

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

THIAGO LOPES DE MÉLO ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA COSTEIRA DE ITAMARACÁ-
PE: APLICAÇÃO DO SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA DO
BRASIL**

TESE DE DOUTORADO

RECIFE
2018

THIAGO LOPES DE MÉLO ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA COSTEIRA DE ITAMARACÁ-
PE: APLICAÇÃO DO SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA DO
BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em Geociências.

Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Almany Costa Santos

RECIFE

2018

- A447c Almeida, Thiago Lopes de Mélo.
Caracterização da dinâmica costeira de Itamaracá-PE: aplicação do sistema de modelagem costeira do Brasil / Thiago Lopes de Mélo Almeida.
– Recife, 2018.
171f., il., figs., gráfs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Almany Costa Santos.
- Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2018.
Inclui Referências.
1. Geociências. 2. SMC-Brasil. 3. Ondas. 4. Erosão costeira. I. Santos, Almany Costa (Orientador). II. Título.

THIAGO LOPES DE MÉLO ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA COSTEIRA DE ITAMARACÁ-PE:
APLICAÇÃO DO SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em Geociências.

Aprovada em: 28/02/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Almany Costa Santos (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Diniz Madruga Filho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. George Satander Sá Freire (Examinador Externo)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Renê Jota Arruda de Macêdo (Examinador Externo)
Universidade Federal do Vale do São Francisco

RESUMO

As ondas são responsáveis por modelar a costa esculpindo belezas naturais e quando associada com outros agentes podem desencadear processos erosivos nas praias. Dentro desse contexto a tese teve como principal objetivo caracterizar a dinâmica costeira do município de Itamaracá em Pernambuco. Os objetivos secundários estabeleceram: a morfodinâmica das praias baseado nos parâmetros espectrais das ondas; a evolução temporal do processo erosivo; o ponto de arrebentação para cada perfil amostrado afim de elucidar a importância do recife na proteção da costa e; o balanço sedimentar. Para isso, utilizou-se como principal ferramenta de análise o Sistema de Modelagem Costeira do Brasil (SMC-Brasil), software que combina metodologias de trabalho, bases de dados de cartas náuticas, de ondulação, níveis de marés e modelos numéricos. A área estudada foi segmentada em três setores que obtiveram os seguintes resultados: A análise do setor norte, desprotegido de recife, evidenciou que os vetores de intensidade energética de ondas ocorrem de forma paralela a costa prevalecendo uma arrebentação diretamente na face da praia. O setor central é naturalmente protegido por recife que atua proporcionando área de sombra a região, estabelecendo dois pontos de quebra de ondas distintos um na linha de recifes e o segundo de menor intensidade na face da praia, o que proporciona um arqueamento positivo da linha de costa. No setor sul, bancos de areia localizados a frente da praia funcionando como molhe hidrodinâmico, promovendo o arrasto de fundo e dissipando a energia das ondas. Conclui-se que, em se tratando da dissipação da energia das ondas que chegam as praias os resultados demonstram que a existência do recife submerso localizado a distância de 3.000 m da costa e com 2 m de profundidade ao nível da maré média é suficiente para que a estrutura funcione como uma primeira linha de arrebentação refreando a energia das ondas e recuperando a praia.

PALAVRAS-CHAVE: SMC-BRASIL. ONDAS. EROSÃO COSTEIRA.

ABSTRACT

Ocean surface waves are responsible for modeling the coast promoting natural wonders and when associated with other agents can trigger erosive processes on the beaches. Within this context the main objective of the present thesis was to characterize the coastal dynamics of the municipality of Itamaracá, Pernambuco, Brazil. As secondary objectives it was established: the morphodynamics of the beaches based on the spectral parameters of the waves; the temporal evolution of the erosive process; the wave breaking point for each sampled profile in order to elucidate the importance of the reef for coast protection and; the sedimentary balance. The *Sistema de Modelagem Costeira do Brasil* (SMC-Brasil) was used as the main analytical tool, a software that combines working methodologies, nautical chart databases, wave tidal levels and numerical models. The studied area was divided in three sectors that obtained that presented the following results: The analysis of the northern sector, devoid of reef, showed that energetic wave intensity vectors occur parallel to the coast, prevailing a breaking wave directly on the beach face. The central sector is naturally protected by reef which provides shade area to the region, establishing two distinct breaking wave points one in the reef line and the second one, with lower intensity on the beach face, which provides a positive bowing of the line. coast. In the southern sector, sand banks located at the front of the beach functioning as a hydrodynamic jetty, promoting bottom trawling and dissipating wave energy. In conclusion, when dealing with the energy dissipation of surface waves arriving at the beaches, the results show that the existence of the submerged reef located at a distance of 3.000 m from the coast and with 2 m depth at the level of average tide is sufficient for the structure works as a first line of breaking wave that reduces wave energy and recovering the beach.

KEYWORDS: SMC-BRASIL. WAVES. COASTAL EROSION.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

01-Localização da área estudada.....	21
02-Organograma da estrutura global do SMC-Brasil.....	22
03-Delimitação de linha de costa e determinação de ponto DOW.....	28
04-Characterização do clima de ondas gerada para o ponto DOW.....	29
05-Tabela estatísticas básicas.....	30
06-Classificação do estado do mar a ser propagado para o ponto DOW.....	31
07-Inclusão de batimetria de detalhe no sub-módulo MMT.....	33
08-Hs, Hmax, Ts, Tp e direção das ondulações para região metropolitana.....	38
09-Posição dos pontos amostrados.....	45
10-Mapa de distribuição de diâmetro médio.....	47
11-Mapa de desvio padrão.....	48
12-Mapa de carbonato total.....	49
13-Espigões no Bairro Novo-Olinda.....	51
14-Quebra-mares e espigões-Paulista.....	52
15-Muro de proteção aderente reflexivo e impermeável em Olinda.....	53
16-Muro de proteção aderente dissipativo e permeável em Boa Viagem.....	53
17-Engorda na praia de Candeias.....	54
18- Caerte Vant Eylant Tamarcca.....	56
19- Representação da Ilha de Itamaracá em 1640.....	57
20-Evolução da erosão na linha de costa sul de Itamaracá 2007-2016.....	58
21-Evolução da erosão na linha de costa central de Itamaracá 2007-2016.....	60
22-Evolução da erosão na linha de costa norte de Itamaracá 2007-2016.....	61
23-Mapa de localização dos currais na Ilha de Itamaracá.....	63
24-Evolução da praia do Jaguaribe após recuperação dos currais submersos instalados nas aberturas do Recife.....	64
25-Localização dos pontos DOW por setor.....	66
26-Representação gráfica MaxDiss dos casos a serem propagados setor norte.....	69
27-Characterização da maré astronômica setor norte.....	70
28-Characterização da maré meteorológica setor norte.....	71
29-Characterização do nível de maré setor norte.....	72

30-Rosas estacionais de altura de onda significativa setor norte.....	76
31-Função de densidade conjunta setor norte.....	77
32-Histograma Hs e Tp setor norte.....	78
33-Função de distribuição Hs e Tp setor norte.....	78
34-Vetores Hs + Magnitude para o setor norte em maré seca.....	80
35-Vetores Hs + Magnitude para o setor norte em maré média.....	81
36-Vetores Hs + Magnitude para o setor norte em maré cheia.....	82
37-Corrente + Magnitude para o setor norte em maré seca.....	83
38-Corrente + Magnitude para o setor norte em maré média.....	84
39-Corrente + Magnitude para o setor norte em maré cheia.....	85
40-Representação gráfica MaxDiss dos casos a serem propagados setor central.....	88
41-Characterização da maré astronômica setor central.....	89
42-Characterização da maré meteorológica setor central.....	90
43-Characterização do nível de maré setor central.....	91
44-Rosas estacionais de altura de onda significativa setor central.....	94
45-Função de densidade conjunta setor central.....	95
46-Histograma Hs e Tp setor central.....	96
47-Função de distribuição Hs e Tp setor central.....	96
48-Vetores Hs + Magnitude para o setor central em maré seca.....	98
49-Vetores Hs + Magnitude para o setor central em maré média.....	99
50-Vetores Hs + Magnitude para o setor central em maré cheia.....	100
51-Corrente + Magnitude para o setor central em maré seca.....	101
52-Corrente + Magnitude para o setor central em maré média.....	102
53-Corrente + Magnitude para o setor central em maré cheia.....	103
54-Representação gráfica MaxDiss dos casos a serem propagados setor sul.....	106
55-Characterização da maré astronômica setor sul.....	107
56-Characterização da maré meteorológica setor sul.....	108
57-Characterização do nível de maré setor sul.....	109
58-Rosas estacionais de altura de onda significativa setor sul.....	112
59-Função de densidade conjunta setor sul.....	113
60-Histograma Hs e Tp setor sul.....	114
61-Função de distribuição Hs e Tp setor sul.....	114
62-Vetores Hs + Magnitude para o setor sul em maré seca.....	116
63-Vetores Hs + Magnitude para o setor sul em maré média.....	117

64-Vetores Hs + Magnitude para o setor sul em maré cheia.....	118
65-Corrente + Magnitude para o setor sul em maré seca.....	119
66-Corrente + Magnitude para o setor sul em maré média.....	120
67-Corrente + Magnitude para o setor sul em maré cheia.....	121
68-Localização dos perfis de praia no setor sul.....	125
69-Agrupamento por probabilidade de quebra de onda no setor sul.....	126
70-Histogramas de arrebentação perfil PS1.....	127
71-Histograma de <i>run-up</i> perfil PS1.....	128
72-Histogramas de arrebentação perfil PS2.....	129
73-Histograma de <i>run-up</i> perfil PS2.....	130
74-Histogramas de arrebentação perfil PS3.....	131
75-Histograma de <i>run-up</i> perfil PS3.....	132
76-Histogramas de arrebentação perfil PS4.....	133
77-Histograma de <i>run-up</i> perfil PS4.....	134
78-Mapa de transporte médio de sedimentos do setor sul.....	136
79-Localização dos perfis de praia no setor central.....	137
80-Agrupamento por probabilidade de quebra de onda no setor central.....	138
81-Histogramas de arrebentação perfil PC1.....	139
82-Histograma de <i>run-up</i> perfil PC1.....	140
83-Histogramas de arrebentação perfil PC2.....	141
84-Histogramas de arrebentação perfil PC3.....	142
85-Histogramas de arrebentação perfil PC4.....	143
86-Histograma de <i>run-up</i> perfil PC2, PC3 e PC4.....	144
87-Mapa de transporte médio de sedimentos do setor central.....	145
88-Localização dos perfis de praia no setor norte.....	146
89-Agrupamento por probabilidade de quebra de onda no setor norte.....	147
90-Histogramas de arrebentação perfil PN1.....	148
91-Histograma de <i>run-up</i> perfil PN1.....	149
92-Histogramas de arrebentação perfil PN2.....	150
93-Histogramas de arrebentação perfil PN3.....	151
94-Histograma de <i>run-up</i> perfil PN2.....	152
95-Histograma de <i>run-up</i> perfil PN3.....	153
96-Mapa de transporte médio de sedimentos do setor norte.....	154
97-Fluxograma do transporte bruto de sedimentos.....	155
98-Mapa batimétrico setor norte.....	156

99-Mapa batimétrico setor central.....	157
100-Mapa batimétrico setor sul.....	158
101-Topografia 3D setor norte.....	160
102-Morfologia da plataforma interna setor norte.....	161
103-Topografia 3D setor central.....	162
104-Morfologia da plataforma interna setor central.....	163
105-Topografia 3D setor sul.....	164
106-Morfologia da plataforma interna setor sul.....	165

LISTA DE TABELAS

01-Valores Dominantes de Hs, Tz e D por estação.....	36
02-Valores das medições realizadas em 199.....	37
03-Resumo dos parâmetros dos estudos levantados.....	41
04-Lista de casos propagados no setor norte.....	68
05-Estatísticas básica para a variável Hs setor norte.....	74
06-Estatística básica para a variável Tp setor norte.....	74
07-Lista de casos propagados no setor central.....	87
08-Estatísticas básica para a variável Hs setor central.....	92
09-Estatística básica para a variável Tp setor central.....	93
10-Lista de casos propagados no setor sul.....	105
11-Estatísticas básica para a variável Hs setor sul.....	110
12-Estatística básica para a variável Tp setor sul.....	111
13-Oscilação do nível de maré astronômica e meteorológica.....	121
14-Clima de ondas na maré astronômica e meteorológica.....	121
15-Localização geográfica dos perfis em Itamaracá.....	123

