



**Universidade Federal do Rio Grande**  
**Instituto de Oceanografia**  
**Programa de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ESTIMATIVA DO TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS AO LONGO  
DOS LITORAIS MÉDIO E NORTE DO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO  
MODELOS DO SMC**

**Thayane Roberta C. de Araújo**

**Orientador: Prof. Dr. José Antônio S. Fontoura**

Rio Grande, dezembro de 2012

THAYANE ROBERTA COSTA DE ARAÚJO

ESTIMATIVA DO TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS AO LONGO  
DOS LITORAIS MÉDIO E NORTE DO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO  
MODELOS DO SMC

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia Física, Química e Geológica, 2012.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Scotti Fontoura

Rio Grande

2012

À memória do meu grande parceiro, meu cachorro N\*\*\*\*\*.  
Às minhas mães, Maria Antônia e “Gerusa”.

## AGRADECIMENTOS

**Minha mãe** – pelo apoio financeiro durante o curso e, principalmente, após o término da bolsa abdicando de seu próprio bem-estar, concentrando todos os seus esforços para que eu continuasse e conseguisse finalizar meu mestrado. Sou muito grata por acreditar em mim. Eu a admiro muito por ser uma mulher guerreira, trabalhadora e responsável, por isso tento me espelhar nela, pois herdei dela essa minha determinação de fazer tudo (mesmo aquilo que eu nunca tenha feito ou que não goste muito) com o maior zelo e perfeição possível para que saia um resultado sempre digno do alcance máximo, o excelente. Continuo pensando que num futuro (espero que próximo) eu possa recompensar todo esse seu esforço!

**“Gerusa”** – minha segunda mãe, que me criou e hoje agradeço muito à ela por ter cuidado de mim e zelado pelos meus estudos e educação quando minha mãe não podia estar presente. A senhora tem uma boa parcela da minha gratidão!

**Meus familiares** – pelo apoio e compreensão durante esse tempo que me mantive afastada de casa, em especial ao meu tio Nuca que sei que torce muito pelo meu sucesso!

**Minha cachorrinha N\*\*\*\*\*** – por me propiciar tantas alegrias; por me receber com pulos e lambidas mesmo após um longo dia triste.

**Sandra Akel** – pela consideração, conselhos e compreensão!

**Adalberto Akel** – pelo longo convívio (muitas vezes árduo) durante esses dois anos e meio que passamos longe da terra natal, enfrentando todos os tipos de adversidades tanto no desenvolvimento deste trabalho quanto nos impasses de encarar uma cidade, cultura/costumes e pessoas diferentes.

**Lorena** – minha amiga de longa data que sempre ora por mim e me ajuda ouvindo meus problemas e ainda acreditando que tenho valores, caráter e sou uma ótima pessoa do jeito que eu sou. Muito obrigada pela força!

**Veridiana e Jessé** – grandes amigos que tive muita sorte de encontrar! Estou em dívida por tudo que fizeram! Sempre gentis, educados, prestativos, pessoas maravilhosas que realmente dá alegria de esbarrar por aí e marcar de se ver, pessoas muito raras! Muito obrigada por tudo, tenho grande carinho por vocês e espero permanecer com essa amizade, mesmo que a vida nos separe por longas distâncias!

**Cástulo e Martita** – pelos momentos de descontração “estrangeiros”!

**Capex** – pela bolsa de mestrado durante os dois anos, sem a qual não haveria possibilidade de realização deste trabalho.

**Matheus, Cristian, Marcelo e Glória** – pela ajuda e colaboração nos trabalhos de campo e laboratório, destacando o Matheus que sofreu, juntamente com o Adalberto, na pele (literalmente) as dificuldades de se fazer coletas durante o inverno! Agradecimento em especial à Glória e Veridiana pela imensa ajuda com as amostras no laboratório.

**Fontoura e Marco** – pela orientação deste trabalho.

Por fim, agradeço a todo o pessoal da FURG que direta ou indiretamente, colaboraram: Clabisnei, Nilza e Lívia pela assistência administrativa e burocrática; Prof Lauro Calliari pela permissão do uso do laboratório de sedimentologia, equipamentos e pela orientação no estágio de docência; Prof Antikeira pela orientação no estágio de docência e pela permissão do uso dos equipamentos (estação total); Salete pelas ideias trocadas e envio de artigos; e a todos os professores que ministraram as disciplinas durante o mestrado!

“Yu, vou lhe contar o que há para saber. Dizer que você sabe quando você sabe e dizer que  
você não sabe quando não sabe: isso é conhecimento”.

Confúcio

## RESUMO

O Sistema de Modelagem Costeiro possui vários módulos, dentre eles o de erosão-sedimentação (Eros-sp) que foi calibrado e validado confrontando seus resultados com os dados de transporte de sedimento obtidos *in situ* através do método das armadilhas portáteis, que aprisionam o sedimento de fundo e de suspensão em redes acopladas a uma estrutura de ferro, medidos ao longo de um perfil em frente à Estação Marinha de Aquicultura localizada na praia do Cassino, Rio Grande do Sul. Um monitoramento através de dados do modelo de previsão de ondas de águas profundas *Wave Watch 3* foi realizado e posteriormente foram transformados para a profundidade de 15 m pela lei de Snell. A partir desta profundidade o módulo Oluca-sp propagou os dados espectrais de onda até águas rasas nas quais foram calculadas as correntes pelo módulo Copla-sp que por sua vez foram usadas para obter o transporte de sedimento na zona de surfe. O resultado numérico encontrado aproximou-se dos valores coletados em campo, confirmando a sua capacidade de estimação dos fenômenos envolvidos no transporte sedimentar e possibilitando sua aplicação em outros trabalhos. Assim, partiu-se para a próxima etapa do projeto que consistiu em dividir os litorais médio e norte do Rio Grande do Sul, aqui considerado de São José do Norte até Torres, em 7 setores, conforme a orientação da linha de costa em relação ao norte geográfico. Para as simulações numéricas foram utilizados os módulos do Sistema de Modelagem Costeira. Os dados de onda foram baseados nos cenários característicos de ondas da região e suas respectivas frequências de ocorrência durante o ano, pelos quais se pôde estimar o transporte líquido anual de sedimento e identificar o estágio deposicional em cada setor. Esses transportes líquidos de sedimento seguiram a direção NE conforme o esperado, sendo que seus valores foram subestimados se comparados com aqueles encontrados na literatura para a mesma área. Quanto ao balanço sedimentar, dois setores (3 e 5) apresentaram balanço negativo indicando que a região pode estar sofrendo erosão como observado na praia do farol da Conceição. Os demais apresentaram balanço positivo indicando que essas praias podem estar sofrendo deposição. Concluiu-se que este trabalho apresentou novos valores de transporte de sedimento para uma análise geral da costa norte que podem levantar discussões perante aos antecessores.

Palavras-chave: SMC; balanço sedimentar; erosão; acresção; clima de onda

## ABSTRACT

The Coastal Modeling System has several modules, including the erosion-sedimentation (Eros-sp) that was calibrated and validated by comparing between the transport of sediment obtained *in situ* and by the method of streamer traps that consists in imprison the sediment of bed and suspended load in nets coupled an iron structure, measured over cross-shore profile in front of the *Estação Marinha de Aquacultura* located in Cassino beach, Rio Grande do Sul. A set of wave conditions were monitored through data obtained by spectral wave prediction model deepwater waves Wave Watch 3 that were transformed to depth of 15 m by Snell's law. From this depth the module Oluca-sp propagated the spectrum wave data until shallow waters in which the currents were calculated by the module Copla-sp which in turn were used for the transport of sediment in the surf zone. The numerical result found approached the values acquired in the field, confirming its ability to estimate the phenomena involved in sediment transport in the surf zone and enabling its application in other studies. Thus followed to the next step of the project consisted in diving the middle and north coast of Rio Grande do Sul, considered here from São José do Norte to Torres, 7 sectors according the orientation of the coastline in relation to geographic north. For the numerical simulations were used modules Coastal Modeling System. The wave data were based in scenarios characteristic of waves in the region and its frequency of occurrence during the year, by which one could estimate the annual liquid sediment transport and depositional identify the stage in each sector. These liquid sediment transport followed the NE as expected, its values were underestimated when compared with those found in the literature for the same area. As for sediment, two sectors (3 and 5) showed a negative balance indicating that the region can be seen as eroding the lighthouse of Conceição beach. The others shoed positive assessment indicating that these beaches may be suffering deposition. It was conclude that this study provided new values of sediment transport for an overview of the north coast that can raise discussions before the ancestors.

Keywords: SMC; sediment budget; erosion; accretion; numerical simulation; wave climate

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

---

- Figura 01 – Diagrama de dispersão de período por setor de incidência de onda com a identificação dos agrupamentos e seus respectivos centros de gravidade (bolas amarelas), embaixo os dados de cada cenário. Fonte: extraído de Romeu *et al.* (2010).....30

### CAPÍTULO 2

---

- Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo.....34
- Figura 02 – Fluxograma mostrando as etapas do trabalho.....35
- Figura 03 – Esquemática das coletas de sedimento em estações ao longo do perfil de praia.....36
- Figura 04 – Esquemática do suporte e do *trap* usados para a coleta de sedimento.....38
- Figura 05 – Espectros direcionais (à esquerda) previstos para águas profundas pelo modelo WW3 para os três dias de coleta e os respectivos espectros TMA (à direita) gerados pelo modelo para a profundidade de 15 m.....44
- Figura 06 – Perfil de praia em frente à EMA com as demarcações de cada perfil sujeito à respectiva condição de mar.....45
- Figura 07 – Perfis com as áreas e percentuais das vazões entre as estações nas 3 coletas.....47

### CAPÍTULO 3

---

- Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo compreendida entre os municípios de São José do Norte e Torres, do litoral do Rio Grande do Sul.....53
- Figura 02 – Fluxograma mostrando um resumo das etapas do trabalho.....53
- Figura 03 – Mapa com a divisão do litoral norte em 7 setores.....56
- Figura 04 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 1, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....60
- Figura 05 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 1, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....61
- Figura 06 – Mapas dos transportes de sedimento de cada condição de mar para o setor 1, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....62



Figura 07 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 2, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	64
Figura 08 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 2, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	65
Figura 09 – Mapas dos transportes de sedimento de cada condição de mar para o setor 2, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	66
Figura 10 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 3, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	68
Figura 11 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 3, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	69
Figura 12 – Mapas dos transportes de sedimento de cada condição de mar para o setor 3, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	70
Figura 13 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 4, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	72
Figura 14 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 4, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	73
Figura 15 – Mapas dos transportes de sedimento de cada condição de mar para o setor 4, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	74
Figura 16 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 5, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	76
Figura 17 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 5, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	77
Figura 18 – Mapas dos transportes de sedimento de cada condição de mar para o setor 5, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	78
Figura 19 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 6, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	80
Figura 20 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 6, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	81
Figura 21 – Mapas dos transportes de sedimento de cada condição de mar para o setor 6, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	82

Figura 22 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 7, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	84
Figura 23 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 7, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	85
Figura 24 – Mapas dos transportes de sedimento de cada condição de mar para o setor 7, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.....	86
Figura 25 – Mapa com as taxas anuais de transporte de sedimento arredondadas para cada setor.....	88
Figura 26 – Mapa com o estágio sedimentar total e o volume de sedimento (m <sup>3</sup> ) arredondado para cada setor.....	90

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

---

Tabela 01 – Cenários, tipos de mares, posição central do conjunto direção e período, e o percentual de ocorrência de cada cenário. Modificado de Romeu <i>et al.</i> (2010)...	35
Tabela 02 – Dados de altura significativa (Hs), período de pico (Tp) e direção de pico (Dp) em águas profundas e para águas em torno dos 15 m de profundidade*.....	42
Tabela 03 – Vazões do transporte de sedimentos (Q) correspondentes às secções úmidas entre as estações e a vazão total (Qt) ao longo de toda a secção.....	46
Tabela 04 – Parâmetros usados na entrada do modelo e valores do transporte de sedimentos medidos <i>in situ</i> e obtidos na modelagem.....	48

### CAPÍTULO 3

---

Tabela 01 – Cenários, tipos de mares, posição central do conjunto direção e período, e o percentual de ocorrência de cada cenário. Modificado de Romeu <i>et al.</i> (2010)...	54
Tabela 02 – Dados de sedimento (D50) usados em cada setor conforme a literatura.....	55
Tabela 03 – Comparação entre os ângulos dos setores e das células de Motta (2011).....	57
Tabela 04 – Velocidades máximas das correntes alcançadas em cada cenário para cada setor.....	59
Tabela 06 – Balanço sedimentar positivo (+) e negativo (-) para cada cenário em cada setor, o total por setor e o estágio deposicional (acresção, erosão ou estabilidade).....	89
Tabela 07 – Comparação entre os balanços de sedimento obtidos por Motta (2011) e os deste trabalho. Valores positivos significam acresção, valores negativos significam erosão.....	91

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Acordes – *Análisis a corto plazo de playas*  
ADCP – *Acoustic Doppler Current Profiler*  
ADV – *Acoustic Doppler Velocimeter*  
CAD – *Computer-Aided Design*  
DGPS – *Differential Global Positioning System* ou Sistema de Posicionamento Global Diferencial  
DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação  
Dp – direção de pico da onda  
E – este/leste  
EMA – Estação Marinha de Aquicultura  
ENE – leste-nordeste  
ENSO – *El Niño/La Niña – Southern Oscillation*  
ESI – Erosão-Sedimentação Inicial  
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler  
GENESIS – *Generalized Model for Simulating Shoreline Change*  
GIOC – *Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas*  
Hb – altura de onda na arrebentação  
Hs – altura significativa da onda  
LOG – Laboratório de Oceanografia Geológica  
Mopla – *Morfodinámica de playas*  
N – norte geográfico  
NE – nordeste  
NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*  
OBS – *Ocean Bottom Seismometer*  
PUV – *Pressure-Velocity*  
RS – Estado do Rio Grande do Sul  
S – sul  
SE – sudeste  
SIG – Sistema de Informação Geográfica  
SMC – *Sistema de Modelado Costero* ou Sistema de Modelagem Costeira  
SSW – sul-sudoeste  
SW – sudoeste  
T – período da onda  
Tp – período de pico da onda  
W – oeste  
Ws – velocidade de queda do grão  
WW3 – *Wave Watch 3*

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$  – ângulo de incidência da onda

$\epsilon$  – “*surf scaling parameter*”

$\rho_s$  – densidade do sedimento

$\rho_w$  – densidade da água

$\sigma_d$  – desvio padrão da amostra

$\nu$  – viscosidade cinemática da água

$\phi$  – ângulo de rozamento interno

$\sim$  – aproximadamente

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>15</b>
OBJETIVO GERAL.....	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>CAPÍTULO 1 – REVISÃO DO ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>17</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>18</b>
<b>CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.....</b>	<b>19</b>
<b>CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS.....</b>	<b>21</b>
<b>ESTÁGIO DEPOSICIONAL.....</b>	<b>22</b>
<b>CARACTERÍSTICAS METEOCEANOGRÁFICAS.....</b>	<b>27</b>
<b>VALIDAÇÃO DOS MODELOS.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO 2 – CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO</b>	
<b>EROSÃO-SEDIMENTAÇÃO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO</b>	
<b>NA PRAIA DO CASSINO, RIO GRANDE DO SUL.....</b>	<b>32</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
<b>Área de estudo.....</b>	<b>34</b>
<b>Atividade de campo.....</b>	<b>35</b>
<i>MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO DE MAR PARA AS SAÍDAS DE CAMPO.....</i>	<i>35</i>
<i>LEVANTAMENTO DO PERFIL DE PRAIA.....</i>	<i>36</i>
<i>MEDIÇÃO DO TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS.....</i>	<i>36</i>
<i>Operação de coleta das amostras de sedimento.....</i>	<i>36</i>
<i>Medição da taxa de sedimentos transportados.....</i>	<i>38</i>
<i>Cálculo do transporte de sedimento.....</i>	<i>38</i>
<b>Simulação numérica.....</b>	<b>39</b>
<i>SMC.....</i>	<i>39</i>
<i>Mopla.....</i>	<i>40</i>
<i>Hipóteses.....</i>	<i>40</i>
<i>Oluca-sp.....</i>	<i>40</i>
<i>Copla-sp.....</i>	<i>41</i>
<i>Eros-sp.....</i>	<i>41</i>

<i>CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO</i> .....	41
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>42</b>
<b>Atividade de campo</b> .....	<b>42</b>
<i>DADOS DE ONDA</i> .....	42
<i>PERFIL DE PRAIA</i> .....	45
<i>DADOS DE SEDIMENTO</i> .....	45
<b>Calibração e validação do modelo Eros-sp</b> .....	<b>48</b>
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>49</b>

**CAPÍTULO 3 – ESTIMATIVA DO TRANSPORTE DE SEDIMENTO AO  
LONGO DOS LITORAIS MÉDIO E NORTE DO  
RIO GRANDE DO SUL**.....

.....	51
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>52</b>
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>52</b>
Área de estudo.....	52
Setorização dos litorais médio e norte.....	53
Simulação numérica.....	54
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>55</b>
Setorização dos litorais médio e norte.....	55
Simulação numérica.....	57
<i>ONDAS</i> .....	57
<i>CORRENTES</i> .....	58
<i>TRANSPORTE DE SEDIMENTO</i> .....	59
<i>Setor 1</i> .....	59
<i>Setor 2</i> .....	63
<i>Setor 3</i> .....	67
<i>Setor 4</i> .....	71
<i>Setor 5</i> .....	75
<i>Setor 6</i> .....	79
<i>Setor 7</i> .....	83
<b>Transporte de sedimento líquido anual</b> .....	<b>87</b>
<b>Análise do balanço sedimentar</b> .....	<b>88</b>
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>92</b>
 <b>CONCLUSÕES FINAIS</b> .....	 <b>93</b>
 <b>REFERÊNCIAS</b> .....	 <b>95</b>

**ANEXO 1**

## INTRODUÇÃO

Esta dissertação será apresentada em capítulos, sendo que os dois últimos foram assim separados de maneira que a partir de cada um foi elaborado um artigo submetido à publicação. O primeiro capítulo faz uma revisão de trabalhos antecedentes com a descrição das áreas de estudo (maré, vento, correntes, onda, morfodinâmica das praias do Rio Grande do Sul) e dos temas que são discutidos nos demais capítulos (validação dos modelos, transporte longitudinal de sedimentos, deriva litorânea, áreas de erosão/acresção para os litorais médio e norte do Rio Grande do Sul).

O capítulo 2 aborda todo o conjunto de informações e metodologia aplicada para a validação e calibração do modelo na praia do Cassino, mais precisamente em frente à EMA (Estação Marinha de Aquicultura), sendo apresentada uma breve explicação sobre os modelos.

O capítulo 3 é uma continuação do trabalho realizado no anterior, pois uma vez que o modelo tenha sido validado, pode-se então aplicá-lo à outra região, que neste caso refere-se ao trecho de costa do Rio Grande do Sul desde São José do Norte até Torres. Assim, foi feita uma divisão em setores desse litoral cujos ângulos variaram com relação ao norte e para cada setor foi feita a simulação numérica dos cenários característicos de mar obtidos por Romeu *et al.* (2010). Após as simulações, os dados de transporte de sedimento foram retrabalhados para obter resultados anuais e também foi feita a análise do balanço sedimentar para cada setor.

### Objetivos

#### OBJETIVO GERAL

Estimar o transporte longitudinal de sedimentos para cada um dos 7 setores que subdividem os litorais médio e norte do Rio Grande do Sul (de São José do Norte a Torres) em trechos retilíneos de linha de costa que apresentam ângulos similares em relação ao norte geográfico, aplicando modelos da plataforma SMC (Sistema de Modelagem Costeira) que usam dados de ondas e correntes geradas por estas, para obter indicativos de erosão, acresção ou estabilidade em cada setor.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Monitorar diariamente os dados de previsão de ondas de águas profundas do modelo WW3, para obter as condições de onda (período e direção) próximas às dos cenários obtidos por Romeu *et al.* (2010) que foram usados como ocorrência anual das ondas.

Obter dados *in situ* para a calibração e validação do modelo de acordo com as previsões acima citadas. Assim, foram necessárias saídas de campo para o levantamento dos seguintes dados necessários: perfil de praia e coleta de sedimentos de fundo e de suspensão da camada subaquosa.

Calibrar e validar o modelo de erosão-sedimentação Eros-sp através de comparação dos seus resultados com os dados medidos *in situ*.



Subdividir a costa em setores conforme sua orientação com relação ao norte geográfico.

Simular os cenários encontrados por Romeu *et al.* (2010) utilizando os modelos do SMC e, a partir desses resultados, quantificar o transporte longitudinal de sedimentos para cada setor.

Analisar os resultados quanto ao estágio deposicional (indícios de erosão, acreção e estabilidade) de cada setor.

# CAPÍTULO 1

## REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

## INTRODUÇÃO

Esteves (2004) encontrou o valor de 618 km de extensão para o litoral do Rio Grande do Sul (RS) e não o de 630 km como descrito em trabalhos pretéritos, sendo então afirmado como o valor correto uma vez que a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler) usa aquele valor. Porém, outro trabalho realizado por DGPS (*Differential Global Positioning System*) e processado em software CAD (*Computer-Aided Design*), encontrou o valor de 614,5 Km (~615 km) uma vez que foi obtido a partir da extensão da linha de água entre as praias de Torre e Chuí. A direção da costa mantém-se em NE-SW apresentando uma pequena sinuosidade próxima à desembocadura da lagoa dos Patos. Este litoral geralmente é dividido em três partes: litoral sul, compreendido desde Chuí até Rio Grande; litoral médio, de São José do Norte até Palmares do Sul; e o litoral norte, de Pinhal até Torres. Logo, a primeira etapa (capítulo 2) deste trabalho compreende a praia do Cassino situada no litoral sul e segunda etapa (capítulo 3) situa-se nos litorais médio e norte, compreendendo todo o trecho de praia de São José do Norte até Torres.

## ANTECEDENTES

Segundo Tomazelli & Villwock (1992) raros estudos sobre a deriva litorânea de sedimentos, incluindo sua determinação quantitativa, foram realizados na costa gaúcha, sendo considerados apenas os trabalhos feitos por Motta (1967, 1969) e Pitombeira (1975). Mesmo conhecendo sua importância, poucos trabalhos foram feitos desde então, uma razão para isto deve-se a escassez de recursos, tanto para a realização de campanhas de monitoramentos de dados costeiros quanto para a recuperação de infraestruturas que são afetadas por problemas ligados às alterações da linha de costa (Lima *et al.* 2001).

Dentre os poucos trabalhos pode-se citar: Alfredini (1999) que se valendo de informações sobre o clima de ondas na praia do Cassino estimou o transporte longitudinal ao longo da costa do Rio Grande do Sul utilizando as fórmulas semi-empíricas de Caldwell (1956), Castanho (1966), CERC (1984) e Galvin (1984); Lima *et al.* (2001) que estimou o transporte longitudinal de sedimentos para a costa do Rio Grande do Sul através de um simples modelo matemático desenvolvido a partir do Método do Fluxo de Energia (U.S.Army, 1984) sendo que os dados de onda utilizados foram obtidos em mar aberto por navios comerciais; e Fontoura (2004) que estudou o transporte de sedimentos longitudinais no entorno dos molhes da barra de Rio Grande e nas praias adjacentes ao mesmo (Cassino e Mar Grosso) utilizando medições de campo e equações analíticas de transporte, inclusive com a adaptação das equações de Kamphuis (1991) e CERC (1973) para as condições específicas da região. Estes trabalhos influenciaram na decisão deste projeto, porém foram tomadas metodologias diferentes na aplicação da estimativa do transporte longitudinal de sedimentos além de identificar os sítios erosivos e caracterizar o litoral norte por setores.

## CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

O litoral do RS apresenta uma extensa planície costeira caracterizada por praias arenosas oceânicas dominadas por ondas e ventos (Lima *et al.* 2001). Segundo a classificação de Short & Hesp (1982), o trecho de costa compreendido pelas praias do Cassino e da Querência apresenta características de estágio praiar entre intermediárias e dissipativas, fortemente representativas da maioria das praias desta região. De acordo com Seeliger (1992) as dunas frontais entre o Cassino e 33° sul são bem desenvolvidas (de 3 a 6 m de altura), estas dunas juntamente com as areias da antepraia formam a principal fonte sedimentar que alimenta os processos costeiros e praias nesta região.

As praias localizadas entre Rio Grande e Chuí oscilam entre estágio dissipativos e intermediários, associados a um ou mais bancos paralelos à linha de costa (Calliari & Klein 1993). A principal fonte sedimentar primária é o complexo ígneo-metamórfico do escudo sul-riograndense e as rochas basálticas do planalto (Formação Serra Geral), que apresentam alta maturidade mineralógica (Pomerancblum & Costa 1972).

Segundo Santo (2007) a costa é dominada por tempestades que frequentemente atingem as dunas frontais causando homogeneização da distribuição sedimentar, especialmente onde predominam a areia fina e muito fina. Por isso não existe uma diferenciação pronunciada entre os subambientes das praias, sendo possível destacar, somente, um subambiente: a face da praia.

No estudo feito por Tomazelli & Villwock (1992) observou-se que o traçado das praias do litoral norte é praticamente retilíneo com direção SW-NE, sua largura varia entre 30 e 100 m (com média de 50 m) desde a base das dunas frontais até a linha média de maré baixa e é composto por vários “sangradouros” (cursos d’água intermitentes de pequeno porte) que geralmente aparecem nos períodos de maior pluviosidade. Outras características observadas foram a baixa declividade (suave) em toda sua extensão (valores médios entre 3 e 5%) o que é conciliável com a granulometria das areias e o nível de energia praiar presentes no litoral; zona de surfe larga em geral, apresentando 2 a 3 linhas de arrebentação o que implica na existência de múltiplas bancos paralelos. Com as análises desse estudo concluiu-se que a área apresenta dois “estados morfológicos”: um referente ao momento pós-tempestade em que grande parte dos sedimentos da praia intermarés e supramarés é removida e redepositada como bancos na praia inframarés entre outros efeitos consequentes; e o outro quando parte desses sedimentos já está incorporada à praia supramarés e intermarés, neste momento se estabelece uma morfologia do tipo “crista-e-canalete” (*ridgeandrunnel*) de relevo muito baixo e que permanece até um próximo evento de tempestade.

Ainda segundo Tomazelli & Villwock (1992), as dunas frontais apresentam escarpa praticamente permanente, enquanto que o perfil de praia transversal é geralmente aplainado, sem feições deposicionais como, por exemplo, as bermas. Entre Torres e Mostardas as dunas frontais são bem desenvolvidas, enquanto que ao sul de Mostardas até São José do Norte a altura e continuidade das dunas sofrem uma redução considerável (Calliari *et al.* 2006).

As praias ao longo da costa gaúcha são totalmente expostas, com exceção de Torres onde as formações rochosas constituídas de arenitos, basaltos e sequências vulcano-clásticas lhe oferecem uma pequena proteção frente à dinâmica costeira (Calliari *et al.* 2006).

Barletta (1997) observou que as praias de São José do Norte até o farol da Solidão, sob o enfoque morfodinâmico, apresentam alta mobilidade, típicas de sistemas praias

intermediários, pois apresentaram sedimentos com granulometria fina à média dentre outros parâmetros morfométricos que evidenciam esses sistemas. Também observou um comportamento sazonal devido ao regime de ondas predominante: tendência de acreção na primavera e verão (entre novembro e março) devido à predominância de ondas de E com menor energia; e tendência de erosão no outono e inverno (entre março e outubro) devido à presença de ondas de alta energia com a influência das tempestades extratropicais do Atlântico Sul Ocidental. Lagamarzinho apresentou a maior mobilidade do pós-praia e suas dunas frontais sofreram erosão acentuada e não se recuperaram. Os faróis da Solidão e da Conceição apresentaram, respectivamente, as variações verticais máximas (valores aproximados de até 1,35 m) e mínimas (valores aproximados de até 1 m) de sedimentos do prisma praiial. Afloramentos de turfas, dunas escarpadas, grandes concentrações de minerais pesados e a queda do farol da Conceição também evidenciaram tendências erosivas para este ponto da costa. Tempestades extratropicais que ocorreram nos meses de julho de 1996 e abril de 1997 remobilizaram volumes superiores a 30 m<sup>3</sup>/m de sedimentos em algumas das praias estudadas.

Para Weschenfelder & Zouain (2002) o principal fator na morfologia praiial do litoral norte do RS é a energia hidrodinâmica, sendo que a altura e período das ondas incidentes são as variáveis significativas uma vez que os sedimentos presentes na praia são de grande homogeneidade granulométrica e a declividade do perfil é dependente dessas variáveis (Hb, T, Ws). A sazonalidade morfológica/morfodinâmica é condicionada basicamente pela variabilidade no comportamento hidrodinâmico do sistema, principalmente pelas oscilações no clima de ondas, evidenciada pela predominância do perfil acrescional no verão e do erosional no inverno (Weschenfelder & Zouain 2002). Ainda segundo Weschenfelder & Zouain (2002) as praias de Imbé, Capão Novo e Arroio do Sal apresentam estado morfodinâmico dissipativo e, eventualmente, estado morfodinâmico intermediário. Essa similaridade das praias refere-se a sua proximidade em que não há variação granulométrica significativa, sofrem o mesmo regime hidrodinâmico e estão adjacentes a uma plataforma continental sem grandes variações morfológicas.

Pereira (2003) monitorou a praia do Cassino no verão de 2002 (de janeiro a março) através levantamentos de perfis de praia em alta frequência (diária) obtendo uma taxa média de migração do primeiro banco em torno de 4,8 m/dia, chegando um exemplo a alcançar 25 m em apenas cinco dias; o número de linhas de arrebenção foi de zero a seis; perfis apresentando até três bancos, podendo ocorrer migrações de bancos e formações de bermas; deposição de lama em um dos pontos. Em outro estudo feito por Pereira (2010) usando técnicas de sensoriamento remoto e imagens de vídeo com uma série de dois anos de dados, o autor observou que os bancos arenosos da praia do Cassino apresentam variações temporais (sazonais, subsazonais, mensais e semanais) semelhantes ao que ocorre nas praias da Holanda e Estados Unidos. O primeiro banco, seguido pelo terceiro e segundo bancos, é o que apresentou maior variabilidade na posição durante a escala semanal que melhor representou essa variabilidade dos bancos. Nesse mesmo estudo a zona de surfe foi caracterizada como um sistema de múltiplos bancos (geralmente três chegando a quatro), sendo que o novo banco surgiu da divisão do banco intermediário em dois, e não daquele mais próximo à linha de praia como é descrito na literatura.

De Oliveira (2005) realizou um estudo sobre aspectos morfológicos do sistema praia-duna ao longo de 11 km da costa de São José do Norte, através de perfis praiiais mensais durante um ano e encontrou para a praia do Mar Grosso predominância de estágio dissipativo, com

pequenas variações morfodinâmicas, um perfil de baixa pendente e de largo pós-praia, e relativamente estáveis. O molhe leste modifica o padrão de ondas (concentrando a energia dessas ondas), a hidrodinâmica, a granulometria e a dispersão de sedimentos (concentração de sedimentos mais grosseiros na praia) possibilitando uma maior mobilidade para trechos mais próximos ao molhe, causando assim erosão na praia. A mobilidade dos sedimentos tende a obedecer a padrões sazonais, a exceção de períodos em que a passagem de frentes frias associadas ou não a ciclogêneses atuam na costa. Observou que nos locais onde havia pouca ação antrópica (construção de residências) as variações nas dunas foram pequenas, enquanto que nos locais onde havia essa interferência do homem observou-se uma modificação no transporte de areia e na formação das dunas em pequena escala temporal. Os sangradouros interferem na fisiografia das dunas através da remobilização das dunas embrionárias e da criação de escarpas nas dunas frontais, e modificam o balanço sedimentar com a formação de sulcos no pós-praia.

## **CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS**

A porção praiial é composta por areia fina, quartzosa, bem selecionada, com assimetria levemente negativa e apresenta variada suíte de minerais. Apresenta feições deposicionais como, por exemplo, marcas onduladas de vários tipos, crescentes de corrente, marcas de espraiamento, marcas de ravinamento, rastros e pegadas de organismos, entre outros (Tomazelli & Villwock 1992).

Quanto à estratificação, há ocorrência de laminação plano-paralela, horizontal a sub-horizontal, de grande continuidade lateral, dispostas em *sets* dessimétricos que se truncam em baixos ângulos. Não ocorrem estratificações cruzadas de maior escala, devido à ausência de condições hidrodinâmicas favoráveis ao desenvolvimento de formas de leito de maior porte (Tomazelli & Villwock 1992).

