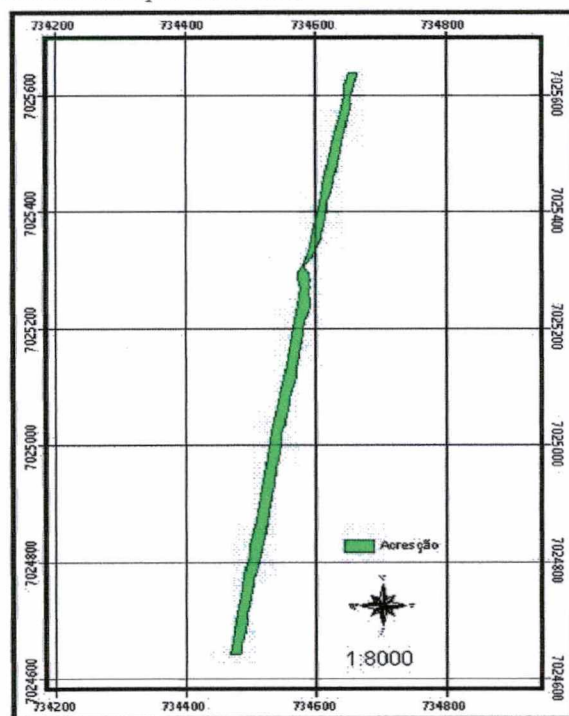


Figura 33 Variação da linha de costa para a área 6.

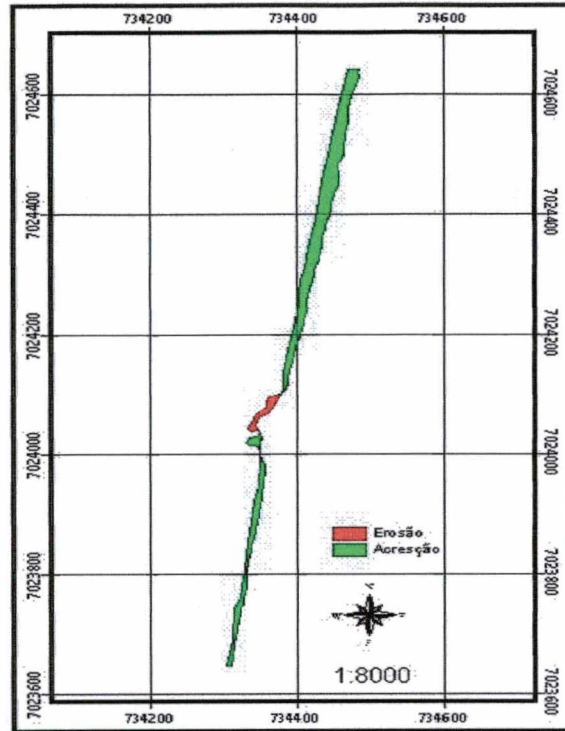


Figura 34 Variação da linha de costa para a área 7.

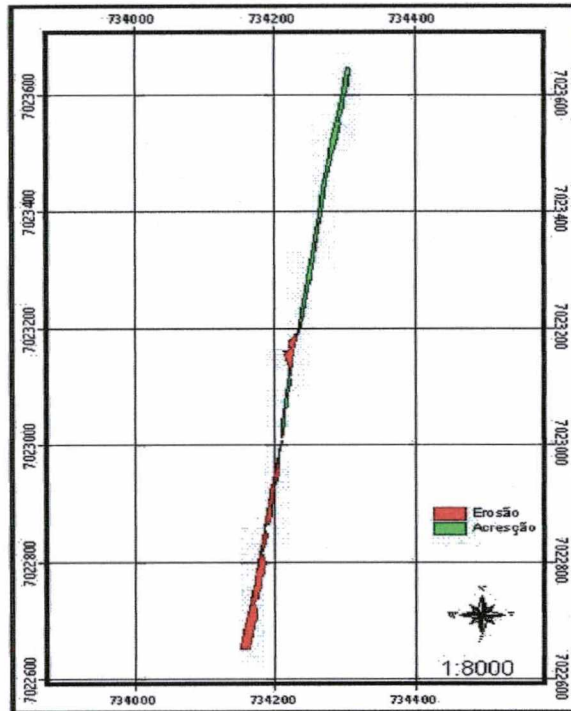


Figura 35 Variação da linha de costa para a área 8.

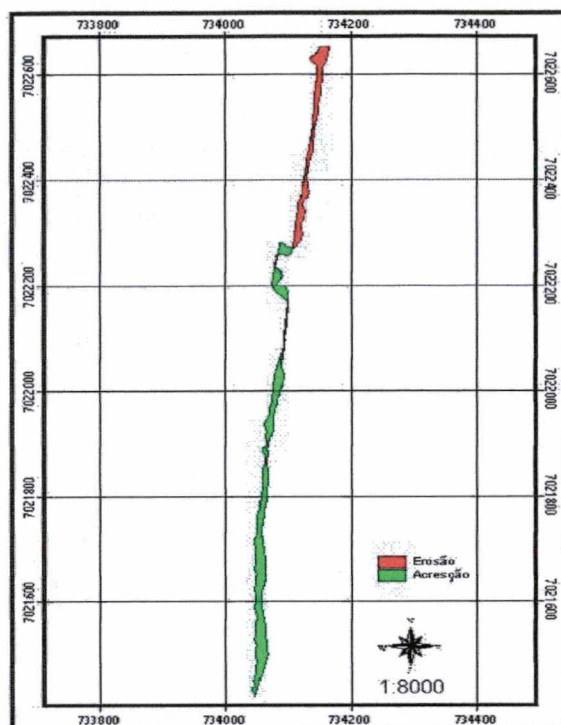


Figura 36 Variação da linha de costa para a área 9.

As variações negativas observadas nas áreas 1 e 2 podem ter sido minimizadas pelas obras realizadas pela prefeitura para proteger a praia das ondulações de maior energia, porém não há como se comprovar esta hipótese.

## 6.2 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA

### 6.2.1 Jazida Continental

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise sedimentológica para a jazida sedimentar localizada no município de Penha. Verifica-se uma grande variabilidade granulométrica entre as amostras coletadas na jazida continental, o alto desvio padrão denuncia a presença de sedimentos finos associada a fração arenosa.



Tabela 4. Resultados da análise sedimentológica das amostras da jazida sedimentar localizada no município da Penha (valores em fi) (ABREU *et. al.*, 2000).

Amostra	Média	Desvio Padrão
01	3,01	0,32
02	2,98	0,33
03	1,32	1,19
04	2,42	2,02
05	2,94	0,36
06	1,06	0,72
07	1,24	0,63
08	2,97	0,35
09	1,86	1,03

### 6.2.2 Praia

A Tabela 5 apresenta os resultados da análise sedimentológica realizada para o segmento praiial Navegantes/Gravatá.

Tabela 5. Dados sedimentológicos das amostras coletadas na segmento praiial Navegantes/Gravatá (valores em fi) (ALVES & SANTOS, 2000).

Média	Perfis										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Antes da Duna	2,42	2,46	2,43	2,36	2,57	1,73	2,57	2,47	2,59	2,73	2,84
Duna	2,73	2,49	2,27	2,48	2,27	2,51	2,54	2,66	2,73	2,39	3,00
Pós-Praia	2,61	2,18	2,43	2,61	2,25	2,50	2,60	2,59	2,74	2,89	2,77
Estrâncio	2,48	2,27	2,24	2,53	2,25	2,67	2,55	2,65	2,63	2,76	2,87
Desvio Padrão											
Antes da Duna	0,53	0,37	0,39	0,49	0,33	1,63	0,50	0,35	0,75	0,36	0,68
Duna	0,33	0,47	0,40	0,40	0,36	0,36	0,35	0,35	0,31	1,27	0,48
Pós-Praia	0,41	0,45	0,40	0,41	0,61	0,34	0,33	0,32	0,31	0,43	0,51
Estrâncio	0,54	0,56	0,51	0,13	0,38	0,38	0,46	0,40	0,37	0,33	0,27

A análise das amostras mostra que o tamanho médio do sedimento foi de 2,54 fi (0,17mm) e desvio padrão médio de 0,4 fi. Nesta análise foram excluídas as amostras localizadas antes da duna devido a estes sedimentos terem sido alterados por sedimentos colocados para a construção da avenida beira-mar.

### 6.2.3 Plataforma Interna Adjacente

A Figura 37 apresenta o mapa granulométrico para as amostras coletadas na plataforma interna adjacente à praia de Navegantes entre a profundidade de 3 e 25 metros (ALVES & SANTOS, 2000).

No mapa verificam-se duas áreas com depósitos arenosos: a área 1 contendo em sua maioria areia muito fina e a área 2, na qual ocorre areia fina a média (ALVES & SANTOS, 2000).

As Figuras 38, 39 e 40 apresentam a porcentagem de areia, silte e argila respectivamente para as amostras da plataforma continental interna adjacente a praia de Navegantes (ALVES & SANTOS, *op. cit.*).

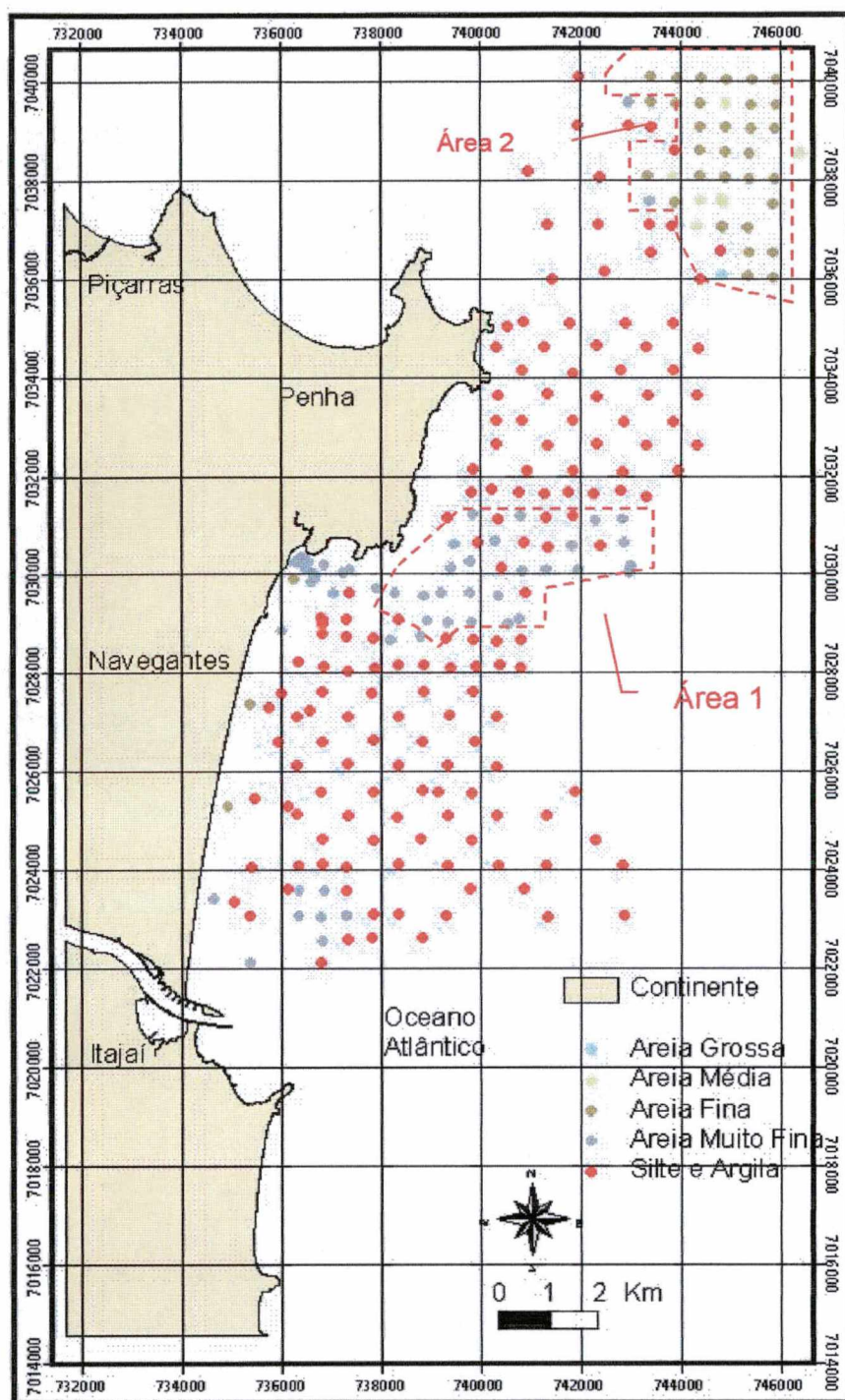


Figura 37 Mapa granulométrico para a plataforma interna adjacente à praia de Navegantes, em destaque possíveis depósitos sedimentares com sedimento compatível à alimentação (ALVES & SANTOS, 2000).