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Parâmetros de Onda

C: Celeridade da onda

C_g : Celeridade do grupo

$D(\Theta)$: Dispersão direcional

D_P : Direção de Pico das Ondas

γ : Fator de alargamento do pico

k: Número de onda

Θ : Direção média das ondas

Θ_m : Direção média das ondas

f: Frequência linear

f_c : Frequência de corte do espectro

f_T : Frequência da cauda do espectro

f_P : Frequência de pico das ondas

H_s : Altura significativa das ondas

H_{Sp} : Altura significativa de uma partição do espectro de ondas

$H_{S50\%}$: Altura significativa para o clima de ondas típico que ocorre por pelo menos metade (50 %) do ano

H_{S12} : Altura significativa para o clima de ondas extremo que ocorre durante 12 horas no ano

σ : Frequência angular

σ_m : Largura do espectro (graus)

$S(f, \Theta)$: Espectro direcional distribuído nas dimensões das frequências e das direções

T_P : Período de Pico das Ondas

$T_{p50\%}$: Período de pico para o clima de ondas típico que ocorre por pelo menos metade (50 %) do ano

T_{p12} : Período de pico para o clima de ondas extremo que ocorre durante 12 horas no ano

SMC-Brasil

Ameva: Análise Matemática Estatística de Variáveis Ambientais

AECID: Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento

Copla: Modelo de corrente de praias

D_{50} : Tamanho médio do grão de sedimento

DOW: Downscaling Ocean Waves

Eros: Modelo de erosão costeira

g: Aceleração da gravidade

GOS: Global Ocean Surge

GOT: Global Ocean Tides

GOW: Global Ocean Waves

h: Profundidade

IH-Data: Base de dados do Instituto de Hidráulica da Cantabria

MaxDiss: Técnica de máxima similaridade

MMT: Módulo de Modelagem do Terreno

MOPLA: Módulo de morfodinâmica de praias

MRF: Modelo que resolve a fase

MSLW: Maré baixa média de sizígia

Oluca: Modelo de ondas costeiras

Q+: Transporte anual médio de sedimento para a direita de um observador posicionado na praia, olhando para o oceano

Q-: Transporte anual médio de sedimento para a esquerda de um observador posicionado na praia, olhando para o oceano

SMC: Sistema de Modelagem Costeira

SMC-3: Sistema de Modelagem Costeira versão 3

SMC-Brasil: Sistema de Modelagem Costeira adaptado a costa brasileira

SMC-Tools: Módulo de Ferramentas do Sistema de Modelagem Costeira

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1.	Problematização e hipótese.....	17
1.2.	Objetivos.....	19
1.3.	Localização da área.....	20
1.4.	Metodologia.....	20
1.5.	SMC-Brasil.....	22
2.	CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA.....	35
2.1.	Histórico de Ondas.....	35
2.2.	Mares.....	41
2.3.	Correntes.....	42
2.4.	Ventos.....	43
2.5.	Sedimentologia da Plataforma.....	44
3.	EROSÃO E DEFESA DAS PRAIAS.....	50
3.1.	Estruturas de defesa.....	50
3.2.	Erosão costeira na ilha de Itamaracá.....	55
3.3.	Os Currais.....	62
4.	DINÂMICA COSTEIRA DE ITAMARACÁ.....	65
4.1.	Aplicação do SMC-Brasil.....	65
4.2.	Setor Norte.....	67
4.3.	Setor Central.....	86
4.4.	Setor Sul.....	104
4.5.	Considerações do capítulo.....	122
5.	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	123
5.1.	Arrebentação e Transporte.....	123
5.2.	Análise percentual da arrebentação no setor sul.....	124
5.3.	Transporte de sedimentos setor sul.....	134
5.4.	Análise percentual da arrebentação no setor central.....	137
5.5.	Transporte de sedimentos setor central.....	144
5.6.	Análise percentual da arrebentação no setor norte.....	146
5.7.	Transporte de sedimentos setor norte.....	153
5.8.	Considerações do capítulo.....	155
6.	BATIMETRIA E MORFOLOGIA DA PLATAFORMA INTERNA.....	156
6.1.	Mapas batimétricos da plataforma interna.....	156

6.2.	Morfologia da Plataforma Interna.....	159
6.3.	Considerações do capítulo.....	165
7.	CONCLUSÃO.....	166
	REFERÊNCIAS.....	168

1. INTRODUÇÃO

Dentro do contexto da erosão marinha no estado de Pernambuco, o estudo de vulnerabilidade ambiental abordando os aspectos morfodinâmicos de uma praia é de fundamental importância. A praia é um ambiente de transição, com uma importante função na perspectiva geológica como um sistema natural de defesa da costa, estando exposta a ação das ondas e variações de maré, o que torna esse ambiente sucessível a constante processos erosivos.

O litoral pernambucano, situado no leste da região nordeste do Brasil, conhecido como Saliente Nordestino, é caracterizado por planícies costeiras de baixas altitudes, apresentando inclusive em vários pontos cotas inferiores ao nível da preamar. Na maior parte este litoral é composto de praias arenosas de declive suave, alternadas com zonas estuarinas. Na zona submarina a presença de recifes em algumas áreas serve como barreira de proteção natural contra a ação erosiva das ondas, contudo a plataforma continental é relativamente curta, aproximadamente 35 km de largura, acarretando em pouca dissipação da energia das ondas oceânicas antes de atingirem a zona de arrebentação. (adaptado de Manso *et al.*, 2003)

No litoral, estas ondas são a principal força motora das correntes costeiras, fator que, em conjunto com a suspensão dos sedimentos provocado pela arrebentação das ondas, resulta no deslocamento destes sedimentos em suspensão na direção da corrente resultante (Vidal *et al.*, 1995).

Por ser um ambiente tão sensível, as zonas costeiras, são extremamente vulneráveis aos potenciais impactos de uma mudança climática global. Como mostram diversos estudos e artigos (IPCC 2007), pois é uma faixa do continente que está diretamente em contato com os oceanos.

No cenário socioeconômico, a ocupação ocorrida nas últimas décadas da população para as zonas costeiras, termina por estimular o consumo das reservas naturais de forma acelerada. Isso leva à deterioração da água doce dos aquíferos, da qualidade dos rios e da redução da carga de sedimentos, entre outros problemas associados à conservação dos habitats costeiros.

Um reflexo associado a ocupação desordenada da linha de costa são os problemas com a erosão que as praias do estado enfrentam, que demonstram toda a fragilidade desse ecossistema. Itamaracá – PE não é exceção a regra, com recente ocupação urbana e construções ao longo das praias, problemas de erosão logo se evidenciaram.

As praias têm grande valor como áreas de lazer e em Itamaracá este fator impulsiona a economia local. Contudo, numa perspectiva geológica, a principal função é de um sistema de defesa natural para a costa, que está diretamente exposta a um constante risco de erosão devido à ação das ondas e marés. Problemas de erosão costeira são recorrentes nesta região, como resultado do desenvolvimento costeiro não planejado, que não impediu a ocupação de dunas que servem como reserva de sedimentos para o dinâmico sistema praias, combinado com as características meteo-oceanográficas locais (Manso *et al.*, 2006).

Com o crescimento do turismo nessas praias, o Estado tem voltado parte substancial de seus investimentos para o controle da erosão costeira. Dentro deste contexto, pesquisas científicas pertinentes ao tema, são importantes norteadores para obras de engenharia costeira, para que o uso de recursos públicos seja feito de maneira mais efetiva, e para que ocorra a conservação e manutenção destes ambientes.

Nesta questão, o Sistema de Modelado Costeiro do Brasil (SMC-Brasil) apresenta-se como uma indispensável ferramenta para análise ambiental no campo da engenharia costeira, entregando um conjunto de aplicações, bancos de dados (batimetria, ondas e níveis) e modelos numéricos estruturados de acordo com as escalas espaciais e temporais das várias dinâmicas que afetam a morfologia de uma praia.

O SMC contém uma base de dados do clima de ondas para a costa brasileira, com séries temporais de 60 anos (1948-2008), usada para as suas simulações numéricas, que foi concebida com modelagem numérica, porém sabe-se que a calibração com dados coletados *in situ* são de grande importância para se conseguir uma melhor precisão nas simulações numéricas (Reguero *et al.*, 2012).

Entretanto, apesar dos avanços recentes na modelagem matemática das ondas oceânicas, medições de campo confiáveis e precisas continuam sendo a fonte primordial de informação sobre o estado do mar. No Brasil, lamentavelmente, existe ainda uma enorme escassez de dados no que concerne à medição de ondas, assim o conhecimento sobre o regime de ondas que afeta a costa neste país é insuficiente, de acesso restrito, e limitado a pontos isolados do litoral. Estudos de clima de ondas na costa brasileira efetuados com ondógrafos direcionais ainda são raros.

Neste cenário onde dados quantitativos de monitoramento são escassos, o Sistema de Modelado Costeiro apresenta uma importante ferramenta de análise da dinâmica e no auxílio à engenharia costeira na manutenção e recuperação das funções da praia (física, biológica e social).

Com o intuito de capacitar grupos de pesquisas e laboratórios das universidades do país, encontros e cursos do Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil) vem sendo ofertados pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA e parceiros locais. Na ocasião, em outubro de 2013 em Recife, através da parceria do MMA e Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), em Conjunto com a Universidade de Cantabria (Espanha), laboratórios e instituições de interesse comum foram convidados a participar do *workshop* que capacitou integrantes dos grupos ao uso das ferramentas do SMC.

Atualmente laboratórios dentro de universidades no país que utilizam o SMC para suas pesquisas formam uma rede de colaboração no processo de aprendizagem e aperfeiçoamento no uso do *software*. O Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM, integra essa rede que produz estudos relacionados a gestão costeira em todo o país.

1.1. Problematização e hipótese

O litoral do estado de Pernambuco possui 187 km de extensão, concentrando 44% do total de sua população. Tem como principal característica geomorfológica seu caráter transgressivo e com domínio de ambientes estuarinos e de mangues. Sua plataforma continental estreita, chegando nos pontos de maior extensão a 35km, é coberta por sedimentos carbonáticos e com

grande desenvolvimento de recifes. Suas praias são carentes de estoque de sedimento pela ausência de dunas e de um maior aporte pelos rios. Estas características físicas conferem ao litoral grande vulnerabilidade e propensão a erosão.

Esta situação agravada por intervenções antrópicas, são responsáveis pelos graves problemas relacionados com a erosão marinha que atingem cerca de 45% das praias do Estado (MAI, 2008). O IPCC, observando as causas naturais, relacionadas a processos erosivos nas zonas costeiras, estudos apontam que o nível relativo do mar atualmente apresenta uma tendência à elevação lenta, da ordem de 0,2 a 0,3 mm/ano. Uma visão pessimista aponta uma tendência de aumento de 1,2 mm/ano.

Constata-se então que uma elevação do nível do mar pode interferir no estado de equilíbrio das praias, através da perda de sedimentos e recuo das mesmas. O perfil da praia migra em direção à terra devido à erosão do estirâncio superior ou da pós-praia e o material vai se acumular na face litorânea (Suguio, 2003). Além disso, uma nítida diminuição da quantidade de sedimento (areia) sobre a costa, uma lenta elevação do nível do mar, são causas que, isoladamente têm capacidade suficiente para explicar a erosão generalizada sofrida atualmente pelas praias. Sendo a ação conjunta, elas podem criar condições desfavoráveis que ameaçam a estabilidade, permitindo um recuo das praias, muitas vezes acelerado pelos efeitos das intervenções humana (Manso, 1992).

Do ponto de vista geológico, o litoral do Nordeste brasileiro em sua origem recebeu aporte de sedimentos insuficientes oriundos do continente, onde, pequenas bacias cenozoicas, como a bacia Potiguar no Rio Grande do Norte e Recôncavo e Cumaru – BA/SE, contribuem com sedimentos para o litoral. Ao contrário das bacias intracratônicas do Amazonas e do Paraná que alimentam o extremo norte do país e o sul. Além disso, a interferência antrópica se caracteriza tanto com atuação direta e indireta. De forma direta podemos relacionar todas as construções no ambiente praial como obras de engenharia costeira, contenção e habitação. De forma indireta, relaciona-se as obras de engenharia que barram o aporte de sedimentos as praias, como o represamento ou qualquer obra que impacte e gere déficit na carga sedimentar.

De acordo com o projeto MAI (2008) as intervenções realizadas nos rios geralmente reduzem consideravelmente seu papel de principal fornecedor de material sólido à costa. Neste sentido, as barragens, através do efeito de represamento (*“dam effect”*) representam armadilhas eficazes na retenção de sedimentos. A exploração indiscriminada de areia das dunas, pós-praia e antepraia, para construção civil e aterros, agrava o déficit de sedimentos nas praias e acelera o seu processo erosivo.

Historicamente, os primeiros registros sobre o problema de erosão no litoral de Pernambuco devem-se a Ferraz (1914), estando relacionados com a construção e ampliação do Porto do Recife que modificaram as correntes litorâneas que atingem o município de Olinda. Posteriormente, os aterros de mangues, verificados na foz do rio Beberibe (divisa dos municípios de Recife e Olinda), contribuíram para acelerar o processo erosivo já instalado na Praia dos Milagres (Manso, 1992).