Tomazelli & Villwock (1992), assim como Motta (1967), observaram que a deriva litorânea dos sedimentos apresenta ambos os sentidos da linha de costa, sendo o sentido resultante para NE devido ao domínio das ondulações de SE. Os autores confirmam isto por indicadores geomorfológicos, podendo citar a migração das desembocaduras dos principais rios e lagunas que tendem à mesma direção (NE).

Siegle (1996) notou que os minerais pesados presentes na região estudada (entre o arroio Chuí e o farol da Conceição) são bastante úteis como indicadores do nível de energia hidrodinâmica e consequentes taxas de erosão ao longo da linha de praia do Rio Grande do Sul evidenciando com isso o problema de erosão existente neste litoral. Nesse estudo, a região do farol do Estreito apresentou as maiores concentrações de minerais pesados para a área norte, compreendida desde a praia do Mar Grosso até o farol da Conceição, cujo valor atingiu até 11%, sendo que próximo ao molhe leste essas concentrações alcançaram 2%, muito superior àquelas encontradas na praia do Cassino (0,12%). Estas observações coincidem com as de Fontoura (2004) que encontrou maiores níveis energéticos para a hidrodinâmica da praia do Mar Grosso se comparada com a hidrodinâmica encontrada para a praia do Cassino.

Quanto à concentração de carbonatos para a mesma área (porção norte), Siegle (1996) observou valores muito baixos que sofrem um aumento no lado sul dos molhes, isto pode

ocorrer devido ao sentido dominante da deriva litorânea e ao bloqueio desta pelos molhes, aumentando assim a deposição de sedimentos e material carbonático na porção sul dos molhes.

Figueiredo & Calliari (2006) estudaram as características sedimentológicas das praias adjacentes às principais desembocaduras do litoral do RS e sua contribuição e influência no comportamento morfodinâmico. As praias adjacentes ao rio Mampituba e à laguna de Tramandaí apresentaram uma distribuição de tamanho de grão homogênea, indicando que o rio e a laguna não fornecem sedimentos para a costa, com isso os maiores percentuais de areia média relacionaram-se diretamente com as maiores variações de volume, mobilidade praial, presença de feições secundárias e aos comportamentos morfodinâmicos intermediários. Já as praias adjacentes à laguna dos Patos apresentaram uma distribuição com padrão heterogêneo, ausência de cúspides praias e bermas desenvolvidas, baixa declividade no estirâncio, caracterizando-as como praias dissipativas com menor variação de volume e de mobilidade, influenciadas pela grande quantidade de areia muito fina e pelos padrões de circulação próximos à estrutura, indicando que a laguna fornece sedimentos para a plataforma interna e praias podendo ser intensificada pelas atividades portuárias. O estudo também descreveu que o sentido resultante da deriva litorânea é para NE através da análise espacial da distribuição de areia muito fina que atingiu as maiores distâncias para o norte (até km 23, enquanto que para o sul até km 16) e teve acúmulo junto ao molhe leste.

## ESTÁGIO DEPOSICIONAL

Pível (1997) analisou perfis praias, declividade da face praial, altura da arrebenção e do período das ondas ao longo da Praia Grande, Prainha, Praia da Cal e Guaritas Leste e Oeste durante 1996 e 1997 e fotografias aéreas entre 1974 e 1989. Com isso obteve resultados de areia fina, com alto grau de seleção e assimétricas para o lado dos finos. Quanto à mobilidade, todas as praias apresentaram índices muito elevados, característicos de praias intermediárias, exceto a Guarita Leste que se encontra estável devido à proteção dada pela Torre do Meio. Devido à predominância de estágios intermediários, as praias tendem a sofrer maior erosão, podendo sofrer “cortes” da mesma maneira que praias dissipativas e praias refletivas e ainda erosão localizada causada pela circulação em *rips*. A obstrução da deriva litorânea preferencial (sentido SW-NE) pela presença dos molhes da barra do rio Mampituba é a principal causa do aumento de sedimento arenoso nas praias (deposição ao sul dos molhes). Esse acúmulo de sedimentos indicou, ao contrário do observado em praias urbanizadas do litoral norte do RS, uma proteção às praias ao sul dos molhes, pois serve como tampão para eventos de alta energia, porém para as praias ao norte causa um déficit sedimentar levando ao recuo da linha de costa. As torres são o principal fator responsável pela diferenciação das praias, determinando suas orientações e seus graus de exposição aos vários agentes dinâmicos.

Segundo Speranski & Calliari (2000), no norte do Estado, a área do farol da Conceição apresenta-se como uma seção erosiva, cujo comprimento é de ~30 km com evidências de erosão quase-permanente: dunas frontais amplamente escarpadas com formações de sedimentos compactadas abaixo; afloramentos de depósitos paleolagunares e turfa ao longo da face de praia; aumento local na concentração de minerais pesados na antepraia; e a largura da praia e composição dos sedimentos. De acordo com esse estudo os diagramas de refração mostraram

que ondas longas focam a direção da onda de água profunda ( $160^\circ \leq \alpha \leq 230^\circ$ ), sendo que o comprimento dessa zona de foco é de 10-20 km ao redor da isóbata de 10 m. A posição do foco ao longo da costa depende da direção das ondas no oceano aberto e ele migra para o norte de acordo com o aumento do ângulo de incidência ( $\alpha$ ), sendo que sua taxa média de deslocamento é de  $\sim 0,7$  km/grau. Essa posição do foco não depende do período da onda, para a faixa de ondas longas, indicando que esta área é um efeito estável quanto às mudanças no T ( $9s \leq T \leq 18s$ ) e no  $\alpha$  ( $160^\circ \leq \alpha \leq 230^\circ$ ). As áreas de erosão de praia coincidem com a possível zona de foco estável migratória. Isto pôde ser explicado considerando que a convergência de raios de onda conduz ao crescimento da altura e energia da onda de tempestade localizada próxima a zona de arrebentação, assim as lentes batimétricas (topografia de fundo que apresenta propriedades de lente convexa “positiva” para a concentração dos raios de onda) são responsáveis pela erosão na praia e, portanto pelo recuo costeiro. Ainda se pôde observar no estudo a presença de duas correntes de direções opostas que são consideradas fundamentais no mecanismo específico de erosão.

Lélis (2003) descreveu a evolução das praias do Cassino, Mar Grosso, Tramandaí, Imbé, Praia Grande e Passo de Torres para analisar a influência das estruturas de fixação de barras (molhes) nos padrões naturais de evolução dessas áreas através de aerofotografias, SIG e geoprocessamento. Com isso, obteve as taxas de erosão/acresção, sendo que os maiores valores de acresção ocorreram na praia do Cassino (média 4,10 m/ano), indicando que o grau de alteração é proporcional ao tamanho da estrutura de fixação e à magnitude da influência do corpo lagunar, e na praia Grande (média 3,6 m/ano) devido à presença de estruturas de fixação que interrompem a deriva e promovem o acúmulo de sedimento nessas praias. Nas praias do Mar Grosso (devido à alta concentração de energia de ondas, principalmente de SE causada por refração em função da batimetria irregular, e à presença do molhe leste que limita o transporte sedimentar ao longo da costa e altera a batimetria local) e de Passo de Torres observaram-se tendências erosivas com taxa média de -1,44 m/ano e 1 m/ano, respectivamente. As praias de Tramandaí e Imbé apresentaram erosão devido à alteração do estoque sedimentar pela presença da urbanização com taxas de 1 a 1,5 m/ano. Os setores erosivos refletem a convergência de energia de onda (praia do Mar Grosso), o déficit sedimentar (Mar Grosso, Tramandaí, Imbé e Passo de Torres) e os impactos induzidos pelo crescimento urbano (Tramandaí, Imbé, Passo de Torres).

O estoque sedimentar, granulometria, grau de influência do corpo lagunar, tamanho da estrutura de fixação (nas praias adjacentes às desembocaduras), características da plataforma interna, expansão urbana, orientação da linha de costa e grau de exposição são características que diferem cada praia. As altas taxas de acresção e média/baixas de erosão indicam o transporte litorâneo bidirecional, sendo que o transporte líquido é para norte causado pela incidência de ondas de tempestades. O litoral aparentemente está sofrendo um déficit de aporte sedimentar continental, uma vez que não há trechos de acresção significativos próximos aos locais de maior aporte continental, exceto os sedimentos barrados pelas estruturas de fixação na praia do Cassino e na Praia Grande, porém naquela a taxa de acresção diminuiu o que pode representar a escassez de sedimentos (Lélis 2003).

D'Aquino (2004) calibrou o modelo numérico GENESIS (*Generalized Model for Simulating Shoreline Change*) para as praias de Tramandaí e Imbé e obteve resultados satisfatórios do transporte longitudinal de sedimentos com valores próximos aos de Lima *et al.* (2001), das condições simuladas e do efeito das estruturas para a região.



Dillenburg *et al.* (2004) analisaram evidências da erosão costeira no RS através de três métodos: análise estratigráficas e morfodinâmicas de longo período de barreiras costeiras mostrando a erosão como uma continuação da evolução geológica nos últimos 5 ka e ocorrendo principalmente na metade sul de suaves projeções costeiras; mapeamento anual da linha de cota através do DGPS (Sistema de Posicionamento Global Diferencial) em uma escala temporal curta, indicando que, aproximadamente 80% do litoral está em erosão; e levantamentos altimétricos de perfis de praia que indicam comportamentos locais e de curto período da linha de costa. Os autores concluíram que os trabalhos levantados sobre a erosão da costa do RS até ali sugeriram que sua principal causa é o balanço negativo no estoque de sedimentos costeiros, em escalas de longo e curto períodos.

Esteves (2004) monitorou as variações da linha de costa do RS mapeadas entre 1997 e 2002 através do DGPS cinemático e observou que estas mostraram diferenças regionais na magnitude, no padrão sazonal e no intervalo de tempo em que a linha de costa retorna a sua configuração e posição antecedentes. No litoral médio, as flutuações anuais da linha de costa apresentaram um padrão rítmico, no qual áreas em erosão ocorrem adjacentes a áreas em acreção em um ano (podendo ser causado por ondas que se aproximam da costa em ângulos maiores que o de máximo transporte de sedimento) e apresentam movimentos opostos no ano seguinte. No litoral norte, os deslocamentos anuais também apresentam comportamento rítmico e antagônico, porém sem a ocorrência em conjunta de trechos em acreção adjacentes aos em erosão, e sim o domínio da acreção praial e da erosão em anos alternados. Esse comportamento antagônico coincide com os eventos de ENSO: o El Niño provavelmente afetou a retração da linha de costa em novembro de 1997 e seu período pós-evento caracterizado pela redução da energia dos ventos e ondas possibilitou a recuperação da praia obtendo acreção entre os meses de novembro de 1997 e de 1998; a La Niña de 1999 provocou a retração da linha de costa entre os meses de novembro de 1998 e 1999. A linha de costa tende a retornar a sua forma e posição anteriores anualmente no litoral médio e a cada 19 meses no litoral norte. Essa variabilidade espacial depende da combinação de vários fatores como a granulometria, orientação da linha de costa e do transporte de sedimentos. Os maiores volumes de transporte foram observados nas praias mais expostas às ondas de SSW (frentes frias, no geral) que são dominadas pela erosão (entre o Estreito e o farol da Conceição).

Os resultados foram similares a outros que mostram variações sazonais no perfil de praia: erosão nos meses de outono e inverno devido a maior energia de ondas e maior frequência de tempestades; e a acreção nos meses de primavera e verão. Segundo a classificação quanto ao manejo, de Esteves (2004), o litoral médio foi incluído nos 32% de áreas prioritárias e nos 29% de áreas naturais juntamente com o litoral sul; já o litoral norte foi incluído nos 29% de áreas de manejo crítico que correspondem basicamente às áreas urbanizadas. Quanto à urbanização, ~20% do litoral do RS (123 km) concentrado principalmente no litoral norte estão urbanizados.

De acordo com Absalonsen (2006), a morfologia da praia de Mostardas reflete diretamente as condições sazonais e locais da energia das ondas tornando a superfície da praia plana, baixa e regular com a passagem de tempestades (ondulações), mesmo que de pequena escala, remobilizando os sedimentos da praia e tendendo a erosão, apesar da praia apresentar uma média alta de progradação, atribuindo-lhe um comportamento bisazonal. A deposição foi observada durante o predomínio de ondas de menor energia vindas de NE, com a presença de cúspides praias associados aos padrões de fluxo circulatório da zona de *swash* do tipo *sweeping*.

De janeiro a maio, o trecho sul apresentou as maiores variações de progradação, caracterizando a influência apresentada pela inflexão costeira na atuação das ondas ao se aproximarem de águas rasas e no transporte de sedimentos. No período de maio a setembro ocorreu o inverso, com erosão em toda a linha de costa.

Já para escalas anuais, a praia de Mostardas apresentou trechos norte e sul distintos: na metade sul ocorreu o predomínio de área de erosão e na metade norte já houve variação apresentando um aumento significativo das áreas de estabilidade e deposição (média de avanço de 1,1 m/ano em direção ao mar), sendo superiores de 7 a 8% às encontradas para a costa do RS nos estudos de Toldo *et al.* (1999) e Esteves *et al.* (2002), o que configura um comportamento deposicional anômalo. Isto se deve à influência da inflexão costeira (diferença na orientação da linha de costa de  $\sim 11^\circ$  que divide a praia em dois trechos) sobre o efeito da ação das ondas, principalmente no transporte longitudinal de sedimentos: no trecho sul, o fluxo de energia incidente foi maior (média de -3,1 m/ano), com áreas de erosão levando o sedimento em suspensão para NE; no trecho norte, a deposição do sedimento a torna com maior número de áreas estáveis e um aumento das zonas de progradação, devido a inflexão propiciar uma menor exposição desse trecho frente a ação das ondas mais energéticas vindas do sul. Outro fator que confirma a influência da inflexão costeira e o padrão circulatório em Mostardas é a ampla largura do campo de dunas costeiro e da isóbata de 10 m nesta área (Absalonsen 2006).

Durante o estudo, a praia de Mostardas não apresentou modificação por ação antrópica, e sim por forçantes naturais: as características dos sedimentos e o clima de ondas em águas profundas são homogêneos ao longo da praia, sua modificação ocorre quando as ondas se aproximam da zona de águas rasas que passam a interagir com o fundo e modificam o transporte de sedimentos paralelo e perpendicular à costa em escala temporal muito variável, indicando se a costa está sofrendo erosão, progradação ou se está estável (Absalonsen 2006).

Goulart (2010), através de simulação da propagação de ondas de águas intermediárias para rasas usando o modelo parabólico REFDIF-S (espectral), identificou que o Banco Capela aparenta ser uma feição composta por uma estrutura rígida (possivelmente um parcel de arenito de praia), moldada pela interação com a hidrodinâmica (correntes longitudinais) e o sedimento local. O seu formato em V, sendo o vértice a SW e as pontas a NE, comprova o transporte longitudinal líquido de SW para NE. A presença de sedimentos finos (silte e argila oriundos da lagoa dos Patos) e sua distribuição apenas em volta da estrutura indicam que a Fácies Patos é mais abrangente que o proposto por trabalhos pretéritos. A areia presente sobre o banco indica que há uma geração de uma zona de alta energia sobre o mesmo durante eventos de alta dinâmica que não permitem a deposição de sedimentos finos, sendo estes depositados a SW e a NE do banco. A refração geradora dos focos de onda que atingem a linha de costa se deve às feições localizadas entre as profundidades de 20 e 30 m, sendo que o Banco Capela em nada interfere nessa refração. Assim, concluiu-se que o Banco Capela na antepraia da região do farol da Conceição influencia na dinâmica local de duas formas opostas quanto à erosão: promove o espalhamento dos focos gerados na plataforma interna, diminuindo o gradiente de alturas de onda na costa e a formação de correntes longitudinais, que são responsáveis pelo transporte de sedimento remobilizado pelas ondas, e assim diminuindo a erosão localizada, ou seja, o banco protege a costa de ondas extremas que causam erosão; e causa um déficit de sedimentos na praia adjacente, pois funciona como uma barreira física impedindo o transporte de sedimento em direção ao mar que poderia retornar às praias vizinhas sob condições de bom tempo e recomponha as praias erodidas.

Schossler (2011) descreveu o canal da lagoa do Peixe como um canal de maré, intermitente e com mecanismo de assoreamento morfodinâmico que está diretamente relacionado à deriva litorânea local, à baixa cota do terreno na embocadura, ao regime de precipitação pluviométrico (relacionado às correntes litorâneas de SW, que tem maior capacidade de deriva que as correntes de NE mais frequentes no verão) e à mobilidade da linha de praia que apresentaram processos erosivos de até 80 m ao sul do canal e de acresção até 40 m ao norte. A deriva litorânea contribui para o desenvolvimento de pontais nas margens sul e norte do canal sendo que seu crescimento e erosão estão ligados às mudanças sazonais (transição da primavera para o verão) com a inversão do sentido (de NE para SW) da corrente, do vento e do transporte de sedimentos, sendo que este é menos competente, mas de maior ocorrência, contribuindo para a formação de pontais cujas direções seguem o sentido das correntes. Também foi observado que a bidirecionalidade tem componente sazonal, governada pelos parâmetros climáticos. Nos meses de outubro a março é marcante o predomínio de correntes para SW, e para NE nos meses de maio a agosto. É notável o maior crescimento do pontal sul, explicado pela maior capacidade de transporte de sedimentos provenientes dessa direção, principalmente durante o inverno. Esse é o mecanismo que ciclicamente causa o assoreamento e obstrução do canal da lagoa do Peixe favorecido também pelo volume de água do corpo lagunar.

Motta (2011) analisou o balanço sedimentar arenoso no litoral médio do RS (entre a desembocadura da lagoa dos Patos e a praia de Dunas Altas) dividido em 12 células, identificando as áreas fontes e sumidouros em escala temporal de curto prazo (anos e décadas) através dos campos de dunas, como estoque de sedimentos, e as taxas da deriva litorânea através do método de fluxo de energia (Komar & Inman 1970) a partir de 12 anos (1998 a 2009) de dados de previsões de parâmetros ondulatórios obtidos pelo modelo WW3 do NOAA. Os resultados obtidos foram: o volume total do campo de dunas costeiras foi de aproximadamente 4.199.568.589,49 m<sup>3</sup>, sendo que deste valor, 3.578.881.171,09 m<sup>3</sup> estão localizados entre as duas zonas de inflexão mais expressiva da linha de costa situada entre as praias de Mostardas e Dunas Altas; a deriva litorânea apresentou-se bidirecional com alternância da direção na maioria das células, principalmente naquelas com ângulo mais elevado, sendo que mais ao sul observou-se uma deriva líquida para SW em posição ao padrão regional do Estado; as regiões adjacentes às zonas de inflexão que abrigam os mais largos e maiores volumes no campo de dunas alternaram bastante entre as estações, sendo consideradas como fonte de sedimentos para o campo de dunas, através da remobilização dos sedimentos em direção ao continente pela ação do vento de NE; e estimou-se que o tempo de formação deste estoque de sedimentos entre as praias de Mostardas e Dunas Altas, é de aproximadamente 4.250 anos.

## **CARACTERÍSTICAS METEOCEANOGRÁFICAS**

A região sul do Brasil é caracterizada por manifestar grande uniformidade climática, com predominância do clima mesotérmico, superúmido, sem possuir uma estação seca definida (Nimer 1989). A cidade de Rio Grande está localizada na latitude de 32.05°S, na passagem da zona subtropical para a zona temperada. A maior influência no clima é o centro de alta pressão do Atlântico Sul, somado com a proximidade da convergência subtropical e do sistema lagunar Patos-Mirim, forças características temperadas quentes sobre o local (Nimer 1989).

O regime de ventos e massas de ar no litoral do RS é caracterizado por dois centros de alta pressão: o Anticiclone do Atlântico Sul e o Anticiclone Polar Migratório, que exerce influência no verão, gerando ventos de NE e incidência no inverno gerando ventos de SW, respectivamente (Santo 2007).

O regime de marés é caracterizado por uma amplitude máxima de maré astronômica com valor aproximado de 50 cm, devido à proximidade de um ponto anfifrômico e também pelas características, sem reentrâncias e irregularidades que poderiam amplificar a amplitude de maré por efeitos de ressonância e convergência, sendo, portanto, classificada como uma região de micromarés, sendo que suas principais oscilações de nível do mar dentro de uma curta escala de tempo são aquelas relacionadas aos agentes meteorológicos, e suas praias são consideradas como dissipativas na maior parte do tempo (Herz 1977, Tomazelli & Villwock 1992).

A praia de Imbé comporta-se como intermediária e dissipativa, devido: ser constituída por areia fina; apresentar baixos gradientes no declive do perfil praial; ser extensa, caracterizada por ondas com altura entre 1,93 e 1,19 m, período entre 6,6 e 12,3 s e  $\epsilon$  (“*surf scaling parameter*”) maior que 22; sofrer arrebentações do tipo deslizante e mergulhante que se dissipam progressivamente pela zona de surfe chegando à face praial com alturas reduzidas; e ocorrer baixa variabilidade temporal dos perfis praiais e de parte da zona de arrebentação (Toldo Jr *et al.* 1993). Os parâmetros morfodinâmicos nesta praia mostram relação direta com a variabilidade das ondas e, principalmente, com as características morfológicas da praia e plataforma interna. As correntes apresentam domínio nítido com direções no sentido NE, com relação às direções no sentido SW (Toldo Jr *et al.* 1993).

As ondas e correntes geradas por estas são os agentes modeladores da morfologia costeira. Essa ação das ondas deve-se à combinação entre: uma ondulação (*swellwaves*) regular de SE induzida dentro do cinturão de tempestades subpolar do Atlântico Sul; vagas (*seawaves*) irregulares de incidência predominantemente de NE e geradas por ventos locais; e ondas de tempestades (*stormwaves*) de alta energia que ocorrem próximas ou na própria região cuja periodicidade é irregular (Tomazelli & Villwock 1992).

Na região costeira em estudo as principais correntes que atuam são as correntes litorâneas induzidas por ondas e ventos e, em segunda instância muito pequena, as correntes fluviais (Tomazelli & Villwock 1992). Na praia de Imbé há um domínio de direções dessas correntes com sentido NE com relação às direções no sentido SW (Toldo Jr. *et al.* 1993).

Tozzi & Calliari (2000) monitoraram diariamente as ondas, vento e correntes pelo método de observação visual (desenvolvido pelo projeto “Sentinelas do Mar”) na praia do Cassino durante os anos de 1991 e 1995, e obtiveram o seguinte regime de ondas: para período de pico médio (significativo) valores entre 10 e 11 s e para a altura significativa média de 1 m; as tempestades de maior energia apresentaram alturas significativas em torno de 1,5 m, podendo alcançar valores extraordinários entre 2,5 a 3 m, com período de pico em torno de 11 a 14 s; período significativo acima de 15 s quando a altura significativa alcança de 1,5 a 3 m ocorreu pouco, em geral durante ondulações longínquas e tempestades oceânicas extraordinárias, com direção preferencial de SE; as “ressacas” de S ocorrem em maior frequência no outono e inverno, porém podem ocorrer de modo forte uma vez ao mês nas demais estações; as condições de E são geralmente vagas e de pequena altura (0,5 a 0,25 m), porém já ocorreram na primavera, verão e início do outono eventos extraordinários de tempestades geradas na região SE do Brasil; o quadrante SE é o mais expressivo para o litoral do RS, como também observado por Motta

(1963), apresentando ondulações de baixa esbeltez, média de 11 s e altura significativa entre 1 a 1,5 m, típicas de região litorânea dominada por ondas; as correntes de deriva litorânea oriundas das condições SE podem ter sentido para SW ou para NE ou mesmo imperceptíveis, dependendo da proximidade, direção e intensidade da zona de geração das ondas; as correntes para NE são geradas por vagas de S ou SW que por sua vez são causadas por ventos locais, já as correntes para SW são geradas por vagas de NE ou E, durante ventos locais; o quadrante S apresenta corrente de deriva litorânea para NE, sendo que sua intensidade depende da energia das ondas e ventos locais que geralmente são fortes.

As “ressacas” que ocorrem no RS são resultado da combinação de ondas e marés meteorológicas que influenciam diretamente as características geomorfológicas das praias (Tozzi & Calliari 2000).

Ainda segundo Tozzi & Calliari (2000) a distribuição das tempestades oceânicas entre os quadrantes S, SE e E demonstra ter relação direta com o balanço das tempestades que ocorrem próximas à costa, sendo mais frequentes no outono e inverno nos quadrantes S e SE, e mais afastadas e pouco frequentes na primavera e verão para E e SE. As variações entre os ciclos de tempestade de S>SE, e o predomínio das condições de baixa hidrodinâmica do E>SE são os principais responsáveis pela diminuição de energia e do perfil intermediário. Porém o estágio dissipativo aparenta ser aleatório, respondendo diretamente à energia da tempestade. Os autores também observaram que as áreas mais afastadas dos molhes apresentavam maior exposição (ao ataque das ondas) e menor aporte sedimentar, e aquelas que se aproximavam e estavam dentro da proteção dos molhes, apresentavam maior número de barras devido ao maior aporte sedimentar.

Barletta (2000) concluiu que o regime de ondas controla a variabilidade morfodinâmica das praias do litoral central (praias de São José do Norte até o farol da Solidão). O outono e o inverno são os períodos de tempestades com a maior intensidade, que associadas às máximas marés de sizígia e as marés meteorológicas, geram erosão nas praias. Na primavera e no verão ocorre o inverso. São praias intermediárias segundo o enfoque morfodinâmico e os parâmetros morfométricos, porém com diferenças morfológicas ao longo das praias, havendo áreas que aparentam ser estáveis (faróis da Solidão, Mostardas e Estreito, além do balneário São Simão) e outras erosivas com recuo da linha de dunas (farol da Conceição e Lagamarzinho). Estas diferenças podem estar relacionadas às interações das condições de onda com a plataforma interna adjacente, assim como a pequenas variações na direção da linha de costa gerando padrões de ondas e dispersão de sedimentos diferenciados.

As tempestades do Atlântico Sul foram classificadas e relacionadas com o sistema meteorológico gerador a partir de 3 anos de dados de tempestades registradas em ondógrafo obtendo: 54,4% para classe I (fraco), 23% para classe II (moderado), 19,25% para classe III (significante), 2,75% para classe IV (severa) e 0,6% para a classe V (extrema) (Barletta 2000).

Quanto aos sistemas meteorológicos, Barletta (2000) concluiu que uma frente fria associada a um centro de baixa pressão ou a um ciclone pode gerar mais de um episódio de ondulação, afetando a geração das ondas através de um ou mais picos de intensidade em uma ondulação. No outono a energia das ondas se intensifica alcançando a estabilidade com altos índices no inverno. Já na primavera a energia vai se tornando menor até se estabilizar no verão. Apesar desse padrão, em todas as estações ocorrem tempestades fortes (classe III) e período de calmaria (tempo bom e ondas baixas).

Cuchiara *et al.* (2009) caracterizaram o clima de ondas na Plataforma Sul do Brasil através de dados de campo revisados e de experimentos com o modelo espectral de onda SWAN. O predomínio das direções de onda foram  $100^\circ$  e  $160^\circ$  (SE) com altura de onda variando entre 1 e 1,5 m, período predominante entre 6 e 14 s. Como o modelo considerou a presença de lama em todo o domínio, ocorreu um claro decréscimo da altura significativa de onda, logo esta se apresentou subestimada. Os resultados do modelo SWAN indicaram que para o vento de S, o espectro bimodal foi observado devido à presença da combinação de ondas *sea* e *swell*. Já para o vento de NE, a forma do espectro indicou somente um pico. A distribuição espacial da altura significativa da onda e da direção média usando uma velocidade de vento uniforme ao longo de todo o domínio sugeriu o decaimento quando se moveu de águas profundas para águas rasas. O efeito da interação onda-lama na altura significativa e período médio da onda indicou que aquela foi atenuada pela presença da lama comparadas às medições. Porém, esta atenuação parece ser sobrestimada devido à densidade, espessura, posição e viscosidade da lama terem sido consideradas constantes em todo o domínio.

Perotto (2010) buscou preencher as falhas de dados do ondógrafo fundeado, na isóbata de 17 m, próximo a cidade de Tramandaí para o ano de 2007 usando dados do modelo WW3 e obteve, através do método estatístico de regressão múltipla, valores de 6,74 e 4,82 m para as profundidades de fechamento, e 30,77 e 25,51 m para o limite oceânico. As maiores velocidades médias de vento foram 12 m/s e as menores de 2 m/s, sendo que os ventos predominantes foram os de NE, de acordo com alguns autores como Nimer (1977), Tomazelli (1993) e Arejano (1999). As ondas de maior ocorrência foram as de SE e as de menor de E, não houve ocorrência significativa de ondas de NE. Outros trabalhos como o de Motta (1963) e D'Aquino (2004) também observaram esse padrão.

As ondulações de E e de SE, sendo esta a direção de tempestades, são as que menos sofrem dissipação ao longo da plataforma interna (estreita e íngreme) devido suas incidências serem próximas a normal da costa, atingindo a antepraia com maior energia. Já as ondulações de S e SW são as que mais sofrem dissipação devido percorrerem maior distância sobre a plataforma interna ao sul que é mais larga e com pendente mais suave, atingindo a costa com menos energia e menores alturas (Goulart 2010).

Romeu *et al.* (2010) utilizaram o modelo de geração WW3 (*Wave Watch 3*) para reconstituir 30 anos de dados de agitação marítima da região oceânica sul brasileira. Os histogramas de altura significativa ( $H_s$ ) e período de pico ( $T_p$ ) por direção de incidência destes 30 anos de dados evidenciaram dois sistemas de ondas bem característicos da região: vagas do quadrante leste e ondulações do quadrante sul. Para uma caracterização mais detalhada, cada estado de mar foi decomposto nas suas componentes primárias e secundárias e novos histogramas de altura e período de ondas foram confeccionados. O histograma com a totalidade dos 30 anos de dados foi comparado com histogramas anuais no intuito de se identificar o ano que melhor representava a totalidade dos dados. Para o ano identificado (1984) foi aplicada a técnica de agrupamentos e 6 cenários característicos de agitação marítima para o litoral do RS foram encontrados (figura 01): (A) ondulação de leste-nordeste, (B) vagas de leste-nordeste, (C) vagas de oeste, (D) vagas de sul, (E) ondulação de sul e (F) ondulação de sudeste.

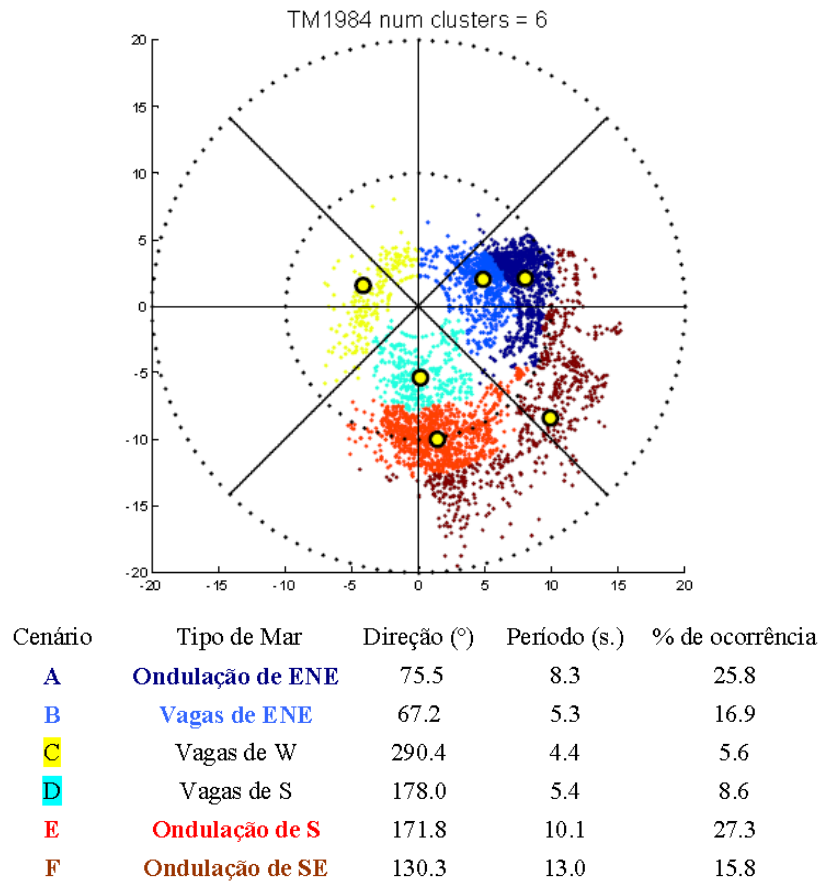


Figura 01 – Diagrama de dispersão de período por setor de incidência de onda com a identificação dos agrupamentos e seus respectivos centros de gravidade (bolas amarelas), embaixo os dados de cada cenário. Fonte: extraído de Romeu *et al.* (2010).