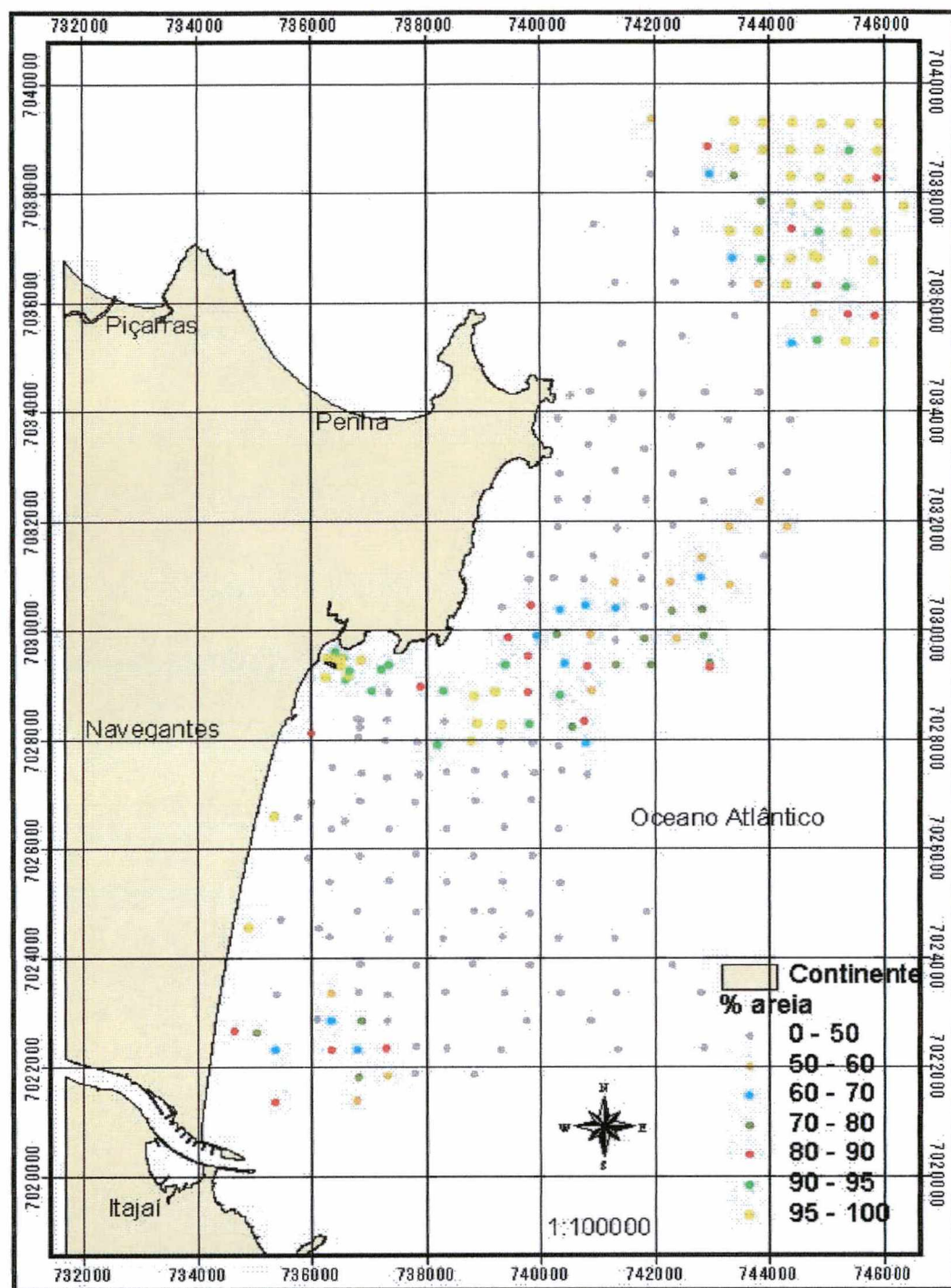


Figura 38 Porcentagem de areia nas amostras na plataforma continental adjacente à praia de Navegantes (ALVES & SANTOS, 2000).

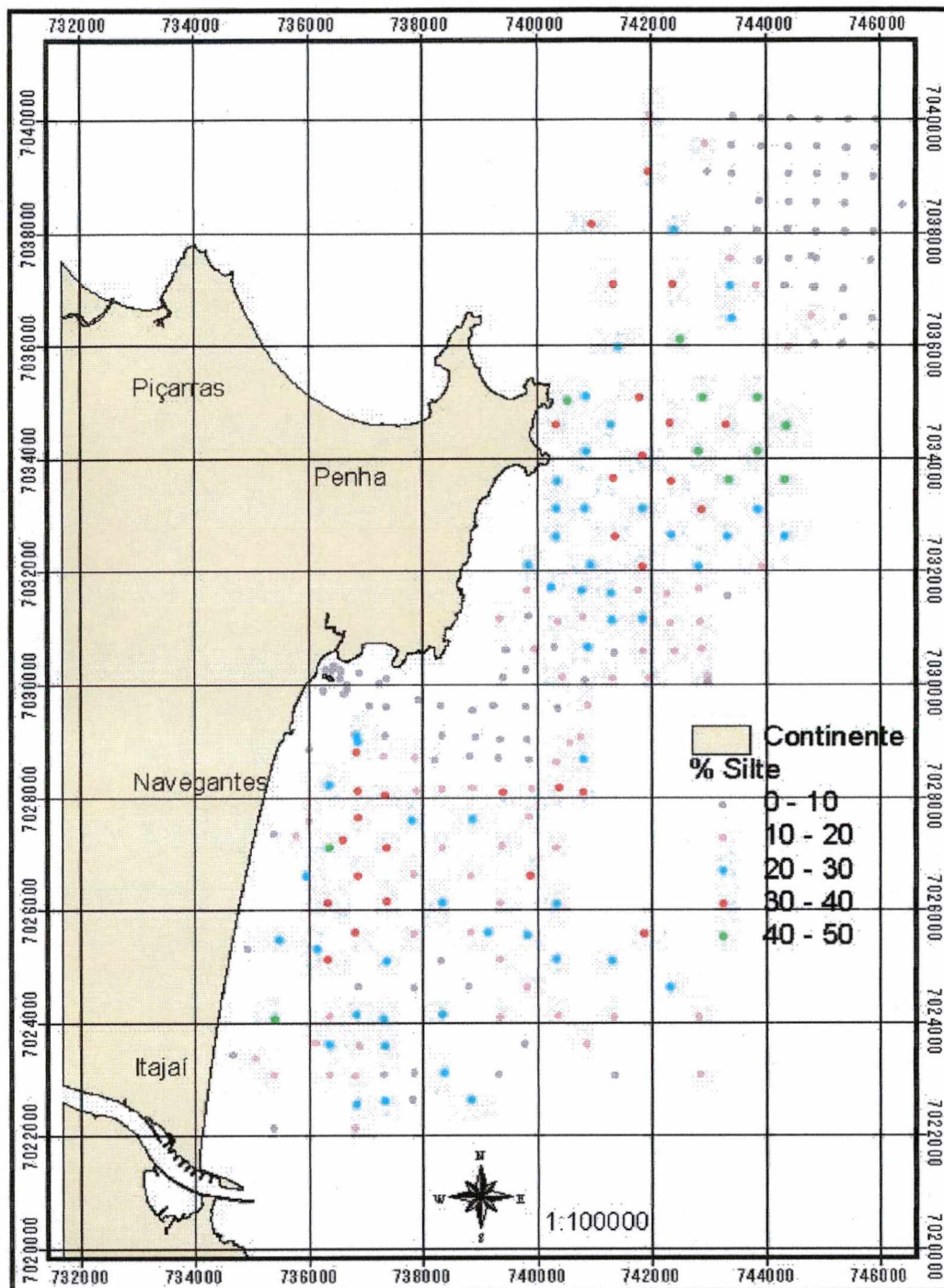


Figura 39 Porcentagem de silte nas amostras na plataforma continental adjacente à praia de Navegantes (ALVES & SANTOS, 2000).