Em 1953 foram encomendados estudos ao Laboratoire Dauphinois d’Hydraulique Neyrpic (Grenoble, França) que recomendaram a construção de 2 quebra-mares semi-submersos e 3 espigões curtos que foram construídos nas praias dos Milagres, Carmo e Farol. No entanto, o problema não foi satisfatoriamente solucionado, ocasionando a transferência da erosão para as praias mais a norte (Bairro Novo, Casa Caiada e Janga).

Desde então, Pernambuco nos últimos anos vem acumulando obras de contenção do avanço do mar instaladas na praia que possuem pouca eficiência a longo prazo. Está tese considera recifes, bancos de areias e estruturas de proteção submersas como a primeira proteção a ser realizada na plataforma que a longo prazo possui melhor eficiência que estruturas rígidas instaladas na praia, que são capazes de manter a atual linha de costa ou até recuperar o ambiente.

1.2. Objetivos

a) Geral:

Aplicação do Sistema de Modelagem Costeiro (SMC-Brasil) na realização de séries de análises através de simulações numéricas, com intuito de compreender a dinâmica costeira do litoral de Itamaracá-PE.

b) Específicos:

- Determinar a dinâmica costeira local;
- Estabelecer um modelo baseado na morfodinâmica atual das praias;
- Calcular o transporte médio anual de sedimentos;
- Modelar a plataforma interna da Ilha de Itamaracá;
- Calcular a probabilidade da quebra de onda no perfil;
- Compreender a influência do recife para a morfologia da praia.

1.3. Localização da Área

O Município da Ilha de Itamaracá está localizado no litoral norte do estado de Pernambuco, distando cerca de 50 km da capital Recife. A Ilha compreende uma área total aproximada de 67 km² (figura 01).

1.4. Metodologia

Na realização do estudo, foram adotadas as seguintes etapas: pesquisa preliminar sobre a área, levantamento bibliográfico e de campo, tratamento estatístico dos resultados e integração de dados. O estudo bibliográfico seguiu os seguintes tópicos conceituando os aspectos oceanográficos:

Ondas: conceituação do clima de ondas através de resgate histórico;

Marés: classificação dos níveis de maré;

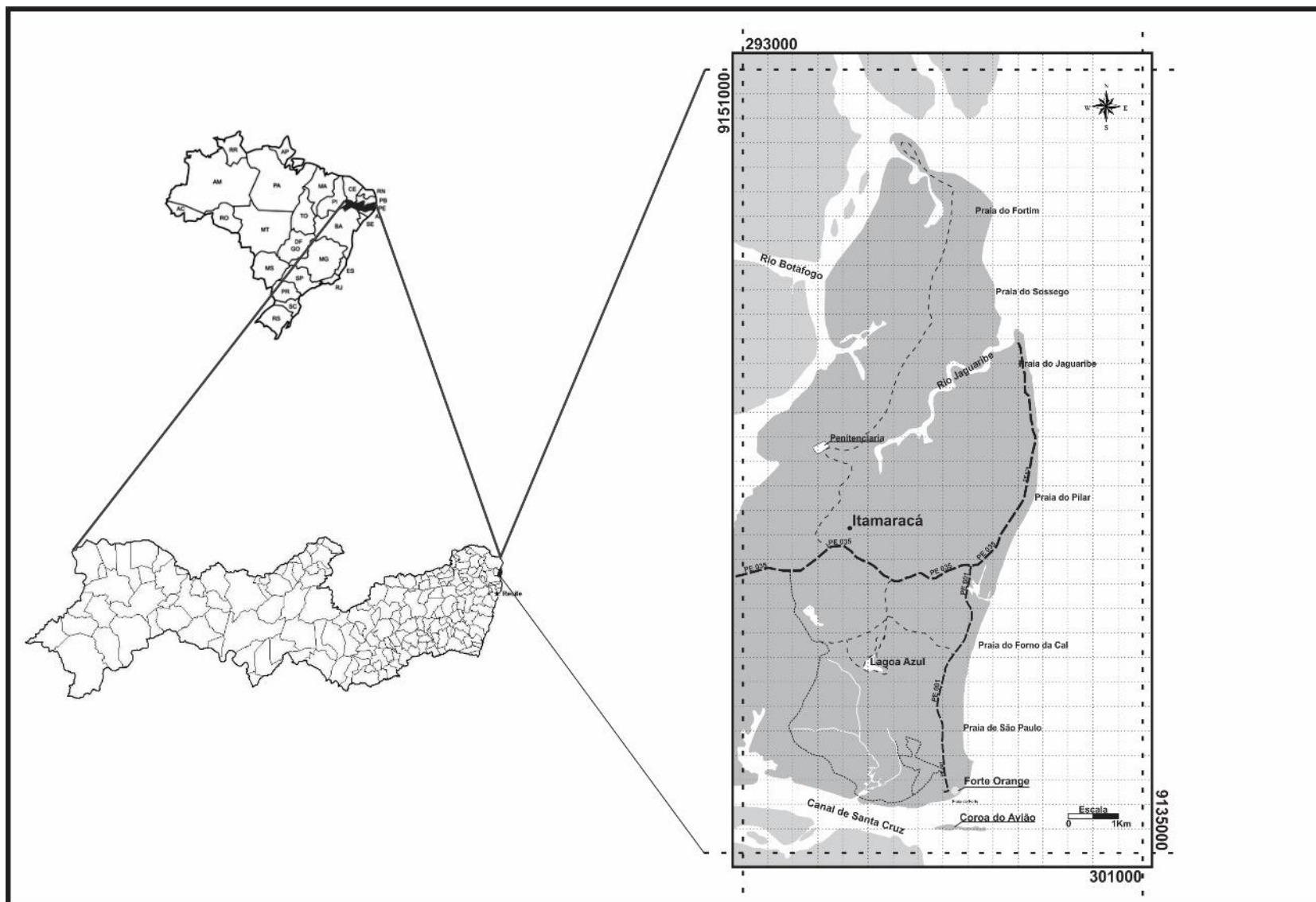
Correntes: sistema de correntes;

Ventos: regime de ventos;

Sedimentologia: caracterização sedimentológica da plataforma interna;

Batimetria: plataforma interna realizada por Varela, 2010.

Figura 01: Localização da área estudada



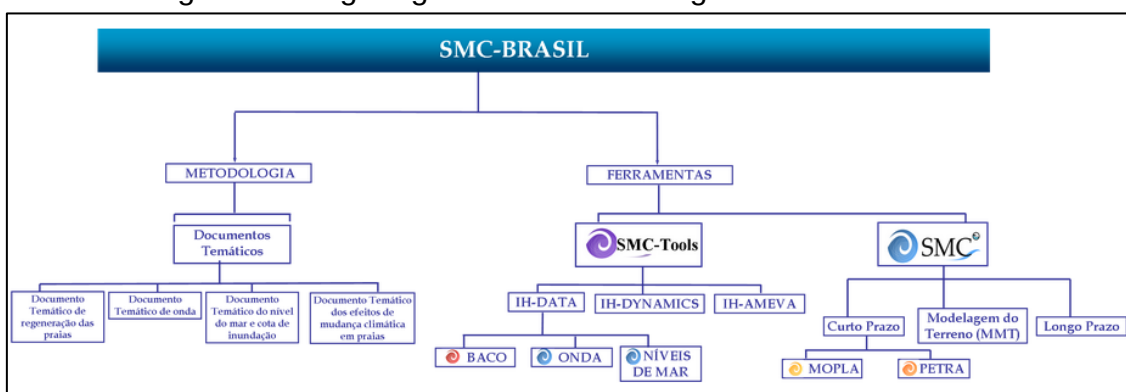
Fonte: Autor

1.5. SMC-BRASIL

O SMC-Brasil é composto por três volumes de manuais: os “documentos de referências” composto por cinco livros que tratam os modelos de correntes, propagação de ondas, erosão e sedimentação e, perfil; os “documentos temáticos” com quatro livros que tratam das mudanças climáticas, níveis, ondas e de recomposição das praias; e, os “manuais do usuário do Sistema de Modelagem Costeira” (2014) composto por dois livros que abordam as ferramentas SMC e SMC Tools e que são descritos a seguir.

O Sistema de Modelagem Costeira do Brasil (SMC-Brasil) é uma ferramenta computacional que combina metodologias de trabalho, bases de dados de cartas náuticas e modelos numéricos orientados para o estudo de problemas na zona costeira. As metodologias permitem abordar o estudo de um problema de forma sistemática (dados de entrada, escalas de processos e modelo). O SMC-Brasil pode ser dividido em dois módulos principais (figura 02):

Figura 02: Organograma da estrutura global do SMC-Brasil



Fonte: SMC-Brasil, 2014.

- SMC Tools que inclui uma base de dados de batimetria, ondas, nível do mar, transporte de sedimentos, etc.; além de ter duas ferramentas de processamento de dados integradas, uma para realizar a análise estatística das variáveis ambientais, e outra ferramenta que permite realizar a transferência de uma série de ondas a partir de profundidades indefinidas para pontos na costa (*downscaling*);

- Sistema de Modelagem Costeira (SMC) que integra uma série de modelos numéricos, que permitem dar um suporte prático à correta aplicação da metodologia de trabalho proposta nos Documentos Temáticos.

O SMC foi inicialmente desenvolvido pelo Instituto Hidráulico Ambiental da Cantábria (IH Cantábria) da Universidade da Cantábria, com o apoio da Diretoria Geral de Costas do Ministério do Meio Ambiente da Espanha. O sistema foi adaptado e transferido para a administração pública brasileira através do projeto intitulado “Transferência de metodologias e ferramentas de apoio à gestão do litoral brasileiro”. Projeto desenvolvido com a colaboração internacional de várias entidades nomeadas a seguir: A Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento (AECID), Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA), Secretaria do Patrimônio da União (SPU), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e o Instituto de Hidráulica Ambiental da Universidade da Cantábria.

A versão brasileira do SMC é uma versão mais avançada e prática do sistema desenvolvido para outros países, incluindo avanços científicos recentes na engenharia costeira e na informática. Recentemente a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), firmaram um convênio (nº 74/2013) com vista à implementação do projeto "Estudo de caso do Sistema de Modelagem Costeira Brasileiro (SMC-Brasil) em Pernambuco".

O sistema foi estruturado para trabalhar com várias escalas espaciais e temporais das diversas dinâmicas que influem na morfologia da costa, de modo a facilitar a elaboração de estudos de casos, usando as metodologias descritas nos documentos temáticos incluídos no pacote. Dessa forma, utilizando critérios técnicos padronizados e organizados de forma sistemática, pode-se utilizar os modelos numéricos mais rápida e eficientemente, aumentando a produtividade e a confiabilidade das decisões.

a) *Aplicações do SMC-BRASIL*

O objetivo básico do SMC-Brasil é proporcionar uma ferramenta numérica no campo da engenharia costeira que facilite aos técnicos a elaboração de estudos passo a passo, aplicando as metodologias de trabalho propostas nos Documentos Temáticos. Busca-se, através da unificação de critérios técnicos e da organização sistemática dos modelos numéricos, que os técnicos aumentem a qualidade de seus estudos e, desta forma, vejam o aumento da confiabilidade de suas decisões.

O SMC-Brasil é um pacote de software que permite realizar uma grande variedade de tarefas. A seguir, enumeram-se algumas delas:

- Criar ou abrir um projeto de trabalho associado a uma área de estudo da costa. O projeto gerencia todas as informações geradas dentro do estudo, armazenando-as de maneira estruturada em diretórios que seguem uma hierarquia. Um projeto pode ser criado a partir de arquivos de batimetria e/ou imagens de uma área de estudo (fotos, desenhos, cartas náuticas etc.).

- O SMC-TOOLS permite acessar uma base de dados onde se encontram a maior parte das cartas náuticas do litoral brasileiro (Baco), juntamente com as batimetrias digitalizadas das mesmas. Com esta informação é gerado um projeto de estudo onde se pode incorporar ou combinar batimetrias de detalhes provenientes de outras fontes. Uma vez nesta batimetria, é possível ir modificando-a e gerando diferentes alternativas ou situações de estudo.

- Também permite gerar projetos a partir de imagens (fotos, desenhos, cartas náuticas etc.) com as quais é possível analisar formas em planta da costa a longo prazo. No caso de se dispor de fotos de distintas épocas, é possível analisar situações passadas, presentes e futuras.

- Permite gerar um projeto a partir de diferentes batimetrias de uma mesma localidade, obtidas em diferentes épocas. Da mesma forma como com as imagens, é possível avaliar situações passadas e presentes, bem como prever situações futuras a partir de novos cenários propostos.

- O SMC-Brasil permite digitalizar e obter a batimetria e linha de costa, a partir de uma carta náutica ou mapa referenciado de uma área.