Estas condições de mar para águas profundas serviram de referência na escolha dos mares para coleta de sedimentos deste trabalho, já visando uma futura aplicação do modelo após sua calibração.

## VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Os 3 modelos do Mopla foram validados por trabalhos anteriores em âmbito internacional através do confronto de medições de campo e testes de modelo físico em conduto e bacia de onda, sendo comparados com outros modelos numéricos similares por Nicholson *et al.* (1997). Mais detalhes sobre a validação dos modelos do Mopla podem ser encontrados em GIOC (2003b,c,d,e).

Regionalmente, os resultados do modelo Eros-sp foram validados por Sprovieri *et al.* (2010) para a praia do Cassino usando os dados de transporte de sedimento de 3 perfis realizados por Fontoura (2004). Para o modelo foram encontrados os valores de 5,94275 m<sup>3</sup>/h

(perfil em frente à EMA), e de 0,79955 e 0,78821 m<sup>3</sup>/h para outros dois perfis mais próximos ao molhe oeste. Esses resultados foram similares aos observados nos cenários de ondulação SE e vaga NE, respectivamente.



## CAPÍTULO 2

# CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO EROSÃO-SEDIMENTAÇÃO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO NA PRAIA DO CASSINO, RIO GRANDE DO SUL

## INTRODUÇÃO

Este trabalho é parte integrante de um estudo mais amplo que investigou toda a porção costeira do Estado do Rio Grande do Sul (RS) no que diz respeito ao transporte sedimentar (areia) por meio do conhecimento multidisciplinar da modelagem computacional e da obtenção de dados de campo que serviram de suporte para validar e calibrar o modelo do SMC (Sistema de Modelagem Costeira).

A aplicação do modelo na região costeira do RS apresenta grande relevância, pois é conhecido que neste lugar encontra-se uma praia arenosa, aberta e dominada por ondas e ventos, das mais extensas do mundo. Conhecer o comportamento do seu potencial sedimentar, principalmente aquele decorrente da deriva litorânea torna-se essencial para entender os processos que atuam sobre as mudanças da linha de costa e os consequentes reflexos sobre as intervenções de engenharia que eventualmente possam ocorrer neste litoral.

A movimentação dos sedimentos na costa do RS está relacionada de uma maneira geral às mudanças abruptas na direção da linha de costa, à presença de *inlets*, ou às influências antrópicas como obras de engenharia construídas na região costeira (Speranski & Calliari 2001).

Com base na literatura, observou-se que para a estimativa das taxas de transporte longitudinal tem-se utilizado historicamente 3 técnicas padrões de medição como: traçadores de sedimentos (“*sediment tracer*”), armadilhas portáteis (“*streamer sediment trap*”) e técnicas de imposição de barreira transversais (“*impoundment technique*”) que separadamente ou em conjunto estão comprometidas no desafio de estimar a capacidade de transporte sedimentar costeiro (Wang *et al.* 1998). Estes processos, apesar de importantes, sempre apresentaram dificuldades quanto à obtenção de dados de boa qualidade, seja pelas dificuldades impostas pelas limitações do próprio processo, seja pelas dificuldades naturais do espaço de mar a ser estudado. Atualmente a disponibilidade de equipamentos mais sofisticados (PUVs, ADCPs, ADVs, OBSs, etc.) e mais precisos com certeza trarão novas perspectivas para este campo da ciência.

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar a calibração e validação do módulo de transporte de sedimento do SMC através da comparação entre os dados de transporte sedimentar medidos *in situ*, no perfil costeiro próximo a Estação de Marinha de Aquicultura (EMA), e os resultados modelados, sob as mesmas condições de onda monitoradas, a fim de se averiguar e dar condição para que o modelo possa ser utilizado com segurança em estimativas posteriores em diferentes locais da costa do RS.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

A área de estudo está localizada no litoral sul do RS, nas praias do Cassino e da Querência situadas entre a desembocadura da Lagoa dos Patos e proximidades da EMA, o que compreende, aproximadamente, 12 km de costa (figura 01). O trecho transversal a praia (perfil de praia) onde foram feitas as coletas de campo situa-se exatamente em frente à EMA, aproximadamente 10 km ao sul do molhe oeste da barra do Rio Grande.

### Área de Estudo

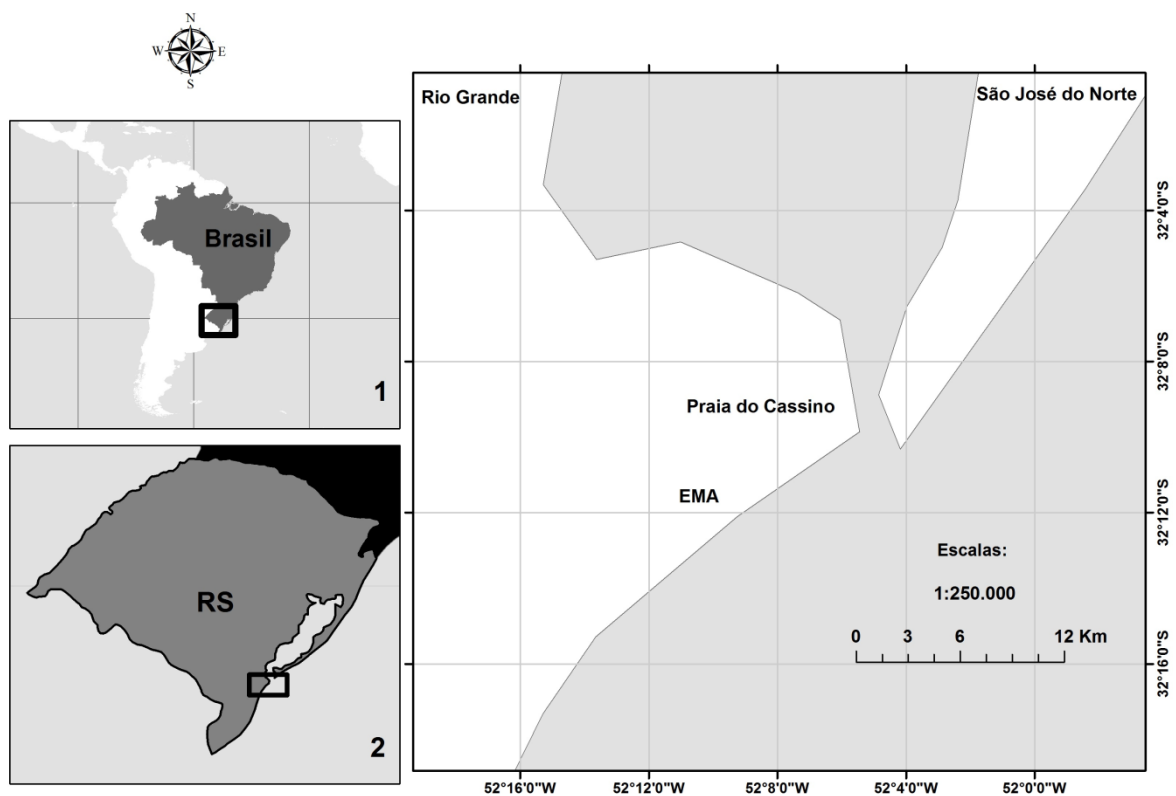


Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo.

O trabalho foi dividido em duas etapas: (i) atividade de campo, para o levantamento dos dados necessários para calibrar e validar o modelo; e (ii) simulação numérica (calibração e validação). O fluxograma a seguir mostra um resumo dessas etapas.

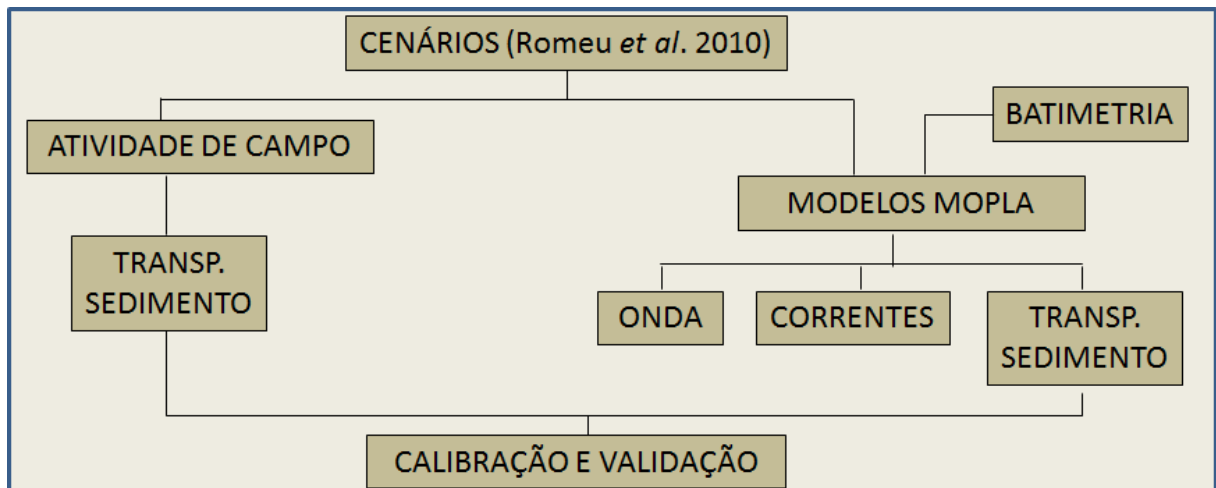


Figura 02 – Fluxograma mostrando as etapas do trabalho.

### Atividade de campo

O local de coleta dos dados de campo foi determinado levando-se em consideração a facilidade logística para esse levantamento, sendo assim escolhido o trecho de praia em frente à EMA localizada na praia da Querência. Toda a metodologia de coleta de dados de campo obedeceu, basicamente, a mesma usada por Fontoura (2004).

### MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO DE MAR PARA AS SAÍDAS DE CAMPO

As coletas foram realizadas mediante a ocorrência de algum dos cenários característicos obtidos por Romeu *et al.* (2010) (ver tabela 01), com exceção do cenário C que, por ser de direção W, é decorrente dos ventos que sopram do continente para o oceano, e logo não afetam a costa. Foi feito o monitoramento das previsões de agitação marítima para águas profundas calculadas pelo modelo WW3 e disponibilizadas no endereço <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/index2.shtml> do NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) para a região de Rio Grande (coordenadas 32S e 48,75W) durante quase todo o ano de 2011 (de março a outubro) priorizando as condições unimodais do mar, pois é uma exigência do modelo que a onda tenha uma direção preferencial. Para os mares em que se pôde fazer a coleta, os dados foram, a partir de rotinas matemáticas, transformados em figuras (espectros direcionais) e incluídos nos cálculos da transformação de águas profundas para águas com isóbata de 15 m através da lei de Snell.

Tabela 01 – Cenários, tipos de mares, posição central do conjunto direção e período, e o percentual de ocorrência de cada cenário. Modificado de Romeu *et al.* (2010).

Cenário	Tipo de mar	Direção (°)	Período (s)	% de ocorrência
A	Ondulação ENE	75,5	8,3	25,8
B	Vaga ENE	67,2	5,3	16,9
C	Vaga W	290,4	4,4	5,6
D	Vaga S	178	5,4	8,6
E	Ondulação S	171,8	10,1	27,3
F	Ondulação SE	130,3	13	15,8

## LEVANTAMENTO DO PERFIL DE PRAIA

A fim de se conhecer as áreas entre as estações ao longo da secção transversal da área úmida, pois estas são necessárias nos cálculos do transporte de sedimentos na zona de surfe, foi realizado um perfil de praia. Para isto, utilizou-se uma estação total, marca Nikon, modelo DTM-330 e uma baliza regulável com prisma refletor. O perfil foi tomado a partir de um ponto fixo (baliza de ferro situada entre as dunas em frente à EMA) seguindo o ângulo perpendicular à linha de costa, obtido através da bússola, até a profundidade máxima que se pôde chegar com segurança. Todas as coletas foram feitas ao longo do mesmo perfil, sendo que em cada uma houve uma área úmida específica, pois cada condição de mar varreu diferentes distâncias sobre a faixa de praia.

## MEDIÇÃO DO TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS

### Operação de coleta das amostras de sedimento

Para padronizar e obter as áreas das secções transversais da área úmida, antes das coletas foram feitas as medições das distâncias entre os seguintes pontos ao longo do perfil de praia: do ponto zero (baliza de ferro) até a baliza I (BI) onde se encontrava a linha de praia; e do BI até a baliza II (BII), marcando o ponto sobre o primeiro banco de areia dentro da zona de surfe.

Com as balizas I e II fincadas, dava-se início às coletas de sedimento que foram feitas em 4 pontos (aqui chamados de estações), sendo que novas distâncias foram tomadas: do BII até o ponto da estação 1 (E1), sendo este o ponto mais distante possível da zona de arrebentação que se pôde chegar com as devidas precauções de segurança quanta a profundidade máxima para a coleta; a estação 2 (E2) localizou-se no mesmo ponto BII, logo não houve distância tomada; do E2 recuava-se em direção a praia, onde era posicionado o ponto da estação 3 (E3) sobre a cava; e do BI até a estação 4 (E4), que marcava o limite entre as zonas de *swash* e de arrebentação. Abaixo segue um esquema mostrando os pontos (balizas e estações) e as distâncias entre eles.

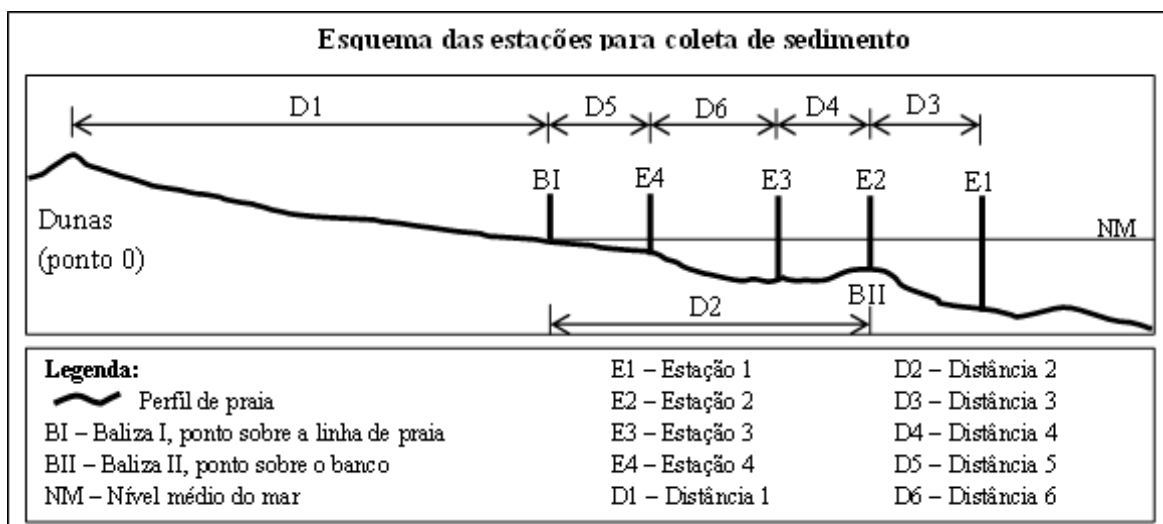


Figura 03 – Esquemática das coletas de sedimento em estações ao longo do perfil de praia.

### *Medição da taxa de sedimentos transportados*

O método utilizado foi o das armadilhas portáteis (*traps*) descritas originalmente por Kraus (1987) e posteriormente adaptadas para as condições locais da costa do RS por Fontoura (2004), que o aplicou em coleta de sedimentos costeiros, principalmente dentro da zona de surfe e no estirâncio da região estudada. As vantagens e desvantagens desse método podem ser encontradas em Kraus (1987) e posteriormente foram revistas e ampliadas em Wang *et al.* (1998) e Fontoura (2004) para cada uma das situações específicas em que foram utilizadas. Algumas das vantagens são o seu baixo custo, a fácil construção e a manutenção e operação simples, também pode ser citada como vantagem o fato de que o sedimento coletado permanece em poder do pesquisador permitindo uma série de análises tanto mineralógicas como sedimentológicas e a sua correlação com os diferentes níveis da coluna d'água. Como desvantagem pode-se citar a operação restrita as margens rasas da orla costeira, a impossibilidade de coleta durante a ocorrência de tempestades costeiras (quando há as maiores taxas de mobilização sedimentar) e o curto intervalo de tempo permitido para a coleta que certamente acaba afetando a representatividade da amostra em determinadas circunstâncias.

O método utilizado se valeu de um conjunto de 10 redes de malha 0,062 mm (limite granulométrico para os sedimentos não coesivos), presas a uma estrutura metálica (barras de fixação que correspondem à boca da armadilha), que por sua vez é fixada em um suporte de ferro. Esse conjunto foi: enumerado de baixo (fundo da zona de surfe) para cima (camada superficial da água) de 1 a 10, sendo que a barra inferior da primeira armadilha (1) ficou fixada junto ao fundo, ou seja, com zero de distância da camada superficial de fundo (ver figura 03); e posicionado de modo que suas entradas (bocas) ficassem voltadas contra a direção da corrente longitudinal, para que os sedimentos, em suspensão ou mesmo na forma de carga de fundo, fossem aprisionados durante um intervalo de tempo pré-definido (5 min). A confecção do suporte e dos *traps* (conjunto de rede mais as barras de fixação) foi desenvolvida por Fontoura (2004) conforme Kraus (1987), levando-se em consideração a adaptação para as condições da zona de estudo. As medidas da boca do *trap* e do espaço entre um e outro no suporte podem ser observadas na figura 04 que mostra um esquema do aparato. Outras figuras e fotos do equipamento real podem ser encontradas em Fontoura (2004).

Após a coleta, as amostras foram enumeradas de 1 a 10 conforme a posição de cada *trap* e guardadas em sacos plásticos para serem levadas ao laboratório.

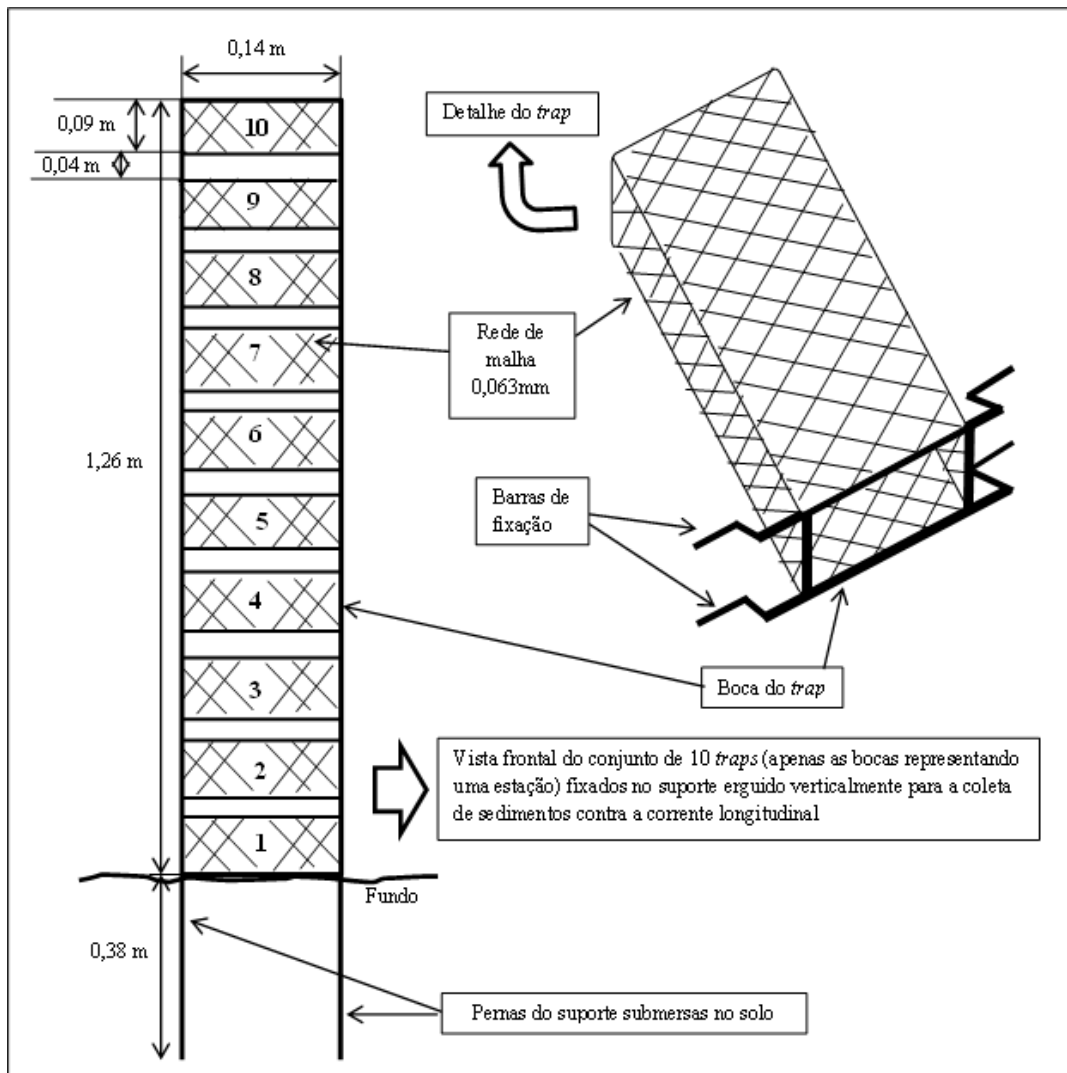


Figura 04 – Esquemática do suporte e do trap usados para a coleta de sedimento.

Após a coleta do material no campo, as amostras foram levadas para o laboratório de sedimentologia do LOG (Laboratório de Oceanografia Geológica), foi feita a remoção de sais, secagem em estufa, quarteamento e peneiramento mecânico, partindo em seguida para as metodologias clássicas de análise sedimentológica preconizadas por Folk & Ward (1957).

#### *Cálculo do transporte de sedimento*

O cálculo de transporte sedimentar foi realizado a partir da integração do fluxo de sedimento tanto na horizontal como na vertical. Entre duas redes adjacentes, seguindo a direção vertical da estrutura metálica de baixo pra cima (ver figura 03), existem espaços abertos pelos quais também escoam sedimentos e que devem ser considerados nos cálculos, sendo obtidos pela seguinte equação (1):

$$\Delta F_i = \frac{\left(\frac{F_{i+1}}{z_{i+1}} + \frac{F_{i-1}}{z_{i-1}}\right) \Delta Z_i}{2} \quad (1)$$

Em que  $\Delta F_i$  é a quantidade de sedimentos existente entre duas redes adjacentes;  $F_{i+1}$  e  $F_{i-1}$  são os valores obtidos da pesagem do sedimento contido na rede superior e inferior,

respectivamente;  $z_{i+1}$  e  $z_{i-1}$  correspondem, respectivamente, às dimensões verticais superior e inferior da entrada da rede; e  $\Delta Z_i$  é a medida vertical entre duas redes adjacentes.

Já para o cálculo do fluxo total da estação a equação (2) usada foi:

$$I = \sum_{i=1}^N (F_i) + \sum_{i=1}^{N-1} (\Delta F_i) \quad (2)$$

Em que  $I$  é o fluxo total de sedimentos considerando toda a coluna d'água desde a superfície até o fundo;  $N$  é o número de redes e  $F_i$  é o fluxo individual medido em cada rede.

Assume-se que a vazão de sedimentos sólidos entre duas estações de medição adjacentes é a média dos transportes totais registrados pelas duas estações. Assim, o transporte longitudinal total foi obtido por meio da equação (3):

$$Q_t = \sum \frac{I_i + I_{i+1}}{2} A_i \quad (3)$$

Em que  $I_i$  e  $I_{i+1}$  são os valores dos fluxos de sedimentos nas estações “i” e “i+1”, respectivamente;  $A_i$  é a área úmida da secção transversal do segmento presente entre as estações “i” e “i+1”. O resultado obtido foi dividido pela densidade do grão (2650 Kg/m<sup>3</sup>) por tratar-se majoritariamente de areias silicosas.

### Simulação numérica

Será apresentada a seguir uma breve descrição dos modelos utilizados. Devido ao planejamento teórico e formulação numérica serem muito extensas, e este trabalho não ter por objetivo a discussão das equações e sim sua aplicação, procurou-se aqui explicar sucintamente a essência de cada modelo. Todas as equações e descrição do passo a passo dos modelos podem ser encontradas em GIOC (2003b,c,d,e).

#### SMC

A ferramenta de interface gráfica chamada *Sistema de Modelado Costero* (SMC) foi desenvolvida pelo *Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas* (GIOC) da *Universidad de Cantabria* sob a *Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente*. O SMC foi usado aplicando os modelos do módulo de “*Análisis a corto plazo de playas*” (Acordes) (escala temporal de até 72 h) (GIOC 2003a) para análise da evolução morfodinâmica bidimensional na horizontal (em planta) conhecido como *Morfodinámica de playas* (Mopla) que permite analisar as mudanças na praia que ocorrem em resposta a um evento de tempestade e para verificar se a estabilidade e requisitos de funcionalidade de um projeto de restauração de praia foram alcançados, além de fornecer informações sobre processos costeiros (sistema de correntes e transporte potencial) que ajudam na busca da melhor solução frente à morfodinâmica de praia (GIOC 2003a, González *et al.* 2007).

#### Mopla

O Mopla permite simular, em uma zona litorânea, a propagação de um estado de mar através de um espectro de energia de onda (Oluca-sp – modelo parabólico de propagação do



espectro de onda) desde grandes profundidades até a linha de costa, sendo que estes resultados entram nos cálculos para obter as correntes induzidas pela quebra da onda na zona de arrebentação (Copla-sp – modelo de correntes induzidas pela quebra do espectro de onda), que por sua vez são usados para simular a evolução morfodinâmica de uma praia, ou seja, o transporte de sedimentos e a evolução da batimetria (Eros-sp – modelo de erosão-sedimentação e evolução da batimetria em praias a partir do espectro de onda) (GIOC 2003d).

As equações são resolvidas através do método de diferenças finitas sobre uma malha retangular. A resolução numérica das equações requer transformar o domínio contínuo em um domínio discreto, formado por uma rede mais ou menos densa de pontos ou nós nos quais se definem cada uma das variáveis que intervêm no problema (GIOC 2003b,c,d,e).

### *Hipóteses*

Algumas das principais hipóteses tomadas pelos modelos são (GIOC 2003b,c,d,e): o fluido é considerado não viscoso, homogêneo (para o modelo de correntes Copla-sp), incompressível e de densidade constante; o fluxo é considerado irrotacional e estacionário; quanto à dinâmica, a pressão é constante na superfície livre, e a ação do vento e da aceleração de Coriolis não são consideradas; para os contornos, o fundo apresenta inclinação suave, ou seja, menores que 1:3 (18°); na propagação a não linearidade é fraca, ou seja, a dependência da equação de dispersão com a altura de onda significativa (espectro) é fraca; modelo não linear Stokes-Hedges.

### *Oluca-sp*

González *et al.* (2007) descrevem o modelo Oluca como uma ligeira combinação dos modelos de refração e difração (compostos pelo efeito de *shoaling*, refração, dissipação de energia por fricção de fundo e quebra de onda, difração e interação onda-corrente) que simulam o comportamento de uma condição de mar aleatória, no caso do Oluca-sp. Ainda segundo estes autores, o modelo é baseado na aproximação parabólica da equação de declive suave e que inicialmente foi baseado no modelo REF/DIFS, de Kirby & Özkan (1994). O resultado do modelo Oluca-sp é o campo de onda (altura significativa da onda e direção do fluxo médio de energia) em todo o domínio de cálculo (GIOC 2003b).

O modelo em termos de gastos financeiros e de esforços computacionais é bastante favorável, pois é extremamente rentável e chega a ser, aproximadamente, 50 vezes mais rápido que os modelos elípticos de declive suave com a mesma configuração (González *et al.* 2007).

No Oluca-sp, a dissipação por quebra de onda empregada foi a Thornton & Guza (1983), além da inclusão do efeito de espectro de frequência (TMA) e espectro direcional (GIOC 2003b, González *et al.* 2007). Outras opções dadas são: o tipo de modelo composto; na dissipação por fundo a camada limite turbulenta; contornos laterais são abertos.

### *Copla-sp*

O Copla-sp resolve as equações da conservação de massa e momento verticalmente integradas em duas dimensões horizontais, deduzidas a partir das equações de Navier-Stokes, utilizando como dados de entrada o campo de onda de tensão de radiação oriundo do modelo

Oluca-sp (González *et al.* 2007). Os tensores de radiação, devido a uma onda irregular, são calculados com base nos tensores que geram cada uma das componentes de energia, sendo que estas se propagam formando um ângulo  $\theta$  com relação ao eixo x e a soma linear de todas essas em um ponto do domínio determinam as expressões dos tensores de radiação (GIOC 2003c).

O modelo é capaz de operar com a rugosidade hidráulica (coeficiente de Nikuradse) variante no tempo e flutuações turbulentas (viscosidade de Eddy) (González *et al.* 2007).

Os resultados do modelo são o campo vetorial de velocidades e o campo de níveis (GIOC 2003c).

### *Eros-sp*

O modelo resolve a equação de fluxos de sedimento na zona de surfe e a mudança da batimetria associada às variações do transporte de sedimento, sendo que utiliza como condições de entrada aquelas fornecidas pelo sistema SMC a partir das saídas dos modelos Oluca-sp e Copla-sp, e também os dados das características do sedimento da praia (GIOC 2003e).

O modelo escolhido para a interação das componentes morfodinâmicas foi o modelo de erosão-sedimentação inicial (ESI) que evolui na variação da batimetria sem considerar a interação entre os componentes, ou seja, não considera a influência da variação de fundo na hidrodinâmica (onda e correntes), logo permite conhecer a tendência inicial da erosão-sedimentação de forma rápida (GIOC 2003e).

Para o cálculo do transporte de sedimento optou-se pela formulação de Soulsby (1997) que deduz uma expressão analítica experimental que aproxima a formulação para onda-corrente de Van Rijn (1993) e evolui tanto o transporte em suspensão como o de fundo (GIOC 2003e, González *et al.* 2007).

## *CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO*

Primeiramente foi feita a elaboração da batimetria da área de estudo, sendo que os dados batimétricos usados foram os mesmos de Sprovieri (2011), com a inclusão da digitalização das linhas de costa, topografia e dos molhes usando a carta náutica de nº 90 que pode ser encontrada no site da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) pertencente à Marinha do Brasil. Para essa digitalização foi usado o software Surfe 8.0 que é acoplado ao SMC para realizar os cálculos. Em seguida foi feita a interpolação usando o método de *kriging*.

Com a batimetria já carregada no Mopla, foi feita a malha computacional e o *input* dos parâmetros necessários para executar o modelo, sendo que os parâmetros não coletados em campo e que eram necessários como dados de entrada, utilizaram-se os mesmos de Sprovieri (2011), uma vez que a área de estudo foi a mesma (praia do Cassino e praia da Querência).

A fronteira externa da malha computacional utilizada pelo Mopla ficou localizada ao longo da linha batimétrica de 15 metros, portanto foi necessário transformar os dados de onda de águas profundas até o início da malha computacional, devido às características da região, pôde-se considerar a utilização da lei de Snell para esta transformação, foram utilizados os dados de altura significativa ( $H_s$ ), período de pico ( $T_p$ ) e direção de pico ( $D_p$ ) de águas profundas identificados para três condições de mar referentes aos cenários característicos identificados por Romeu *et al.* (2010) (ver tabela 02). A extensão longitudinal a praia foi de aproximadamente 15 km em que incluiu os molhes.

Foram feitas as simulações para cada condição de mar propagado modificando-se cada parâmetro do modelo isoladamente para observar a sensibilidade deste no resultado do transporte de sedimento em específico. Quando se observou que as modificações nos parâmetros já não afetavam significativamente os resultados, identificou-se o resultado do modelo mais próximo ao obtido em campo (coordenadas de frente à EMA) e definiu-se os parâmetros calibrados como mostra a tabela 03. Os valores mais próximos entre os resultados foram considerados como os melhores (aceitáveis) para a calibração de cada um dos 3 cenários.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados em ordem de obtenção e por etapas, conforme metodologia.