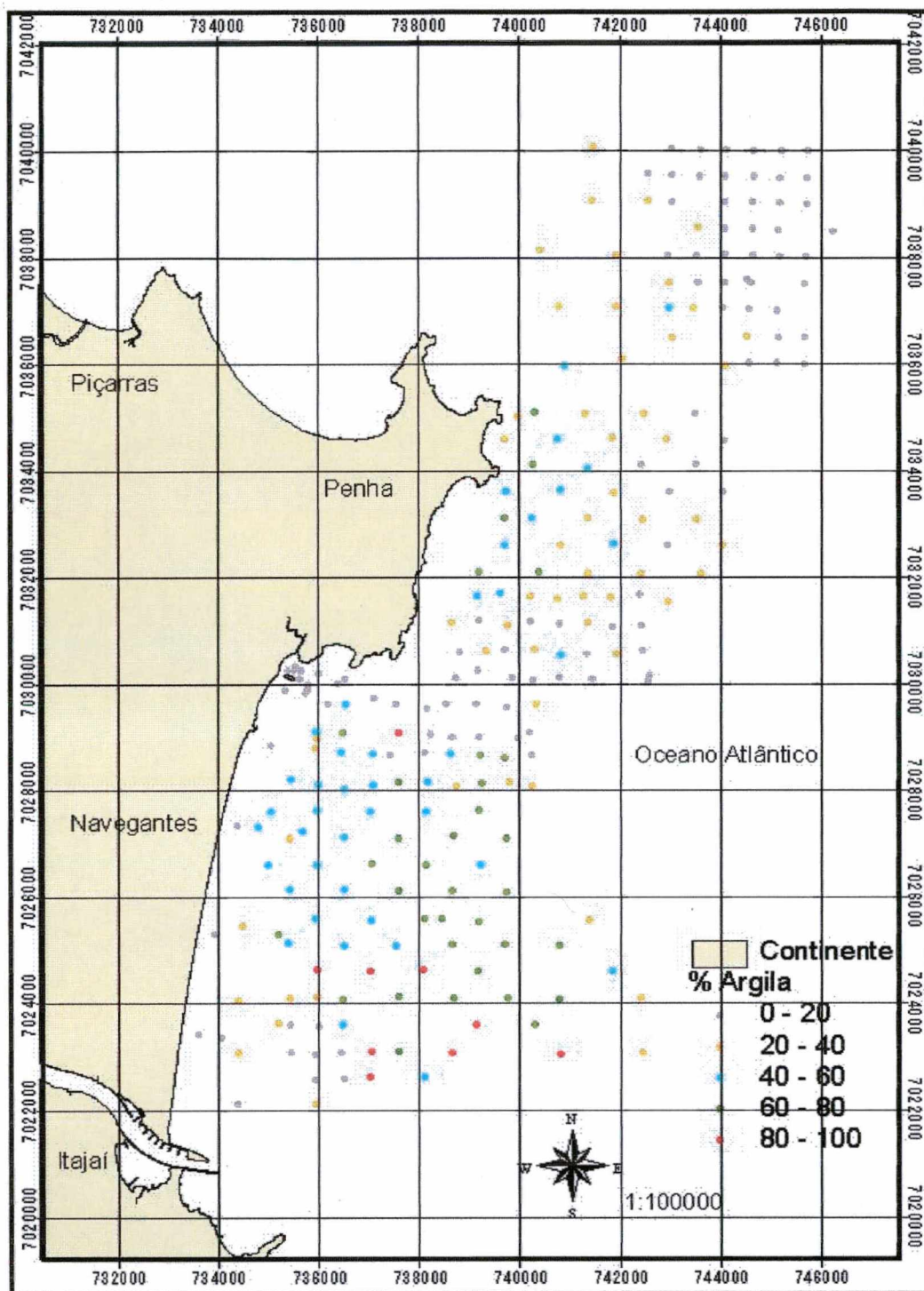


Figura 40 Porcentagem de argila nas amostras na plataforma continental adjacente à praia de Navegantes (ALVES & SANTOS, 2000).

### 6.3 FATOR DE ENCHIMENTO

A Tabela 6 apresenta os valores do fator de enchimento para as amostras de sedimentos da jazida continental utilizada pela prefeitura municipal em 1999.

Tabela 6. Fator de enchimento para as amostras da jazida sedimentar localizada no município da Penha (valores em fi) (ABREU *et. al.*, 2000).

Amostra	Média
01	10
02	10
03	1,05
04	1,6
05	6,5
06	1,02
07	1,02
08	6
09	1,1

A Figura 41 apresenta o fator de enchimento (RA), segundo o método proposto por JAMES (1975), calculado as para amostras da plataforma continental interna com porcentagem de areia superior a 95%.

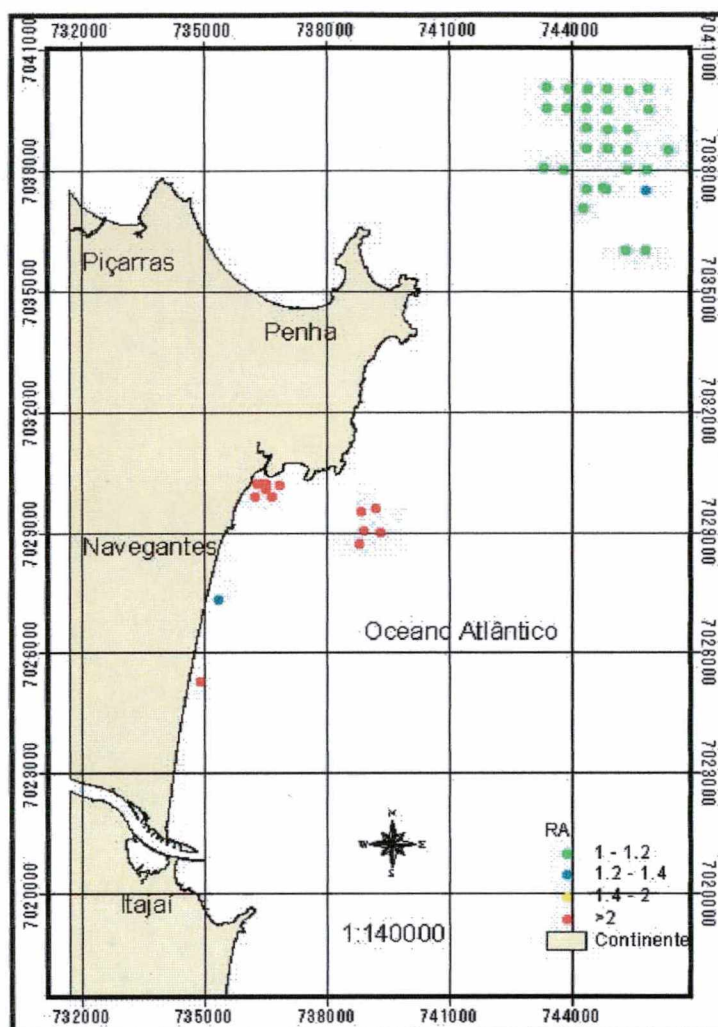


Figura 41 Fator de enchimento (RA) para as amostras da plataforma interna com porcentagem arenosa superior a 95%.

#### 6.4 PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO

A profundidade de fechamento interna calculada segundo o método de HELLERMEIER (1981) para a praia de Navegantes foi de aproximadamente 6 metros. Esta profundidade é confirmada pela profundidade de início da remobilização do sedimento pelas ondas, limite entre os sedimentos finos e grossos, segundo o método de HESP & HILTON (1996) (Figura 42).



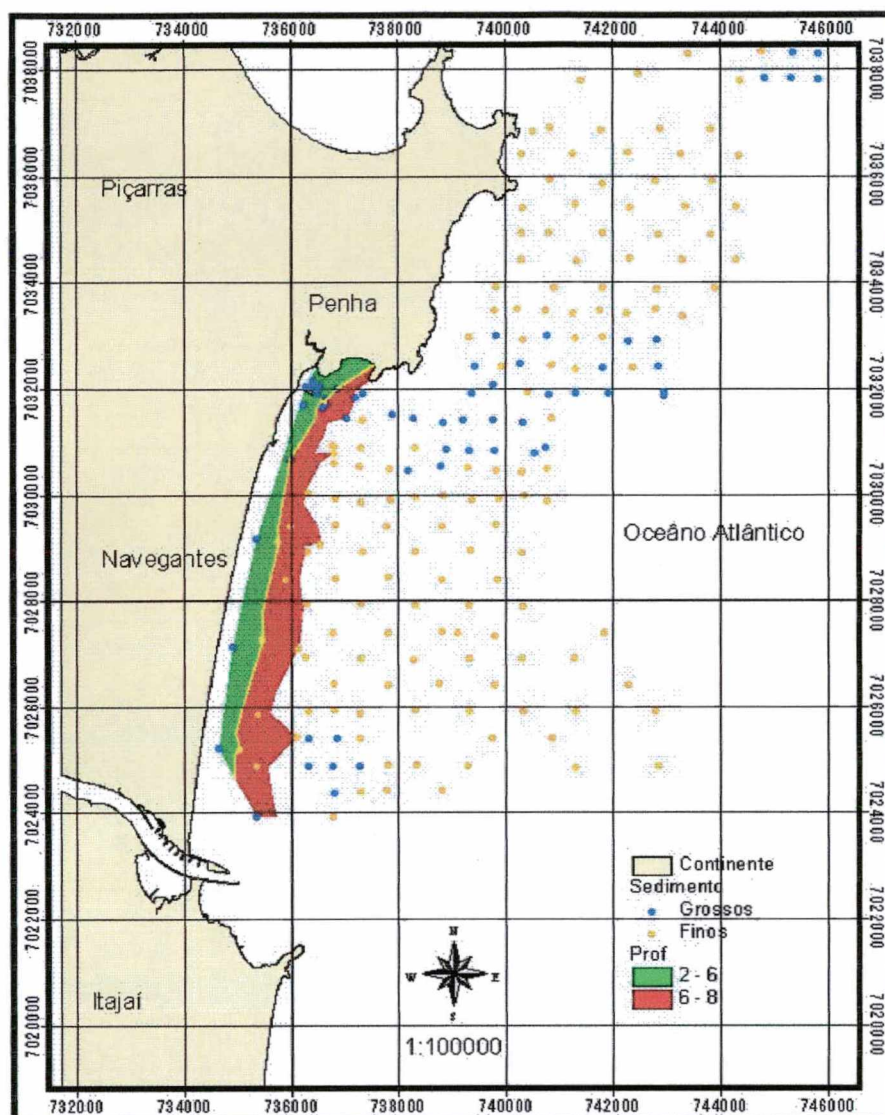


Figura 42 Profundidade de fechamento interna da plataforma interna adjacente à praia de Navegantes.

## 6.5 DECLIVIDADE DA PLATAFORMA INTERNA ADJACENTE

A Tabela 7 apresenta a declividade da plataforma interna adjacente ao segmento praiar Navegantes/Gravatá.

Tabela 7. Tabela de declividade da plataforma interna adjacente ao segmento praial Navegantes/Gravatá (valores em graus).

Áreas	Declividade Média
01	0,55
02	0,57
03	0,52
04	0,44
05	0,43
06	0,42
07	0,43
08	0,42
09	0,40

## 6.6 REFRAÇÃO DE ONDAS

As Figuras de 43 a 47 apresentam os cenários de refração de ondas para o segmento praial Navegantes/Gravatá estes cenários foram gerados com ondas provenientes de nordeste, leste e sudeste e com alturas e períodos extraídos dos dados obtidos por ALVES (1996).

A Figura 43 apresenta o cenário de refração de ondas para o segmento praial Navegantes/Gravatá mostrando a altura de onda próxima à costa. Este cenário de refração foi gerado com ondas provenientes de nordeste ( $45^\circ$ ) com altura de 1,74 metro e período de 7,4 segundos.