- Dentro do SMC-TOOLS é dado o acesso ao módulo IH-AMEVA que é uma ferramenta de análise estatística de variáveis ambientais com a finalidade de resolver os problemas de análises de dados e estatísticas. Esta ferramenta acessa as bases de dados de fluxo de ondas e nível do mar, inclusas no módulo do IH-Data, que são descritas nos documentos temáticos. Estas bases de dados são:

o GOW: Global Ocean Waves (MODELO WAVEWATCH III)

o DOW: Downscaled Ocean Waves (MODELO SWAN)

o GOS: Global Ocean Surges (MODELO ROMS)

o GOT: Global Ocean Tides (MODELO TPXO + níveis SATÉLITE)

- O SMC-TOOLS permite processar estas bases de dados, que foram desenvolvidas pelo IH-Cantábria para o litoral brasileiro, permitindo gerar os dados de fluxo de ondas e níveis necessários para a execução dos modelos numéricos do sistema, para uma área específica de estudo.

- Finalmente, a partir do SMC-Brasil, são executados diferentes modelos numéricos, que permitem realizar a análise em curto, médio e longo prazo de uma praia de estudo.

b) Estrutura Global do SMC-BRASIL

O SMC reúne uma série de modelos numéricos, os quais estão estruturados para desenvolver de forma metódica as ações propostas nos Documentos Temáticos e, mais especificamente, organizados de acordo com as escalas temporais e espaciais dos processos a serem modelados.

O SMC-Brasil é composto por alguns documentos metodológicos chamados “Documentos Temáticos” e algumas Ferramentas numéricas, como o SMC e o SMC-Tools.

Os documentos temáticos estão resumidos em quatro documentos:

- Documento Temático de Recomposição de Praias: o qual reúne a metodologia que deve ser seguida para o estudo ou projeto de recuperação

de uma praia. Esses dados, modelos, escalas que devemos estudar, são reunidos neste documento.

- Documento Temático sobre os efeitos das alterações climáticas nas praias: Este documento contém a metodologia que nos permite no futuro, analisar qual é a tendência com relação à estabilidade de uma praia, devido aos efeitos da mudança climática nas dinâmicas: as alturas, período e direção das ondas e o nível do mar. Este documento nos diz como avaliar para uma praia, sua tendência com relação a retração ou avanço da linha de costa, rotação praial, variação da cota de inundação etc.

- Documento Temático de Ondas: Este documento descreve a metodologia seguida para gerar as séries temporais (60 anos, a cada hora) de ondas ao longo da costa e sua transferência a partir de profundidades indefinidas até a praia de estudo.

- Documento Temático do Nível do Mar e Cota de Inundação: Este documento contém a metodologia para a determinação do nível do mar ao longo da costa do Brasil, incluindo a maré astronômica e a meteorológica (Storm Surge). Também descreve a metodologia para avaliar a cota de inundação em uma área da costa, incluindo a maré astronômica e meteorológica, o aumento do nível do mar na costa devido à quebra das ondas. Este último, ampliado pelo perfil da praia.

No que diz respeito às ferramentas numéricas, fundamentalmente há duas ferramentas:

- SMC-TOOLS: É uma ferramenta que reúne uma série de bancos de dados da costa brasileira (batimetria, ondas, níveis etc.), inclusos no módulo IH-DATA. Há, ainda, um segundo módulo denominado IH-AMEVA que é uma ferramenta de análise estatística de variáveis ambientais que permite processar as séries temporais de dinâmicas incluídas no IH-DATA. Finalmente é composto por um terceiro módulo denominado IH-DYNAMICS que permite realizar a transferência de ondas até a costa, avaliar o transporte de sedimentos e fluxo médio de energia e a cota de inundação. Ou seja, processa as séries temporais de dinâmicas marinhas e sedimentares que são necessárias como entrada dos modelos do SMC.

- SMC: Esta ferramenta reúne uma série de modelos numéricos que permitem analisar a estabilidade de uma praia. Estes são estruturados de acordo com as escalas espaciais e temporais de curto, médio e longo prazo. Também inclui um módulo de regeneração do terreno para a atualização de topografia e batimetria.

c) *SMC-Tools*

O módulo SMC-Tools é dividido em dois grandes sub-módulos: O Sub-módulo de Pré-processo que inclui o IH-Data e IH-Ameva, e o sub-módulo de Pós-processo que inclui o IH-Dynamics.

d) *Sub-Módulo de Pré-Processo*

O sub-módulo de Pré-processo é a ferramenta que dá acesso às bases de dados do IHData, constituída por uma base de dados de batimetria georreferenciada, digitalizada de cartas náuticas de toda a costa brasileira, além das bases de dados de reanálise de ondas (DOW - Downscaling Ocean Waves) e marés meteorológicas (GOT - Global Ocean Tides) e astronômicas (GOS - Global Ocean Surge). Estas bases podem ser processadas e em seguida enviadas para o módulo IH-Ameva.

O Módulo IH-Ameva (Análise Matemática Estatística de Variáveis Ambientais) tem a finalidade de pré-processar estatisticamente os dados de ondas e níveis de maré do IH-Data, fornecendo os vários parâmetros necessários para a operação do módulo SMC.

A principal finalidade do sub-módulo de pré-processo é obter os dados de entrada necessários para a execução das modelagens numéricas do módulo principal SMC, definindo uma série de condições iniciais para os modelos numéricos, como:

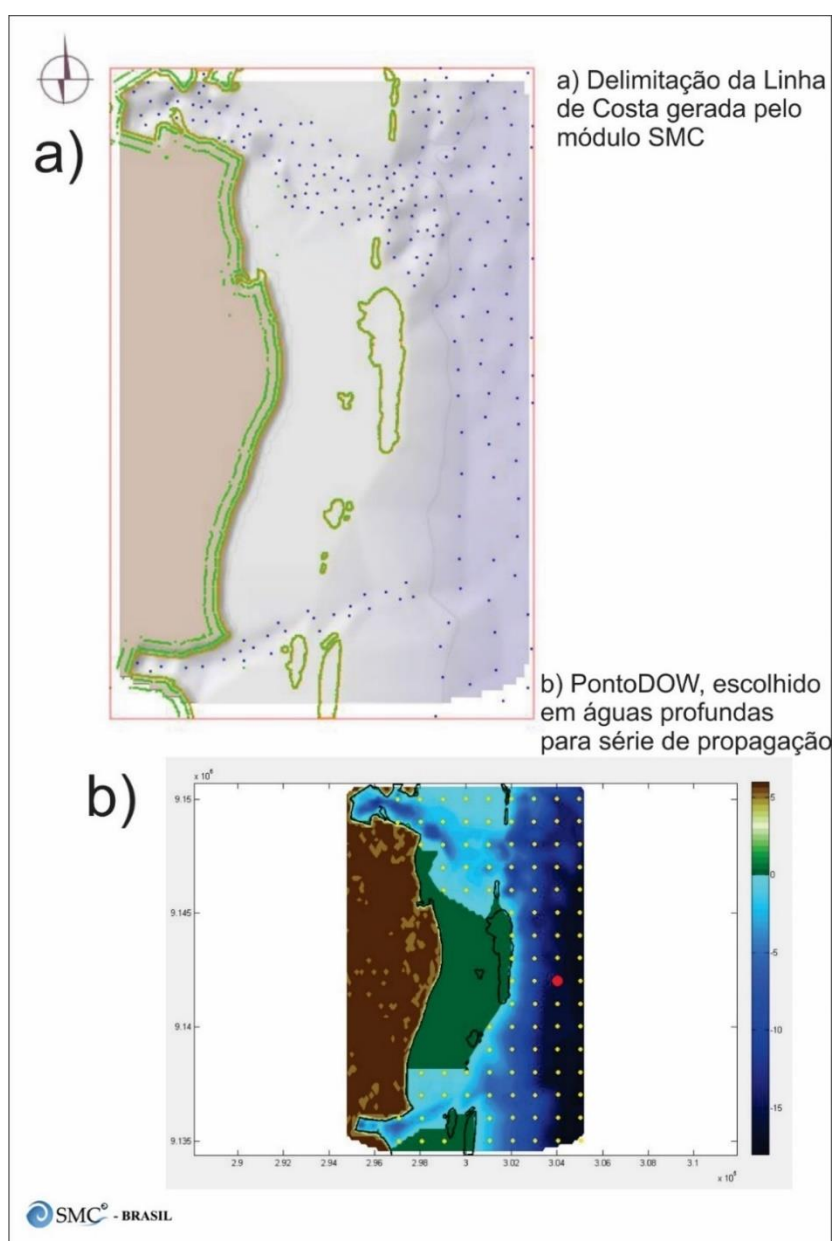
- Definir a batimetria inicial de um projeto.
- Gerar uma análise estatística e espectral que caracterize o clima de ondas em um ponto em águas profundas próximo ao local de estudo, que servirá

para ser propagada até a costa utilizando-se o modelo de águas rasas, denominado Oluca.

- Classificar a série temporal de ondas para posteriormente ser propagada.
- Gerar os casos relevantes de estados de mar para serem propagados até a costa com o SMC.

A figura 03 apresenta exemplo de delimitação da linha de costa, recife (visualizado no módulo SMC) e do ponto DOW escolhido para caracterização geral da fonte de energia de ondas na Ilha de Itamaracá.

Figura 03: Delimitação de linha de costa e determinação de ponto DOW.

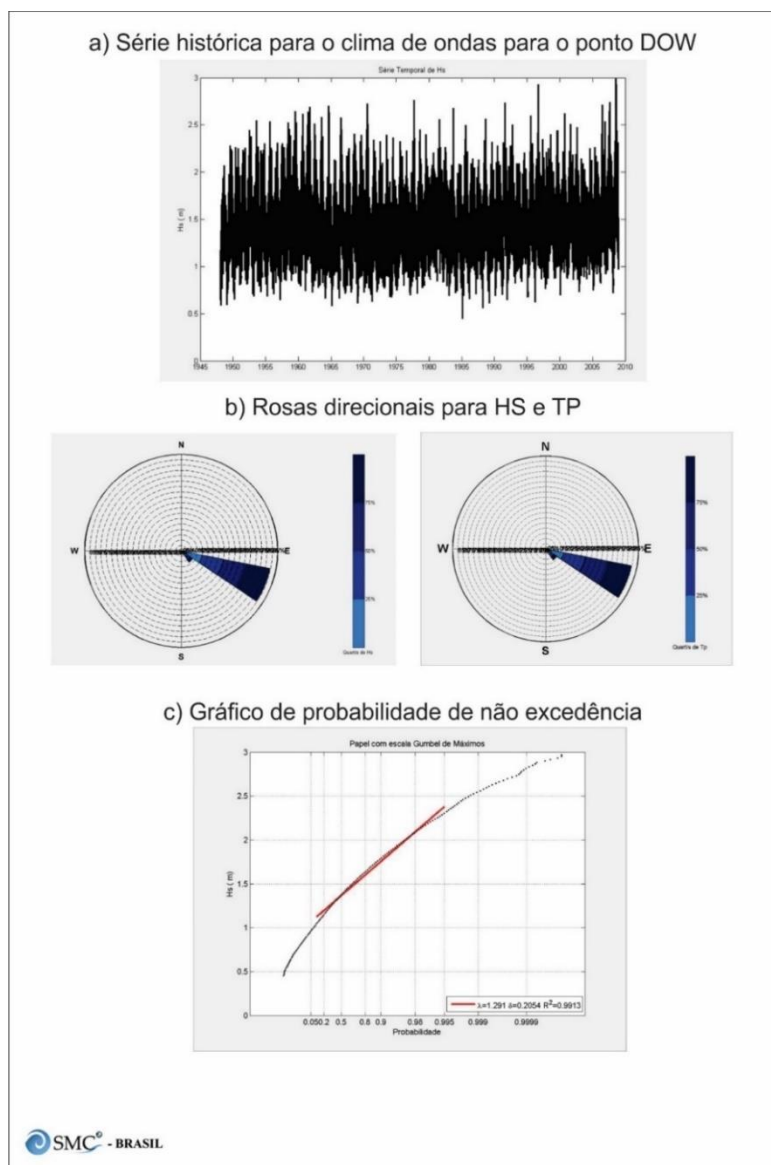


Fonte: Autor

Para a escolha do ponto DOW é considerado um ponto de propagação inicial onde as ondas não sofrem interferência do fundo marinho.

A figura 04 mostra a caracterização do clima de ondas para o ponto DOW anterior gerada através do sub-módulo de pré-processo do SMC. Observa-se o gráfico da série de dados de 60 anos de altura significativa, as rosas direcionais de altura significativa (HS) e período de pico (TP), indicam uma direção predominante de Leste-Sudeste. E o gráfico de probabilidade de não excedência da altura significativa, que indica qual a probabilidade de um mar com altura significativa não ocorrer.