### Atividade de campo

#### DADOS DE ONDA

Durante o período de monitoramento foram feitas cinco saídas de campo, porém, devido aos critérios propostos das condições de mar unimodais que representassem alguns dos cenários característicos do clima de ondas da região, o número de saídas para coleta foi bastante restringida, acarretando em poucas informações: apenas três saídas de campo (1ª, 3ª e 5ª saídas) apresentaram tais características de condições de mar, e foram, portanto, analisadas. Assim, dos 5 cenários esperados, apenas 3 (B, E e F) ocorreram no período de monitoramento dos quais se obteve os dados de Hs e Tp para águas profundas e para a profundidade de 15 m calculados pela lei de Snell como mostra a tabela 02.

Tabela 02 – Dados de altura significativa (Hs), período de pico (Tp) e direção de pico (Dp) em águas profundas e para águas em torno dos 15 m de profundidade\*.

Coleta	Data da coleta	Tipo de mar	Cenário	Dados WW3 (águas profundas)				Lei de Snell *	
				Hora (h)	Hs (m)	Tp (s)	Dp (°)	Hs (m)	Dp (°)
1ª	12/03/2011	Vaga ENE	B	15:00	3,6	9,0	62	2,2011	86
3ª	07/05/2011	Ondulação S	E	12:00	5,8	15,8	194	4,5954	160
5ª	29/05/2011	Ondulação SE	F	12:00	5,4	12,8	145	5,2213	141

Os maiores e menores valores do Tp e Hs para as coletas foram encontrados nos cenários E e B, respectivamente, uma vez que o mar apresenta-se bastante energético durante ondulações do quadrante S/SE e menos energético durante vagas do quadrante E/NE.

Na figura 05 são apresentados os espectros direcionais obtidos para os respectivos dias de coleta e os seus espectros TMA para a profundidade de 15 m, criados pelo modelo. Pode-se observar o caráter unimodal do espectro, ou seja, a concentração da energia da onda em uma direção, viabilizando sua utilização no modelo Mopla que exige uma direção principal de propagação de ondas.

Não foram tomados os dados de altura, direção da onda em campo, logo não se pôde comparar ou mesmo afirmar que a condição de onda informada pelo modelo WW3 em águas profundas foi condizente com a que ocorreu no momento da coleta para águas rasas. Pois, partiu-se do pressuposto que os dados de onda fornecidos pelo WW3 são considerados satisfatórios uma vez que vários trabalhos têm utilizado esses dados e confirmam sua eficácia. Outro fator que também auxilia para que a previsão correspondesse a coleta foi a observação visual: para as ondulações (3ª e 5ª coletas) o mar estava bastante agitado e avançado em direção às dunas quando comparado com a condição de vaga de ENE (1ª coleta) que é considerada uma condição de mar menos energética pela literatura.

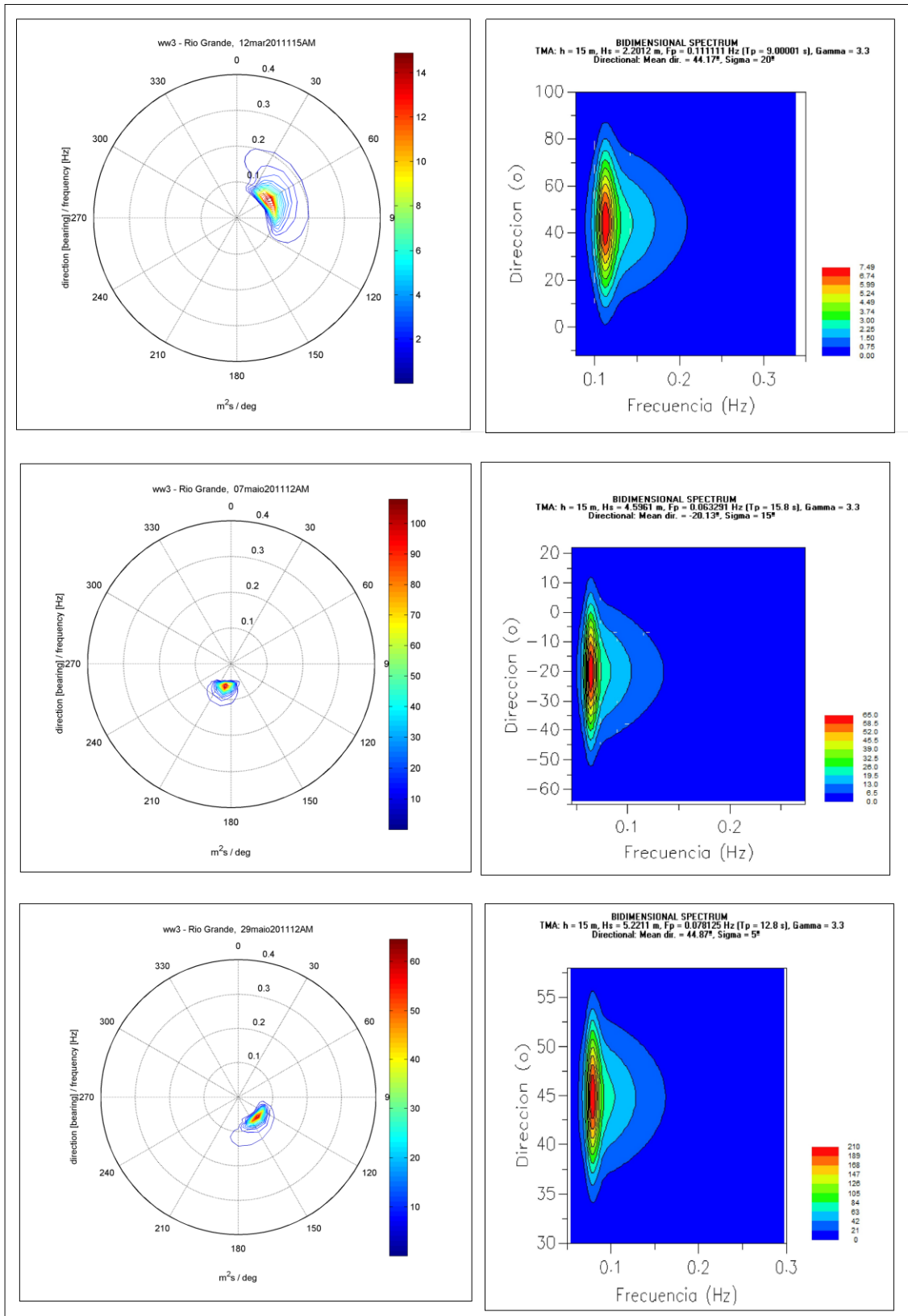


Figura 05 – Espectros direcionais (à esquerda) previstos para águas profundas pelo modelo WW3 para os três dias de coleta e os respectivos espectros TMA (à direita) gerados pelo modelo para a profundidade de 15 m.

## PERFIL DE PRAIA

O perfil de praia obtido pode ser visualizado na figura 06 onde também são mostrados as delimitações do perfil subaéreo em que foram coletados os sedimentos nas 3 condições diferentes de mar. Nota-se que o cenário E foi o que mais avançou sobre a praia em direção às dunas indicando uma condição de mar agitada (ondulação S) e o cenário B alcançou a maior distância mar adentro no perfil, representando uma condição de calmaria (vaga NE).

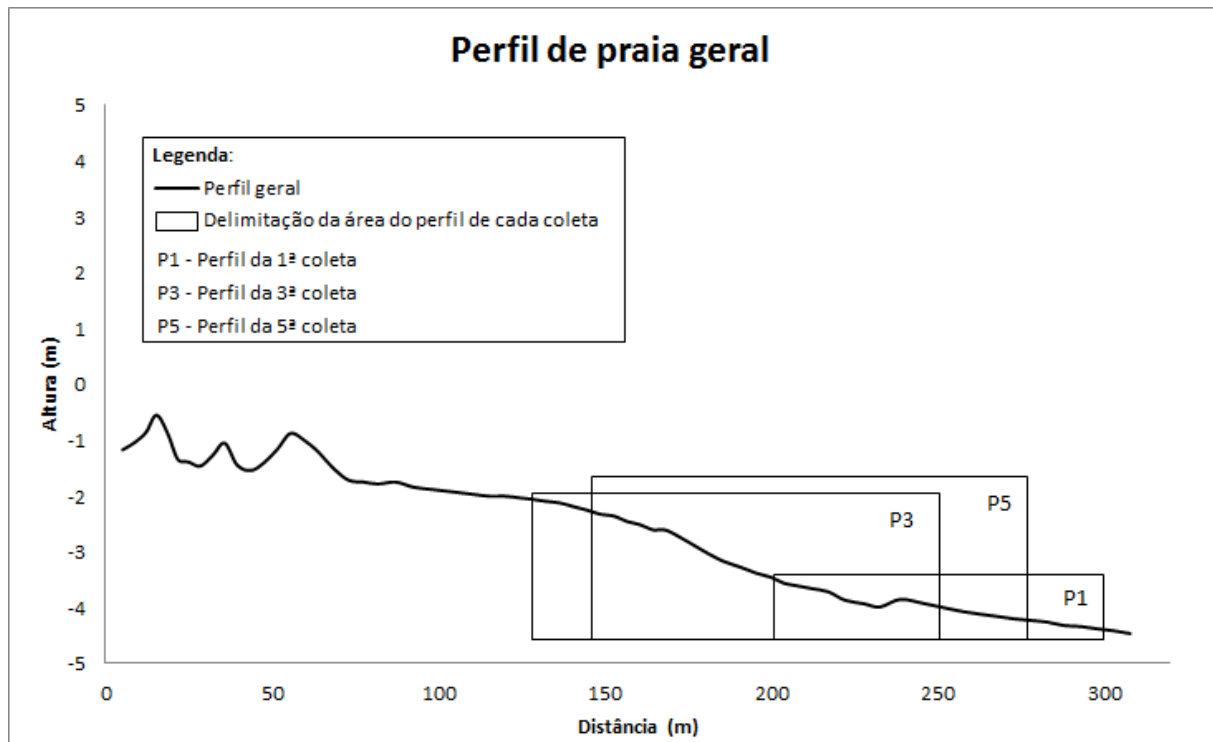


Figura 06 – Perfil de praia em frente à EMA com as demarcações de cada perfil sujeito à respectiva condição de mar.

## DADOS DE SEDIMENTO

Os perfis com suas respectivas áreas e vazões do transporte de sedimentos observados nas 3 coletas podem ser visualizados na figura 07 e os fluxos nas secções entre as estações assim como ao longo de toda secção úmida podem ser observados na tabela 03. O menor fluxo total (ao longo de todo o perfil) do transporte de sedimento foi de  $1,99 \text{ m}^3/\text{h}$  no cenário de menor energia de onda (vaga NE), enquanto que o maior valor ( $15,44 \text{ m}^3/\text{h}$ ) foi observado no cenário de maior energia de onda (ondulação SE).

Na 1ª coleta, a taxa do transporte total foi próxima à obtida por Fontoura (2004) na mesma área do perfil em frente à EMA e as áreas das secções entre as estações também foram similares. Aquele autor usou a mesma metodologia no que diz respeito à coleta de sedimentos e encontrou um valor de  $1,92 \text{ m}^3$  de areia/h, para um perfil em posição muito próxima do atual. Pode-se também observar que o transporte encontrado pelo autor ocorreu durante uma condição de mar muito semelhante à observada neste trabalho, ou seja:  $H_s = 3,6 \text{ m}$ ,  $T = 9 \text{ s}$  e direção de propagação =  $62^\circ$ , todos estes valores foram obtidos em águas profundas, como no caso atual.

Isto ressalta a coerência dos dados de sedimento obtidos *in situ* para esta condição de mar. As outras duas condições de mar apresentadas neste trabalho (3ª e 5ª coletas) não foram testadas no trabalho de Fontoura (2004).

As taxas de transporte de sedimentos das secções entre as estações E4 e E3 foram os dados escolhidos para a comparação com os do modelo, pois: (i) como o espaçamento da malha foi de 35 m, essas estações estavam distantes uma da outra em torno desse valor; (ii) e são a região transversal mais próxima da linha de praia em que a área úmida apresenta profundidade relativamente boa par ao desenvolvimento da corrente longitudinal e assim do transporte de sedimento.

Tabela 03 – Vazões do transporte de sedimentos (Q) correspondentes às secções úmidas entre as estações e a vazão total (Qt) ao longo de toda a secção.

Coleta	Q entre as estações (m <sup>3</sup> /h)				Qt (m <sup>3</sup> /h)
	Q (BI-E4)	Q (E4-E3)	Q (E3-E2)	Q (E2-E1)	
1ª	0,01	0,28	0,82	0,87	1,99
3ª	0,17	5,77	2,20	2,84	10,98
5ª	2,89	10,15	2,29	0,12	15,44

De acordo com Lima *et al.* (2001) os cenários de ondas provenientes de S/SE estão associados a fenômenos de tempestades, principalmente no inverno, e apresentam condições energéticas superiores aos casos de E/NE, por isso as condições de onda oriundas do quadrante S/SE tendem a transportar mais sedimentos. Isto também foi observado neste trabalho. Os valores de sedimento coletados em cada *trap* e estação podem ser visualizados no Anexo 1.

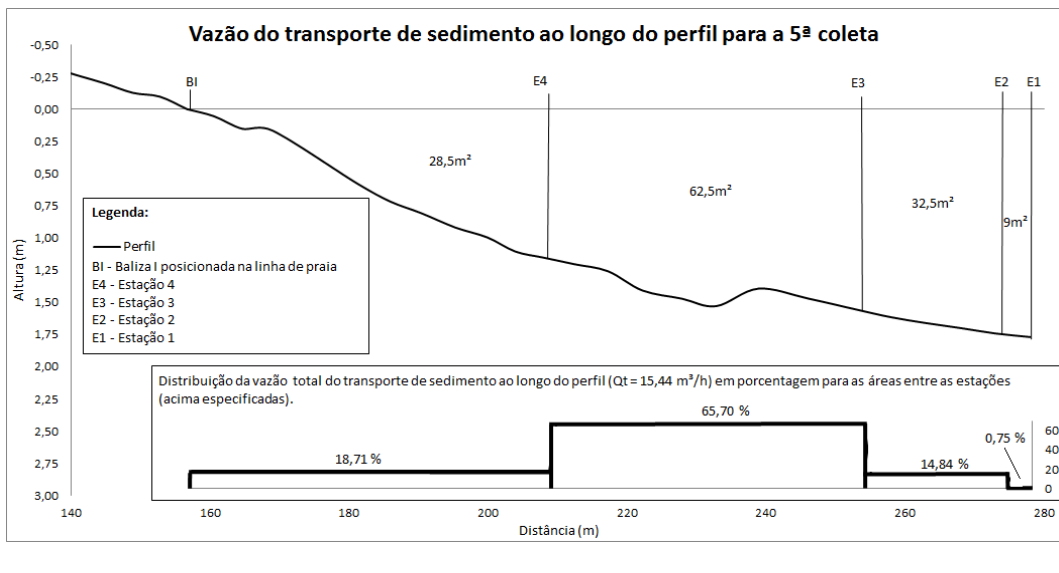
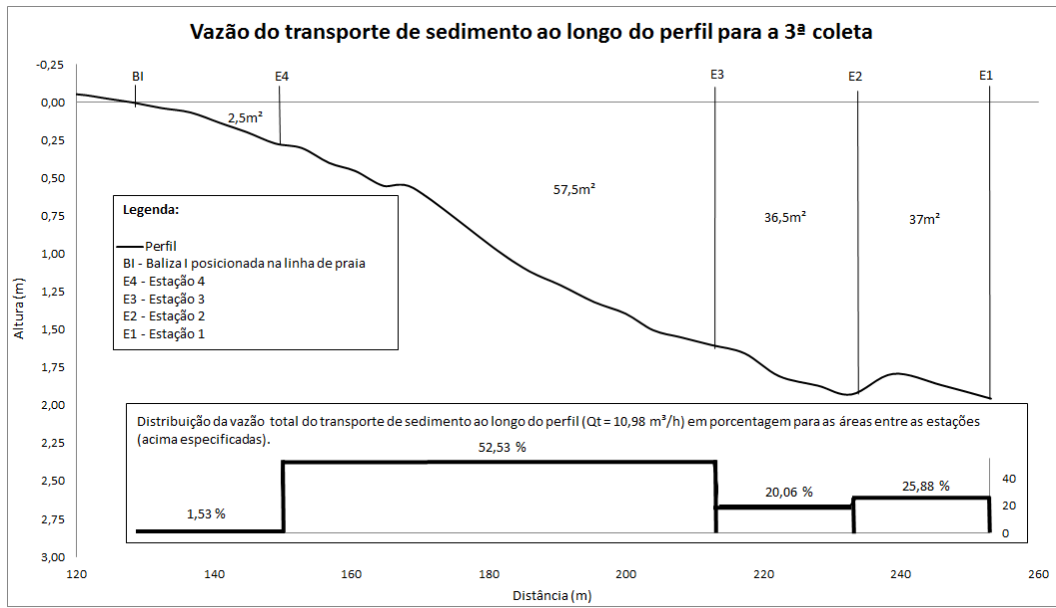
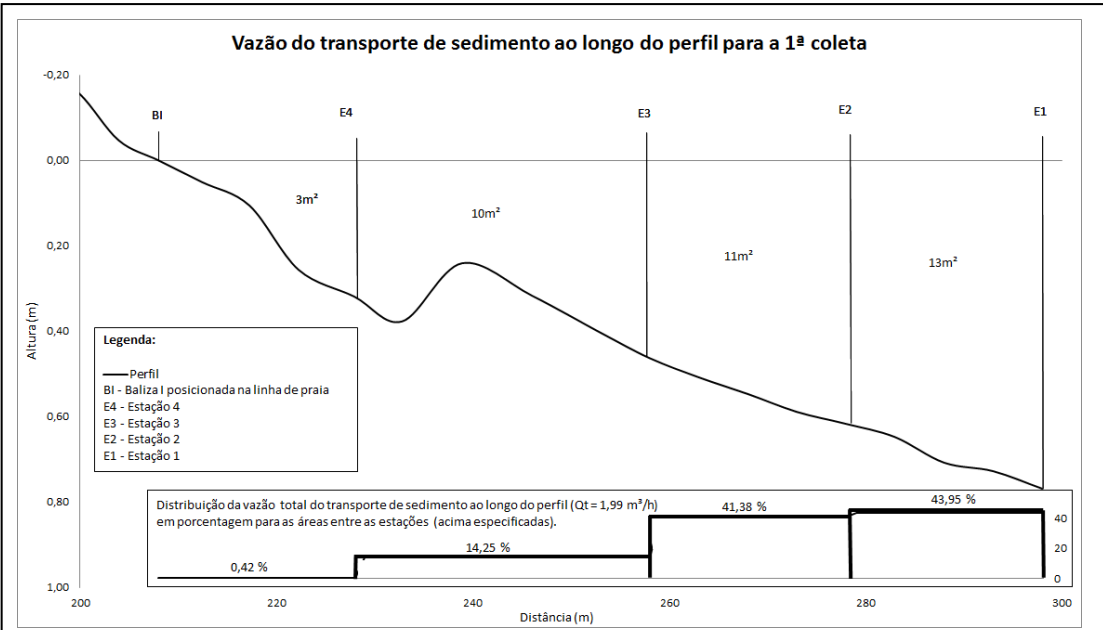




Figura 07 – Perfis com as áreas e percentuais das vazões entre as estações nas 3 coletas.

### Calibração e validação do modelo Eros-sp

Na calibração foram feitas várias simulações (46 no total) para cada cenário (12 para o cenário B, 15 para o cenário E e 19 para o cenário F). Os parâmetros utilizados na modelagem e os resultados para comparação estão descritos na tabela 04.

Tabela 04 – Parâmetros usados na entrada do modelo e valores do transporte de sedimentos medidos *in situ* e obtidos na modelagem.

Data da coleta		12/03/2011	07/05/2011	29/05/2011	Indicação	
Tipo de mar		Vaga ENE	Ondulação S	Ondulação SE	-	
Malha	Espaçamento (m)	$\Delta X$	35		Ajustado	
		$\Delta Y$	35		Ajustado	
Espectro	Profundidade (m)		15		Ajustado	
	Período (s)		9	15,8	12,8	Ajustado
	Hs (m)		2,2	4,5	5,2	Ajustado
	Frequência de pico (Hz)		0,11	0,06	0,07	Ajustado
	Direção (°)		86	160	141	Ajustado
	Parâmetro de dispersão (°)		20	15	5	Ajustado
	Nº de componentes		15		Default	
Corrente	Tempo (s)	Intervalo	5	2	2	Ajustado
		Total	50	830	60000	Ajustado
	Coeficiente de Nikuradse		1,8		Ajustado	
	Viscosidade de Eddy (m <sup>2</sup> /s)		10		Default	
Transporte de sedimento	Características do sedimento	D50 (mm)	0,125		Ajustado	
		D90 (mm)	0,25		Ajustado	
		$\phi$ (°)	35		Ajustado	
		$\rho_s$ (ton/m <sup>3</sup> )	2,65		Default	
		Porosidade	0,35		Default	
		$\sigma_d$	1,2		Default	
	Características da água	$\rho_w$ (ton/m <sup>3</sup> )	1,025		Default	
		$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	0,000001		Default	
	Duração do evento (h)		12		Default	
	Máxima variação do fundo (m)		0,1		Default	
Comparação dos transportes de sedimento (m <sup>3</sup> /h)		<i>In situ</i>	0,28	5,77	10,15	-
		Eros-sp	0,13	8,50	5,87	-

Como dito anteriormente no capítulo 1, os 3 modelos do Mopla já foram validados por trabalhos anteriores em âmbito internacional e no Brasil, mais especificamente no RS, os resultados do modelo Eros-sp foram validados por Sprovieri *et al.* (2010) para a praia do Cassino. Estes encontraram para o modelo valores de 5,94275 m<sup>3</sup>/h (perfil em frente à EMA), e de 0,79955 e 0,78821 m<sup>3</sup>/h para outros dois perfis mais próximos ao molhe oeste. Esses resultados foram similares aos observados nos cenários de ondulação SE e vaga NE, respectivamente.

Os cenários calibrados apresentaram resultados diversos, mas todos tiveram uma boa correlação uma vez que permaneceram com mesma ordem de grandeza (discrepância máxima de aproximadamente o dobro dos valores). Os resultados do modelo para os cenários de vaga NE e ondulação SE apresentaram valores subestimados de aproximadamente metade do que se obteve *in situ*. Já o resultado do cenário da ondulação S apresentou valor superestimado.

As limitações do modelo que não consideram parâmetros que influenciam a morfodinâmica e hidrodinâmica local como: o vento que é um agente com grande influencia no transporte superficial de sedimentos como mencionado na literatura; as diferentes classes granulométricas (incluindo sedimentos coesivos – silte e argila), sendo usado apenas um valor médio de grão e este se refere ao sedimento não coesivo (areia); as dunas (tamanhos e tipos); e aportes de sedimentos oriundos de corpos aquosos continentais (lagunas, rios, sangradouros). Todos podem afetar os resultados tanto superestimando como subestimando, pois a complexidade de se obter a taxa mais real possível do transporte de sedimentos causa um agregado de fatores que interagem entre si levando a diversos transportes. Assim como os dados medidos em campo também têm suas limitações, as do modelo podem apresentar-se até mais coerentes com o real mesmo não considerando aqueles fatores devido a toda essa interação complexa.

De um modo geral esta calibração apresentou resultados satisfatórios para a modelagem da areia, podendo assim ser usado para o litoral do RS utilizando os parâmetros calibrados para uma primeira análise. Porém, devido à restrição de saídas de campo perante uma condição unimodal de onda, a calibração e validação do modelo foram um tanto quanto prejudicadas por não apresentar maior número de coletas por cenário para gerar maior quantidade de dados que pudessem dar suporte para uma análise estatística mais segura sobre o modelo.

## CONCLUSÕES

Apesar das dificuldades em se encontrar uma metodologia que integre toda a coluna d'água desde o ponto onde o transporte de sedimento torna-se significativo até a linha de praia, ou seja, que abranja toda a zona de arrebentação, e das limitações impostas pelo modelo utilizado, os resultados encontrados têm sua significância servindo como base para estimativas importantes em trabalhos futuros.

O modelo Eros-sp apresentou-se eficiente quando se analisam que seus resultados foram bastante próximos aos medidos em campo, consideradas a ordem de grandeza dos valores estimados e a complexidade de se obter as taxas reais de transporte de sedimentos. Assim, conclui-se que o modelo pode ser aplicado ao longo da costa do RS utilizando os parâmetros

calibrados com o objetivo de que nos próximos trabalhos a serem conduzidos nesta região se possa fazer uma estimativa do transporte longitudinal costeiro por setores definidos da costa, bem como, tentar estabelecer as regiões litorâneas que apresentam processos erosivos, acrescivos ou que se encontram em estágio de equilíbrio dinâmico. Porém, vale-se fazer duas ressalvas: primeiro quanto ao número de coletas feitas por cenário que resulta na fragilidade estatística da calibração e validação do modelo; e segundo quanto a alguns problemas que surgiram durante a utilização dos modelos e também resultados não esperados, como o aparecimento de correntes e de transporte de sedimentos em áreas além da zona de arrebentação que serão discutidos no próximo capítulo.

## CAPÍTULO 3

# ESTIMATIVA DO TRANSPORTE DE SEDIMENTO AO LONGO DOS LITORAIS MÉDIO E NORTE DO RIO GRANDE DO SUL

## INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores responsáveis pelas características morfológicas das praias do litoral do Rio Grande do Sul é a transferência lateral de sedimentos (deriva litorânea de sedimentos) que, por sua vez, é gerada basicamente pelas ondas que incidem obliquamente sobre a linha de costa (Tomazelli & Villwock 1992). Por esta razão, o estudo do transporte sedimentar costeiro, principalmente o transporte longitudinal, é alvo não apenas de pesquisadores, mas também de engenheiros entre outros profissionais que estão vinculados às obras de engenharia costeira que interferem nos padrões de circulação litorânea.

Assim, este trabalho tem como objetivo estimar o transporte de sedimento para cada setor que subdivida o litoral norte do Rio Grande do Sul em trechos de linha de costa com ângulos similares em relação ao norte, aplicando modelos numéricos que propagam dados espectrais de onda para analisar indicativos de erosão, acreção ou estabilidade em cada setor.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

A área de estudo corresponde ao trecho de costa compreendido entre os municípios de São José do Norte, próximo a embocadura da Lagoa dos Patos ( $32^{\circ}0'25,96''\text{S}$  e  $52^{\circ}2'11,29''\text{W}$ ), e Torres, próximo a barra do rio Mampituba ( $29^{\circ}19'29,22''\text{S}$  e  $49^{\circ}45'29,15''\text{W}$ ) (figura 01). Sua extensão denota aproximadamente 402 km de litoral.

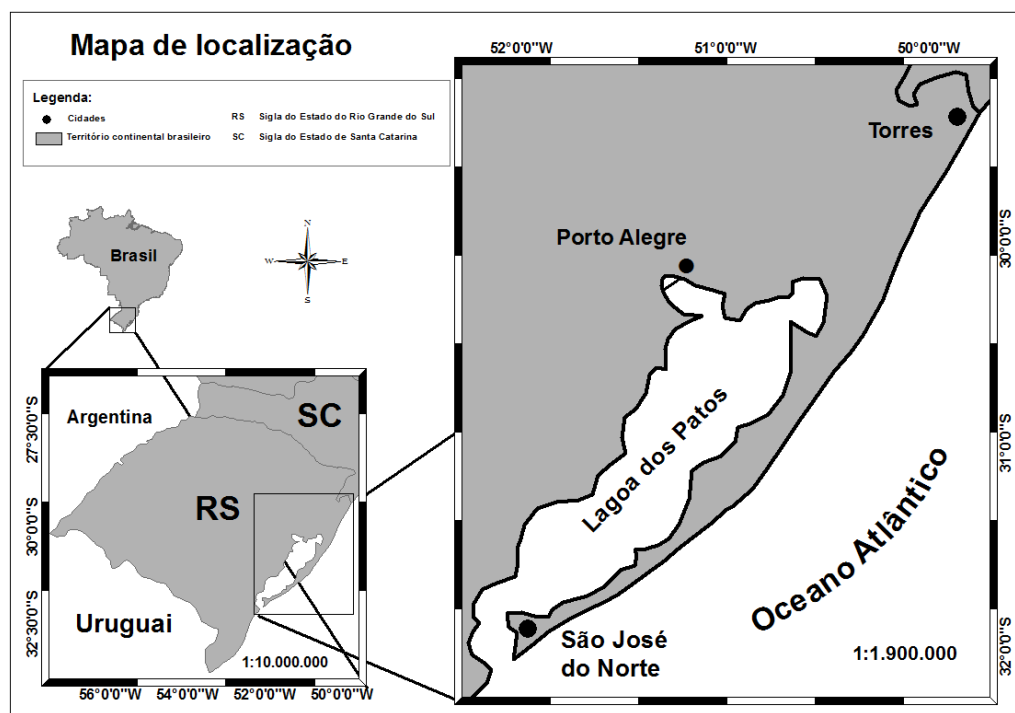


Figura 01– Mapa de localização da área de estudo compreendida entre os municípios de São José do Norte e Torres, do litoral do Rio Grande do Sul.

Este trabalho segue como uma continuação do capítulo 1, sendo que os mesmos modelos também foram usados. Sobre estes, resumidamente, pode se dizer que o módulo Mopla (*Morfodinâmica de playas*) é composto por 3 modelos espectrais de onda que se interligam usando os dados de saída um do outro na seguinte sequência de execução: Oluca-sp, modelo que é uma ligeira combinação dos modelos de refração e difração, baseado na aproximação parabólica da equação de declive suave (GIOC 2003d,e, González *et al.* 2007); Copla-sp, modelo de correntes induzidas pela quebra da onda que resolve as equações da conservação de massa e momento verticalmente integradas em duas dimensões horizontais, deduzidas a partir das equações de Navier-Stokes; e o Eros-sp, modelo de erosão-sedimentação e evolução da batimetria em praias, resolve a equação de fluxos de sedimento na zona de surfe. Todos esses modelos fazem parte do módulo de “*Análisis a corto plazo de playas*” (Acordes) (escala temporal de até 72 h) que é integrado à ferramenta de interface gráfica conhecida como SMC (*Sistema de Modelado Costero*), desenvolvida pelo *Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas* (GIOC) da *Universidad de Cantabria* (GIOC 2003a). A descrição completa e as equações dos modelos podem ser encontradas em GIOC (2003b,c,d,e).

Primeiramente foi feita a divisão da costa norte em setores segundo os ângulos em relação ao norte, partindo em seguida para as simulações numéricas e posteriormente para a análise quanto ao estágio deposicional em cada setor. O fluxograma abaixo mostra resumidamente essas etapas.

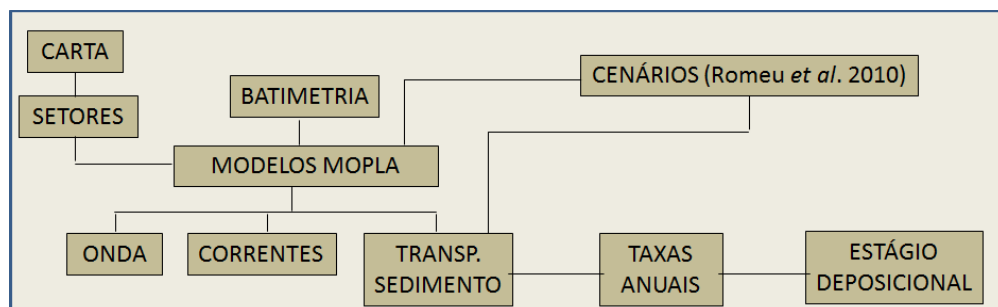


Figura 02 – Fluxograma mostrando um resumo das etapas do trabalho.

### Setorização dos litorais médio e norte

Para a divisão da costa em setores foi utilizada a carta náutica de nº 90 que abrange desde Santa Catarina até Maldonado, no Uruguai, disponibilizada gratuitamente pelo site da DHN – Marinha do Brasil. Sabe-se que a carta náutica é um desenho geral que não apresenta o contorno real da linha de costa (precisão e atuais das feições de praia) e sua projeção favorece a distorção à medida que se alcança maiores latitudes. Assim, o uso da carta náutica torna-se pouco preciso, sendo que para se obter o contorno mais real é recomendável utilizar as imagens de satélite cujas resoluções espaciais definem melhor as feições de costa. Porém, aqui foi utilizada a carta devido à falta de recursos (como softwares) no laboratório que são usados para a análise de imagens de satélite.