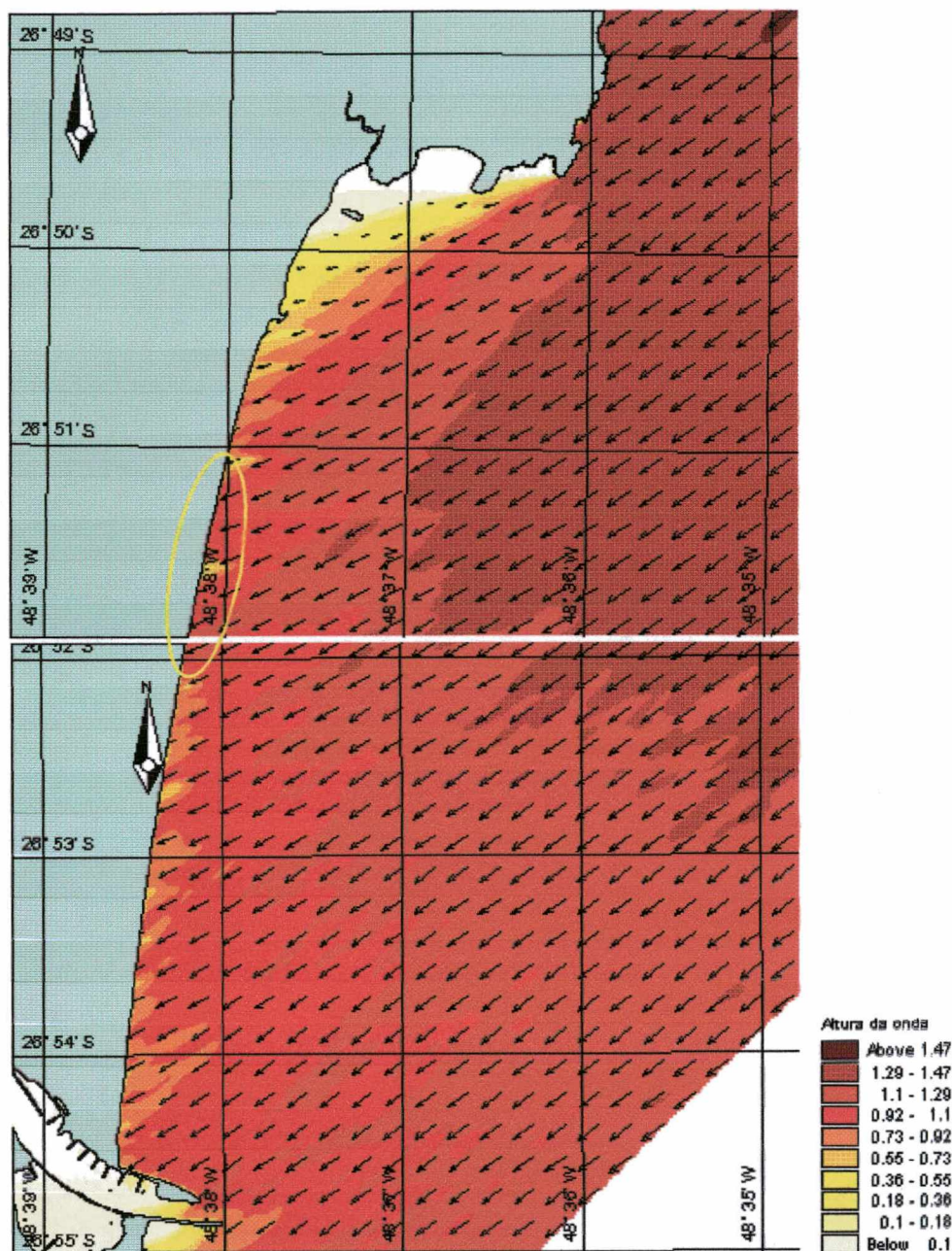


Figura 43 Cenário de refração de onda para o segmento praia Navegantes/Gravatá, gerado com ondas provenientes do quadrante nordeste ( $45^\circ$ ) com altura de 1,74 metro e período de 7,4 segundos. Em destaque o local de maior concentração de energia de onda.

A Figura 44 apresenta o cenário de refração com ondas provenientes de leste ( $100^\circ$ ) com altura de onda de 1,74 metro e período de 7,14 segundos.

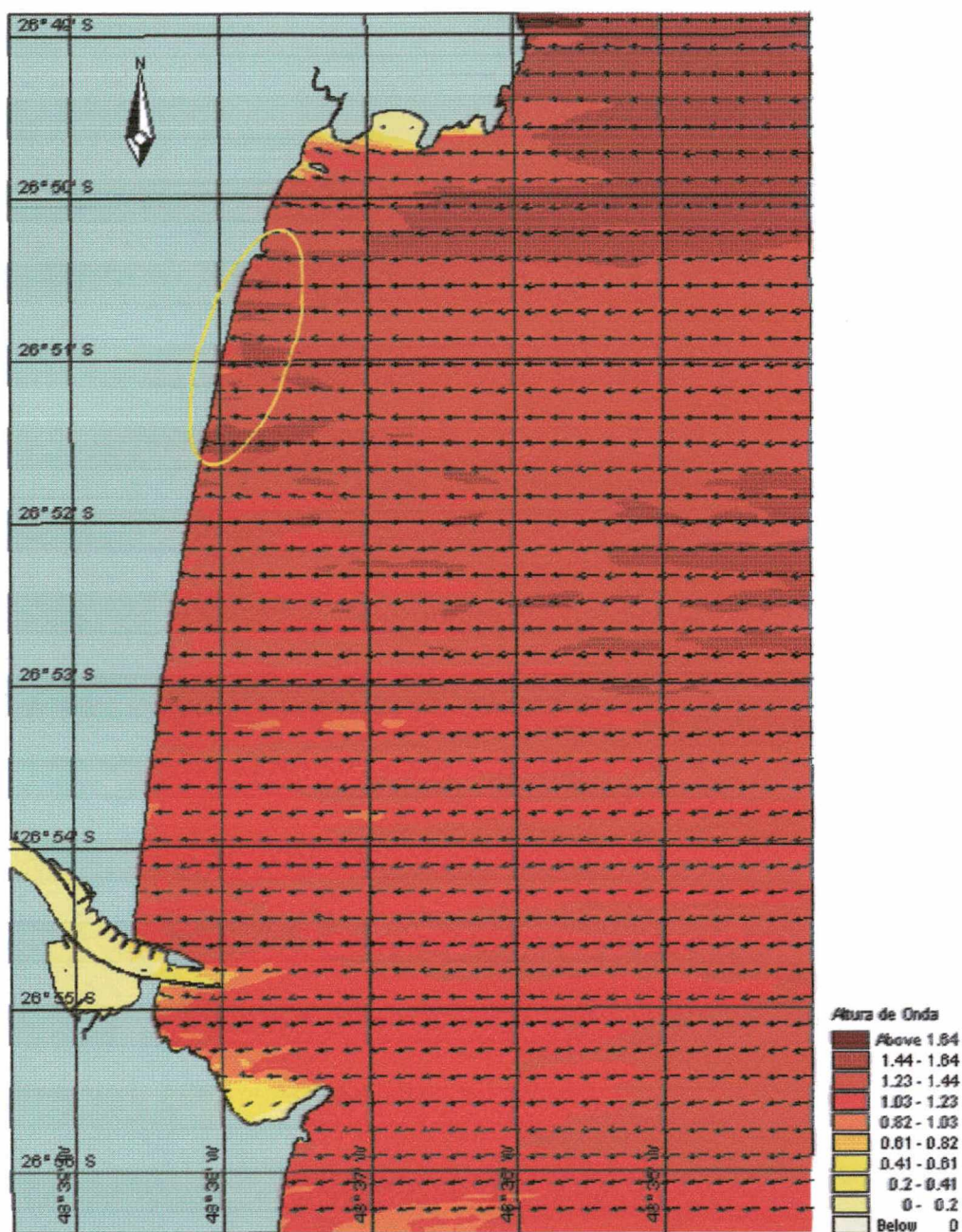


Figura 44 Cenário de refração de onda para o segmento praias Navegantes/Gravatá, gerado com ondas provenientes do quadrante leste ( $100^\circ$ ) com altura de 1,74 metro e período de 7,14 segundos. Em destaque o local de maior concentração de energia de onda.

A Figura 45 apresenta o cenário de refração com ondas provenientes de leste ( $100^\circ$ ) com altura de onda de 1,64 metro e período de 8,3 segundos.

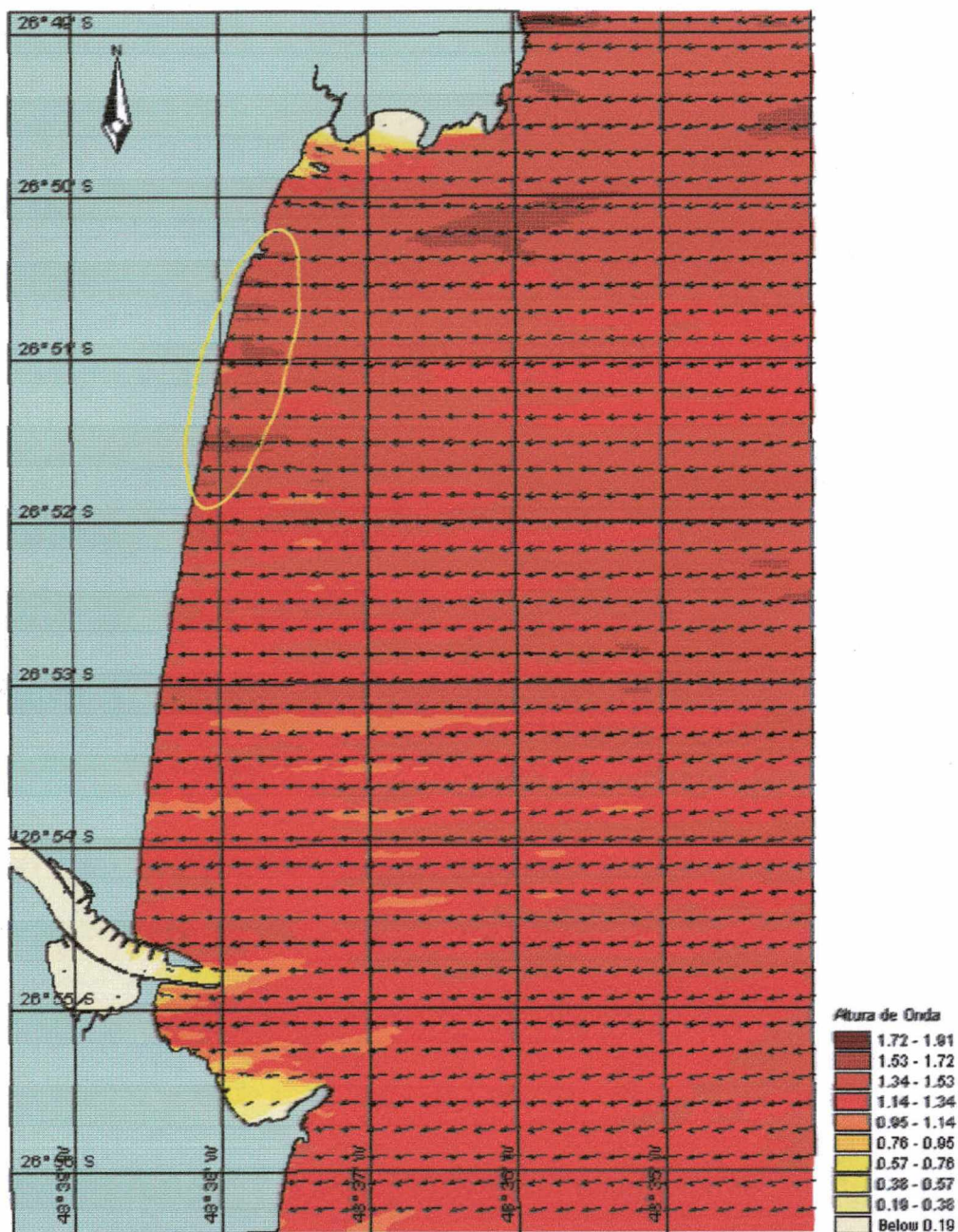


Figura 45 Cenário de refração de onda para o segmento praial Navegantes/Gravatá, gerado com ondas provenientes do quadrante leste ( $100^\circ$ ) com altura de 1,64 metro e período de 8,3 segundos. Em destaque o local de maior concentração de energia de onda.

A Figura 46 apresenta o cenário de refração com ondas provenientes de sudeste ( $140^\circ$ ) com altura de onda de 1,72 metro e período de 12,5 segundos.