Figura 04: Caracterização do clima de ondas gerada para o ponto DOW.



Fonte: Autor

Além de representações gráficas, o SMC permite apresentar os dados em forma de tabelas estatísticas de altura de onda, direção e período (figura 05).

Figura 05: Tabela estatísticas básicas do SMC-Tools.

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS					
Variável medida: Hs					
direções(Â°)	prob.direção	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ENE	0.0002	1.0850	1.1798	1.2142	1.2150
E	0.0285	1.0340	1.3604	1.8250	2.1584
ESE	0.8430	1.3998	1.8194	2.2316	2.5423
SE	0.1283	1.3646	1.6855	2.0335	2.2496
SSE	0.0000	1.0829	1.2768	1.5940	1.5940
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Fonte: Autor

e) Sub-Módulo de Pós-Processo

Após a propagação das ondas até a costa ter sido realizada no módulo principal do SMC, o que será explicado no próximo item, usa-se o sub-módulo de pós-processo do SMC-Tools, o que permite:

- Reconstruir a série temporal de ondas em pontos próximos à costa, para onde foi feita a propagação das ondas, a partir de um ponto de águas profundas;
- Fazer uma análise estatística e espectral das ondas neste ponto próximo à costa.

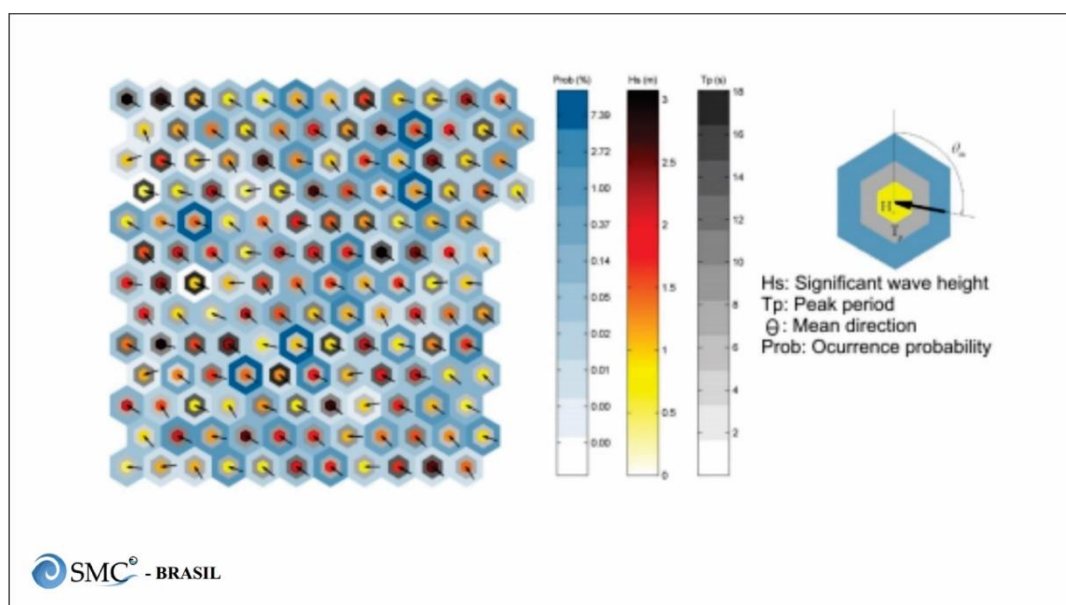
Além destas operações, pode-se também traçar vários perfis de praia perpendiculares à linha de costa, nos quais se pode calcular:

- O ponto do perfil aonde ocorre a arrebentação da onda;
- O transporte lateral de sedimentos através deste perfil;
- A direção média e o fluxo médio de energia;
- O regime médio e extremo da cota de inundação.

O sub-módulo de pós-processo do SMC-Tools permite obter as principais características da dinâmica de transporte de sedimentos em uma praia, além da cota de inundação, causada principalmente por marés meteorológicas e regimes extremos de ondas.

Como existem mais de 60 anos de estados de mar armazenados na base de dados, seria praticamente impossível se utilizar todos os estados de mar na simulação, então utiliza-se uma técnica chamada de máxima similaridade (MaxDiss) para escolher os estados de mar mais representativos do clima de ondas no ponto DOW, os quais podem ser visualizados através do esquema da figura 06. Após serem feitas as propagações dos estados de mar representativos, as séries de estados de mar então são reconstruídas através de uma técnica de interpolação (CAMUS et al., 2011).

Figura 06: Classificação do estado do mar a ser propagado para o ponto DOW.



Fonte: SMC-Brasil, 2014.

f) *Módulo SMC*

O módulo principal do pacote SMC-Brasil possui um sub-módulo de análise de praia de curto prazo Morfodinâmica de Praias (MOPLA), que foi utilizado nesta pesquisa.

O SMC também faz uso de outro sub-módulo denominado “Módulo de Modelagem do Terreno” (MMT), fundamental para facilitar a edição da batimetria de um projeto, utilizando para isso uma série de ferramentas gráficas e de desenho que fazem parte da interface do SMC.

g) *Sub-Módulo de Modelagem do Terreno (MMT)*

Fundamental para a edição da batimetria de um projeto, este módulo permite incluir dados de batimetria de alta resolução sobre a batimetria de baixa resolução padrão, fornecida pela digitalização das cartas náuticas da marinha, obtida através dos sub-módulos de préprocesso do SMC-Tools. Dessa forma é possível se ter uma melhor resposta da modelagem das ondas, ao se incluir uma batimetria que foi obtida por outra fonte de medição do fundo do mar na área de estudo.

Outras possibilidades do MMT são as edições de contornos rígidos como: diques, espigões, cais, muros de contenção, etc., bem como de contornos dinâmicos como: dragagem, engordamentos, etc. Além dos elementos modificadores da batimetria, existe a ferramenta de regeneração de batimetria, que faz automaticamente uma interpolação para preencher os espaços entre os pontos de medição das batimetrias.

No caso específico a batimetria de alta resolução realizada por Varela (2010) na plataforma interna da ilha, foi incluída no projeto sobre a batimetria da marinha, tendo como cota máxima aproximadamente 8,5 m, desta forma obteve-se uma resposta da modelagem de ondas bem mais realista do que se fosse usada apenas a batimetria da marinha (figura 07).

Figura 07: Inclusão de batimetria de detalhe no sub-módulo MMT.



Fonte: Autor

h) Programa de morfodinâmica de praias (MOPLA)

O MOPLA é o programa inserido no módulo SMC que realiza todas as modelagens numéricas, utilizadas para se estudar o comportamento dinâmico da morfologia das praias a curto prazo. Composto por modelos que simulam a propagação das ondas, o sistema de correntes induzido pela arrebentação das ondas, o transporte de sedimentos e a evolução da batimetria.

Os modelos são organizados em dois grupos: os que simulam os efeitos de um trem de ondas, e os que simulam a propagação de um espectro de energia de ondas. No estudo utilizou-se apenas a modelagem baseada em espectros de ondas, porque este tipo de modelagem resulta em uma maior precisão no cálculo de alturas de ondas, ideal para estudos de recifes, como foi o caso. Os modelos que compõem este grupo são:

- Oluca: Modelo parabólico de propagação de movimento de um espectro de ondas.
- Copla: Modelo de correntes de praia induzidas pela arrebentação de uma distribuição espectral das ondas.
- Eros: Modelo de erosão, sedimentação e evolução da batimetria de praias causadas por uma distribuição espectral das ondas.

Simulações de curto prazo podem ser feitas em sequência para vários estados de mar (espectros de ondas), através do programa Mopla, e seus resultados individuais poderão ser analisados visualmente utilizando-se a ferramenta auxiliar de edição gráfica.

i) Modelagem 2D e 3D

Após análises e tabulação de dados, para realização da vetorização, mapas do terreno e modelagem 3D, foi utilizado o software *Surfer 8* que já vem integrado a grade de ferramentas do SMC-Brasil.

2. CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA

2.1. Histórico de Ondas

O movimento mais evidente da superfície do Oceano é o das ondas. Os fenômenos ondulatórios de superfície resultam da transferência da energia do vento local e ao largo para a superfície dos oceanos. Ao atingirem áreas rasas essa energia é rapidamente liberada, gerando correntes e influenciando diretamente o transporte de sedimentos e a morfologia da costa.

Uma vez criadas pela ação dos ventos, as ondas podem viajar por milhares de quilômetros no alto mar praticamente sem perda de energia. Ao se aproximar de regiões costeiras, a energia das ondas diminui devido à interação com o fundo oceânico. Além de que, ao encontrarem estruturas naturais (cabos, promontórios, recifes, etc.) ou artificiais (píers, molhes, espigões, cais, etc.) as ondas são refletidas, refratadas e/ou difratadas, modificando suas características originais e impondo esforços sobre as mesmas.

Cunha e Guerra (1998) descrevem que, o regime de ondas representa a mais importante variável indutora dos processos costeiros de curto e médio prazo, sendo responsável pelo transporte de sedimentos nos sentidos longitudinal e transversal à linha de costa. A energia e a magnitude das ondas e a recorrência das tempestades influenciam diretamente os processos de erosão e acumulação na interface continente-oceano e no fundo marinho.

Sendo assim, o conhecimento do clima de ondas de uma região, é fundamental para a preservação das estruturas existentes, implantação de obras costeiras bem como na tomada de decisões voltadas para a contenção de processos erosivos.

Levantamentos históricos remontam dados a partir do fim da década de 1960 e meados de 1970. Estes dados são descritos a seguir e, são úteis na caracterização histórica da média de ondas no litoral Pernambucano.

As ondas de direção E-SE, associadas a ventos de mesma direção, têm altura média de 1 a 1,5 m e períodos de 5 a 7 s, dominantes durante todo ano (Dominguez *et al*, 1992).

Medidas de ondas efetuadas pela PORTOBRÁS, no Porto de Suape, nos períodos de março de 1977 a fevereiro de 1978, e janeiro de 1979 a janeiro de 1984, com a utilização de ondógrafos instalados a cerca de 17 m de profundidade, permitiram constatar o sentido da direção das ondas. Os resultados obtidos foram: na primavera (setembro a novembro), no verão (dezembro a fevereiro) e no outono (março a maio), predominam ondas que se propagam perpendicularmente à praia; no outono e na primavera ocorre leve tendência no sentido S-N; no verão, o sentido passa a ser N-S; no inverno, predomina a direção S-N.

O clima de ondas na região de Recife é representado por duas estações distintas aqui definidas Verão e Inverno. Na tabela 01, apresenta-se os valores dominantes por estações para os quatro anos de medidas. A altura significativa variou no período entre 0,75 m e 1,2 m, sendo os menores valores encontrados durante a estação do verão. O período dominante de 6,5 segundos é o mesmo para as duas estações e não variou durante os 4 anos de observações. A direção mostra-se de forma variada sendo a mesma nos anos de 1980 e 1983, respectivamente 120 e 112 graus, e com direções mais ao norte no período do verão nos outros anos.

Tabela 01: Valores Dominantes de Hs, Tz e D por estação

Ano	1980		1981		1982		1983	
Parâmetro	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Hs (m)	0,9	1,2	1,05	1,1	0,95	1,15	0,75	0,95
Tz (s)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
D°	120	120	105	120	112	120	112	112

Ainda, levantamentos hidrodinâmicos estabelecidos em 1999, constou da obtenção dos dados da onda incidente, altura obtida visualmente, medindo-se a diferença em altura entre a crista e a cava da ondulação, em um determinado

ponto da zona de arrebentação e o período, correspondente a 1/10 do tempo total decorrido para a passagem de onze cristas consecutivas em um ponto fixo, assim como o ângulo de incidência das ondas pelo processo puramente visual.

Os parâmetros hidrodinâmicos da área pesquisada, foram medidos na zona de arrebentação, na preamar em duas estações e os valores médios obtidos nos dez meses (março/99 - dezembro/99), estão representados na tabela 02.

Tabela 02: Valores médios das medições realizadas em 1999.