A metodologia é bem simples: traçaram-se linhas retas, paralelas à linha de costa informada pela carta, em que cada trecho de linha corresponde a uma direção predominante da linha de costa com relação ao N geográfico. O critério adotado para a divisão foi unicamente a mudança significativa do ângulo, sendo, portanto, não usados outros parâmetros e/ou

geoindicadores como largura da antepraia, largura do campo de dunas, erosão, etc. Um mapa foi gerado para mostrar essa divisão em setores nomeados em sequência numérica com ordem crescente de Torres a São José do Norte.

### Simulação numérica

O primeiro procedimento tomado foi o de compor a batimetria para abranger todo o domínio batimétrico da região oceânica do litoral norte. Para isso foi feita a digitalização das cartas náuticas da DHN – Marinha do Brasil de nº 2101 (Porto de Rio Grande), 2100 (Mostardas a Rio Grande), 23500 (Pinhal a Rio Grande) e 23400 (Imbituba a Pinhal), incluindo as linhas de costa e de topografia, e os molhes na embocadura da lagoa dos Patos usando o Surfe 8.0 que é acoplado ao SMC, partindo em seguida para a interpolação usando o método *kriging*. Devido à falta de dados batimétricos mais próximo à praia, não houve um maior detalhamento como ocorreu na área do Cassino no trabalho do capítulo 2, uma vez que apenas foram usados os dados das cartas náuticas cujos pontos de profundidade são muito espaçados e não há informações para as profundidades menores onde se encontra a área de maior interesse do trabalho, ou seja, onde atuam as correntes por quebra da onda que geram o transporte de sedimento na zona de surfe.

A batimetria foi dividida por setor e carregada no Mopla de forma que sua malha computacional foi localizada em um trecho de costa representativo do setor (nas praias adjacentes às grandes embocaduras como o rio Mampituba e as laguna de Tramandaí e dos Patos, e em áreas que apresentam estudos relacionados ao estágio deposicional como Conceição, Solidão, Estreito e Mostardas), com comprimento de aproximadamente 15 km de costa, fronteira externa localizada em torno da batimétrica de 15 m, e com uma direção que abrangesse todas as cinco direções de onda segundo os limites do modelo.

Na sequência, os dados espectrais de onda, baseados nas condições de mar de cada cenário característico do clima de ondas para a região do RS encontrados por Romeu *et al.* (2010) para águas profundas (tabela 01), foram transformados para a profundidade de 15 m pela lei de Snell e carregados no Mopla através de um espectro de frequência (TMA). O cenário C não foi simulado por apresentar direção preferencial de W e não ter influência direta na costa.

Tabela 01 – Cenários, tipos de mares, posição central do conjunto direção e período, e o percentual de ocorrência de cada cenário. Modificado de Romeu *et al.* (2010).

Cenário	Tipo de mar	Direção (°)	Período (s)	% de ocorrência
A	Ondulação ENE	75,5	8,3	25,8
B	Vaga ENE	67,2	5,3	16,9
C	Vaga W	290,4	4,4	5,6
D	Vaga S	178	5,4	8,6
E	Ondulação S	171,8	10,1	27,3
F	Ondulação SE	130,3	13	15,8

Basicamente, os parâmetros gerais de entrada usados nas simulações foram os mesmos do capítulo 1 para os cenários B, E e F, com uma modificação: o tamanho do grão foi alterado conforme a granulometria de cada setor encontrada na literatura (tabela 02). Já para os cenários A e D que não puderam ser calibrados foram atribuídos os parâmetros dos cenários que

apresentavam mares com direção próxima, ou seja, para o cenário A (ondulação de ENE) foram usados os parâmetros do cenário B (vaga ENE) e para o cenário D (vaga S) foram usados os parâmetros do cenário E (ondulação S), sendo que novamente os dados de sedimento foram modificados para cada setor, conforme mostra a tabela 02.

Tabela 02 – Dados de sedimento (D50) usados em cada setor conforme a literatura.

Setor	Local	D50 (mm)	Fonte
1	Torres	0,177	Figueiredo & Calliari (2006)
2	Tramandaí/Imbé	0,210	Figueiredo & Calliari (2006)
3	Solidão	0,210	Barletta (1997)
4	Mostardas	0,210	Barletta (1997)
5	Conceição	0,210	Siegle (1996)
6	Estreito	0,250	Siegle (1996)
7	São José do Norte	0,149	Siegle (1996) / Figueiredo & Calliari (2006)

Com todos os dados de *input* carregados foram feitas as simulações para cada condição de mar em cada setor. Após as simulações, os resultados obtidos de onda (Hs), correntes (direção e intensidade) e o transporte potencial de sedimento (intensidade e direção) para cada cenário e em cada setor foram salvos em figuras para melhor visualização. Os dados de transporte de sedimento foram retrabalhados para obtenção dos transportes líquidos anuais para cada setor a partir da frequência de ocorrência anual encontrada por Romeu *et al.* (2010) (ver tabela 01).

Com esses resultados pôde-se obter um mapa com as derivas litorâneas e fazer a análise do balanço sedimentar para cada setor identificando aqueles em que há erosão, acresção ou estabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados em ordem de obtenção e por etapas, conforme metodologia.

### Setorização dos litorais médio e norte

O litoral norte apresentou uma extensão de aproximadamente 405 km. A divisão desse litoral resultou em 7 setores cujas extensões aproximadas foram: setor 1, 76 km; setor 2, 73,5 km; setor 3, 82 km; setor 4, 70,5 km; setor 5, 35 km; setor 6, 35 km; e setor 7, 36 km. Os ângulos da linha de costa variaram de 23° (setor 2, mais ao norte) até 60° (setor 6, mais ao sul) (ver tabela 03). A figura 03 mostra o mapa dos setores com seus respectivos ângulos.



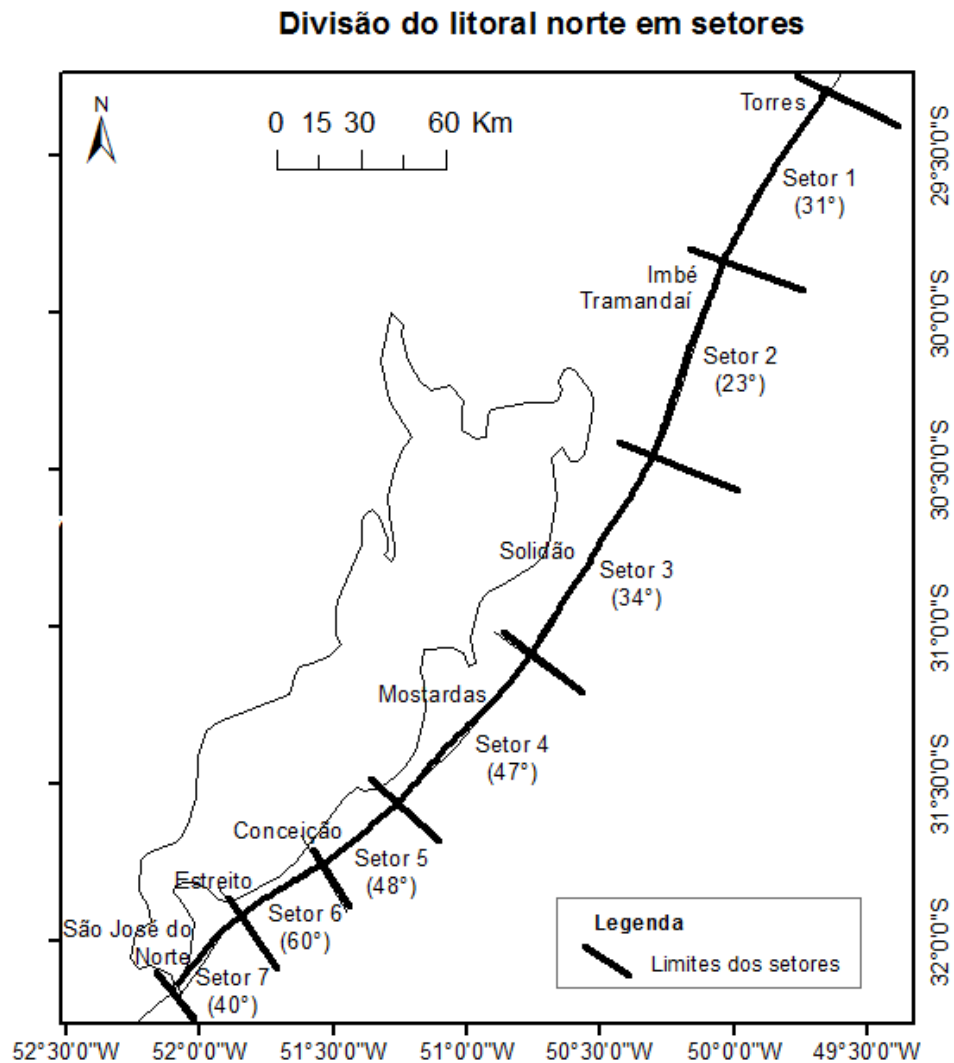


Figura 03 – Mapa com a divisão do litoral norte em 7 setores.

Motta (2011) dividiu o litoral médio do RS (trecho de costa compreendido entre a desembocadura da lagoa dos Patos até a praia de Dunas Altas) em 12 trechos, que chamou de células, usando imagens LandSat e seguiu o mesmo padrão aplicado neste trabalho, ou seja, pela variação dos ângulos da linha de praia em relação ao norte. Comparando ambos os resultados, pôde-se observar quanto ao número de trechos que Motta (2011) obteve 5 trechos a mais, isto pode estar relacionado ao fato do autor ter usado imagens de satélite que são muito mais precisas e atuais que o desenho da carta náutica. Devido a isso, os setores 5, 4 e 3 englobaram, respectivamente, as células: 3 e 4; 5 à 7; e 8 à 11. Os setores 7 e 6 corresponderam espacialmente às células 1 e 2, respectivamente, enquanto que a célula 12 correspondeu à metade do setor 2 e o setor 1 não foi comparado devido sua localização ser mais ao norte de Dunas Altas. Quanto aos ângulos, pôde-se observar que foram relativamente próximos, sendo que a maior diferença foi obtida no setor 6 com aproximadamente 5° a mais que a célula 2. Novamente estas diferenças podem ser explicadas pela diferença da carta náutica para a imagem de satélite. O ângulo do setor 1 foi de 31°. E nos setores com mais de uma célula (5, 4 e 3), verificou-se que havia uma célula com valor próximo ao do setor (células 4, 6 e 10, respectivamente, em **negrito**) como mostra a tabela 03.

Tabela 03 – Comparação entre os ângulos dos setores e das células de Motta (2011).

Motta (2011)		Neste trabalho	
Célula	Ângulo (°)	Setor	Ângulo (°)
12	18,43	1/2 sul do 2	23
11	25,41	3	34
<b>10</b>	<b>33,39</b>		
9	32,01		
8	29,44	4	47
7	39,78		
<b>6</b>	<b>46,06</b>		
5	40,63	5	48
<b>4</b>	<b>48,79</b>		
3	56,58	6	60
2	54,78	7	40
1	40,39		

### Simulação numérica

Foram simulados 5 casos de onda para cada um dos 7 setores totalizando 35 simulações obtendo dados de onda, corrente e transporte de sedimento em cada. Estes resultados serão discutidos separadamente por setor, sendo analisados em conjunto os 5 casos de onda.

Convencionou-se o sentido SW como negativo (-) e o sentido NE como positivo (+). As figuras seguem o seguinte padrão: (a) malha com batimetria do setor; (b) cenário B; (c) cenário E; (d) cenário F; (e) cenário A; e (f) cenário D.

### ONDAS

No geral, em todas as figuras de altura de onda para todos os setores, pôde-se observar que as ondas seguiram o padrão de se posicionarem paralelamente à costa, pois como a batimetria não apresentou grandes mudanças e/ou a presença de obstáculos (como parcéis e ilhas) que pudessem provocar difração das ondas, estas se posicionaram paralelas às isóbatas. Apenas no setor 7 houve uma pequena interferência nessa distribuição, devido a presença dos molhes da barra que afetam as ondas próximas a ele.

A maior diferença observada foi entre os cenários, em que nas ondulações S (E) e SE (F), por apresentarem maior energia de ondas, estas começaram a sentir o fundo em profundidades maiores, desde a fronteira externa (em torno dos 15 m de profundidade), enquanto que nos cenários cujas direções são ENE (B e A) e a vaga de S, por ser de baixa energia, as alturas começaram a diminuir próximo à linha de praia, em torno da isóbata de 5 m.

Um detalhe observado foi que a partir do momento que as ondas sentiram o fundo estas já passaram a sofrer diminuição na altura. Isto pode estar relacionado com os parâmetros de dissipação por quebra de onda empregada por Thornton & Guza (1983) e pelo fundo (camada limite turbulenta) que foram usados no modelo uma vez que este inclui obrigatoriamente algum tipo de dissipação.

As figuras das ondas serão mostradas mais adiante quando for abordado o transporte de sedimento para cada setor.

### *CORRENTES*

Em todos os setores as correntes dos cenários B e A apresentaram intensidades medianas, com faixa situada em profundidades próxima a menores que 5 m, isto pode ser explicado pelo fato da onda apenas sofrer quebra próximo à linha de praia e assim gerar fracas correntes nos sentidos SW e NE. A direção das correntes foi predominantemente perpendicular à costa, isto pode indicar ou não uma falha do modelo. Para isso seria necessário maiores estudos sobre essa questão.

Já os cenários E e F apresentaram as maiores intensidades e seguiram a direção NE, como esperado, por apresentarem nível energético de onda bem elevado, pois trata-se de ondulações com grandes períodos. Apenas no setor 7, devido aos molhes, as correntes do cenário E se dispuseram em duas faixas: uma próxima a linha de praia (a partir da profundidade de 5 m) e a outra em torno das profundidades de 12,5 à 15 m. Nos demais, houve apenas uma faixa de corrente situada próxima à linha de praia (variando entre 0 à 10 ou 5 m de profundidade). Já o cenário F apresentou uma faixa com campo de corrente bastante extensa compreendendo toda a malha, sendo que as correntes mais intensas se dispuseram próximas a linha de praia (variando entre 10 e 5 m a 0 de profundidade), com exceção dos setores 1 e 7 que apresentaram distribuição por igual em toda a malha. Essa presença de correntes em grandes profundidades também pode está incorreta, uma vez que se conhece que o modelo usa apenas correntes geradas dentro da zona de surfe e esta não chega a abranger toda essa área mesmo em eventos extremos. Essa é outra questão a ser analisada com mais detalhes em outros estudos, pois esta geração de correntes não coerentes com as zonas de surfe também influencia no surgimento de transporte de sedimento nessas áreas como será observado mais adiante.

O cenário D apresentou as menores intensidades, com faixa presente em torno das isóbatas de 5 a 0 m, e houve uma distinção nas direções: na maioria dos setores (2, 3, 4, 5 e 7) a direção predominante foi a de NE, condizente com o esperado; porém nos setores 1 e 6, as correntes tomaram a direção SW, isto pode ser explicado considerando a batimetria como o fator principal no caso da energia de onda ser muito baixa fazendo com que as correntes sejam conduzidas pelas feições de fundo gerando vórtices que as induzam a tomar outras direções.

A tabela 04 mostra os valores máximos de intensidade das correntes em módulo para cada cenário e setor. Da mesma forma que as ondas, todas as figuras das correntes serão mostradas mais adiante, na sequência, quando for abordado o transporte de sedimento para cada setor.

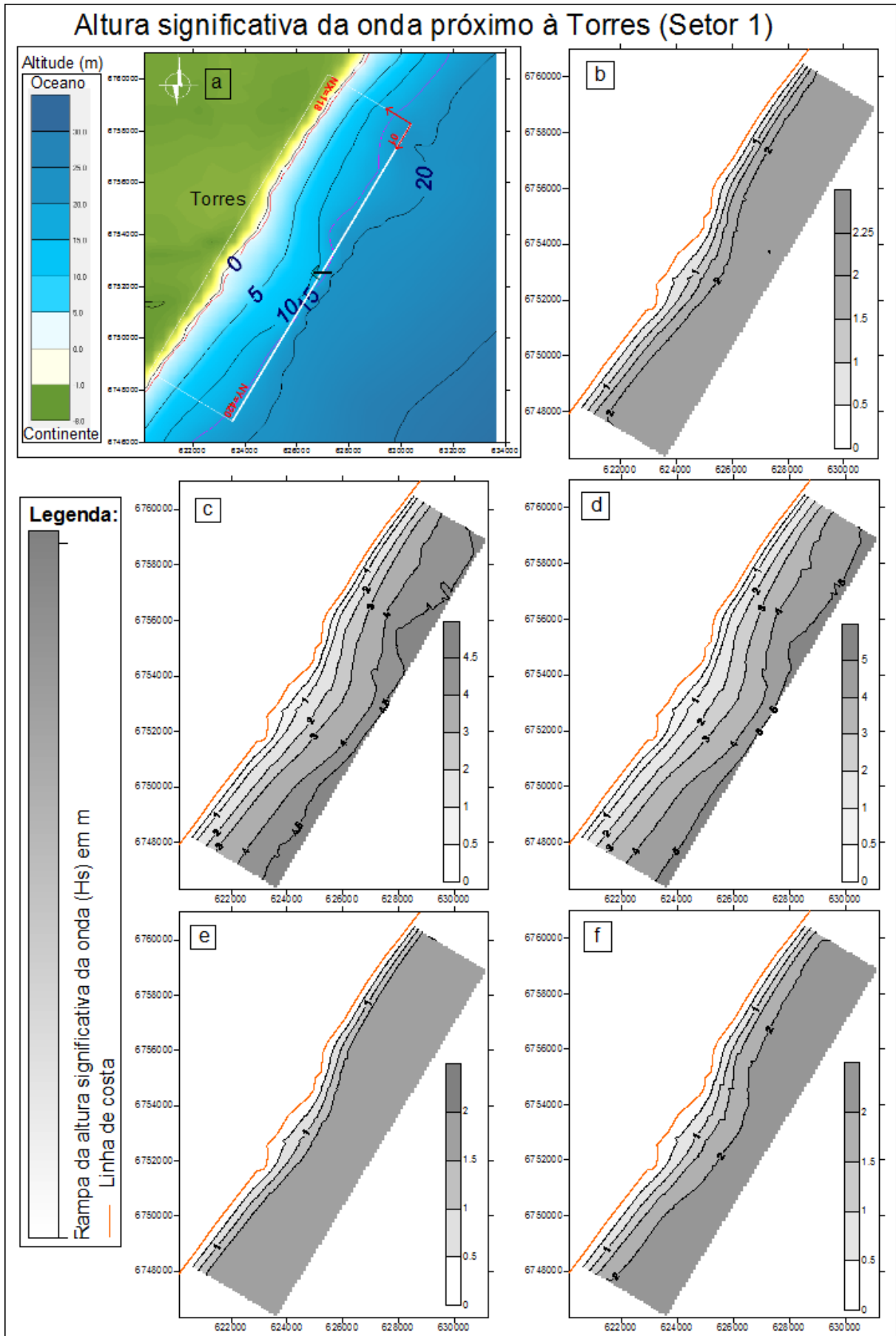
Tabela 04 – Velocidades máximas das correntes alcançadas em cada cenário para cada setor.

Cenário	Intensidade máxima (m/s) por setor						
	1	2	3	4	5	6	7
B	0,13	0,18	0,17	0,14	0,17	0,16	0,36
E	0,16	0,45	0,34	0,52	0,25	0,26	0,40
F	0,23	0,44	0,37	0,54	0,31	0,29	0,58
A	0,13	0,15	0,16	0,12	0,15	0,12	0,17
D	0,10	0,14	0,09	0,11	0,08	0,11	0,16

## *TRANSPORTE DE SEDIMENTO*

### *Setor 1*

A seguir são apresentadas as figuras de onda, correntes e transporte de sedimento com os cinco cenários simulados para o setor 1.



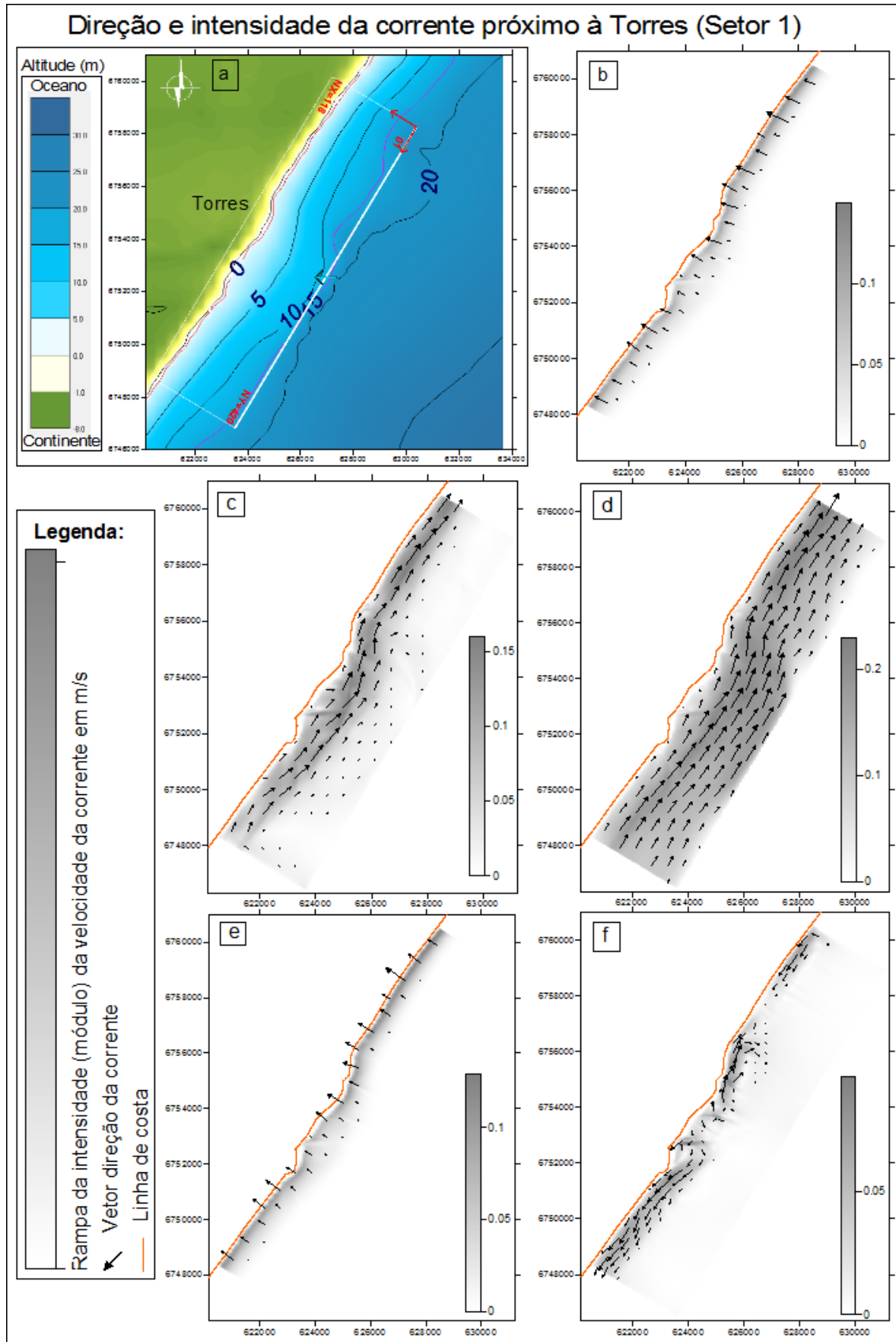


Figura 05 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 1, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.

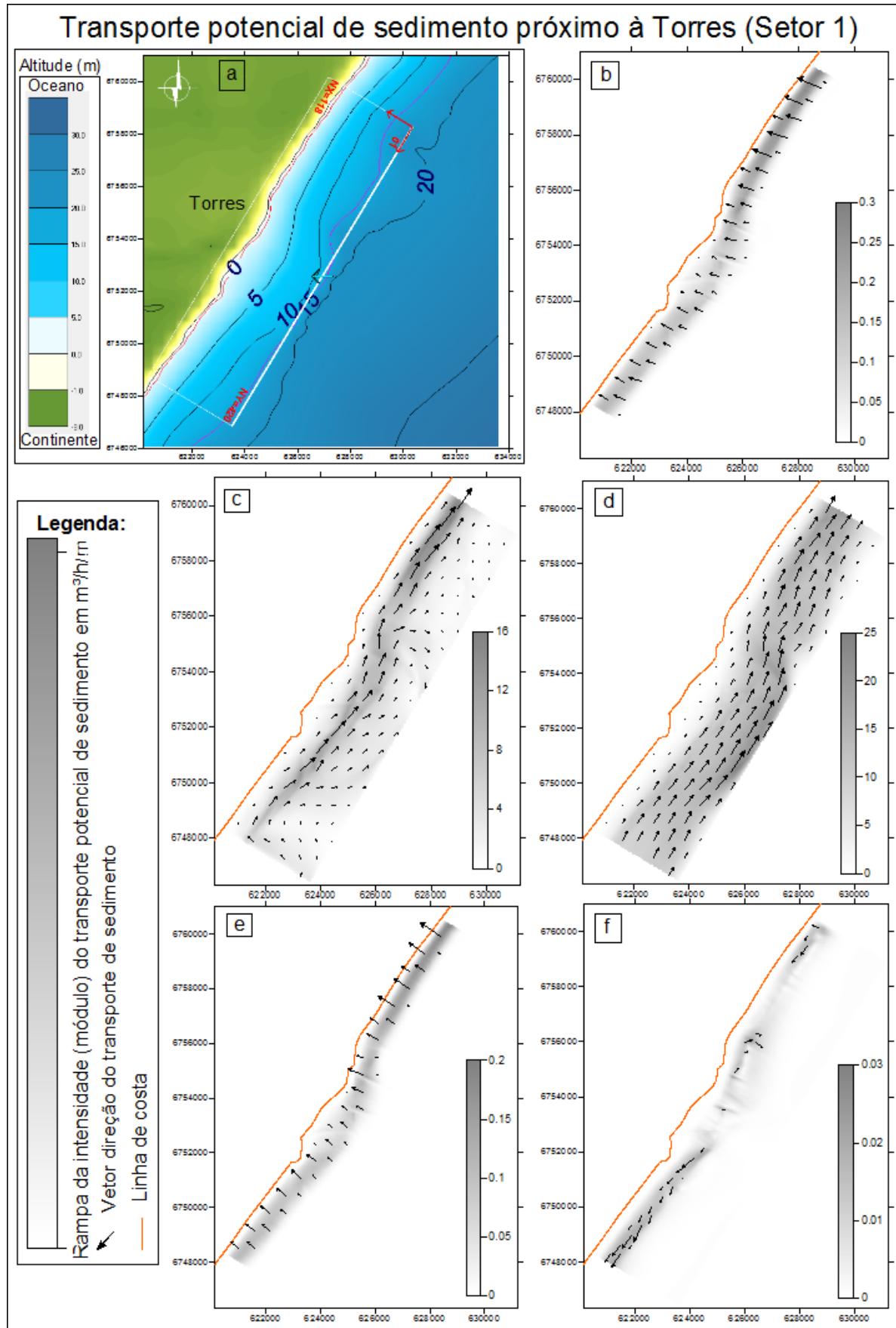


Figura 06 – Mapas dos transportes de sedimento de cada condição de mar para o setor 1, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.

A malha do setor 1 ficou localizada em torno da embocadura do rio Mampituba, em Torres. Na figura 03 podem ser observados os transportes de sedimento de cada condição de mar e sua malha. Nota-se que nos cenários de vaga (b) e ondulação (e) ENE, o transporte seguiu a direção de quebra de onda, ou seja, perpendicular à costa, bem próximo à linha de praia e com valores relativamente baixos (máximo de  $-0,29$  e  $0,19$   $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ , respectivamente). A vaga S (f) apresentou a menor taxa (máximo de  $-0,02$   $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ ), isto pode ser explicado devido ao seu menor nível energético de onda dentre todos os 5 mares aplicados. Pôde-se observado também uma situação curiosa nesse cenário: a direção do transporte não seguiu a esperada (NE), isto pode ter ocorrido devido a sua baixa energia de onda tornando a batimetria um fator prioritário sobre o transporte, levando este a seguir a direção SW. Já as ondulações de S (c) e SE (d) apresentaram os maiores valores de transporte como o esperado ( $15,64$  e  $24,39$   $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ , respectivamente), com transporte líquido para NE, pois foram os casos mais energéticos o que possibilita maior transporte tanto na intensidade quanto espacialmente devido a faixa de surfe alargasse conforme aumenta o nível de energia da onda. A zona de surfe está mais afastada da linha de praia podendo esta sofrer influência da batimetria local, sendo que a faixa de maior intensidade de transporte ocorre entre as isóbatas de 2,5 e 5 m para o cenário E e entre as isóbatas 10 e 15 m, bem próximo a fronteira da malha, para o cenário F.

## *Setor 2*

A seguir são apresentadas as figuras de onda, correntes e transporte de sedimento com os cinco cenários simulados para o setor 2.



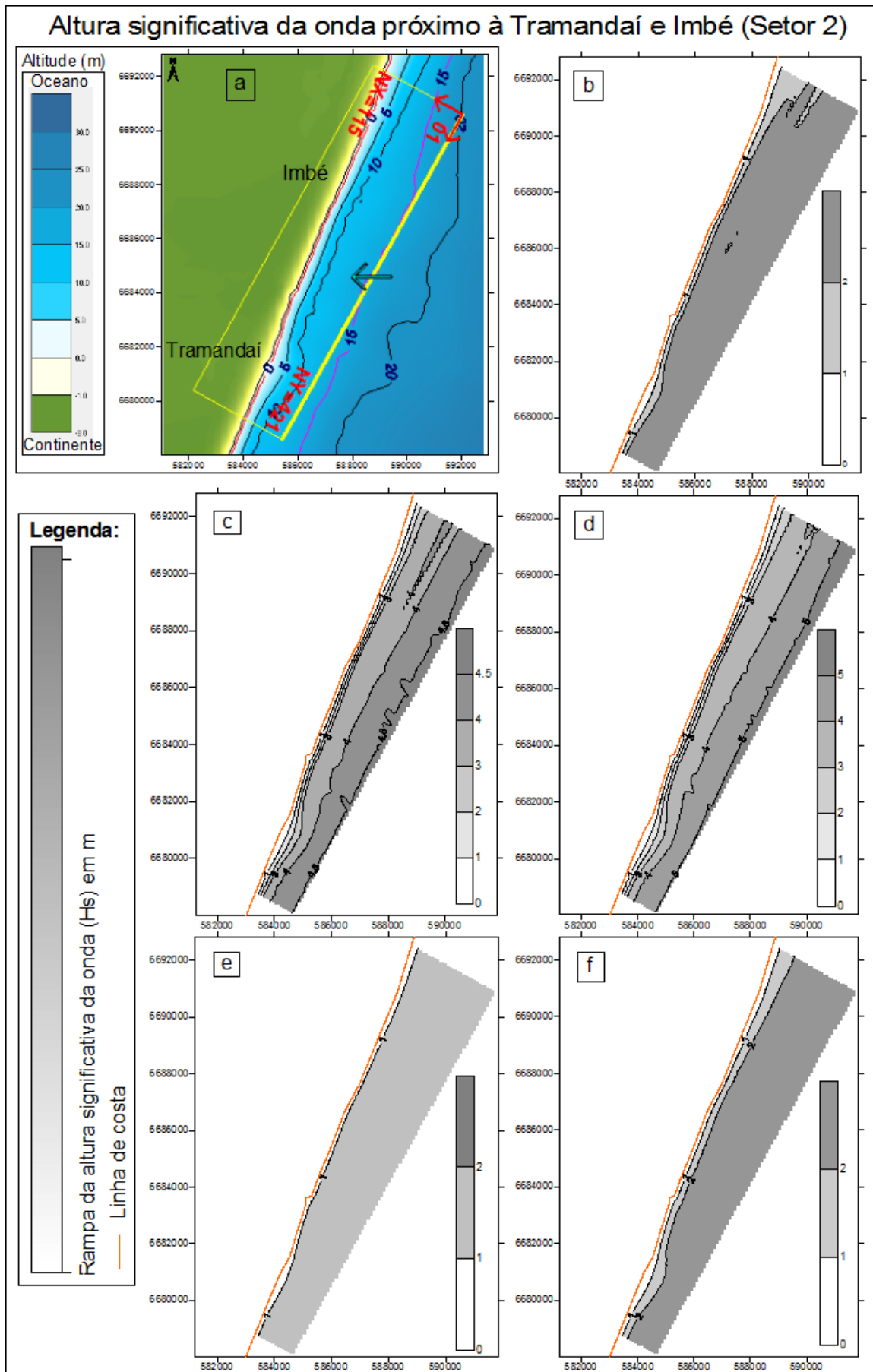


Figura 07 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 2, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.