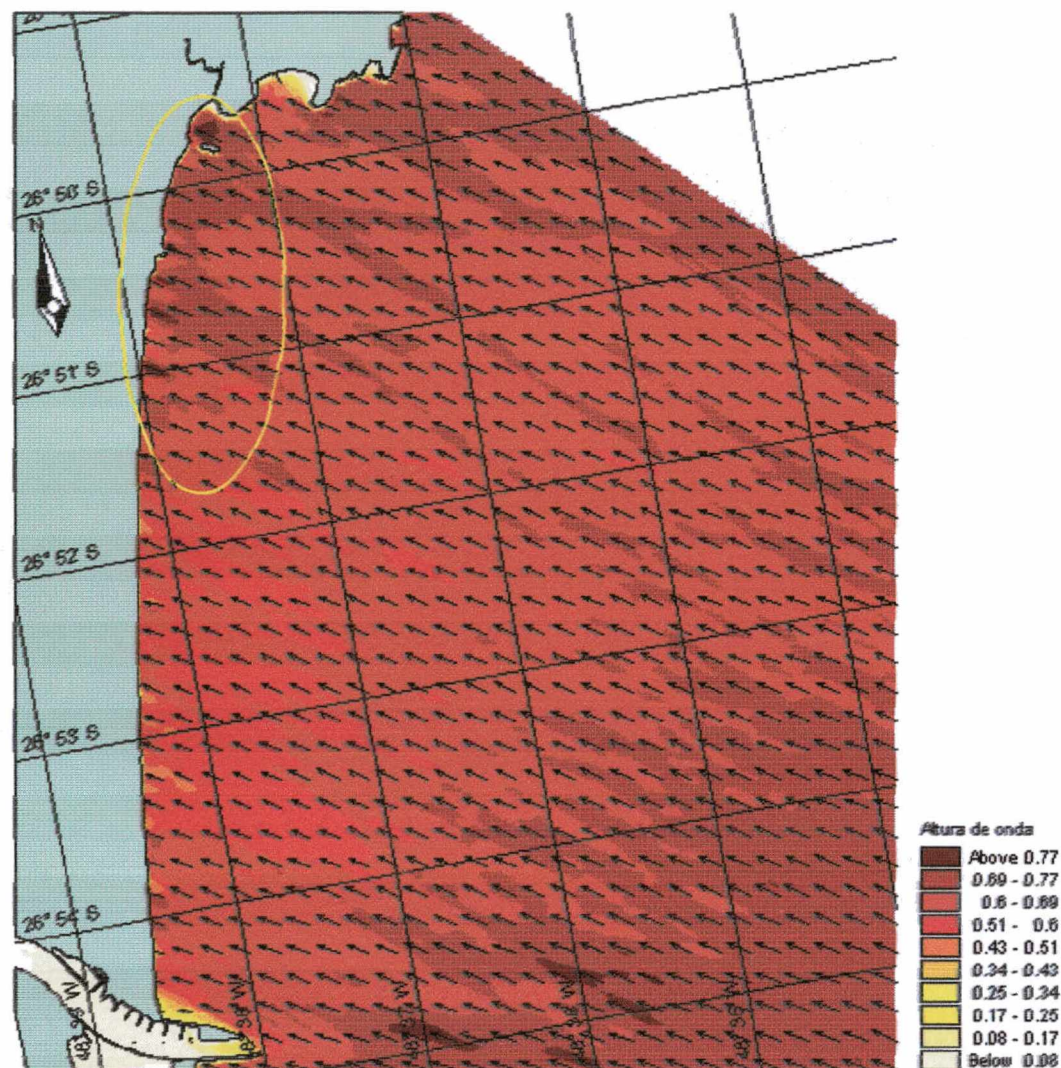


Figura 46 Cenário de refração de onda para o segmento praias Navegantes/Gravatá, gerado com ondas provenientes do quadrante sudeste (140°) com altura de 1,72 metro e período de 12,5 segundos. Em destaque o local de maior concentração de energia de onda.

A Figura 47 apresenta o cenário de refração com ondas provenientes de sudeste (140°) com altura de onda de 6 metros e período de 12,5 segundos.

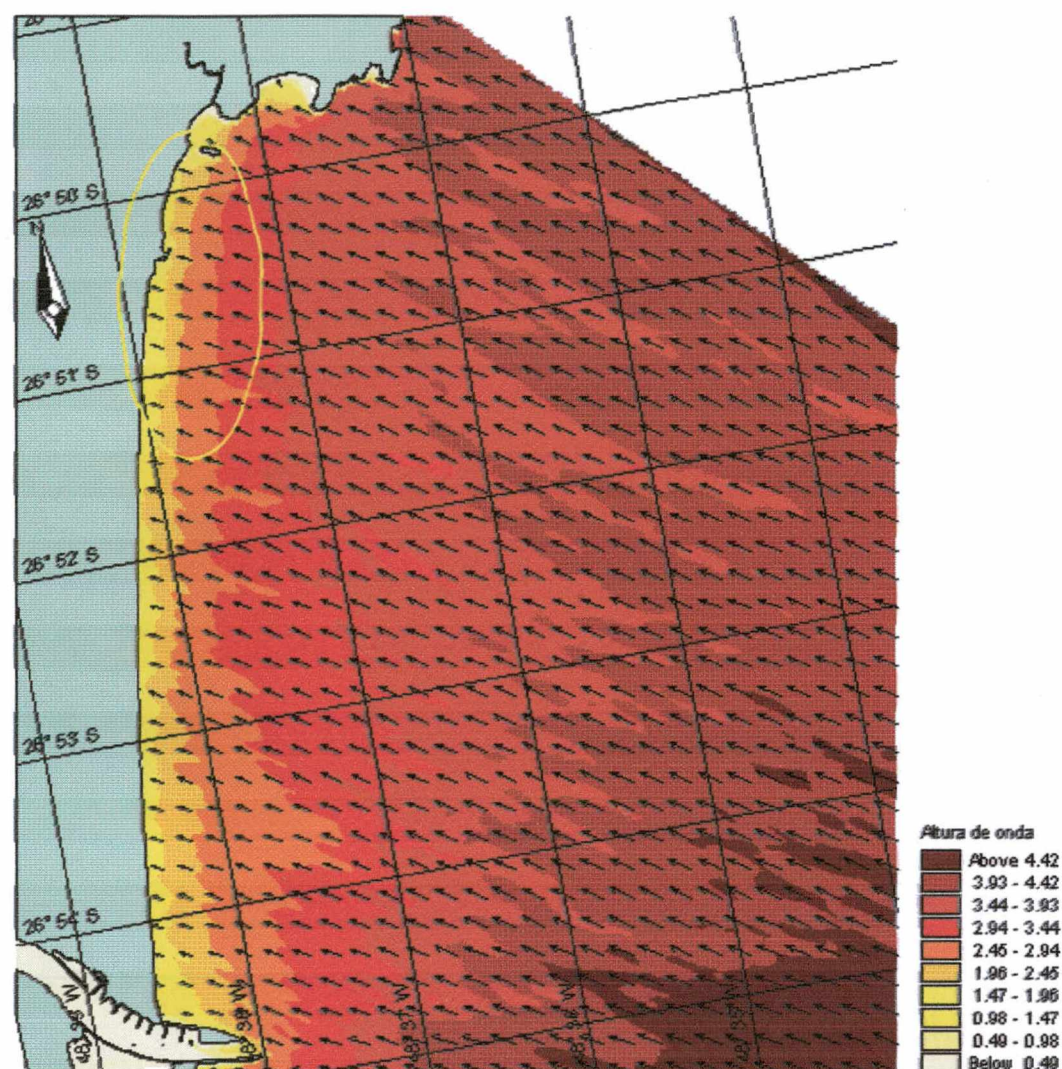


Figura 47 Cenário de refração de onda para o segmento praias Navegantes/Gravatá, gerado com ondas provenientes do quadrante sudeste ( $140^\circ$ ) com altura de 6 metros e período de 12,5 segundos. Em destaque o local de maior concentração de energia de onda.

Todos os cenários de refração de ondas apresentam alturas de ondas maiores ao norte do segmento praias Navegantes/Gravatá, diminuindo para sul próximo aos molhes de estabilização do rio Itajaí-açu. Estas maiores alturas de onda evidenciam uma maior concentração de energia no norte da praia que no sul.

## 6.7 TAXA DE OCUPAÇÃO DAS DUNAS FRONTAIS

A Tabela 8 apresenta os valores de porcentagem da ocupação das dunas frontais para as nove áreas do segmento praiar Navegantes/Gravatá.

Tabela 8. Taxa de ocupação das dunas frontais para o segmento praiar Navegantes/Gravatá.

Áreas	Taxa de Ocupação (%)
01	100
02	100
03	80
04	0
05	0
06	0
07	0
08	10
09	30

## 6.8 VULNERABILIDADE À EROSÃO

Alguns parâmetros analisados indicaram variação na vulnerabilidade à erosão ao longo do segmento praiar Navegantes/Gravatá (método KLEIN, em preparo).

A Figura 48 apresenta a representação gráfica destes parâmetros: (a) ocupação do campo de dunas frontais (48A); (b) variação da linha de costa (48B); (c) declividade da plataforma interna adjacente (48C) e (d) concentração de energia de onda (48D).

A taxa de ocupação do campo de dunas frontais no segmento praiar Navegantes/Gravatá (Figura 48A) é bem evidenciada no norte da praia, em uma extensão aproximada de dois quilômetros, onde as dunas foram retiradas para a construção da avenida beira-mar. No sul da praia quadras esportivas, bares e restaurantes foram construídos sobre as dunas frontais. A parte central da praia possui o campo de dunas bem preservado.



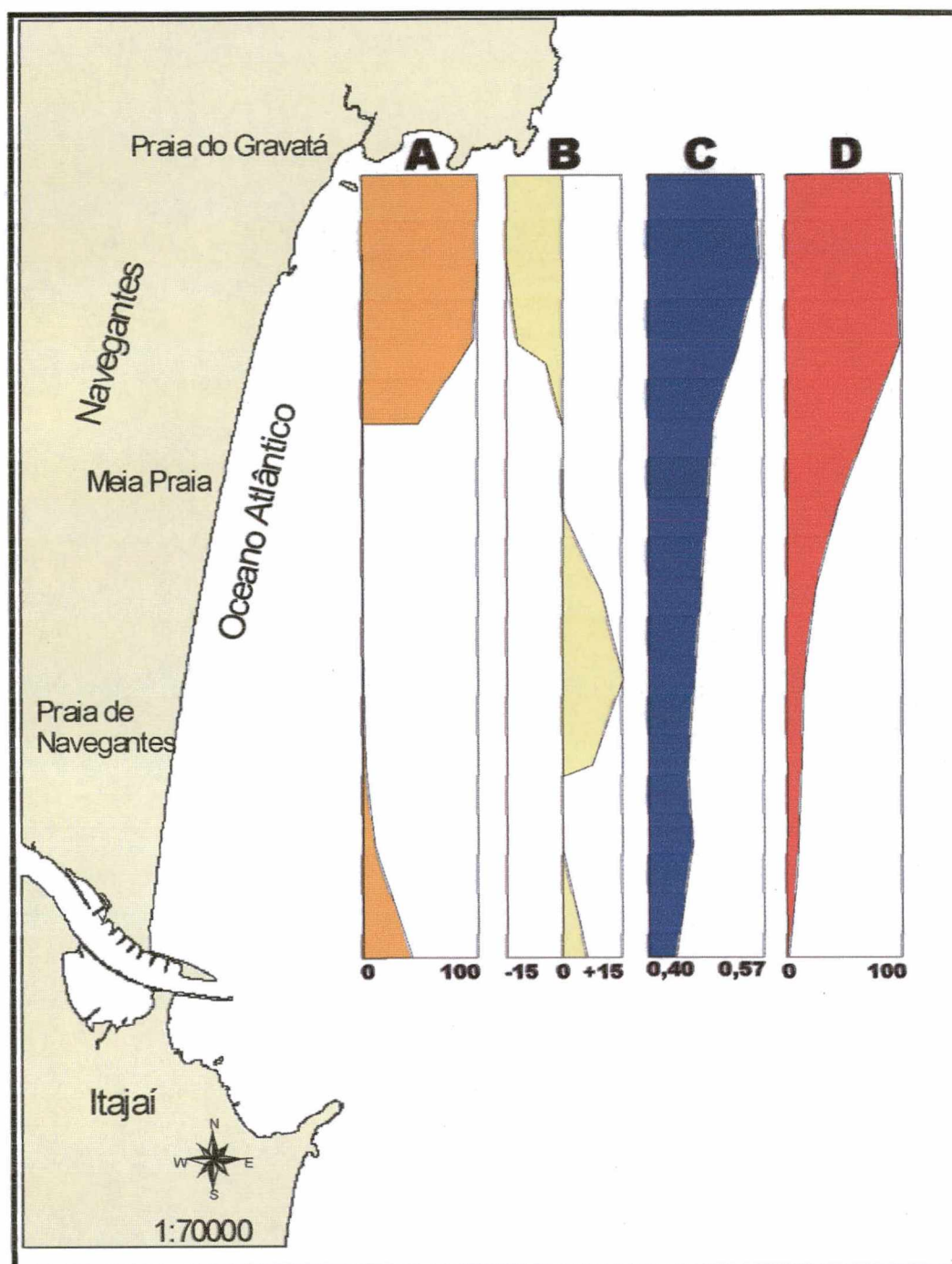


Figura 48 Variáveis calculadas ao longo da segmento praial Navegantes/Gravatá (A) ocupação do campo de dunas frontais(%); (B) variação da linha de costa(m); (C) declividade da plataforma adjacente à praia(°); (D) concentração de energia de onda(%).