Período	Hb	Ts	A°
03 a 12 de 1999	0,66	6,74	5,66

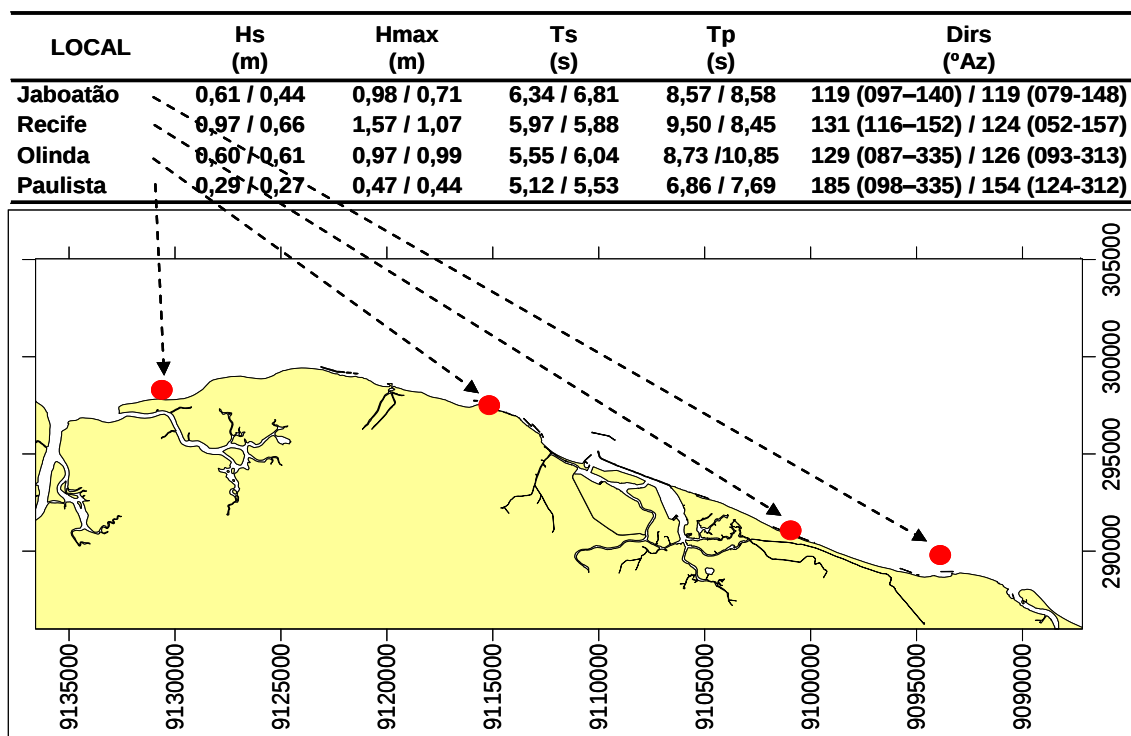
Neste levantamento as maiores alturas medidas, ocorrem entre os meses de junho a outubro, não caracterizando desta forma uma sazonalidade. A metodologia adotada nesta análise obteve valores compatíveis aos já encontrados no litoral de Pernambuco.

O Projeto MAI – Monitoramento Ambiental Integrado, no período de 2007 a 2008, visando caracterizar o clima de ondas incidentes sobre a costa ao longo da região metropolitana do Recife, realizou 8 ancoragens de um ondógrafo/marégrafo S4 InterOcean Systems, duas em cada um dos municípios: Jaboatão dos Guararapes, Recife, Olinda e Paulista. Durante essas campanhas, foram obtidas séries temporais de 7 a 8 dias de duração, com o instrumento sendo fixado 1 m acima do fundo e coletando informações a cada 3 horas, por períodos de 30 minutos (figura 08).

As Análises das series temporais obtidas para a área de estudo apontam para ondas de gravidade com alturas significativas médias de 0,60 a 0,97 m nas áreas costeiras de Jaboatão dos Guararapes, Recife e Olinda e de 0,27 a 0,29 m em Paulista. Esta última estação está localizada em uma região onde predominam recifes adjacentes a costa. Os períodos significativos das ondulações nas 4 estações variaram entre 5,1 e 6,8 segundos. As maiores

ondulações ocorreram na região do Recife, com Hs de 1,57 no período de ventos mais intensos.

Figura 08: Altura significativa (Hs), altura máxima (Hmax), período significativo (Ts), período de pico (Tp) e direção das ondulações de superfície ao longo da região metropolitana.



Fonte: MAI, 2008.

Em 2011, dados obtidos pelo ondógrafo *Waverider MKIII*, do Projeto Boia UFPE, ao largo do Porto de Suape, para o período de 02 a 08 de dezembro de 2011, indicam:

- Altura máxima (dia 02/12) = 1,77 m e mínima (dia 07/12) = 1,16 m.
- Período máximo (dia 06/12) = 10 s e mínimo (dia 08/12) = 9,04 s.

Para Olinda, dados de onda e corrente litorânea medidos na praia de Bairro Novo, no dia 07/12:

- Para ondas, os valores medidos foram: altura de (Hm): 1,67; período (Ts): 9,0; ângulo de incidência: 5°; tipo de arrebentação: mergulhante.

- Para corrente litorânea, os valores medidos foram: velocidade: 1.55 m/s; sentido: N-S.

Para o período de setembro a dezembro de 2011, a altura de onda significativa variou entre 0,85 m a 2,62 m apresentando uma média de 1,57 m. O mês de setembro apresentou a maior altura de onda significativa, tanto para valores máximo, mínimo e média, 2,62, 1,14 e 1,76 metro respectivamente. O período de pico de onda variou entre 5 s e 15,38 s, apresentando o maior pico e a maior média no mês de setembro com valores iguais a 15,38 s e 9,59 s respectivamente.

No ano de 2012, para os meses de janeiro a agosto, a altura de onda significativa variou entre 0,85 m e 2,58 m e o período de pico de onda entre 4,55 m e 18,18 m. Entre os meses de janeiro e abril, a altura de onda significativa máxima ficou abaixo de 2 m, já para os meses de maio a início de agosto, apresentaram valores maiores que 2 m. O maior valor de altura de onda significativa, 2,58 m ocorreu no mês de julho, o mesmo apresentou ainda a maior média deste período, 1,78 m.

Com relação à direção de ondas estas se apresentaram predominantemente de sudeste e leste, como os ventos predominantes da região. Os maiores valores de H_s de ondas foram observados no segundo semestre do ano, com predominância de ondas provenientes de SE e S-SE.

Bezerra (2013), em estudo realizado no litoral de Boa Viagem através de análise de dados de ondas obtido através de Radar WAMOS II, durante um período de 13 meses de coletas, observou a presença de ondas do tipo vagas, com altura significativa predominante entre 1,0 m e 1,5 m. As maiores alturas de ondas foram observadas em períodos de maior velocidade do vento, entre os meses de julho a outubro de 2010, e menores valores em períodos de menor velocidade do vento, nos meses entre dezembro de 2010 a março de 2011. Estas ondas apresentaram direção preferencial de ESE, e período predominante entre 7 s e 8 s.

Também foi identificado a presença de ondas do tipo swell, com ocorrência expressiva nos meses de maio, junho, outubro e dezembro de 2010 e em janeiro, fevereiro e março de 2011. Estas ondas apresentaram período

predominante entre 10 s e 13 s, e altura significativa predominante baixa, variando de 0,5 m a 0,7 m, porém havendo registro de ondas provenientes do Oceano Atlântico Norte (swell de norte 6,97% e swell de nordeste 4,38%). Neste período foi registrado a altura máxima de onda predominando entre 1,2 e 2,1 m.

Com dados coletados por ondógrafo na costa de Pernambuco durante o período de três anos (2011-2014), durante a execução do Projeto MC-ONDAS/NE, foi possível caracterizar que as ondas predominantes na região de PE são os sistemas de vagas, geradas pelos alísios que sopram continuamente sobre o oceano Atlântico tropical, porém também são registrados vários sistemas de swell, predominantemente vindos do quadrante Sul, e que se caracterizam por ter períodos de pico acima dos 10s.

Estes sistemas de swell são mais evidentes nos meses de outono, devido a atividade de tempestades e frentes-frias no Atlântico Sul nesta época do ano, além do fato de os ventos alísios, que sopram nesta região, não estarem tão intensos como nos meses de inverno, formando assim sistemas de vagas menores, que muitas vezes não conseguem mascarar a presença dos swells. Os meses que possuem a maior atividade de agitação marítima correspondem aos meses de inverno, e os de menor agitação marítima são os meses do verão, isso devido respectivamente à maior e menor intensidade dos ventos alísios durante estes meses (Gomes, 2015).

Ainda segundo Gomes (2015) através de uma análise estatística do clima de ondas na região, demonstrou que as direções das ondas predominantes são de leste-sudeste, com 75% das ondas provenientes desta direção, tanto para o clima extremo quanto para o clima típico. A segunda direção mais provável são as ondas vindas de sudeste, com 24% de probabilidade, e as ondas de leste com menor probabilidade.

Objetivamente podemos então representar os valores obtidos com esses estudos a seguir (tabela 03):

Tabela 03: Resumo dos parâmetros dos estudos levantados.

Levantamentos	Onda			Ano
	H _(m)	T _(s)	Direção	
Hong-Bem & Lumb	1,0-1,5	5 a 7	E-SE	1967
Suhayda	0,40	7,5	E-SE	1977
Suape	0,9-1,2	6,5	E-SE	1980
Suape	1,05-1,1	6,5	E-SE	1981
Suape	0,95-1,15	6,5	E-SE	1982
Suape	0,75-0,95	6,5	E-SE	1983
Suape	0,66	6,74	E-SE	1999
Jaboatão	0,61-0,44	6,34-6,81	E-SE	2007-2008
Recife	0,97-0,66	5,97-5,88	E-SE	2007-2008
Olinda	0,6-0,61	5,55-6,04	E-SE	2007-2008
Paulista	0,29-0,27	5,12-5,53	E-SE	2007-2008
Suape	1,46	9,52	E-SE	2011
Boa Viagem	1,0-1,5	7 a 8	E-SE	2011
Olinda	1,67	9	E-SE	2012

2.2. Mares

As marés são importantes ondas dos oceanos, as quais apresentam um levantamento e um abaixamento rítmicos sobre um intervalo de tempo de várias horas. Ela traduz-se por uma oscilação periódica do nível do mar, de período e amplitude variáveis no tempo e no espaço, devido à atração gravitacional entre a Terra, a Lua e o Sol. Esta oscilação é acompanhada por correntes horizontais (correntes de marés), nas quais seu limite e sua intensidade variam igualmente no tempo e no espaço observados.

No domínio costeiro, a variação na amplitude das marés pode ser a causadora de profundas modificações no processo de sedimentação do litoral, seja acumulando ou erodindo a costa. O *“Shore Protection Manual”* (1984) menciona elevações do nível d’água que podem atingir mais de sete metros sobre costas abertas, baías e estuários.

As marés registradas na área são classificadas como semi-diurnas, devido ao fato de terem um período médio de 12 horas e 24 minutos (744 minutos), apresentando duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar (Craik, 2004).

Dados de previsão da maré astronômica são disponibilizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. O nível de referência de uma maré é o Nível de Redução (NR), definido segundo a Organização Hidrográfica Internacional (BHI) como um plano de referência tão baixo que a maré não fique abaixo dele em condições normais. As tábuas de marés são, portanto, calculadas em relação a este referencial (NR).

A região estudada está submetida a um regime de forte mesomaré (Hayes, 1979), variando de -0,2 m a 2,6 m. As correntes de maré exercem influência substancial no modelamento costeiro, principalmente quando estão associadas ao período de ventos intensos que sopram de SE e as marés de sizígia (MMA, 2006).

No Porto do Recife as marés medidas apresentam altura média de 1,67 m, com alturas médias de sizígia de 2,07 m e alturas médias de quadraturas de 0,97 m (Macêdo, 2015).

Desta forma, optou-se por utilizar a média de maré de 1,67 m e maré máxima de 2,6 m para os dados de entrada no SMC.

2.3. Correntes

Segundo Muehe (1995), a angulosidade de incidência das correntes é muito importante no transporte de sedimentos e na deposição, pois este fator determina sua velocidade e, portanto, a trajetória dos sedimentos.

Os sistemas de correntes que afetam a morfologia da costa são as correntes de marés, fluviais e as costeiras, estas últimas têm a sua intensidade modulada pela intensidade das ondas que atingem o litoral.

São as correntes de marés que exercem influência substancial no modelamento costeiro, principalmente quando estão associadas ao período de ventos intensos que sopram de SE e as marés de sizígia. Esta associação produz intenso processo erosivo em toda zona litorânea. Apesar disso, o presente trabalho não estudou estas correntes de maré, pois o SMC-Brasil faz avaliação somente da variação que a maré causa no nível do mar e sua

consequência sobre a propagação das ondas e não as correntes geradas pela maré em si.

Segundo Bittencourt *et al.* (2005), o sistema de correntes costeiras é caracterizado por uma deriva litorânea que predomina de S-N na costa nordestina do Brasil.

Os dados sobre correntes são poucos e pontuais para a costa de Pernambuco e derivam de alguns trabalhos isolados. Não há nenhum estudo específico sobre correntes de retorno que as quantifique a não ser em trabalhos em que se pode inferir a presença destas na zona de surfe a partir da caracterização dos estados morfodinâmicos característicos (Macêdo 2015).