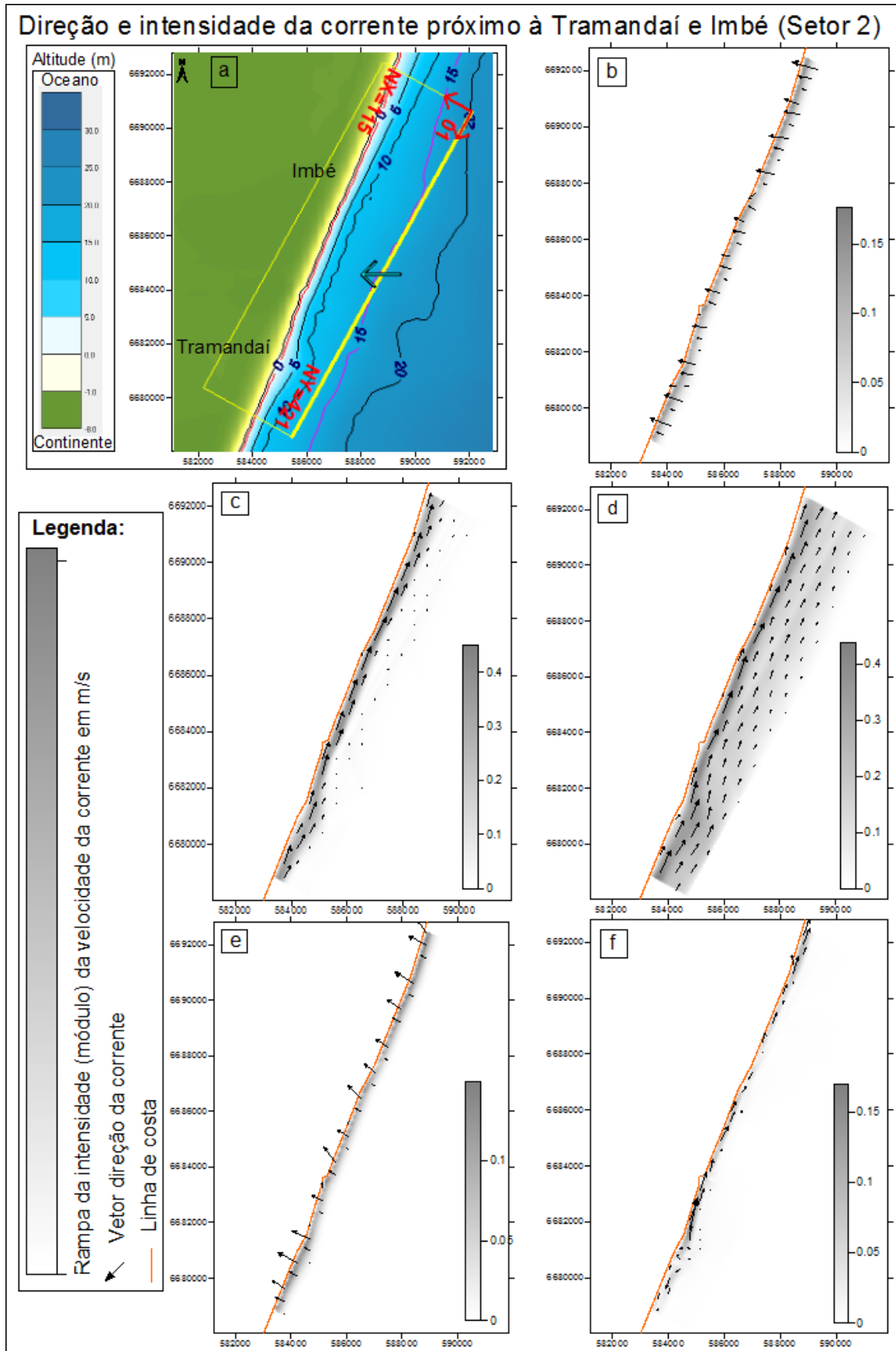


Figura 08 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 2, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.

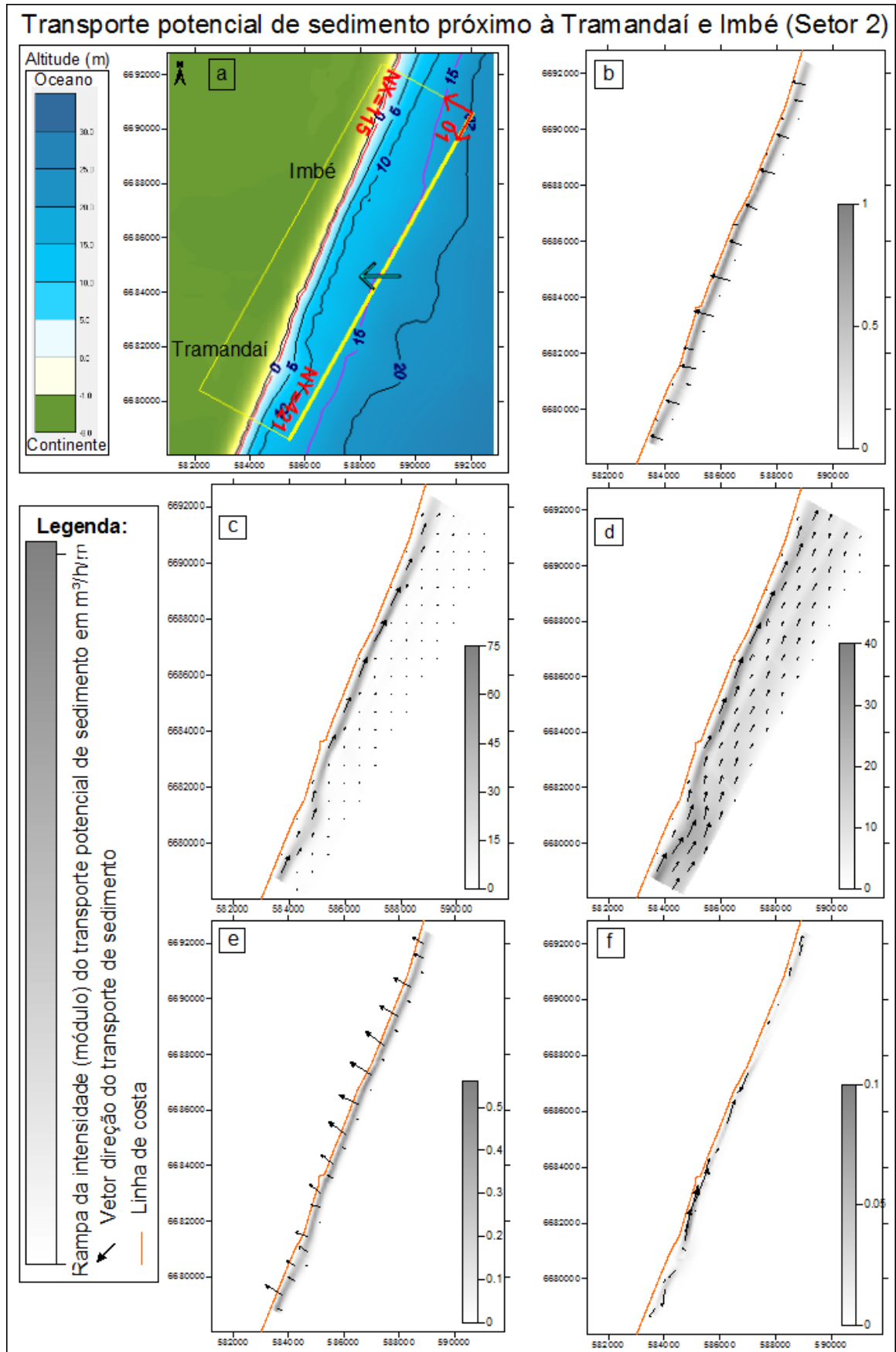
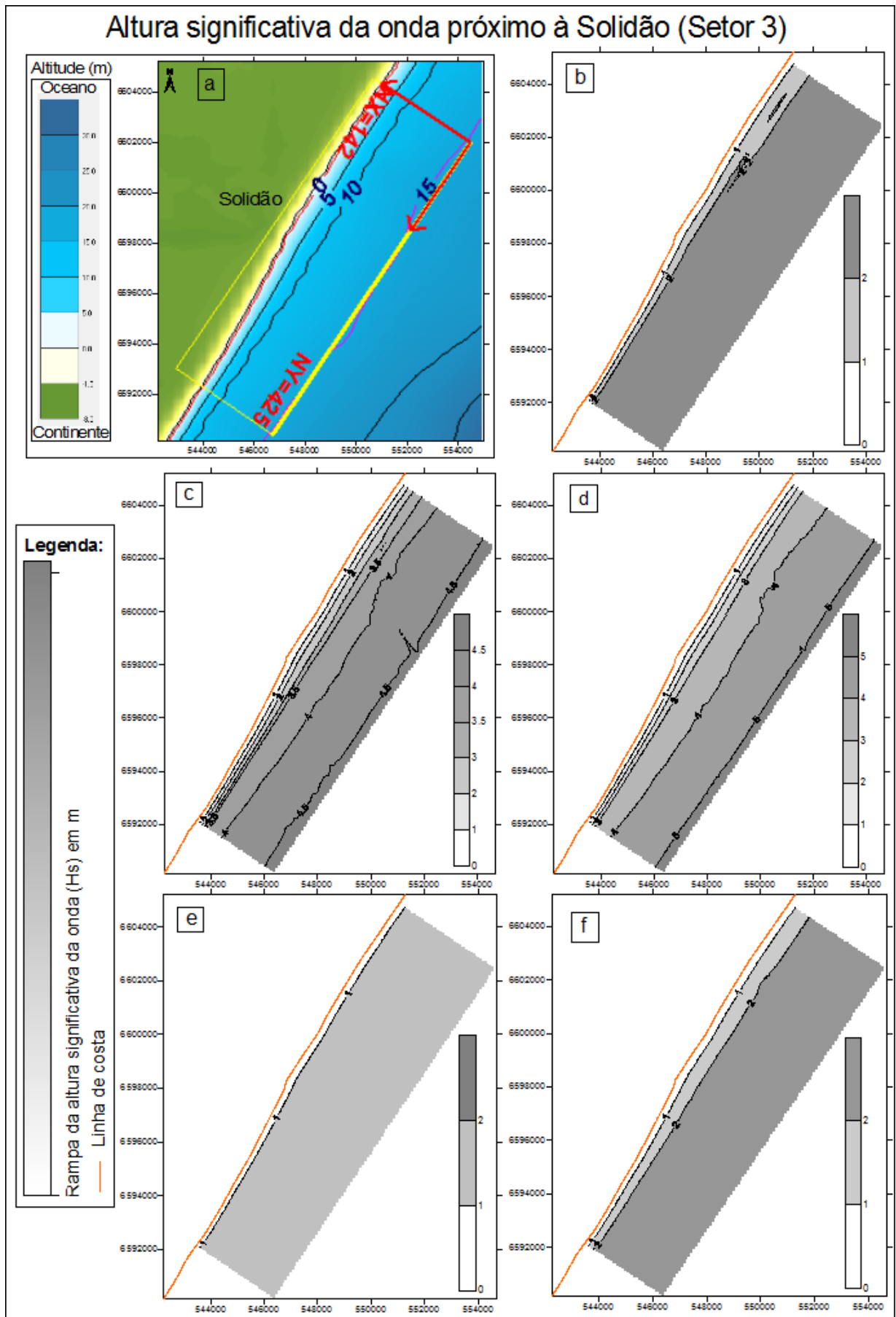


Figura 09 – Mapas dos transportes de sedimento de cada condição de mar para o setor 2, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.

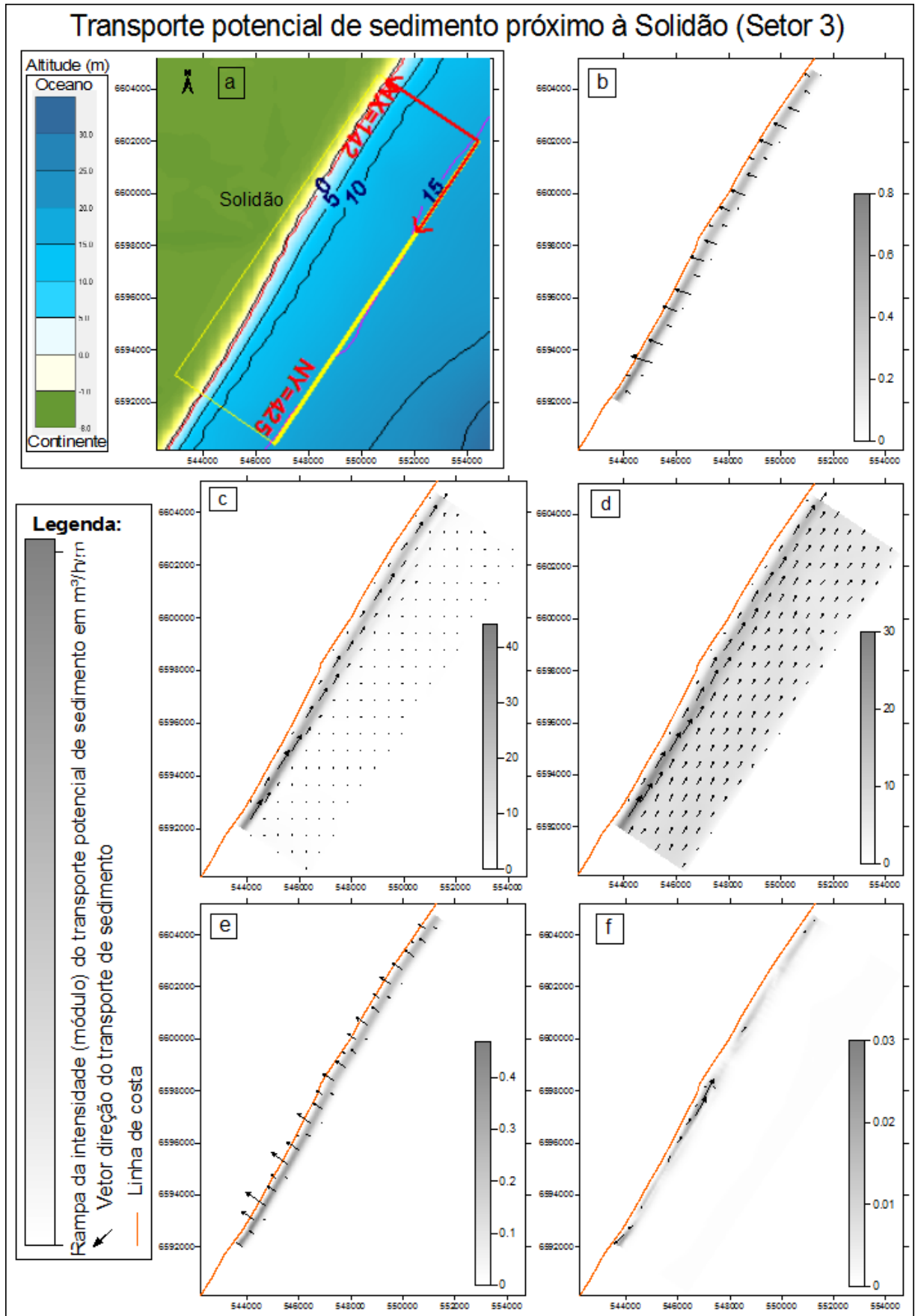
A malha do setor 2 englobou as praias de Tramandaí e Imbé. Na figura 04 podem ser observados os transportes de sedimento de cada condição de mar e sua malha. Nos cenários de vaga (b) e ondulação (e) ENE, o transporte seguiu a direção de quebra de onda, ou seja, perpendicular à costa, com faixa de transporte bem próximo à linha de praia (em torno das isóbatas de 5 e 0 m) e com valores relativamente baixos (máximo de -1,01 e 0,56 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente). A vaga S (f) apresentou a menor taxa (máximo de 0,10 m<sup>3</sup>/h/m), isto pode ser explicado devido esta apresentar menor energia de onda comparado aos 4 cenários, e sua direção de maior magnitude (resultante) seguiu a esperada (NE), apesar de apresentar outras direções ao longo do trecho, podendo estar relacionado com a batimetria que se torna prioritária sobre o transporte quando na presença de baixa energia de onda proporcionado. Já as ondulações de S (c) e SE (d) apresentaram os maiores valores de transporte como o esperado (máximo de 74,71 e 38,87 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente), com transporte líquido para NE, pois foram os casos mais energéticos o que possibilita maior transporte tanto na intensidade quanto espacialmente devido a faixa de surfe alargasse conforme aumenta o nível de energia da onda. O cenário E mostrou algo interessante: apresentou uma faixa com maior transporte próximo a linha de praia (em torno das isóbatas de 10 a 0 m), parecido como nos casos de ENE, porém houve transporte de menor intensidade (em torno de 1 m<sup>3</sup>/h/m) até a fronteira da malha. Já no cenário F essa faixa de maior transporte estendeu-se até a fronteira da malha.

### *Setor 3*

A seguir são apresentadas as figuras de onda, correntes e transporte de sedimento com os cinco cenários simulados para o setor 3.







A malha do setor 3 englobou as praias próximas do farol de Solidão. Na figura 05 podem ser observados os transportes de sedimento de cada condição de mar e sua malha. Nos cenários de vaga (b) e ondulação (e) ENE, o transporte seguiu a direção de quebra de onda, ou seja, perpendicular à costa, com faixa de transporte bem próximo à linha de praia (em torno das isóbatas de 5 e 0 m) e com valores relativamente baixos (máximo de -0,76 e 0,47 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente). A vaga S (f) apresentou a menor taxa (máximo de -0,03 m<sup>3</sup>/h/m), isto pode ser explicado devido ao seu menor nível energético de onda dentre todos os 5 mares aplicados, e sua direção de maior magnitude (resultante) foi SW e não a esperada (NE), igual como no setor 1, isto pode ter ocorrido devido a sua baixa energia de onda tornando a batimetria um fator prioritário sobre o transporte. Já as ondulações de S (c) e SE (d) apresentaram os maiores valores de transporte como o esperado (máximo de 43,46 e 30,02 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente), com transporte líquido para NE, devido apresentarem maior nível energético de onda o que possibilita maior transporte tanto na intensidade quanto espacialmente (a faixa de surfe alargasse conforme aumenta o nível de energia da onda). O cenário E, como também ocorreu no setor 2, apresentou uma faixa com maior transporte próximo a linha de praia (em torno das isóbatas de 5 a 0 m), parecido como nos casos de ENE, porém houve transporte de menor intensidade (em torno de 0,5 m<sup>3</sup>/h/m) até a fronteira da malha. Já no cenário F essa faixa de maior transporte estendeu-se até a fronteira da malha.

#### *Setor 4*

A seguir são apresentadas as figuras de onda, correntes e transporte de sedimento com os cinco cenários simulados para o setor 4.





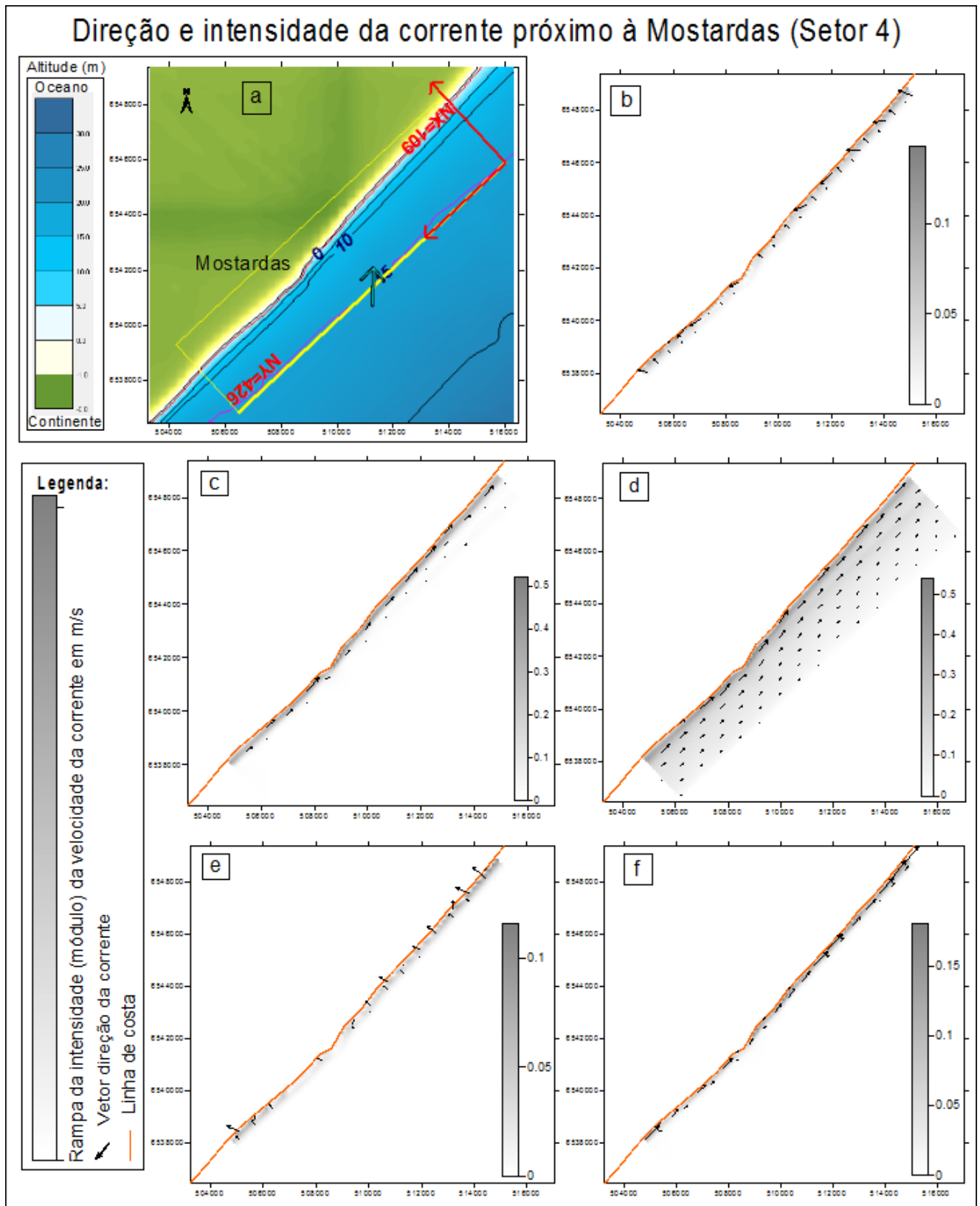


Figura 14 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 4, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.



A malha do setor 4 abrangeu o litoral em torno de Mostardas. Na figura 06 podem ser observados os transportes de sedimento de cada condição de mar e sua malha. Nos cenários de vaga (b) e ondulação (e) ENE, o transporte seguiu a direção de quebra de onda, ou seja, perpendicular à costa, com faixa de transporte bem próximo à linha de praia (em torno das isóbatas de 5 e 0 m) e com valores relativamente baixos (máximo de -0,98 e -0,52 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente). A vaga S (f) apresentou a menor taxa (máximo de 0,17 m<sup>3</sup>/h/m), isto pode ser explicado devido esta apresentar menor energia de onda comparado aos 4 cenários, e sua direção de maior magnitude (resultante) seguiu a esperada (NE). Já as ondulações de S (c) e SE (d) apresentaram os maiores valores de transporte como o esperado (máximo de 89,69 e 56,95 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente), com transporte líquido para NE, pois foram os casos mais energéticos o que possibilita maior transporte tanto na intensidade quanto espacialmente devido a faixa de surfe alargasse conforme aumenta o nível de energia da onda. O cenário E, novamente, apresentou uma faixa com maior transporte próximo a linha de praia (em torno das isóbatas de 10 a 0 m), parecido como nos casos de ENE, porém houve transporte de menor intensidade (em torno de 0,40 m<sup>3</sup>/h/m) até a fronteira da malha. Já no cenário F essa faixa de maior transporte estendeu-se até a fronteira da malha.

#### *Setor 5*

A seguir são apresentadas as figuras de onda, correntes e transporte de sedimento com os cinco cenários simulados para o setor 5.

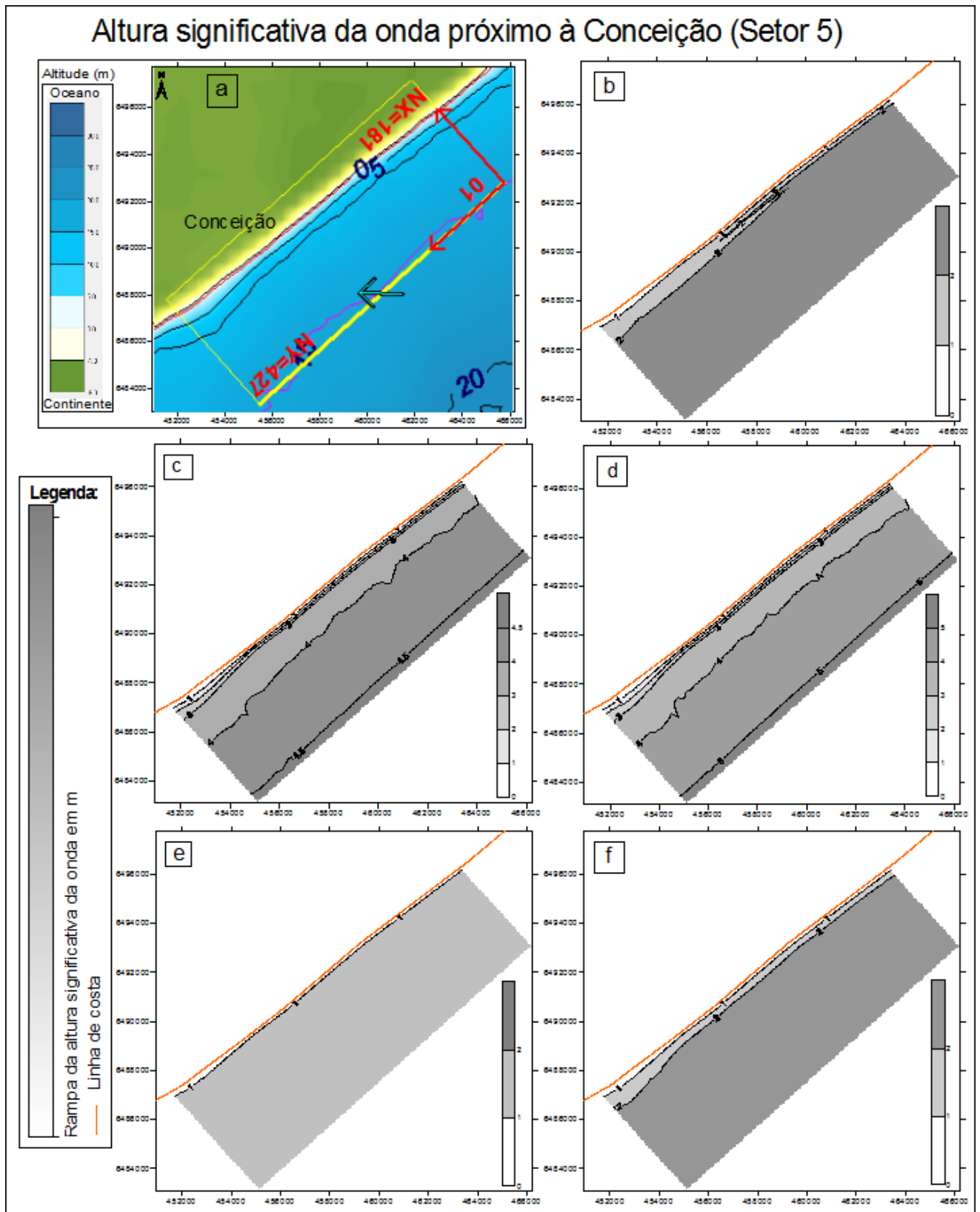


Figura 16 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 5, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.

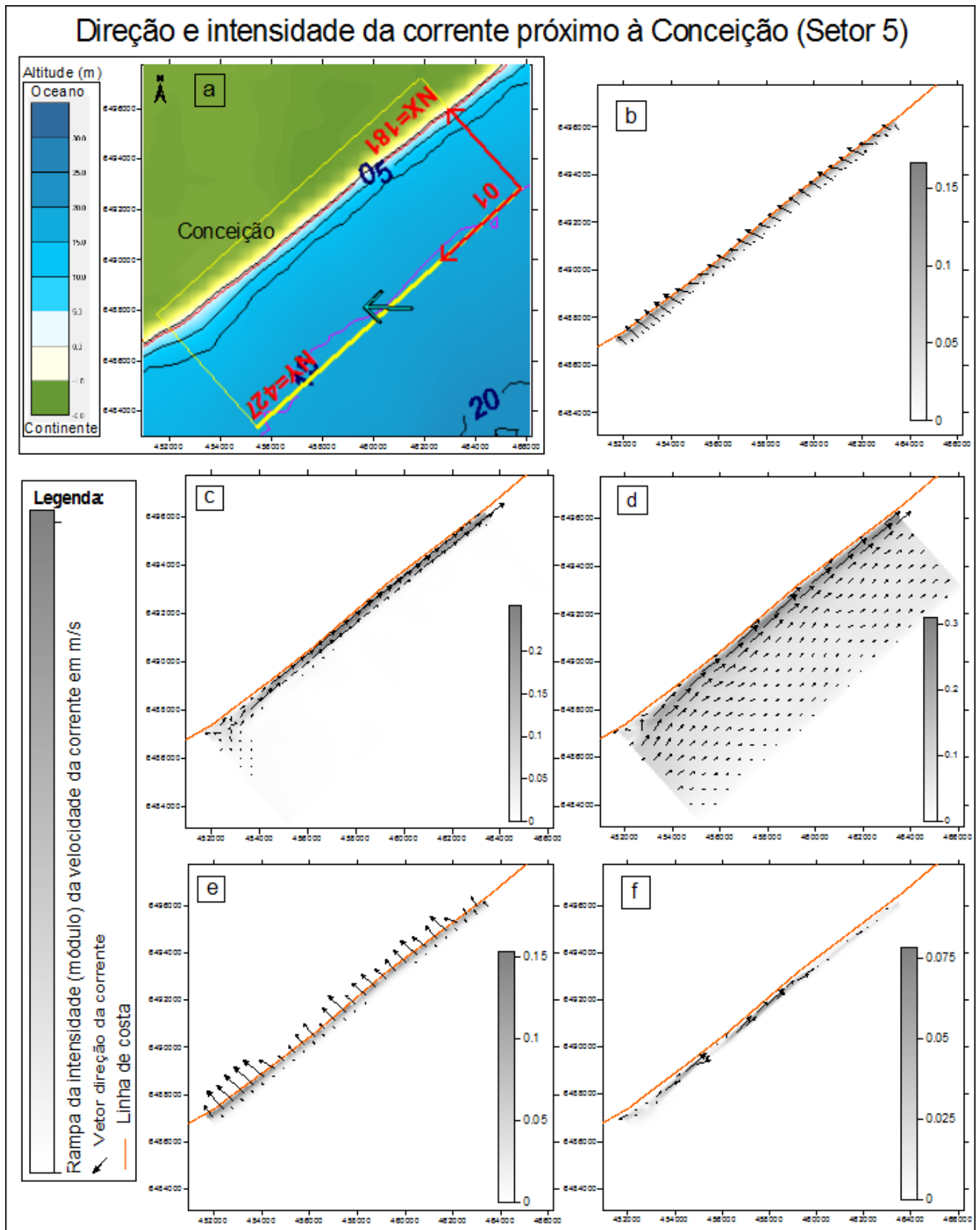


Figura 17 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 5, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.