A Figura 48B apresenta a variação da linha de costa onde as taxas de variação negativas (erosão) coincidem com o local de ocupação do campo de

dunas no norte da praia de Navegantes e as variações positivas (acresção) coincidem com os locais de preservação do campo de dunas.

A declividade da plataforma interna adjacente (Figura 48C) ao segmento praiial Navegantes/Gravatá apresentou maiores valores na praia do Gravatá ao norte, valores estes que decrescem em direção ao molhes de estabilização do rio Itajaí-açu no sul da praia.

A concentração de energia de onda (Figura 48D) ao longo da praia demonstrou ser maior na praia de Gravatá, localizada no extremo norte. A concentração de energia das ondas no norte do segmento praiial Navegantes/Gravatá está relacionado a maior declividade da plataforma interna neste local ocasionando uma menor dissipação da energia de onda.

A associação destes quatro fatores demonstra uma maior vulnerabilidade do segmento praiial Navegantes/Gravatá à erosão em sua porção norte em relação a sua porção sul.

Esta nova metodologia de análise da vulnerabilidade da linha de costa à erosão demonstrou-se muito eficaz. A sua aplicação a outras localidades do litoral catarinense pode prever problemas erosivos futuros, servindo como uma ferramenta importante para o gerenciamento costeiro.

## **6.9 VOLUME SEDIMENTAR NECESSÁRIO PARA A ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL**

O volume necessário para a alimentação artificial foi calculado segundo os modelos de CAMPBELL *et al.* (1990) e VERHAGEN (1992), para as áreas da praia que possuíram maiores taxas de erosão na variação da linha de costa, correspondente a 2 km de praia referentes às áreas 1 e 2 (Figura 22) localizadas no norte do segmento praiar Navegantes/Gravatá.

O volume foi calculado para um perfil praial com uma altura de 8 metros entre a berma (+2m) e a profundidade de fechamento interna (-6m), e uma estimativa de largura da praia após a alimentação artificial de 15, 50, 75 e 100 metros.

O fator de enchimento utilizado no cálculo do volume foi de 1,2, ou seja, ao volume calculado foi adicionado em 20% (Figura 41).

O volume de sedimento aproximado necessário para uma alimentação artificial no segmento praial Navegantes/Gravatá para uma largura de projeto de 15, 50 75 e 100 foi calculado em 290.000 m<sup>3</sup>, 960.000 m<sup>3</sup>, 1.450.000 m<sup>3</sup> e 1.900.000m<sup>3</sup> respectivamente.

## **6.10 ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL REALIZADA PELA PREFEITURA EM 1999**

Na alimentação artificial realizada pela prefeitura municipal de Navegantes foram adicionados aproximadamente 80.000m<sup>3</sup> de sedimentos em 200 metros de praia (ABREU *et al.*, 2000).

O sedimento retirado da jazida continental localizada no município de Penha apresentava uma granulometria bem variada, composta desde areia fina até areia grossa, com desvio padrão entre 0,32 e 2,02 fi (Tabela 4).

O fator de enchimento para as amostras da jazida continental apresentou valores entre 1,02 e 10 (Tabela 6). Segundo CAMPBELL (informação verbal) valores superiores a 2 inviabilizam o sedimento para a alimentação artificial.

O volume de 80.000m<sup>3</sup> adicionado à praia representa menos de 10% do volume total necessário a alimentação segundo os modelos propostos por CAMPBELL *et al.* (1990) e VERHAGEN (1992). De acordo com estes modelos, de 20 a 40% do volume total de sedimentos adicionado a praia é perdido durante a acomodação do sedimento ao perfil de equilíbrio natural. Isto mostra porque a alimentação artificial realizada pela prefeitura teve uma vida útil inferior a um ano.

A curta extensão do projeto de alimentação artificial também contribuiu para o insucesso da obra, o sedimento foi colocado em 200 metros de praia o que representa somente 10% da linha de costa que apresenta processos erosivos.

#### **6.11 PROTEJO DE ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL PARA O SEGMENTO PRAIAL NAVEGANTES/GRAVATÁ**

Uma alimentação artificial para a recuperação do segmento praial Navegantes/Gravatá faz-se necessária na praia do Gravatá ao norte, onde foram registradas as maiores taxas de retração da linha de costa nos últimos 10 anos (Figura 53B). A alimentação artificial deverá ser realizada de forma de aterro hidráulico/jazida marinha em uma extensão aproximada de 2 quilômetros de praia.

Foram desenvolvidos 4 projetos de cenários de alimentação artificial para segmento praiar Navegantes/Gravatá baseados nos métodos propostos por CAMPBELL *et al.*, (*op. cit.*) e VERHAGEN (1992). Foram projetadas alimentações para uma largura praiar final de 15, 50, 75 e 100 metros. Todos os projetos foram desenvolvidos utilizando-se sedimento da área 2 (Figura 37).

A Figura 49 apresenta um projeto de alimentação, para uma praia de 15 metros de extensão, mostrando a forma do perfil de Gravatá em 1999, após a alimentação e depois da acomodação do sedimento.

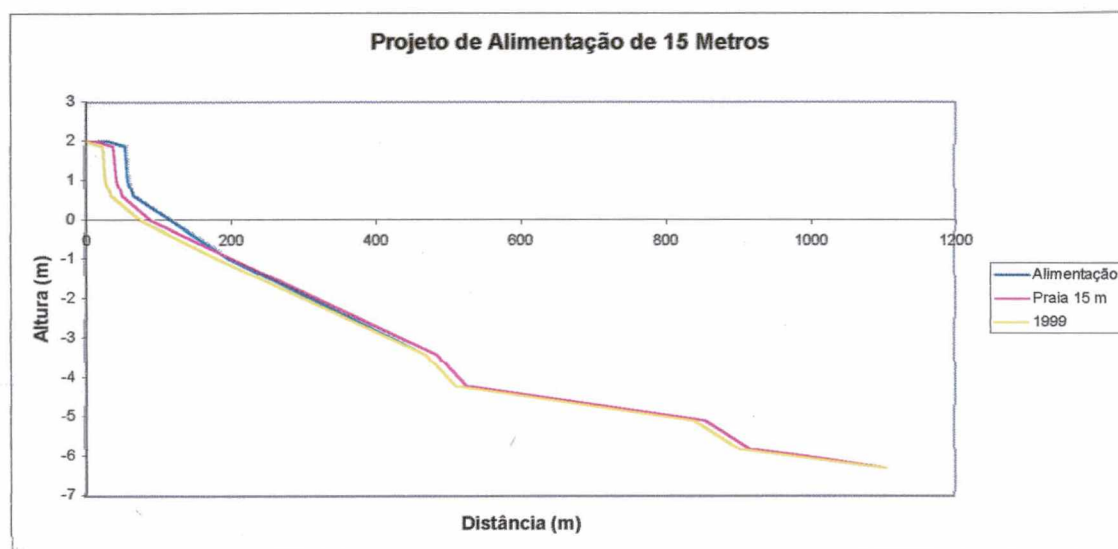


Figura 49 Projeto de alimentação para uma praia com final de 15 metros de largura.

A Figura 50 apresenta um projeto de alimentação, para uma praia de 50 metros de extensão, mostrando a forma do perfil de Gravatá em 1999, após a alimentação e depois da acomodação do sedimento.

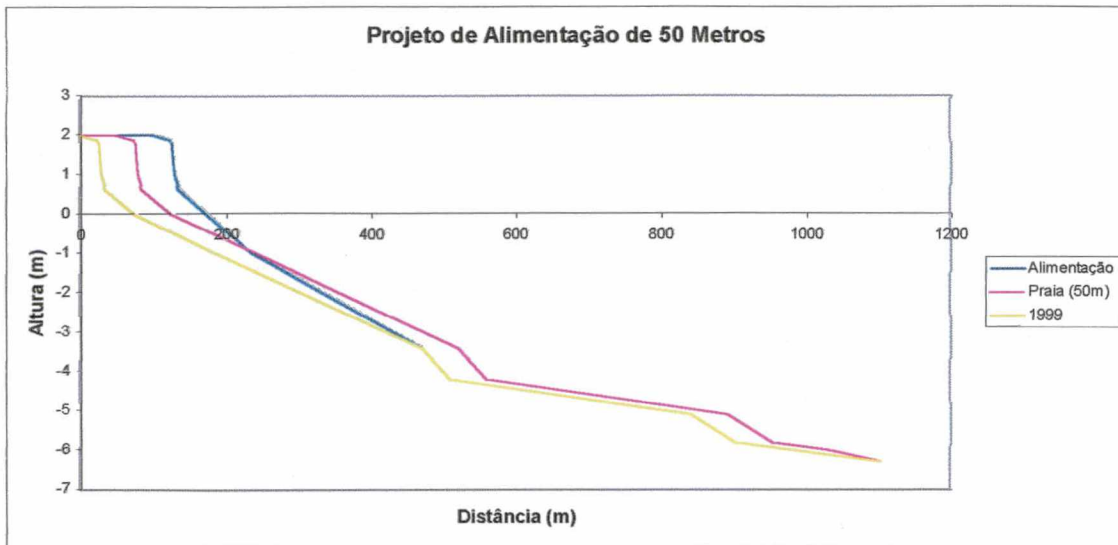


Figura 50 Projeto de alimentação para uma praia com final de 50 metros de largura.

A Figura 51 apresenta um projeto de alimentação, para uma praia de 75 metros de extensão, mostrando a forma do perfil de Gravatá em 1999, após a alimentação e depois da acomodação do sedimento.