Segundo Manso *et al.* (2006), as velocidades das correntes obtidas *in situ* no litoral de Pernambuco, possuem sentido preferencial norte-sul, bem como velocidades de até $0,3 \text{ m.s}^{-1}$. Resultados de correntes próximo da costa no litoral de Pernambuco (Boa Viagem), obtidas através do radar WAMOS II, mostram uma tendência de máximos e mínimos de correntes, seguindo o período de ventos mais intensos e menos intensos, respectivamente, além de direções preferenciais para ESE (Bezerra, 2013).

Para o estudo, utilizou-se a ferramenta SMC-Brasil, para calcular as correntes costeiras geradas pelos eventos de ondas, associadas a eventos de marés, utilizando os dados de reanálise contidos no banco de dados IH-Data, para calcular a corrente costeira na área de estudo.

2.4. Ventos

O regime de ventos que prevalece sobre a costa pernambucana é regular e sazonal, governados pelo padrão geral de distribuição da pressão atmosférica no Oceano Atlântico Sul, influenciado principalmente pelo centro de alta pressão subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que tem a sua posição e intensidade variando ao longo do ano (Manso *et al.*, 2006). A área de estudo está situada na faixa de influência dos ventos alísios e de baixas pressões atmosféricas (1,016 mBar), (MAI, 2008). Soprando em 90% do tempo do setor E-SE, com velocidades médias de 3 a 5 m/s.

Os ventos alísios de sudeste e as brisas marinhas exercem grande influência nas condições climáticas da área, podendo minimizar ou maximizar os efeitos térmicos advindos da insolação (MMA, 2006).

Dados históricos observacionais indicam que durante o período de fevereiro a setembro predominam ventos de SE com velocidades médias de 2,6 a 4,0 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, com ventos mais intensos nos meses de junho a setembro, observando valores acima de 10,0 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, com direção preferencialmente de S-SE. Ventos de E-NE e menos intensos, com velocidade em média de 2,0 a 2,1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, ocorrem com mais frequência nos meses de novembro e dezembro (Bezerra, 2013).

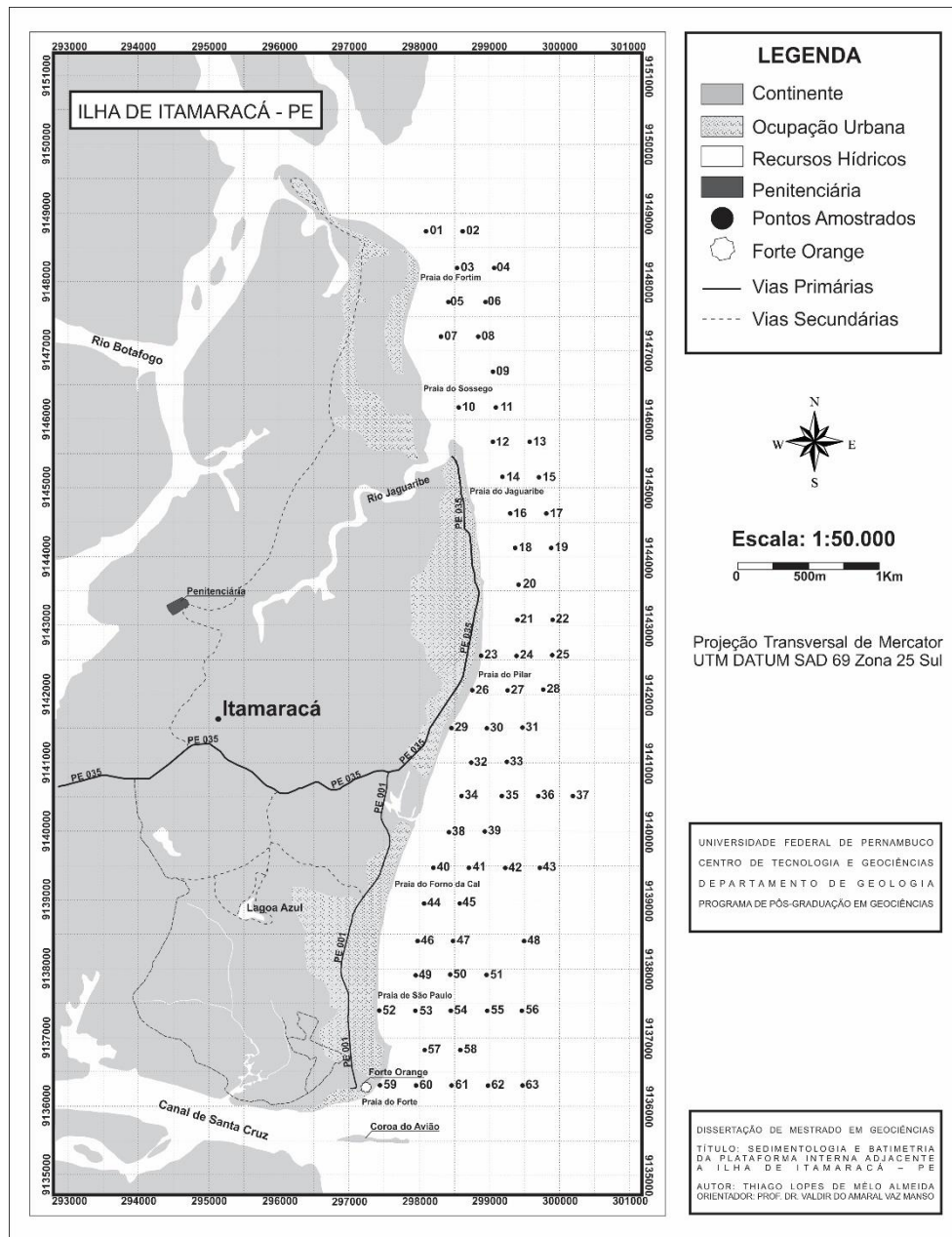
Assim, a região apresenta um verão com ventos fracos e predominantemente de Leste, devido ao anticiclone apresentar menor intensidade e se situar mais próximo da costa Africana, eventualmente a direção do vento pode mudar para Nordeste, devido à influência de um centro de baixa pressão posicionado no litoral Sul do país. Durante os meses de inverno a ASAS tende a se deslocar para mais perto do litoral do Brasil e se intensificar, devido ao desenvolvimento da Zona de Baixa Pressão Antártica, intensificando os ventos de Sudeste.

2.5. Sedimentologia da Plataforma

Almeida (2011), definiu recentemente as características sedimentológicas da plataforma interna da Ilha de Itamaracá realizando coletas com distância de 500 m, ao longo de 25 perfis, perpendiculares a costa atingindo a profundidade de 10 m e com equidistância de 500 m, perfazendo recobrimento total de 18,75 km^2 (figura 09).

O diâmetro médio e o desvio padrão, as análises revelaram a existência da predominância da classe textural areia, entre esta as cinco subclasses distintas de grãos, distribuídos ao longo da plataforma interna, são: areia muito grossa (14%); areia grossa (10%); areia média (22%); areia fina (36%); e areia muito fina (18%). E o grau de selecionamento agrupados em 4 tipos, são: bem selecionado (7%); moderadamente selecionado (59%); pobremente selecionado (23%); e muito pobremente selecionado (11%).

Figura 09: Posição dos pontos amostrados.



Fonte: Almeida, 2011.

No setor norte, compreendido entre a Barra de Catuama e a foz do Rio Jaguaribe, as frações encontradas evoluem na escala de areia muito fina, areia fina e areia média, progradando no sentido sul-norte. Explica-se a deposição de material fino no local devido a cotas de profundidade maior no local. A exceção das frações depositadas próximas a costa e na foz do Rio Jaguaribe, onde ocorre diminuição da profundidade, favorecendo a que as ondas remobilizem o fundo,

deixando o material mais fino em suspensão. Nesta faixa, há uma deposição dos grãos no sentido da escala de areia média a grossa.

O grau de selecionamento médio no setor norte, apresenta características bem uniformes. Variando na escala de moderadamente a bem selecionado, com características bem homogêneas entre si.

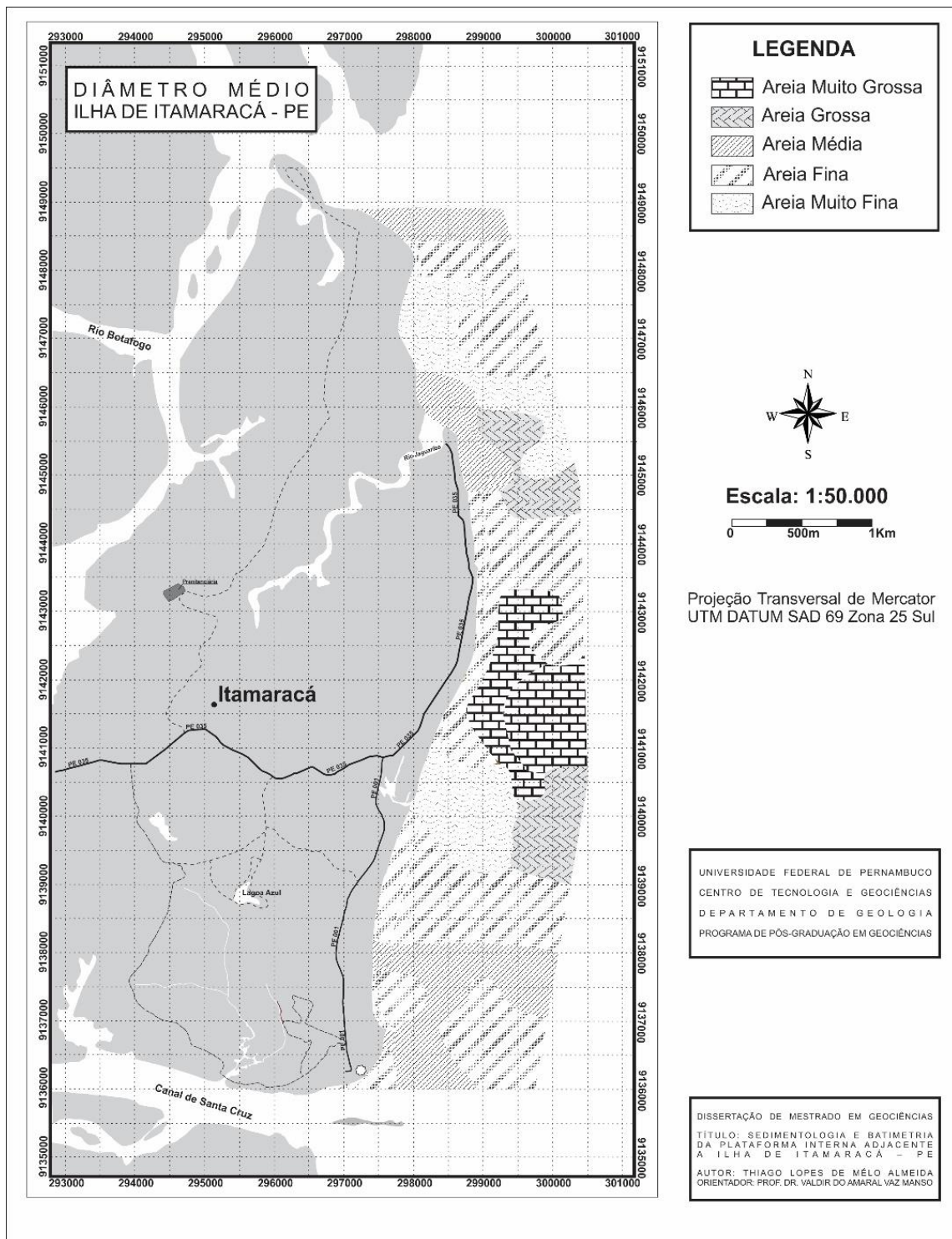
No setor central, delimitado pela foz do Rio Jaguaribe e ao sul pelo late Clube Itamaracá, as frações granulométricas variam de areia muito fina, areia fina, areia grossa a areia muito grossa. O Acumulo do material mais fino ocorre próximo a praia, numa estreita faixa de areia, enquanto o material mais grosso é depositado ao longo do setor e próximo aos recifes.

A área protegida por recifes possibilita a deposição de grãos mais finos em uma estreita faixa junto a praia. Porém, a condição desprotegida em alguns setores, propicia a formação de uma zona de arrebentação afastada da praia, esta configuração não permite a deposição dos grãos mais finos no local, por constituir uma zona de maior energia hidrodinâmica onde ocorre arrebentação.

No setor central o grau de seleção variando de muito pobremente selecionado a moderadamente selecionado, a morfoscopia dos grãos na área apresentou na sua totalidade a composição de Halimeda e Carapaças de Moluscos.