A malha do setor 5 abrangeu o litoral em torno do Farol da Conceição. Na figura 07 podem ser observados os transportes de sedimento de cada condição de mar e sua malha. Nos cenários de vaga (b) e ondulação (e) ENE, o transporte seguiu a direção de quebra de onda, ou seja, perpendicular à costa, com faixa de transporte bem próximo à linha de praia (em torno das isóbatas de 5 e 0 m) e com valores relativamente baixos (máximo de -0,84 e -0,56 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente). A vaga S (f) apresentou a menor taxa (máximo de 0,05 m<sup>3</sup>/h/m), isto pode ser explicado devido esta apresentar menor energia de onda comparado aos 4 cenários, e sua direção de maior magnitude (resultante) seguiu a esperada (NE). Já as ondulações de S (c) e SE (d) apresentaram os maiores valores de transporte como o esperado (máximo de 37,49 e 26,16 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente), com transporte líquido para NE, pois foram os casos mais energéticos o que possibilita maior transporte tanto na intensidade quanto espacialmente devido a faixa de surfe alargasse conforme aumenta o nível de energia da onda. O cenário E, assim como nos setores 2, 3 e 4, também apresentou uma faixa com maior transporte próximo a linha de praia (em torno das isóbatas de 5 a 0 m), parecido como nos casos de ENE, porém houve transporte de menor intensidade (em torno de 0,20 m<sup>3</sup>/h/m) até a fronteira da malha. Já no cenário F essa faixa de maior transporte estendeu-se até a fronteira da malha.

### *Setor 6*

A seguir são apresentadas as figuras de onda, correntes e transporte de sedimento com os cinco cenários simulados para o setor 6.



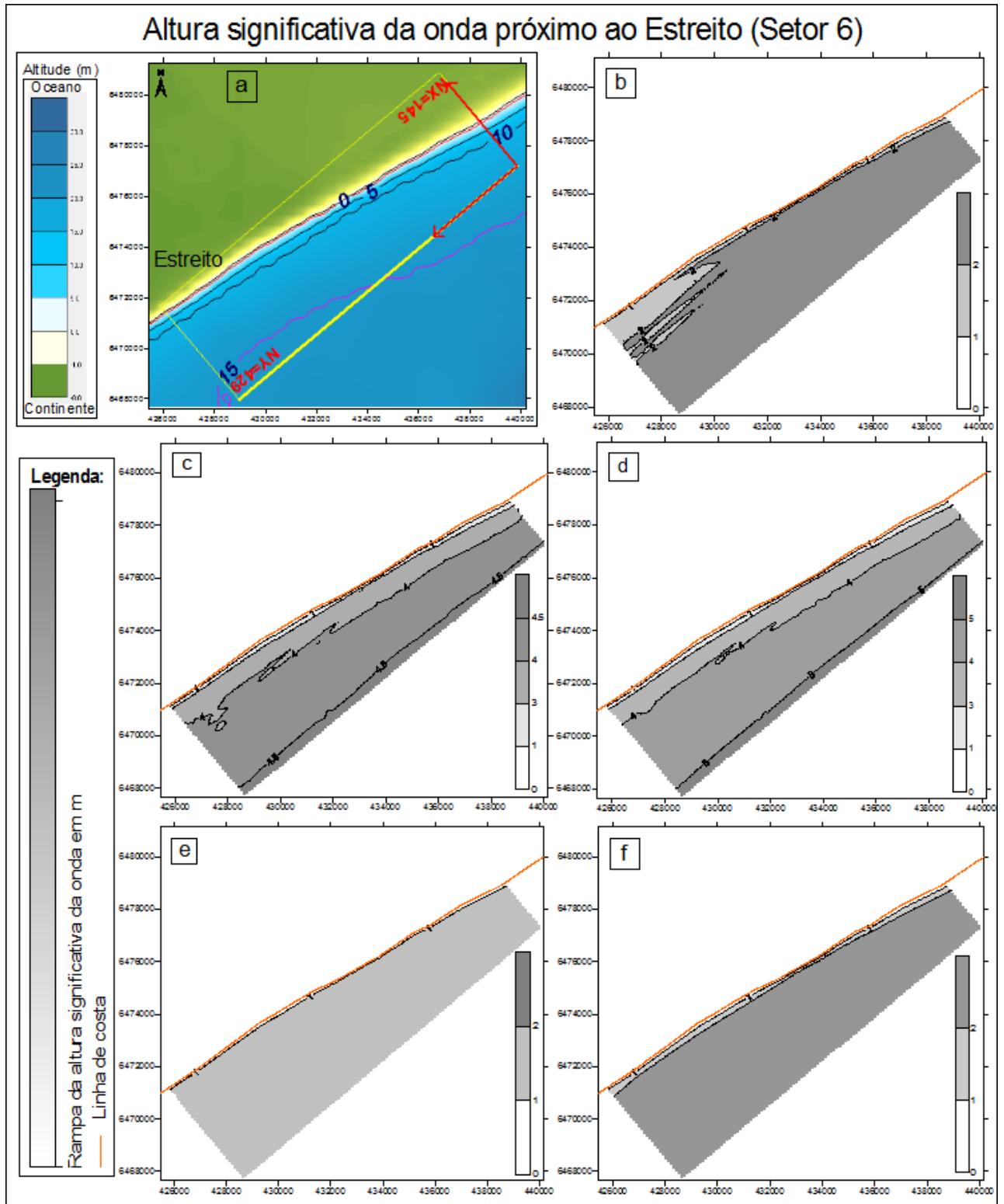


Figura 19 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 6, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.

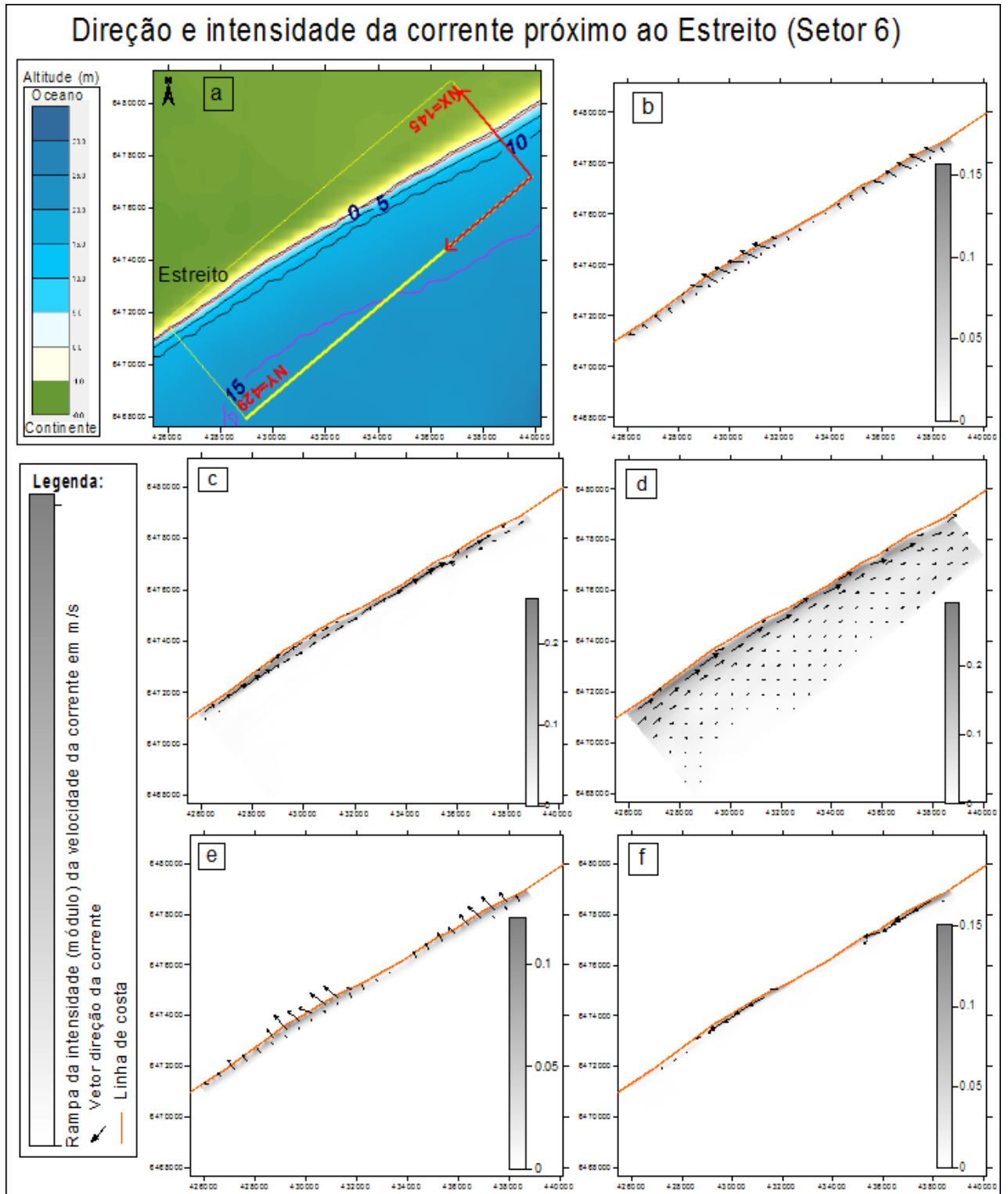


Figura 20 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 6, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.

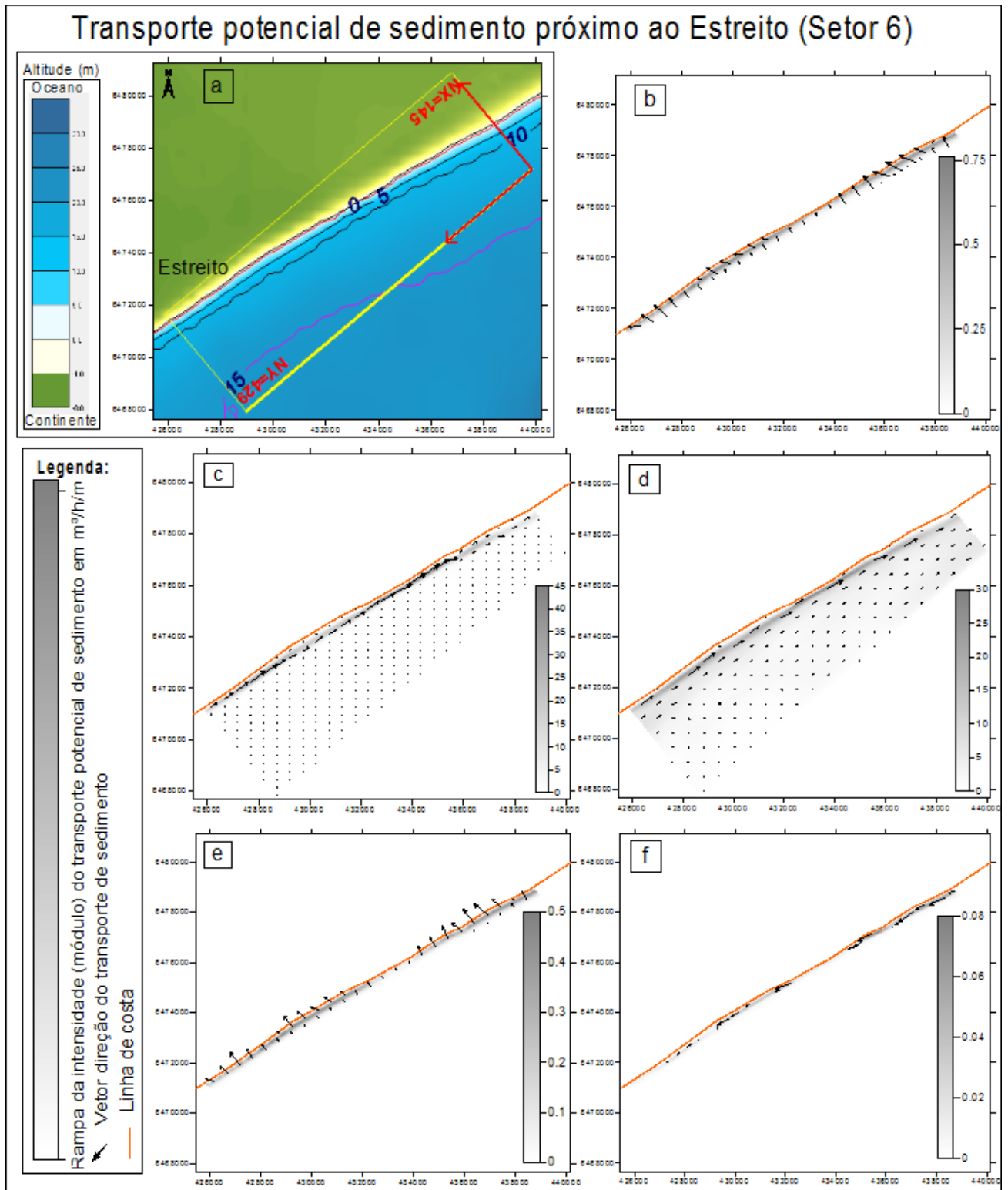


Figura 21 – Mapas dos transportes de sedimento de cada condição de mar para o setor 6, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.

A malha do setor 6 situou-se próximo a Estreito. Na figura 08 podem ser observados os transportes de sedimento de cada condição de mar e sua malha. Nos cenários de vaga (b) e ondulação (e) ENE, o transporte seguiu a direção de quebra de onda, ou seja, perpendicular à costa, com faixa de transporte bem próximo à linha de praia (em torno das isóbatas de 5 e 0 m) e com valores relativamente baixos (máximo de  $-0,76$  e  $0,50$   $m^3/h/m$ , respectivamente). A vaga S (f) apresentou a menor taxa (máximo de  $-0,08$   $m^3/h/m$ ) com uma faixa de transporte muito estreita e bem rente a linha de praia em profundidades menores que 2 m, aproximadamente), isto pode ser explicado devido ao seu menor nível energético de onda dentre todos os 5 mares aplicados, e sua direção de maior magnitude (resultante) foi SW e não a esperada (NE), igual como no setor 1, isto pode ter ocorrido devido a sua baixa energia de onda tornando a batimetria um fator prioritário sobre o transporte. Já as ondulações de S (c) e SE (d) apresentaram os maiores valores de transporte como o esperado (máximo de  $45,16$  e  $30,25$   $m^3/h/m$ , respectivamente), com transporte líquido para NE, devido apresentarem maior nível energético de onda o que possibilita maior transporte tanto na intensidade quanto espacialmente (a faixa de surfe se alarga conforme aumenta o nível de energia da onda). O cenário E, como também ocorreu nos setores anteriores, apresentou uma faixa com maior transporte próximo à linha de praia (em torno das isóbatas de 5 a 0 m), parecido como nos casos de ENE, porém houve transporte de menor intensidade (em torno de  $0,20$   $m^3/h/m$ ) até a fronteira da malha. Já no cenário F essa faixa de maior transporte estendeu-se até a isóbata de 10 m continuando até a fronteira da malha, porém com menor intensidade ( $2$   $m^3/h/m$ ).

### *Setor 7*

A seguir são apresentadas as figuras de onda, correntes e transporte de sedimento com os cinco cenários simulados para o setor 7. Uma observação a ser feita: a linha de costa usada na figura não é a mesma usada nas simulações, pois como os molhes foram inseridos diretamente usando os módulos do próprio SMC e a digitalização foi feita usando a carta náutica ocorreu essa divergência. Essa nova linha de costa foi digitalizada usando imagens do Google Earth que foi inserida apenas pra mostrar os molhes.

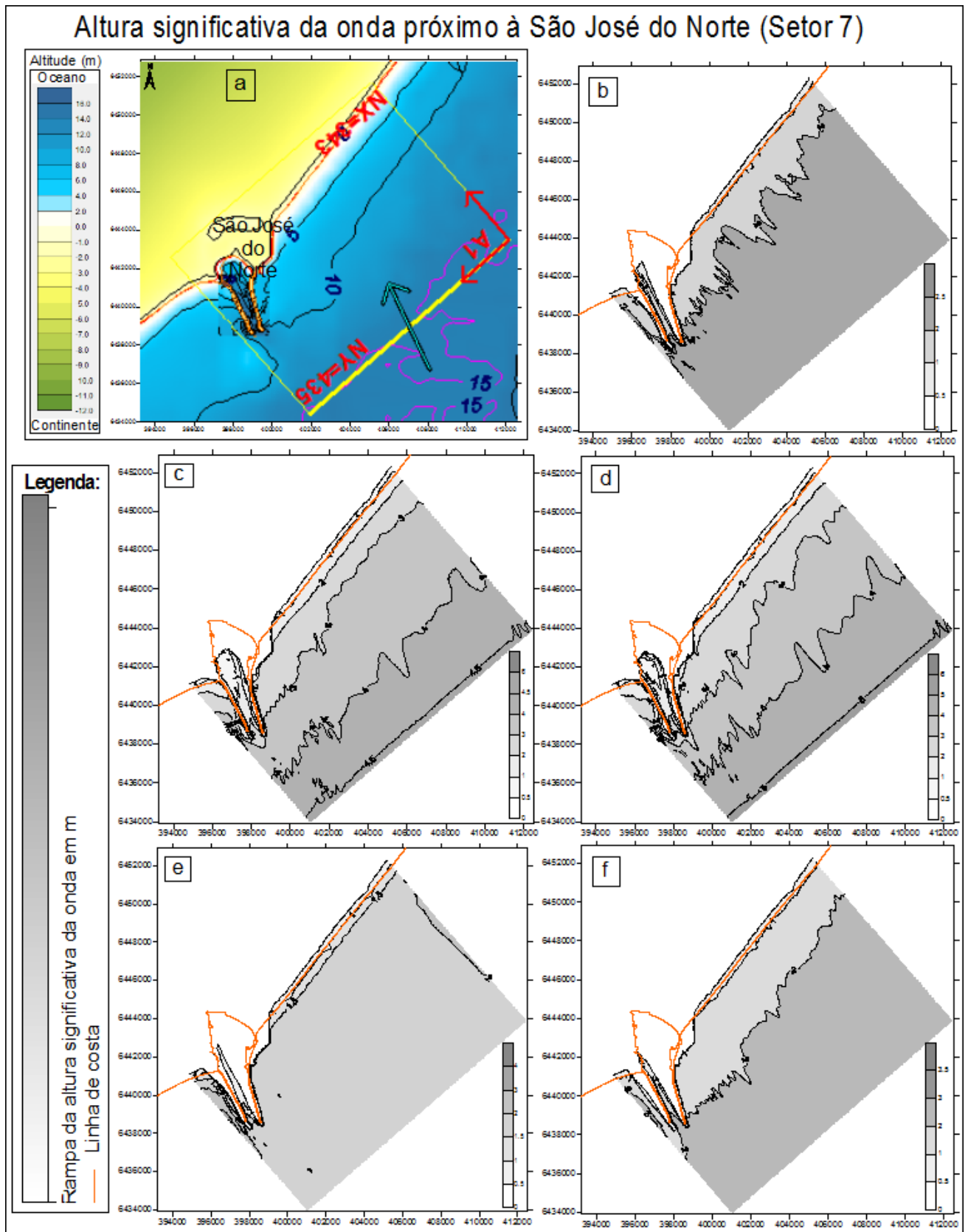


Figura 22 – Mapas das alturas significativas da onda de cada condição de mar para o setor 7, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.

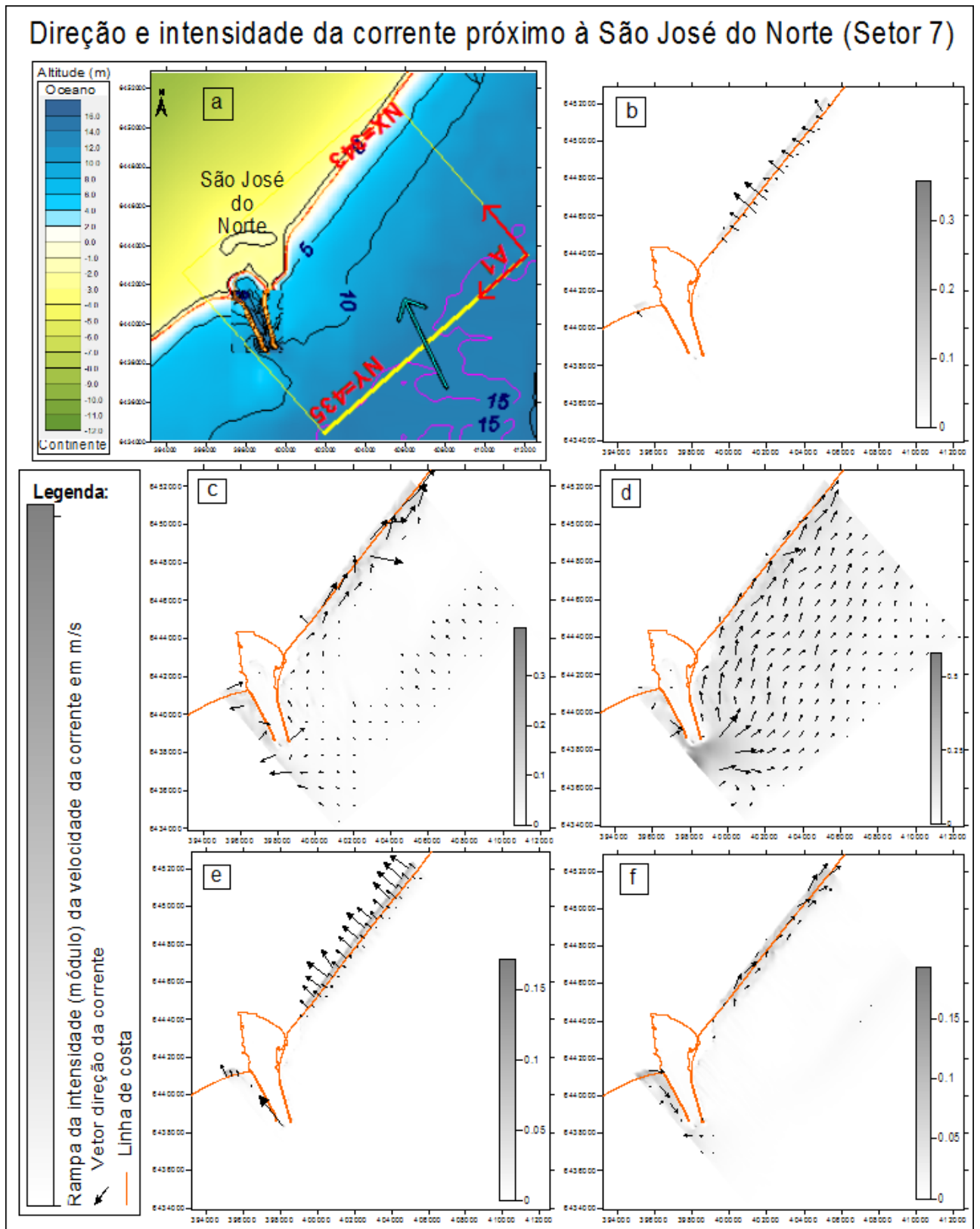
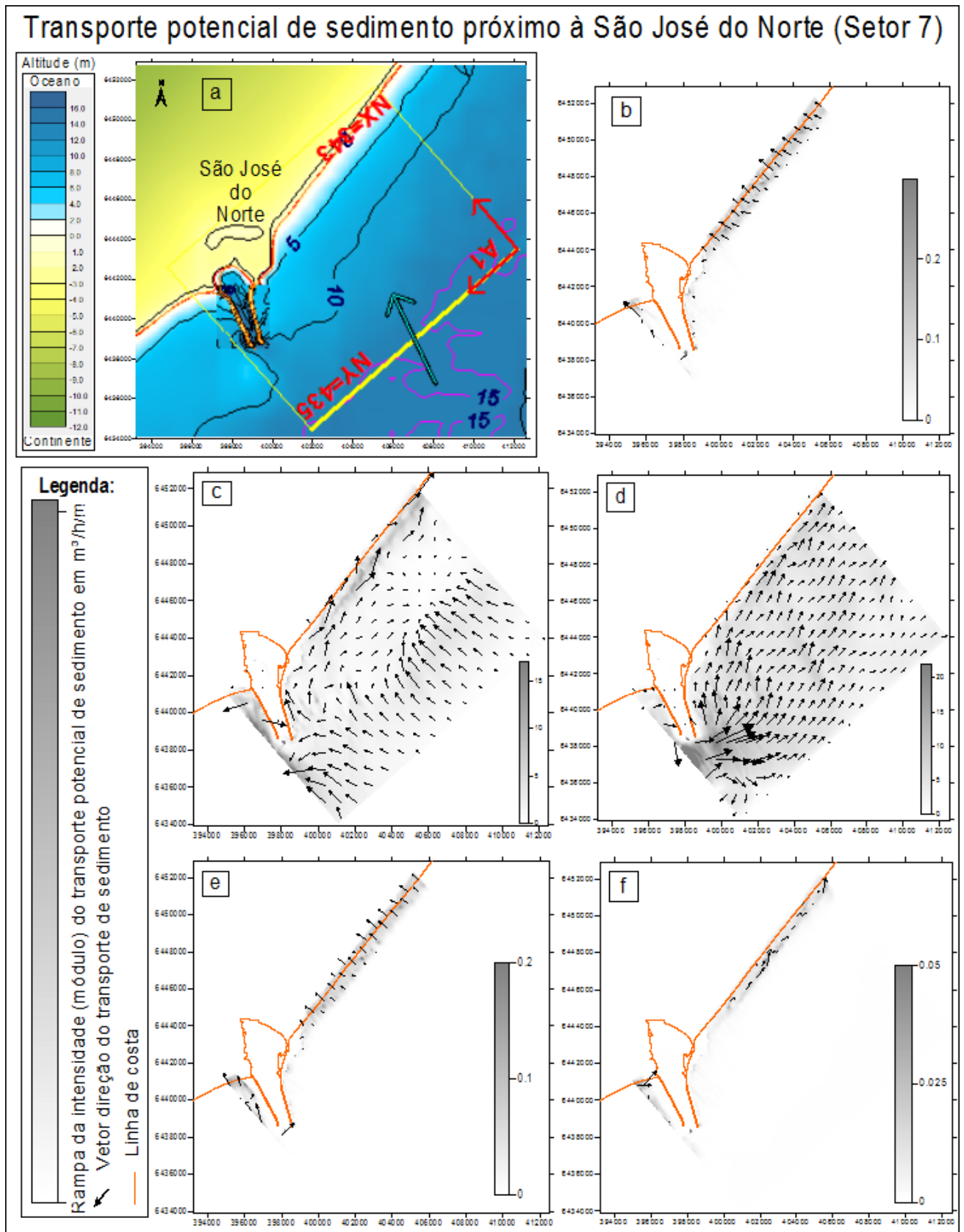


Figura 23 – Mapas das intensidades e direções das correntes de cada condição de mar para o setor 7, sendo (a) malha com batimetria do setor, (b) cenário B, (c) cenário E, (d) cenário F, (e) cenário A, e (f) cenário D.



A malha do setor 7 abrangeu o litoral de São José do Norte com a presença dos molhes da barra de Rio Grande. Na figura 09 podem ser observados os transportes de sedimento de cada condição de mar e sua malha. Nos cenários de vaga (b) e ondulação (e) ENE, o transporte seguiu a direção de quebra de onda, ou seja, perpendicular à costa, com faixa de transporte bem próximo à linha de praia (em torno das isóbatas de 5 e 0 m) e com valores relativamente baixos (máximo de -0,30 e -0,20 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente). A vaga S (f) apresentou a menor taxa (máximo de 0,05 m<sup>3</sup>/h/m), isto pode ser explicado devido esta apresentar menor energia de onda comparado aos 4 cenários, e sua direção de maior magnitude (resultante) seguiu a esperada (NE). Já as ondulações de S (c) e SE (d) apresentaram os maiores valores de transporte como o esperado (máximo de -16,99 e 21,99 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente), com transporte líquido para NE, pois foram os casos mais energéticos o que possibilita maior transporte tanto na intensidade quanto espacialmente devido a faixa de surfe alargasse conforme aumenta o nível de energia da onda. O cenário E apresentou direção perpendicular à costa desde a fronteira externa até profundidades em torno dos 10 m, rotacionando para NE em profundidades menores a partir de 5 m até a linha de praia, somente próximo ao molhe leste o transporte seguiu direção SW. Ocorreram duas faixas de maior transporte nesse cenário: uma próxima a linha de praia (em torno das isóbatas de 5 a 0 m), parecido como nos casos de ENE; e outra próxima a isóbata de 10 m. Entre essas faixas houve um transporte de menor intensidade (em torno de 1,50 m<sup>3</sup>/h/m) o que pode representar uma “zona de sombra” devido à presença dos molhes que têm suas extremidades finalizadas próximas a isóbata de 10 m o que pode estar interferindo na distribuição da energia da onda do quadrante S fazendo com que uma parte seja difratada e outra parte esteja sofrendo algum tipo de reflexão que segue a direção dessa isóbata, criando assim essa outra faixa com correntes intermediárias e, conseqüentemente, um transporte de sedimento. Já no cenário F essa faixa de maior transporte estendeu-se até a fronteira da malha, com um maior pico sobre a área que é influenciada pela descarga da lagoa dos Patos.

### **Transporte de sedimento líquido anual**

Primeiramente, será analisada a comparação de todos os resultados de transportes de sedimento por cenário e em seguida os valores líquidos anuais totais do transporte de sedimento por setor.

Em todos os setores, o cenário B apresentou a direção resultante esperada para SW com transportes máximo (-2479,59 m<sup>3</sup>/ano/m) e mínimo (-954,03 m<sup>3</sup>/ano/m) nos setores 3 e 7, respectivamente. Para o cenário E, todos os setores também apresentaram a direção resultante esperada para NE com valores máximo (363.136,79 m<sup>3</sup>/ano/m) e mínimo (117.246,86 m<sup>3</sup>/ano/m) de transporte nos setores 2 e 6, respectivamente. O cenário F também seguiu direção SW esperada, sendo que os setores 7 e 6 apresentaram, respectivamente, os valores máximo (779.160,92 m<sup>3</sup>/ano/m) e mínimo (171.152,98 m<sup>3</sup>/ano/m). No cenário A, as duas direções foram observadas: para NE nos setores 1, 2 e 3; e para SW nos setores 4, 5, 6 e 7. Os valores máximo (1.523,23 m<sup>3</sup>/ano/m) e mínimo (-2,91 m<sup>3</sup>/ano/m) do transporte em módulo foram observados nos setores 2 e 7, sendo que neste o valor foi bem baixo devido ao balanço nos 2 sentidos ter sido equilibrado. Para o último cenário analisado (D) a direção seguiu a esperada (NE) em quase todos os setores (2, 3, 4, 5 e 7), nos demais (1 e 6) seguiu a direção SW, que pode ter ocorrido devido a batimetria agir com predomínio sobre as correntes e, conseqüentemente, no transporte



de sedimento perante a baixa energia de onda. Os valores máximo ( $87,95 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$ ) e mínimo ( $5,26 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$ ) em módulo ocorreram nos setores 4 e 3, respectivamente.

Na soma dos transportes de sedimento dos 5 cenários em cada setor, notou-se que em todos os setores os valores com sentido NE foram superiores ao de SW, principalmente no setor 7 ( $1.162.991,05 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$ ) que obteve maior transporte ( $912.160,36 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$ ) e o menor ( $286.043,78 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}$ ) no setor 6.

Lima *et al.* (2001) dividiu o litoral norte em 5 setores e obteve os seguintes valores para as derivas litorâneas anuais em cada setor:  $1.370.000,00 \text{ m}^3/\text{ano}$ , para uma área próxima ao setor 1;  $1.060.000,00 \text{ m}^3/\text{ano}$  para uma área próxima ao setor 2;  $1.520.000,00 \text{ m}^3/\text{ano}$  também próximo ao setor 2;  $2.334.000,00 \text{ m}^3/\text{ano}$  para a região próxima ao setor 3; e  $2.932.000,00 \text{ m}^3/\text{ano}$  que envolve os demais setores (4, 5, 6 e 7). A comparação entre esses resultados obtidos por Lima *et al.* (2001) e os obtidos neste trabalho, estes foram todos inferiores chegando a ser metade no setor 1. Esta diferença pode ser explicada devido às metodologias aplicadas terem sido diferentes com uso de modelos diferentes. A figura 25 mostra o mapa com os transportes anuais líquidos de sedimento arredondados para cada setor.