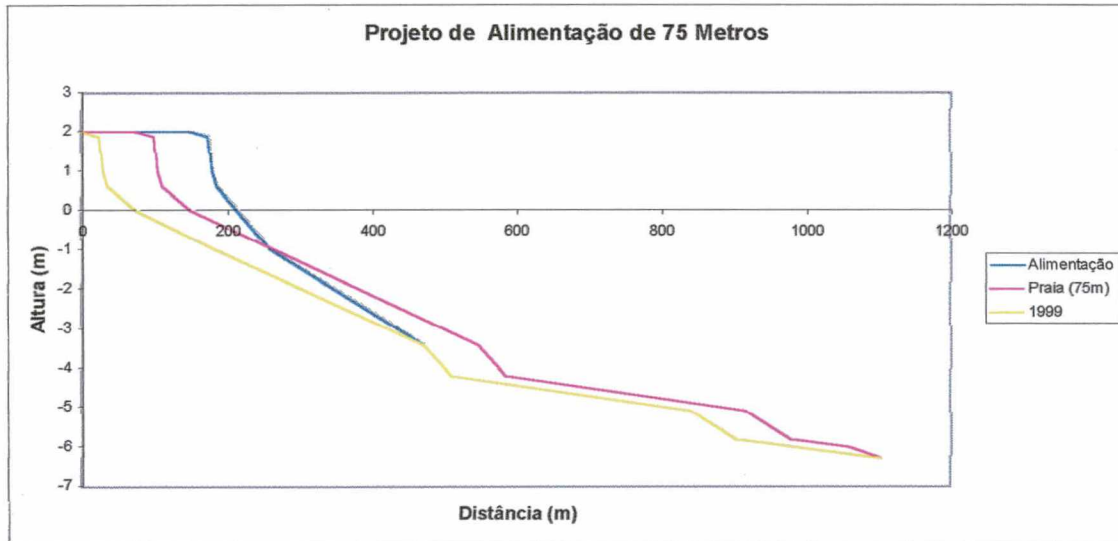


Figura 51 Projeto de alimentação para uma praia com final de 75 metros de largura.

A Figura 52 apresenta um projeto de alimentação, para uma praia de 100 metros de extensão, mostrando a forma do perfil de Gravatá em 1999, após a alimentação e depois da acomodação do sedimento.

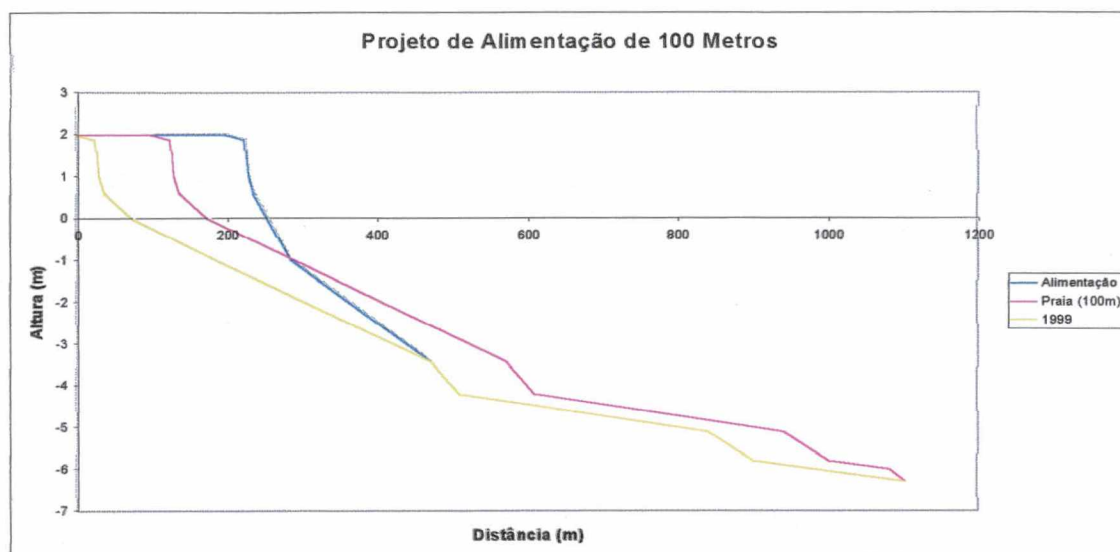


Figura 52 Projeto de alimentação para uma praia com final de 100 metros de largura.

O custo dos projetos de alimentação artificial dependerá do volume sedimentar a ser adicionado à praia e a distância da jazida sedimentar utilizada.

Para uma jazida sedimentar a uma distância superior a 5 quilômetros o custo do metro cúbico de sedimento adicionado à praia varia de 4 a 6 dólares (CAMPBELL, informação verbal)<sup>2</sup>. Para os projetos calculados para o segmento praias Navegantes/Gravatá para uma praia de 15, 50, 75 e 100 metros os valores aproximados seriam respectivamente de U\$ 1.450.000,00, U\$ 4.800.000,00, U\$ 7.250.000,00 e U\$9.500.000,00.

<sup>2</sup> Engenheiro Thomas Campbell em Julho de 2002

## 6.12 POTENCIAIS JAZIDAS À ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL

A análise das amostras coletadas na plataforma interna adjacente à segmento praial Navegantes/Gravatá mostrou duas áreas com sedimento semelhante ao nativo da praia (Figura 37).

Na área 1 localizada a 4 quilômetros da praia. Os sedimentos apresentaram uma porcentagem considerável de sedimentos finos (silte e argila) presentes na amostra (10 a 20%). O fator de enchimento JAMES (1975) calculado para estas amostras foi superior a 2 o que aumentaria o volume necessário à alimentação em muitas vezes. A porcentagem de sedimentos finos presentes nas amostras desta área associada ao valor do fator de enchimento inviabilizaria a utilização desta área na alimentação artificial. (CAMPBELL, informação verbal)<sup>3</sup>.

A área 2 localizada a aproximadamente 14 quilômetros do segmento praial Navegantes/Gravatá, possui um sedimento caracterizado basicamente por areia muito fina, sendo muito semelhante ao sedimento nativo da praia e com porcentagem arenosa superior a 95%. As amostras para esta área apresentaram um fator de enchimento (RA) (JAMES, 1975) entre 1,0 e 1,2 sendo necessário um menor volume de sedimentos para a realização da alimentação.

Segundo CAMPBELL (informação verbal) o custo do metro cúbico de sedimento para a alimentação artificial varia entre 2 e 4 dólares para jazidas

---

<sup>3</sup> Engenheiro Thomas Campbell em Julho de 2002.



localizadas até 6 quilômetros e de 4 a 6 dólares para jazidas localizadas mais distantes.

O custo/benefício para a alimentação comparando-se as duas áreas sedimentos potenciais coloca a área 2 como mais favorável a exploração de sedimentos em relação a área 1 mesmo esta estando localizada a 10 quilômetros mais distante.

### **6.13 REALIMENTAÇÃO DO SEGMENTO PRAIAL NAVEGANTES/GRAVATÁ**

O tempo para uma realimentação da praia de Gravatá/Navegantes foi estimado segundo as taxas de retração de linha de costa calculados nesta dissertação, porém estas taxas de retração podem ter sido mascaradas pelas estruturas colocadas na praia pela Prefeitura Municipal para retardar este processo.

O tempo de realimentação foi estimado segundo o modelo de VERHAGEN (1996) para quando a praia tiver uma largura aproximada de 20 metros, ou seja,  $350.000\text{m}^3$  de estoque sedimentar.

A Figura 53 apresenta o tempo de realimentação da segmento praial Navegantes/Gravatá em anos a partir do momento em que for realizada a alimentação artificial. Este tempo foi calculado para os 4 projetos propostos anteriormente.

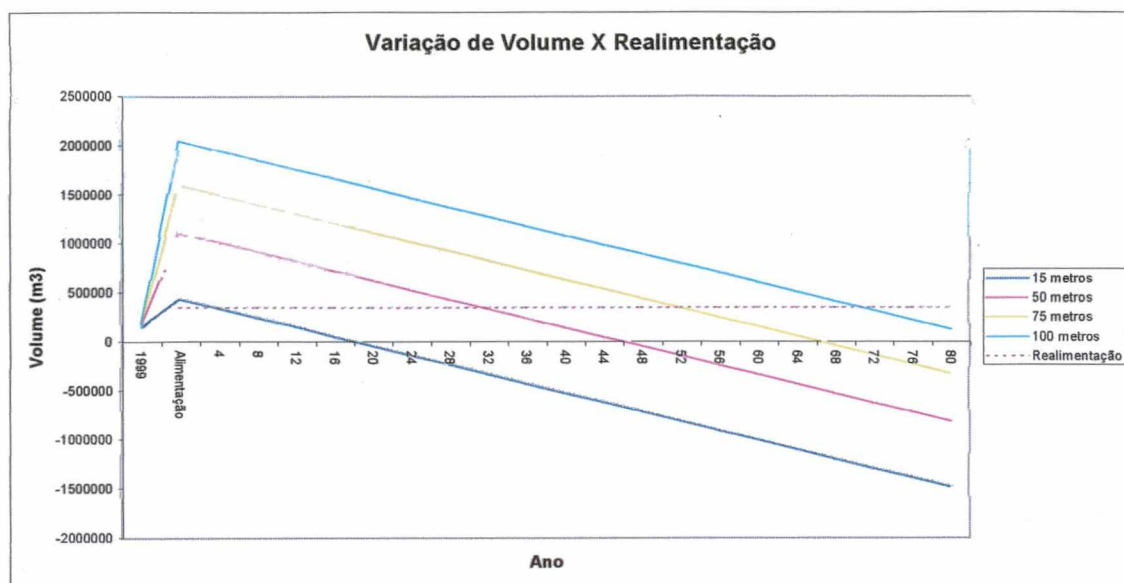


Figura 53 Tempo de realimentação artificial para a segmento praial Navegantes/Gravatá.

O tempo de realimentação para os projetos de 15, 50, 75 e 100 metros de largura praial foram de aproximadamente 4, 32, 52 E 72 anos respectivamente.

## Capítulo Sete – Considerações Finas

- A variação da linha de costa para a segmento praial Navegantes/Gravatá apresentou-se negativa para a região norte da praia, com taxas médias de 1,5 metro por ano em uma extensão aproximada de 2 quilômetros;
- A análise sedimentológica mostrou existir sedimentos na plataforma continental interna adjacente à praia de Navegantes compatíveis com a alimentação artificial;
- O perfil praial de Navegantes apresentou uma profundidade de fechamento interna de 6 metros;
- Os cenários de refração gerados para o segmento praial Navegantes/Gravatá evidenciaram uma concentração de energia das ondas junto ao norte, próximo a praia do Gravatá;
- O índice de vulnerabilidade da linha de costa à erosão demonstrou que o setor norte do segmento praial Navegantes/Gravatá, em uma extensão aproximada de 2 quilômetros, é muito mais vulnerável do que o restante da praia;
- Dois depósitos arenosos localizados na plataforma interna demonstraram ser compatíveis com a alimentação artificial (Figura 37). Porém, a análise da porcentagem de sedimentos finos na amostra e do fator de enchimento demonstraram que a área 2 é mais favorável à alimentação em relação ao seu custo benefício;

- O volume sedimentar necessário para a alimentação é dependente da largura final desejada para o projeto de alimentação variando de 290.000m<sup>3</sup> a 1.900.000m<sup>3</sup>;
- A sedimento na praia deverá ser disposto na praia entre o berma (2m) e a profundidade de -1 metro;
- Após a alimentação o sedimento deverá ser redistribuído naturalmente pelas forças físicas atuantes na praia até a profundidade de fechamento interna (-6m) tomando o perfil praial o mais parecido possível ao perfil natural;
- O custo estimado para a alimentação irá variar conforme o projeto, estando orçado entre U\$ 1.450.000,00 e U\$9.500.000,00;
- Faz-se necessário realizar uma sísmica e furos de sondagem para estimar o volume sedimentar da jazida e verificar sua real aplicabilidade no projeto;
- Após o projeto de alimentação faz-se necessário o monitoramento freqüente da taxa de retração da linha de costa para que possa se verificar o tempo de realimentação real para a praia;
- O tempo de realimentação para a praia depende do projeto executado podendo variar entre 4 e 72 anos.