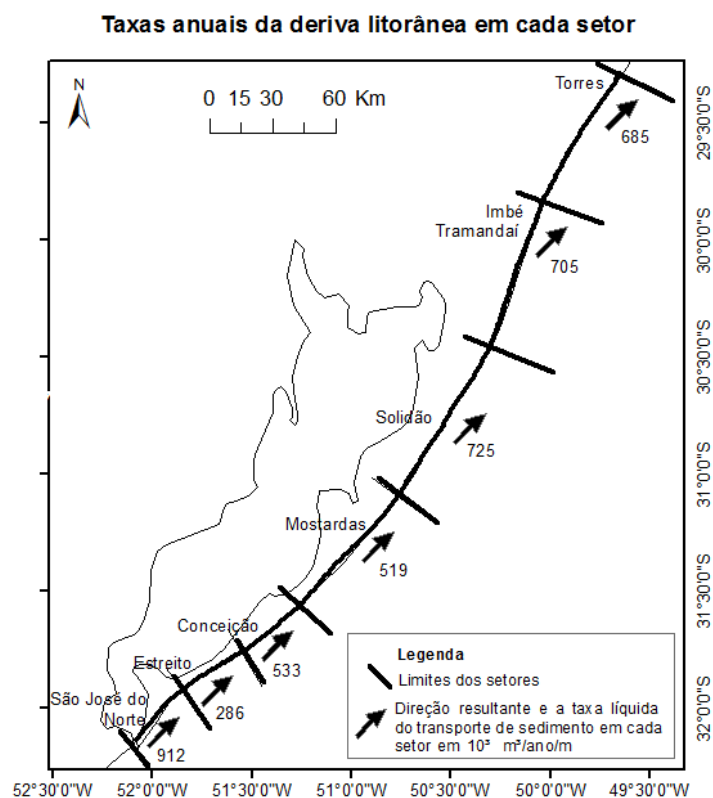


Figura 25 – Mapa com as taxas anuais de transporte de sedimento arredondadas para cada setor.

### Análise do balanço sedimentar

Primeiramente, serão discutidos os resultados obtidos do comportamento de cada cenário nos setores. Em seguida será feita a discussão final, englobando a soma de todos os cenários, de cada setor.

A tabela 06 mostra os valores do balanço sedimentar para cada setor em cada cenário e o total de cada setor, sendo que os setores das extremidades não se pôde fazer uma análise segura, devido a ausência dos setores adjacentes ao sul e ao norte da área de estudo para compor o balanço total dos setores 1 e 7.

Tabela 06 – Balanço sedimentar positivo (+) e negativo (-) para cada cenário em cada setor, o total por setor e o estágio deposicional (acresção, erosão ou estabilidade).

Cenário	Estágio deposicional por setor (m <sup>3</sup> )						7
	1	2	3	4	5	6	
B	-	-723,00 (erosão)	-109,72 (erosão)	+1.245,54 (acresção)	-641,41 (erosão)	+533,34 (acresção)	-
E	-	-79.297,87 (erosão)	-43.268,43 (erosão)	-71.326,51 (erosão)	-51.997,11 (erosão)	+16.644,89 (acresção)	-
F	-	+99.941,56 (acresção)	- 162.829,24 (erosão)	+86.537,98 (acresção)	- 195.310,20 (erosão)	+608.007,95 (acresção)	-
A	-	-765,37 (erosão)	-757,86 (erosão)	-551,18 (erosão)	+108,26 (acresção)	-545,96 (erosão)	-
D	-	+14,44 (~estável)	+82,68 (~estável)	-57,55 (~estável)	-30,40 (~estável)	+39,57 (~estável)	-
Total	-	+19.756,93 (acresção)	- 206.078,49 (erosão)	+14.620,76 (acresção)	- 247.375,38 (erosão)	+626.116,58 (acresção)	-

O cenário B apresentou setores em erosão (2, 3 e 5) e em acresção (4 e 6) com valores relativamente baixos, na casa das centenas, com exceção do setor 4 que apresentou um valor maior que mil para o estágio de acresção.

O cenário E apresentou altos valores de erosão (na ordem dos milhares) em quase todos os setores, com exceção do setor 6 que registrou acresção.

No cenário F ocorreu uma alternância de estágios de acresção (setores 2, 4 e 6) e de erosão (setores 3 e 5), com valores bem superiores aos do cenário E que também representa uma ondulação bastante energética.

O cenário A também apresentou quase todos os setores em erosão como ocorreu no outro cenário de mesma de direção ENE (B), porém o setor em que ocorreu acresção foi o 5 e seu valor não foi tão significativo, quase que representando uma estabilidade. Outro detalhe observado foi que nos setores 3 e 4 não houve entrada de sedimento dos setores adjacentes, portanto seu balanço negativo indicou que o setor está apenas perdendo sedimento.

No último cenário (D), muito provavelmente devido à sua condição de baixa energia de energia, todos os setores apresentaram valores relativamente baixos (na ordem das dezenas), variando entre os balanços negativo e positivo, podendo indicar uma estabilidade nas praias quando estas estão submetidas a esse cenário. Este cenário também apresentou em um setor (5) apenas perda de sedimento, do mesmo modo como ocorreu no cenário anterior, e também apresentou um setor (2) com entrada de sedimento de ambos os setores adjacentes, mas mesmo assim este registrou o menor valor dentre todos os balanços.

Analisando o estágio deposicional total por setor, pôde-se observar que os setores 2, 4 e 6 apresentaram valores positivos, ou seja, no balanço sedimentar cada setor está recebendo mais sedimento que perdendo, podendo ocorrer acresção nessas praias. Já os setores 3 e 5 obtiveram valores negativos, o que significa que essas praias podem estar sofrendo erosão devido a perda de sedimento ser maior que o ganho. A figura 26 apresenta o mapa com o balanço sedimentar total e seu volume arredondado para cada setor.

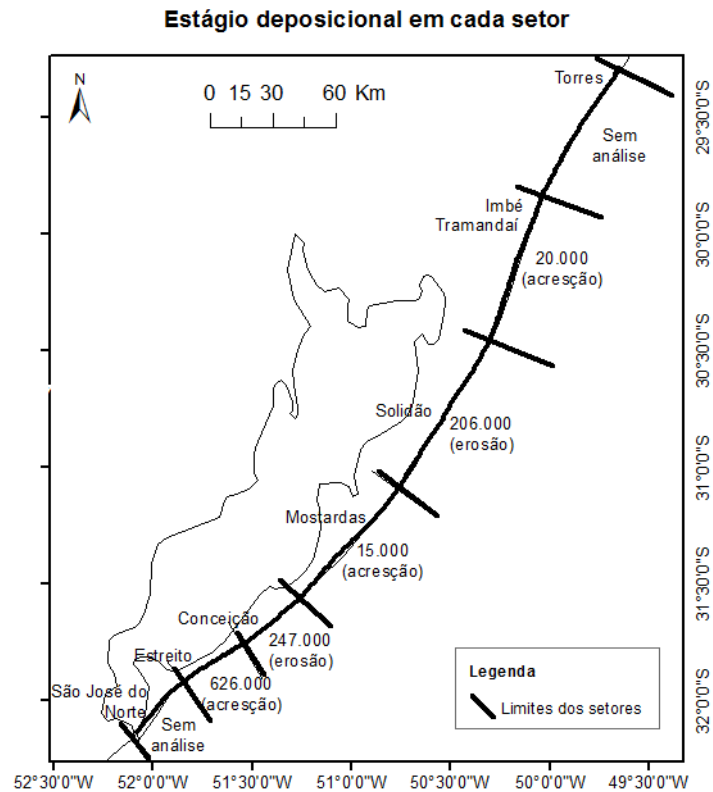


Figura 26 – Mapa com o estágio sedimentar total e o volume de sedimento (m<sup>3</sup>) arredondado para cada setor.

O setor 2, referente às praias de Tramandaí e Imbé, apresentou valor positivo, indicando acreção, porém Lélis (2003) encontrou indícios de erosão nessas praias principalmente devido à urbanização.

O setor 3, apresentou balanço negativo, o que indica indício de erosão. Porém, Barletta (2000) relatou uma estabilidade nessa área da Solidão e também na área do Estreito, sendo que esta (setor 6) apresentou balanço positivo, obtendo o maior e mais significativo valor (mais que o dobro que o segundo maior) comparado aos demais, indicando acreção.

No caso do setor 4, o balanço foi positivo o que indica, no geral, que as praias tendem à acreção, correspondendo com o que outros autores como Barletta (2000) e Absalonsen (2006) observaram, apesar deste relatar que a praia de Mostardas é dividida em duas partes (norte e sul) por uma inflexão costeira que interfere na ação das ondas promovendo uma estabilidade e deposição ao norte, e erosão ao sul. Mas, em escala anual, a praia tende a ser estável.

O resultado para o setor 5, onde situa-se o farol da Conceição, apresentou um valor bastante expressivo de erosão, condizente com a literatura que mostra evidências de erosão em trabalhos como de Barletta (1997), Esteves (2004) e o de Speranski & Calliari (2000).

Um aspecto observado relacionando-se os cenários com o balanço final em cada setor foi que o cenário F (ondulação SE) teve relação direta com o resultado final da soma dos cenários, ou seja, quando o cenário F apresentou valor negativo, o resultado total do setor também apresentou valor negativo, enquanto que quando o valor foi positivo no cenário F, o resultado total do setor também apresentou valor positivo. Isto pode indicar que a ondulação SE origina um grande transporte sedimentar que representa o principal resultado final entre todos os cenários. Em outras palavras, a ondulação SE governa/indica o transporte de sedimento na costa do RS.

Para os setores em que houve grande divergência (oposição do estágio deposicional) com os descritos na literatura (2 e 3), isto pode estar relacionado à diversos fatores como: às grandes áreas que cada setor abrangeu, podendo este incluir áreas de diferentes características morfológicas que influenciam no balanço sedimentar daquela praia, como no caso do setor 4; à ausência de uma batimetria mais detalhada na área de surfe, considerando que a batimetria é uma característica chave para que o modelo gere bons resultados; à não utilização pelo modelo de dados com fontes de sedimento como as dunas e os sedimentos oriundos dos rios, lagoas e sangradouros que também fazem parte do balanço sedimentar uma vez que sazonalmente são disponibilizados para o transporte de sedimento; à não utilização pelo modelo de dados de vento, que interferem no transporte, principalmente os de NE devido a sua grande intensidade (Tomazelli & Villwock 1992, Tozzi & Calliari 2000, Perotto 2010, Schossler 2011); e à limitação do modelo por não utilizar mais de uma classe granulométrica, sendo que as praias apresentam vários tipos e tamanhos de grão.

Motta (2011) também analisou o balanço sedimentar em suas 12 células. A tabela 07 mostra a comparação entre os resultados desse autor e os aqui obtidos, sendo que em todas as células o mesmo balanço foi observado (positivo com positivo, negativo com negativo), considerando os trechos (células) com orientações próximas aos dos setores (em negrito) como discutido anteriormente na seção da divisão dos setores. Apesar dos valores terem sido bem inferiores aos de Motta (2011), a análise do balanço em si mostra a concordância dos resultados, logo isto reforça a ideia qualitativa do uso do modelo.

Tabela 07 – Comparação entre os balanços de sedimento obtidos por Motta (2011) e os deste trabalho. Valores positivos significam acreção, valores negativos significam erosão.

Comparação dos volumes totais de sedimento (m <sup>3</sup> )			
Motta (2011)		Neste trabalho	
Célula	Volume	Setor	Volume
-	-	1	-
12	2.322.470,18	1/2 S do 2	19.756,93
11	-805.688,74	3	-
<b>10</b>	<b>-</b> <b>1.001.548,85</b>		
9	24.786,73		
8	-377.661,19		
7	-	4	14.620,76
<b>6</b>	<b>2.875.481,73</b> <b>1.533.092,57</b>		
5	-		
	2.793.266,04	5	-
<b>4</b>	<b>-</b> <b>4.796.226,17</b>		
3	984.643,85		
2	6.459.349,80	6	626.116,58
1	-	7	-
	8.776.502,78		

## CONCLUSÕES

Sobre o modelo, vale-se ressaltar que, apesar de no geral ter apresentado resultados bons e esperados, seu uso requer várias restrições às quais impossibilitou algumas ideias iniciais deste trabalho e também apresentou várias problemáticas durante sua aplicação. Ainda referente aos resultados do modelo, em alguns casos, mais claramente nos cenários com direção de onda dos quadrantes E e NE, as correntes majoritariamente apresentaram direção perpendicular a costa e em outros casos mostrou correntes e, conseqüentemente, transporte de sedimento em profundidades superiores àquelas em que a zona de surfe realmente se encontra na natureza, como já é conhecido, e, uma vez que o modelo apenas calcula o transporte na zona de surfe, esse transporte em áreas além dessa zona pode significar uma falha do modelo ou o uso incorreto dos parâmetros. Logo, seria interessante fazer novos estudos para analisar essa questão.

Quanto aos cenários, no geral, apresentaram as direções predominantes esperadas: ondas dos quadrantes S e SE geraram correntes e conseqüentemente transporte de sedimento para NE, com exceção do cenário D nos setores 1 e 6 que seguiu direção contrária podendo estar relacionada com a baixa energia de onda nesse mar promovendo a batimetria como fator prioritário sobre as correntes e transporte; e ondas de ENE geraram correntes e transporte normal a linha de costa.

Os transportes líquidos de sedimento obedeceram a direção NE conforme relatado em trabalhos antecedentes e seus valores foram subestimados comparados aqueles encontrados na literatura para a mesma área.

Quanto ao balanço sedimentar, dois setores (3 e 5) apresentaram balanço negativo indicando que a região pode estar sofrendo erosão como observado na praia do farol da Conceição. Os demais apresentaram balanço positivo indicando que essas praias podem estar sofrendo deposição com o maior suprimento sedimentar que chega ali.

Os cenários menos energéticos (B, A e D) apresentaram valores no balanço sedimentar relativamente baixos, enquanto que os de maior energia de onda (E e F) apresentaram valores relativamente altos, evidenciando a importância do nível de energia de onda no transporte de sedimento. Sendo que o cenário F (ondulação de SE) representou a tendência final do estágio deposicional de cada setor, ou seja, quando seu balanço foi positivo o total do setor também foi positivo (indicando acresção), e quando negativo o total do setor também foi negativo (indicando erosão).

Concluiu-se que este trabalho apresentou novos valores de transporte de sedimento para uma análise geral da costa norte, apresentado por uma nova metodologia, que podem levantar discussões perante aos antecessores. Assim, o próximo passo seria o de explorar mais detalhadamente cada setor (ou novos setores seguindo uma divisão mais precisa, mais atualizada) isoladamente conforme as peculiaridades que cada praia apresenta segundo os estudos mencionados, com levantamentos batimétricos próximos a linha de costa (zona de surfe).

## CONCLUSÕES FINAIS

Apesar das dificuldades em se encontrar uma metodologia que integre toda a coluna d'água desde o ponto onde o transporte de sedimento torna-se significativo até a linha de praia, ou seja, que abranja toda a zona de arrebentação, e das limitações impostas pelo modelo utilizado, os resultados encontrados têm sua significância servindo como base para estimativas importantes em trabalhos futuros.

O modelo Eros-sp apresentou-se eficiente quando se analisam que seus resultados foram bastante próximos aos medidos em campo, consideradas a ordem de grandeza dos valores estimados e a complexidade de se obter as taxas reais de transporte de sedimentos. Assim, conclui-se que o modelo pode ser aplicado ao longo da costa do RS utilizando os parâmetros calibrados com o objetivo de que nos próximos trabalhos a serem conduzidos nesta região se possa fazer uma estimativa do transporte longitudinal costeiro por setores definidos da costa, bem como, tentar estabelecer as regiões litorâneas que apresentam processos erosivos, acrescivos ou que se encontram em estágio de equilíbrio dinâmico. Porém, a baixa quantidade de coletas realizadas por cenário resulta na fragilidade estatística da calibração e validação do modelo.

Sobre o modelo, vale-se ressaltar que, apesar de no geral ter apresentado resultados bons e esperados, seu uso requer várias restrições às quais impossibilitou algumas ideias iniciais deste trabalho e também apresentou várias problemáticas durante sua aplicação. Ainda referente aos resultados do modelo, em alguns casos, mais claramente nos cenários com direção de onda dos quadrantes E e NE, as correntes majoritariamente apresentaram direção perpendicular a costa e em outros casos mostrou correntes e, conseqüentemente, transporte de sedimento em profundidades superiores àquelas em que a zona de surfe realmente se encontra na natureza, como já é conhecido, e, uma vez que o modelo apenas calcula o transporte na zona de surfe, esse transporte em áreas além dessa zona pode significar uma falha do modelo ou o uso incorreto dos parâmetros. Logo, seria interessante fazer novos estudos para analisar essa questão.

Quanto aos cenários, no geral, apresentaram as direções predominantes esperadas: ondas dos quadrantes S e SE geraram correntes e conseqüentemente transporte de sedimento para NE, com exceção do cenário D nos setores 1 e 6 que seguiu direção contrária podendo estar relacionada com a baixa energia de onda nesse mar promovendo a batimetria como fator prioritário sobre as correntes e transporte; e ondas de ENE geraram correntes e transporte normal a linha de costa.

Os transportes líquidos de sedimento obedeceram a direção NE conforme relatado em trabalhos antecedentes, e seus valores foram subestimados comparados aqueles encontrados na literatura para a mesma área.

Quanto ao balanço sedimentar, dois setores (3 e 5) apresentaram balanço negativo indicando que a região pode estar sofrendo erosão como observado na praia do farol da Conceição. Os demais apresentaram balanço positivo indicando que essas praias podem estar sofrendo deposição com o maior suprimento sedimentar que chega ali.

Os cenários menos energéticos (B, A e D) apresentaram valores no balanço sedimentar relativamente baixos, enquanto que os de maior energia de onda (E e F) apresentaram valores

relativamente altos, evidenciando a importância do nível de energia de onda no transporte de sedimento. Sendo que o cenário F (ondulação de SE) representou a tendência final do estágio deposicional de cada setor, ou seja, quando seu balanço foi positivo o total do setor também foi positivo (indicando acresção), e quando negativo o total do setor também foi negativo (indicando erosão).

Concluiu-se que este trabalho apresentou novos valores de transporte de sedimento para uma análise geral da costa norte, apresentado por uma nova metodologia, que podem levantar discussões perante aos antecessores. Assim, o próximo passo seria o de explorar mais detalhadamente cada setor (ou novos setores seguindo uma divisão mais precisa, mais atualizada) isoladamente conforme as peculiaridades que cada praia apresenta segundo os estudos mencionados, com levantamentos batimétricos próximos a linha de costa (zona de surfe).

## REFERÊNCIAS

- Absalonsen L. 2006. A influência da inflexão costeira na praia de Mostardas-RS sobre as variações da linha de praia. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, 33p.
- Alfredini, P. 1999. The longshore transport evaluation used as a tool for the Brazilian coastline littoral processes knowledge. Anais do VII Congresso Brasileiro da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), 13p.
- Arejano T. B. 1999. Análise do regime de ventos e determinação do potencial de deriva de areia no extremo sul do litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 42p.
- Barletta R. C. 1997. Aspectos morfodinâmicos das praias situadas ao norte da desembocadura da laguna dos Patos – farol da Conceição e praias adjacentes, RS. Rio Grande. Trabalho de graduação em Oceanologia, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 103p.
- Barletta R. C. 2000. Efeito da interação oceano-atmosfera sobre a morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil. Rio Grande. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. 134p.
- Calliari L. J. & Klein A. H. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. Pesquisas, v.20, n.1
- Calliari L., Toldo Jr. E. E. & Nicolodi J. L. 2006. Classificação geomorfológica. In Erosão e progradação do litoral brasileiro. 438-445.
- CERC. 1973. Shore Protection Manual. Coastal Engineering Research Center, v.I.
- Coli A. B. 2000. Estudo sobre o clima de ondas em Rio Grande, RS. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, 80 p.
- Cuchiara D., Fernandes E. H., Strauch J. C., Winterwerp J. C., Calliari, L. J. 2009. Determination of the wave climate for the southern Brazilian shelf. Continental Shelf Research. v29 (545 – 555).
- D'Aquino C. A. 2004. Calibração e aplicação do modelo numérico Genesis nas praias de Tramandaí e Imbé – RS. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 101p.
- De Oliveira A. O. 2005. Subsídios para o planejamento do balneário do Mar Grosso, São José do Norte, RS: avaliação de aspectos geomorfológicos e morfodinâmicos com auxílio de



geotecnologias. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande. 138p

Dillenburg S. R., Esteves L. S., Tomazelli L. J. 2004. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Science*, 76(3):611-623.

Esteves L. S. 2004. Variabilidade espaço-temporal dos deslocamentos da linha de costa no Rio Grande do Sul. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre. 139p.

Figueiredo S. A. & Calliari L. J. 2006. Sedimentologia e suas implicações na morfodinâmica das praias adjacentes às desembocaduras da linha de costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*. Porto Alegre, n(4)(73-87).

Folk R. L. & Ward W. C. 1957. *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. *Journal of sedimentary Petrology*, 27(1):3-26.

Fontoura J. A. S. 2004. Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da barra do Rio Grande, RS, Brasil. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 281 p.

GIOC, 2003a. Coastal Modelling System (SMC)– Reference and User Manual. State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria, 82 (in Spanish).

GIOC, 2003b. Spectral Wave Propagation Model (Oluca-SP). State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria, 170 (in Spanish).

GIOC, 2003c. Wave Induce Currents Model in the Surf Zone (Copla-SP). State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria, 61 (in Spanish).

GIOC, 2003d. 2DH-Morphodynamic Evolution Model for Near Shore Areas (MOPLA). State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria, 262 (in Spanish).

GIOC, 2003e. Erosion and Sedimentation Evolution Model (Eros). State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria, 55 (in Spanish).

González M., Medina R., González-Ondina J., Osorio A., Méndez F. J., García E. 2007. An integrated coastal modelling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, SMC. *Comput. Geosci.* 33 (7), 916–931.

Goulart E. S. 2010. Morfodinâmica da antepraia adjacente ao farol da Conceição: litoral médio do RS. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande. 89p

- Herz, R. 1977. Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 722p.
- Kamphuis, W. 1991. Alongshoresedimenttransport rate. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. 117(6):624-640.
- Kirby J. T. & Özkan H. T. (1994). “*Combined refraction/diffraction model for spectral wave conditions. Ref/Dif's version 1.1. Documentation and user's manual, report No. CACR-94-04*”, Center Applied Coastal Research, University of Delaware.
- Kraus N. C. 1987. Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rates in the surf zone. *Journal Coastal Research*, 3(2):139-152.
- Lélis R. J. F. 2003. Variabilidade da linha de costa oceânica adjacente às principais desembocaduras do Rio Grande do Sul, Brasil. Trabalho de graduação em Oceanologia. Universidade Federal do Rio Grande. 117p.
- Lima S. F., Almeida L. E. S. B. & Toldo Jr. E. E. 2001. Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre. 28(2):99-107.
- Melo Filho E., Romeu M. A. R. & Hammes, G. R. 2010. Condições extremas de agitação marítima ao largo de Rio Grande a partir do modelo WW3. IV Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica – SEMENGO, FURG, Rio Grande.
- Motta L. M. 2011. Balanço de sedimentos arenosos no litoral médio do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 66p.
- Motta V. F. 1963. Relatório-análise e previsão alturas de ondas em Tramandaí. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 30 p.
- Motta V. F. 1967. Estudo em modelo reduzido da regulamentação da embocadura lagunar de Tramandaí (Rio Grande do Sul). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (Inédito).
- Motta V. F. 1969. Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela Barra do Rio Grande. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (Inédito).
- Nicholson J., Broker I., Roelvink J. A., Price D., Tanguy J. M., Moreno L. 1997. Intercomparison of coastal morphodynamic models. *Coastal Engineering* (31), pp. 97-123.
- Nimer E. 1989. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 2. ed., 1989, 421 p.

Pereira P. 2003. A morfodinâmica praias como ferramenta para a segurança dos banhistas da praia do Cassino: estudo de caso da temporada 2002. Trabalho de graduação em Oceanologia. Universidade Federal do Rio Grande. 77 p.

Pereira P. 2010. Morfodinâmica da praia do Cassino (RS): variabilidade temporal dos bancos arenosos e alterações das ondas pela presença de depósitos lamíticos. Tese de doutorado em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande. 117 p.

Pereira da Silva R. 1995. Comportamento morfodinâmico dos sangradouros entre a praia do Cassino e Chuí, RS. Monografia de Graduação, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, 36 p.

Perotto H. 2010. Preenchimento de falhas de dados de ondas e cálculo da profundidade de fechamento para a região de Tramandaí, Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 48p.

Pitombeira E. da S. 1975. Estimativa do volume anual de transporte litorâneo na costa do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado.

Pível M. A. G. 1997. Caracterização morfodinâmica e sedimentológica das praias de Torres (RS). Trabalho de graduação em Oceanologia. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. 72p.

Pomerancblum M. & Costa M. P. de A. 1972. Integração de informações sobre os minerais pesados na plataforma continental brasileira. Anais, 26º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. SBG.2:179-186.

Romeu M. A. R., Fontoura J. A. S., Melo Filho E., Hammes G. 2010. Estimativa dos cenários característicos de agitação marítima para a região oceânica do RS utilizando dados de reanálise do modelo WW3. IV Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica – SEMENGO. FURG, Rio Grande.

Santo R. M. E. 2007. Variabilidade morfodinâmica entre as regiões da Querência e do navio Altair na praia do Cassino, RS. Dissertação de Mestrado, FURG, Rio Grande, 147 p.

Schossler V. 2011. Morfodinâmica da embocadura da lagoa do Peixe e da linha de praia adjacente. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91p.

Seeliger U. 1992. Coastal foredunes of southern Brazil: physiography, habitats and vegetation. In: Seeliger, U. (ed) Coastal Plant Communities of Latin America. Academic Press, San Diego, p.367-381.

- Short A. D. & Hesp P. A. 1982. Wave, Beach and Dune Interactions in Southeastern Australia. *Marine Geology*, 48: 259-284.
- Siegle E. 1996. Distribuição dos sedimentos litorâneos entre o Farol da Conceição e o Farol do Chuí, RS, e fatores condicionantes. Monografia de Graduação, FURG, Rio Grande, 91p.
- Speranski N. & Calliari L. J. 2000. Bathymetric lens and coastal erosion in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, New Zealand. 209-215p.
- Sprovieri F. C. 2011. Experimentação numérica do potencial hidrodinâmico e do transporte de sedimentos na praia do Cassino e molhe oeste da barra de Rio Grande (RS), utilizando os métodos do hipercubo, fluxo de energia e o modelo SMC. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, 189 p.
- Sprovieri F. C., Fontoura J. A. S., Calliari L. J., Barletta R. do C. 2010. Modelagem numérica do transporte de areia na Praia do Cassino – RS, Brasil. Anais do 4º Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. Rio Grande. 20 p.
- Soulsby R. 1997. Dynamics of marine sands. Thomas Telford Publications, Londres.
- Speranski N. & Calliari L. J. 2001. Padrões de Refração para a Costa do RS e Erosão Costeira.
- Strauch J. C. S. 1996. Estudo do clima ondulatório em Rio Grande. Anais do XII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnologia em Engenharia, Curitiba, PR 51p.
- Thornton E. B. & Guza R. T. 1983. Transformation of wave height distribution, *J. Geophys. Res.*, 88, c10, 5925-5938.
- Toldo Jr. E. E., Dillenburg S. R., Almeida L. E. S. B., Tabajara L. L., Martins R. R., Cunha L. O. B. P. 1993. Parâmetros morfodinâmico da praia de Imbé, RS. *Pesquisas, Porto Alegre*, 20(1):27-32.
- Tomazelli L. J. & Villwock, J. A. 1992. Algumas considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas, Porto Alegre*, 19(1):1-19.
- Tozzi, H. A. M.; Calliari, L. J. 2000. Morfodinâmica da Praia do Cassino, RS. *Pesquisa em Geociências*, 27 (1): 29-42p.
- Van Rijn L. C. 1993. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. *Acqua Publications*, Amsterdam.
- Wang P., Kraus N. C., Davis R. A. Jr. 1998. Total longshore sediment transport rate in the surf zone: Field measurements and empirical predictions. *Journal of Coastal Research*, 14: 269-282.

Weschenfelder J. & Zouain R. N. A. 2002. Variabilidade morfodinâmica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 29 (1): 3-13p.

# ANEXO 1

Coleta	Distância (m)									
	Com início (0) nas dunas					Com início (0) na linha d'água (m)				
	Dunas-BI	BI-E4	E4-E3	E3-E2	E2-E1	Dunas-BI	BI-E4	E4-E3	E3-E2	E2-E1
1 <sup>a</sup>	206	226	256	276	296	0	20	50	70	90
3 <sup>a</sup>	127,5	147,5	211,5	231,5	251,5	0	20	84	104	124
5 <sup>a</sup>	158,4	208,4	252,4	272,4	275,4	0	50	94	114	117

Coleta	Áreas (m <sup>2</sup> )				
	BI-E4	E4-E3	E3-E2	E2-E1	Total
1 <sup>a</sup>	3,00	10,00	11,00	13,00	37,00
3 <sup>a</sup>	2,50	57,50	36,50	37,00	133,50
5 <sup>a</sup>	28,50	62,50	32,50	9,00	132,50

COLETA / DATA / HORÁRIO		1 <sup>a</sup> / 12-03-11 / 15-19h				TOTAL HORIZONTAL
ESTAÇÃO		E4	E3	E2	E1	
TEMPO (min)		5	5	5	5	
Distribuição vertical e horizontal do transporte de sedimento em cada trap (distância do fundo em m) (peso em g)	t10 (1,26)	-	-	-	1,68	1,68
	t9 (1,13)	-	-	-	2,82	2,82
	t8(1,00)	-	-	19,13	1,47	20,6
	t7(0,87)	-	-	68,98	21,74	90,72
	t6(0,74)	-	-	178,51	94,02	272,53
	t5(0,61)	-	1,73	320,95	142,7	465,38
	t4(0,48)	-	33,36	502,81	91,54	627,71
	t3(0,35)	4,22	181,31	510,26	106,2	801,99
	t2(0,22)	7,29	312,41	91,05	114,43	525,18
t1(0,09)	36,41	163,46	493,35	464,99	1158,21	
TOTAL VERTICAL		47,92	692,27	2185,04	1041,59	3966,82

COLETA / DATA / HORA		3ª / 07-05-11 / 9-13h				TOTAL HORIZONTAL
ESTAÇÃO		E4	E3	E2	E1	
TEMPO (min)		5	5	5	5	
Distribuição vertical e horizontal do transporte de sedimento em cada trap (distância do fundo em m) (peso em g)	t10 (1,26)	-	-	-	-	0
	t9 (1,13)	-	-	6,0927	7,8610	13,9537
	t8(1,00)	-	-	19,8362	35,0909	54,9271
	t7(0,87)	-	-	76,3081	137,6799	213,988
	t6(0,74)	-	41,8256	200,7980	327,0706	569,6942
	t5(0,61)	-	169,5318	122,7113	373,0802	665,3233
	t4(0,48)	-	-	168,4872	293,9742	462,4614
	t3(0,35)	106,5053	167,9170	307,7968	404,6617	986,8808
	t2(0,22)	822,3184	367,1399	280,1266	446,9207	1916,5056
t1(0,09)	112,1917	194,9634	162,4334	439,1318	908,7203	
<b>TOTAL VERTICAL</b>		1041,0154	941,3777	1344,59	2465,471	5792,4544

Rede rasgou, logo não foi possível obter o peso desses traps.

COLETA / DATA / HORA		5ª / 29-05-11 / 9-13h				TOTAL HORIZONTAL
ESTAÇÃO		E4	E3	E2	E1	
TEMPO (min)		5	5	5	5	
Distribuição vertical e horizontal do transporte de sedimento em cada trap (distância do fundo em m) (peso em g)	t10 (1,26)	-	-	1,4854	3,1861	4,6715
	t9 (1,13)	-	10,7284	11,9972	4,1834	26,909
	t8(1,00)	-	58,3790	25,8964	4,0158	88,2912
	t7(0,87)	-	140,9797	66,6272	7,0350	214,6419
	t6(0,74)	-	267,1932	85,5773	3,4284	356,1989
	t5(0,61)	-	-	24,2554	7,5276	31,783
	t4(0,48)	-	182,8501	22,4049	11,1876	216,4426
	t3(0,35)	70,4955	539,5104	46,0893	38,5899	694,6851
	t2(0,22)	313,7742	835,4382	32,5367	31,3477	1213,0968
t1(0,09)	1353,9724	855,5070	236,6239	81,8402	2527,9435	
<b>TOTAL VERTICAL</b>		1738,2421	2890,586	553,4937	192,3417	5374,6635

Rede rasgou, logo não foi possível obter o peso desses traps.