## Capítulo Oito – Limitações da Dissertação

Esta dissertação foi desenvolvida com dados secundários para a região de estudo. Devido a isso foram verificadas algumas limitações durante a execução desta estão listados abaixo:

- A taxa de variação da linha de costa foi obtida entre os anos 1993 e 2002. Porém as reais taxas de variação podem ter sido mascaradas pelas estruturas colocadas na praia para conter os processos erosivos, pois não existem levantamentos em escala adequada para anos anteriores;
- A profundidade de fechamento interna foi calculada através de dados de ondas para o litoral centro-norte catarinense e comprovada através da profundidade limite entre os sedimentos finos e grossos, porém pode haver alguma diferença nesta estimativa, pois os dados de ondas foram obtidos para apenas 4 meses na região de São Francisco do Sul (ALVES, 1996);
- Não foi realizada a cubagem da jazida arenosa propícia à alimentação artificial, necessita-se realizar testemunhos para se afirmar a sua real viabilidade;
- O volume de sedimentos necessário à alimentação foi obtido em função da taxa de retração da linha de costa, valores mais exatos seriam estimados se o real volume de sedimento perdido pela praia, entre o berma (2m) e a profundidade de fechamento interna (-6m), nos últimos 10 anos fosse conhecido (VERHAGEN, 1992).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. G. N. **Contribuição à Sedimentologia da Plataforma Continental Interna de Santa Catarina entre a Foz dos Rios Tijucas e Itapocu.** 1998. Dissertação (Mestrado em Geologia Marinha) – Instituto de Geociências – Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense.

ABREU, J.G.N.; KLEIN, A.H.F.; DIEHL, F.L; SANTOS M.I.F & ALVES Jr., L.A. **Alimentação Artificial de Praias no Litoral Centro-Norte do Estado de Santa Catarina: Os Casos de Estudo das Praias de Piçarras, Praia Alegre e Gravatá.** Simpósio Brasileiro Sobre Praias Arenosas, Itajaí, SC, 2000.

ALVES, J. H. F. M. **Refração do espectro de ondas oceânicas em águas rasas: aplicações à região costeira de São Francisco do Sul, SC.** Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – CPGEA, Universidade Federal de Santa Catarina.

\_\_\_\_\_ & MELO E. – **On the measurement of directional wave spectra at the southern Brazilian coast.** *Applied Ocean Research.* 1999. 21: 295-309 p.

ALVES JR. L.A. & SANTOS M. I.F. - **Caracterização Sedimentológica de Areia para Engordamento da Praia de Gravatá, Município de Navegantes – SC.** In: Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas, 2000. Itajaí, SC. p. 428.

BATTJES, J.A. & JANSSEN, J.P.F.M **Energy Loss and Set-Up Due to Breaking of Random Waves.** Proc. 16th Coastal Eng. Conf. Hamburg, 1978. pp 569-587.

BOWEN A.J. & INMAN D.L. **Budget of littoral sands in the vicinity of Point Arguello, California.** U.S. Army Coastal Engineering Research Center Tech. Memo., 19, 1966. 56 pp.

CAMPBELL, T.J.; DEAN, R.G.; MEHTA A.J. & WANG, H. **Short Course on Principles and Applications of Beach Nourishment.** Organized by the Florida

Shore and Beach Preservation Association and Coastal and Oceanographic Engineering Department, University of Florida, 1990.

CARUSO Jr. F. – **Avaliação de Impactos Ambientais do Terminal Portuário de Navegantes – SC**. Relatório de Impacto Ambiental. Volume II. Relatório Técnico. Janeiro/1999.

CARTER, R. W. G. **Coastal Environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines**. London : Academic Press, 1988.

DEAN, R.G. **Principles of Beach Nourishment**. *CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion*, p:217-231, 1983.

DHN **Roteiro Costa Sul: do Cabo Frio ao Arroio Chuí, Lagoa dos Patos e Mirim**. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Rio de Janeiro, 1994.

DIEHL, F.L. & HORN FILHO, N.O. – **Compartimentação Geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do Estado de Santa Catarina**. *Notas Técnicas*, CECO-IG/UFRGS, Porto Alegre, 1996. 9: 39-50.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Carta náutica nº 1800: Da Ilha de Bom Abrigo à Ilha do Arvoredo**. Niterói: DHN, 1961.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Carta náutica nº 1801: Porto de Itajaí**. Niterói: DHN, 1990.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Carta náutica nº 1809: Enseada de Itapocorói**. Niterói: DHN, 1976.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Carta náutica nº 1811: Fundeadouro de Ganchos**. Niterói: DHN, 1946.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Carta náutica nº 1830: Proximidades do Porto de São Francisco do Sul**. Niterói: DHN, 1973.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Carta náutica nº 1900: Da Ilha do Arvoredo a Torres.** Niterói: DHN, 1959.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Carta náutica nº 1903: Canal Norte de Santa Catarina.** Niterói: DHN, 1977.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Carta náutica nº 1904: Canal Sul de Santa Catarina.** Niterói: DHN, 1977.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Carta náutica nº 1905: Porto de Florianópolis.** Niterói: DHN, 1977.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Folha de Bordo nº 1800\_1\_56: Ilha de Bom Abrigo à Ilha do coral.** Niterói: DHN, 1956.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Folha de Bordo nº 1800\_1\_88: Largo da Ilha do Arvoredo.** Niterói: DHN, 1988.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Folha de Bordo nº 1809\_1\_51: Enseada do Itapocorói.** Niterói: DHN, 1956.

DOLAN, R.; HAYDEN, B.P.; MAY, S. **The Reliability of shoreline changes measurements from aerial photographs.** *Shore and Beach*, 48:22.-29. 1980.

FLORIANI, D.C. – **Análise dos Planos Diretores frente as políticas públicas de gestão da zona costeira. Um estudo de caso: foz dos Rios Camboriú e Itajaí-Açú.** Monografia de final do Curso de Oceanografia, UNIVALI, 2001.

FOLK, R.; WARD, W. **Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters.** *Journal of sedimentary petrology*. 1957. 27: 3-26p.

FRACASSO, P. **Sistema de Dunas Costeiras da Praia de Navegantes/Gravatá: Morfodinâmica, Usos, Riscos e Estratégias de Gestão** Monografia de final do Curso de Oceanografia, UNIVALI, 2001.



HALLERMEIER, R.J. **Seaward Limit of Significant Sand Transport by Waves: An Annual Zonation for Seasonal Profiles.** Coastal Engineering Technical Aid No. CETA 81-2. Fort Belvoir, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Corps of Engineers, 1981.

HESP, P. & HILTON, M.J. **Nearshore-surfzone Limits and the Impacts of Sand Extration** . *Journal of Coastal Research*, **12** (3), 1996.

HOEFEL, F. G. – **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas. Uma revisão bibliográfica.** Ed. Univali, 1998, 79p.

HOLTHUIJSEN, L H, BOOIJ, N & HERBERS, T H C. **A Prediction Model for Stationary, Short-crested Waves in Shallow Water with Ambient Currents.** Coastal Engineering 13, pp 23-54, 1989.

HORN FILHO, N.O. & DIEHL, F.L. – **Geologia da Planície Costeira de Santa Catarina.** *Alcance*, UNIVALI, Itajaí. 1994. 1: 95-102

JAMES, W.R. **Techniques in evaluating suitability of borrow material for beach nourishment.** TM-60. Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiments Station, Vicksburg, Miss, 1975..

KLEIN, A.H.F.; POLLETE, M.; HOEFEL, F.; DIEHL, F.L.; CARVALHO, J.L.B. de; PEREIRA da SILVA, R.; SIEGLE, E.; ABREU, J.G.N.; SANTOS, M.I.F. dos; FACHIN, S. **Erosão costeira no litoral centro-norte de Santa Catarina: Possíveis causas e medidas mitigatórias.** VII ABEQUA, Porto Seguro, BA, 1999.

\_\_\_\_\_ & MENEZES J.T. Beach Morphodynamics and Profile Sequence for a Headland Bay Coast . *In: Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas*, 2000. Itajaí, SC.

\_\_\_\_\_ & MENEZES J.T. Beach Morphodynamics and Profile Sequence for a Headland Bay Coast . *Journal Coastal Research*, v.17, n.4, 2001.

KOMAR, D. P. **Beach processes and sedimentation: the latest scientific research in the study of physical processes of beaches and resulting sedimentary deposits**. New Jersey : Prentice Hall Ed., 1976.

KRUMBEIN, W.C. & JAMES, W.R. **A lognormal size distribution model for estimating stability of beach fill material**. U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Technical Memorandum nº 16, 1965. 17 pp.

MENEZES, J. T. & KLEIN, A. H. F. **Variações morfológicas das praias do litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina: resultados preliminares**. Anais, X Semana Nacional de Oceanografia. Itajaí, 1997.

MORAES, G.N. & GRIEP, G.H. 1985. **ANGRA. Um Analisador Granulométrico para micros**. II Encontro Brasileiro de Oceanógrafos. Resumos, p:85-87. Rio Grande, RS.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995. **Beach Nourishment and Protection**. Committee on Beach Nourishment and Protection, Marine Board, Commission on Engineering and Technical Systems, Washington, DC, 334 p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. São Paulo- SP. IBGE.1989.195-314p.

NORDSTROM K.F., **Beaches and Dunes of Developed Coasts**. Cambridge University Press. Cambridge, 2000.

SCHETTINI, C.A.F., CARVALHO, J.L.B. AND JABOR, P. **Comparative Hydrology and Suspended Matter Distribution of Four Estuaries in Santa Catarina State - Southern Brazil**. *Proceedings of Workshop on Comparative Studies of Temperate Coast Estuaries*, 1996. p. 29-32.

- \_\_\_\_\_. **Dinâmica de sedimentos finos no estuário do rio Itajaí-Açu, SC.** UFRGS. D.Sc. Programa de Pós-Graduação em Geociências. RS. 2001.
- SHALLOWITZ, A.L. *Shore and Sea Boundaries.* 2:749. 1964.
- SHORT, A.D. & HESP, P.A. **Beach and Dune Stratification.** In: **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics.** John Wiley & Sons, Inc.: New York, 1999.
- SVENDSEN, I A, JONSSON, I G. *Hydrodynamics of Coastal Regions.* Den Privatē Ingeniørfond, Lyngby, 1980
- TRUCCOLO, E.C. **Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul - SC.** Florianópolis, 1998, 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.
- TRUCCOLO, E. C. – **Escalas Diárias e Semanais de Fenômenos Atmosféricos: Importância nos Processos Costeiros Locais em Santa Catarina.** In: XIII Semana Nacional de Oceanografia, 2000, Itajaí (SC).p. 445.
- U.S. ARMY CORP OF ENGINEERS, COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER – **Shore protection manual.** Vol. I e II, Ed. Fourth, 1984.
- VERHAGEN, H.J. **Method for Artificial Beach Nourishment.** In Proceedings of 23<sup>rd</sup> International Conference on Coastal Engineering. New York: American Society of Civil Engineers, 1992.
- VERHAGEN H. J. **Analysis of Beach Nourishment Schemes.** Journal Coastal Research, v.12, n.1, 1996.

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