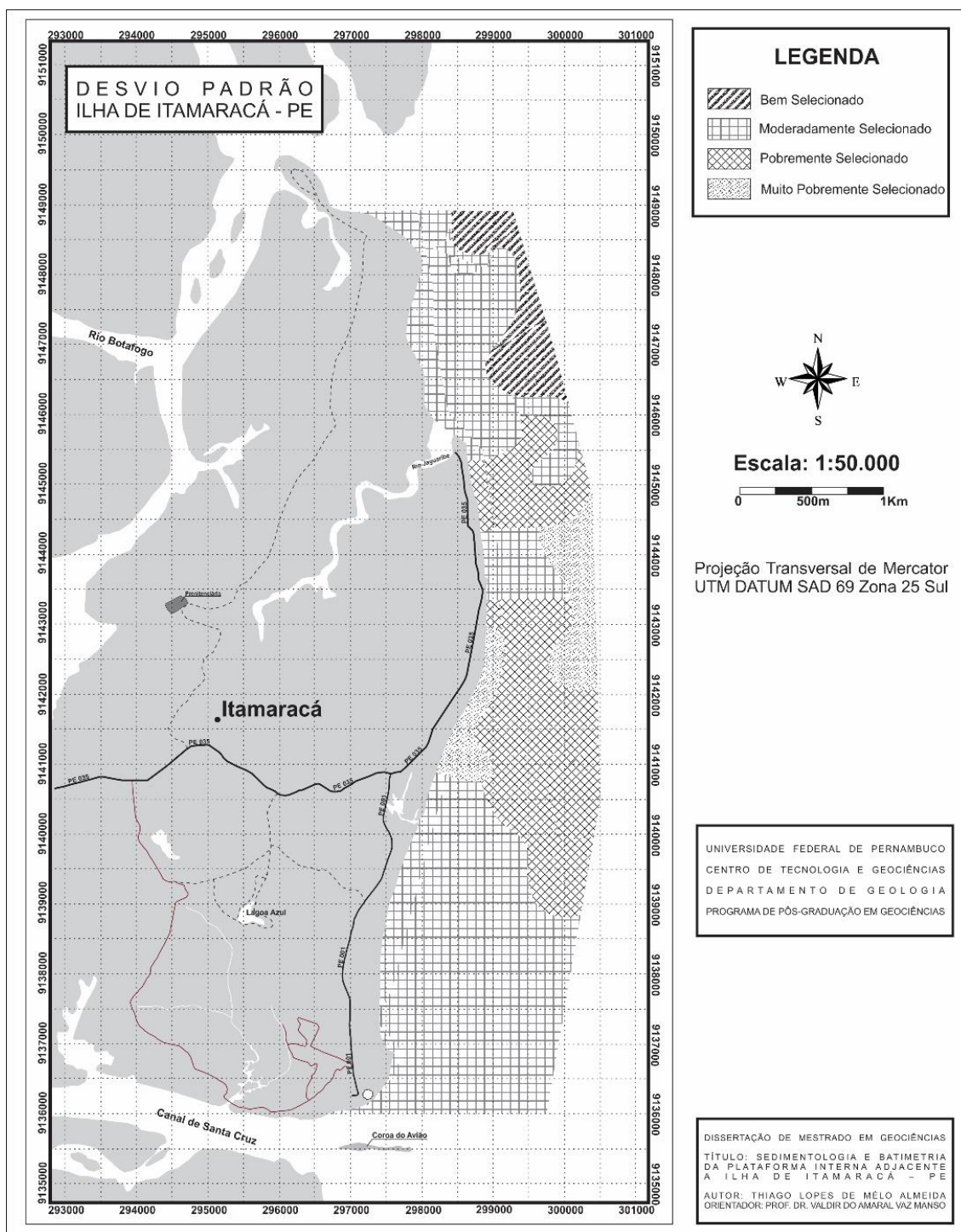
O setor sul da Ilha, delimitado pelo late Clube de Itamaracá e a Praia do Forte Orange, apresenta quase que homogeneidade na variação do diâmetro médio dos grãos. Variando de areia fina a média, o fundo tem característica irregular com suave declividade, no sentido do mar, localmente apresenta uma descontinuidade na linha de recife (figuras 10 e 11).

Figura 10: Mapa de distribuição do diâmetro médio.



Fonte: Almeida, 2011.

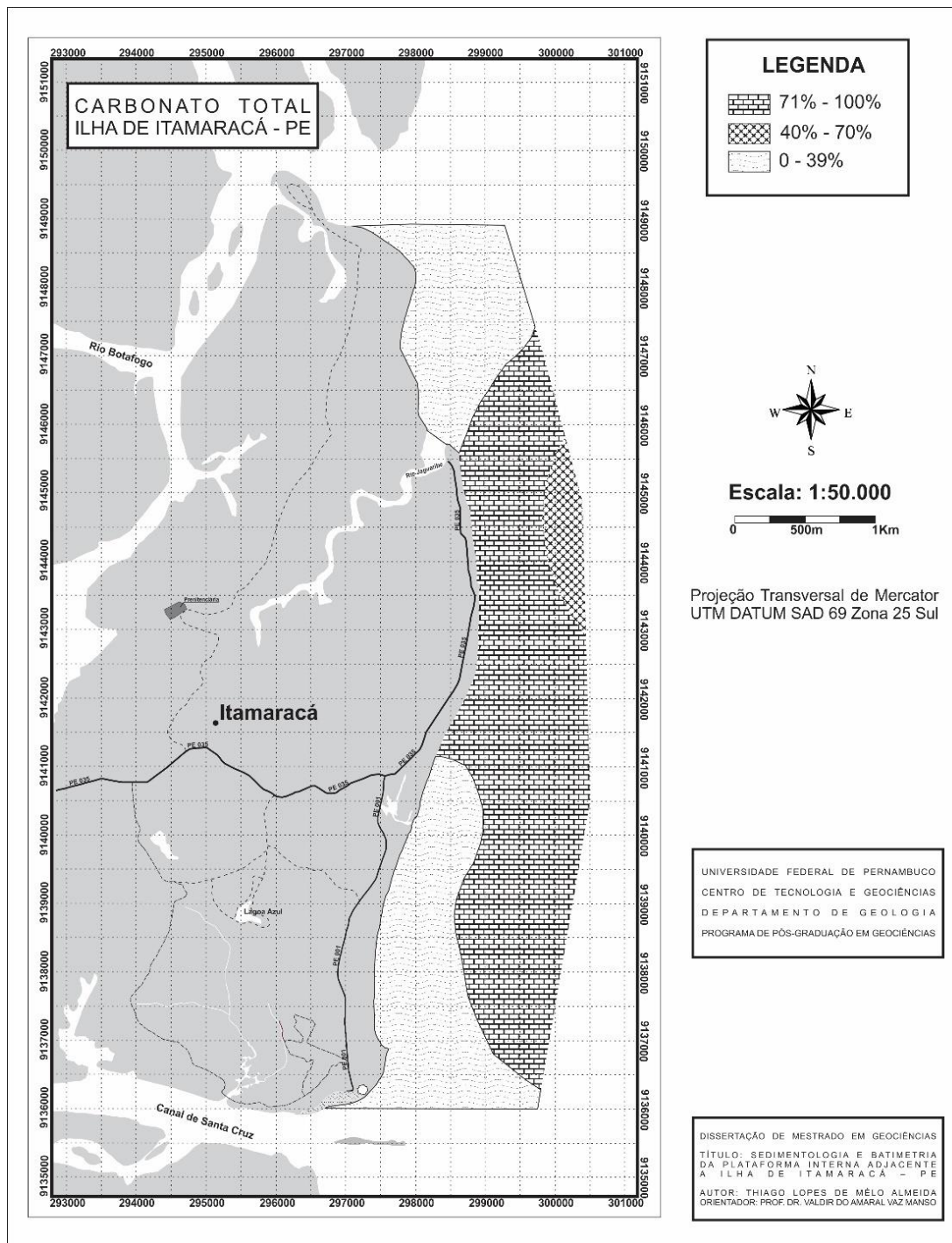
Figura 11: Mapa de desvio padrão.



Fonte: Almeida, 2011.

Os sedimentos carbonáticos na plataforma encontram-se distribuídos na plataforma de forma que a maior concentração está associada ao entorno do recife. E, quando da influência da desembocadura ou do Canal de Santa Cruz ou do rio Jaguaribe ocorre menor concentração de sedimentos carbonáticos (figura 12).

Figura 12: Mapa de Carbonato Total.



Fonte: Almeida, 2011.

3. EROSÃO E DEFESA DAS PRAIAS

3.1. Estruturas de defesa

A defesa das praias é uma atividade onerosa e complexa, que exige um planejamento eficiente que não afete a estética e principalmente seja econômico. As formas de defesa utilizadas nas praias do estado não satisfazem nenhum dos três objetivos acima. Não são eficientes por demandar intervenções a curto prazo o que termina onerando mais ainda a obra e esteticamente retiram a beleza da praia instalando estruturas que não são naturais ao ambiente.

Além disso, essas obras não visam no primeiro momento a recuperação do ambiente e sim a proteção, tem sempre as características de serem pontuais e emergenciais. Estas estruturas fixas são comumente encontradas nas praias do estado e são descritas a seguir.

a) Espigões

Obras dispostas perpendicularmente à linha de costa, normalmente ultrapassando a zona de arrebentação, com o objetivo de reter o sedimento transportado pela corrente da deriva litorânea. Intervenção recomendada para praias que apresentam grande volume de transporte litorâneo. Podendo estabilizar trechos de praia que passam a apresentar um aspecto segmentado.

A grande desvantagem deste tipo de intervenção é transferir o problema para as áreas seguintes à deriva litorânea, por vezes ampliando o processo erosivo, que passam a apresentar um recuo da linha de praia. É uma obra utilizada para proteção do litoral de Olinda (figura 13).

Figura 13: Espigões no Bairro Novo-Olinda.



Fonte: MAI, 2008.

b) Quebra-mares

Obra longitudinal em relação à linha da costa, instalado a certa distância, emerso e composto por enrocamento rochoso que pode ser segmentado ou não (figura 14). Com o objetivo de refrear a energia e diminuir a altura das ondas antes que estas cheguem na praia. Este tipo de intervenção foi empregado em diversas praias do estado como em Paulista, Casa Caiada (Olinda) e Candeias (Jaboatão).

Indicada para costas de baixa amplitude de marés têm a vantagem de criar uma zona de sombra entre a estrutura e a praia, provocando o acumulo de sedimentos, mas apresentam o inconveniente de provocar o processo de erosão no setor adjacente à jusante da corrente.

Os quebra-mares podem ser projetados submersos, criando um ponto de arrebenção na plataforma e assim diminuindo a energia e a altura das ondas que chegam a praia, evitando uma interrupção total do transporte litorâneo.

Figura 14: Quebra-mares e espigões-Paulista.



Fonte: MAI, 2008.

c) Muros de proteção

Obras de defesa geralmente dispostas paralelamente à linha de praia. Construídos com o objetivo de proteger do ataque frontal das ondas, são comumente instaladas muito próximas ao mar, sejam sobre duna frontal ou pós-praia. Situação comum no estado onde as construções já avançaram sobre a praia e o muro é utilizado como solução imediata para proteção dos imóveis (figuras 15 e 16).

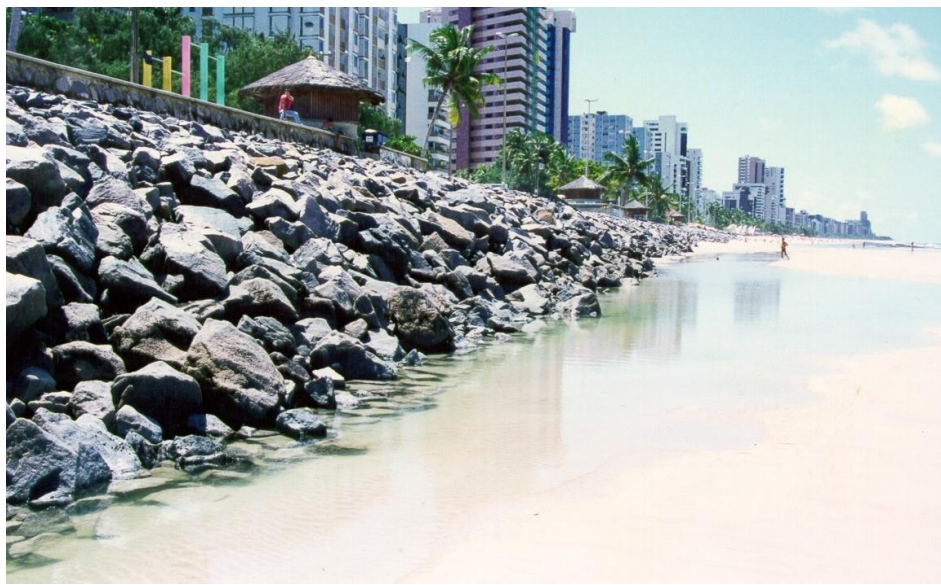
Apresentam o grande inconveniente de impedir todas as trocas de areia entre a duna e o estirâncio, as quais são necessárias ao bom equilíbrio do sistema. Com a redução do aporte de sedimentos ocorre a diminuição da largura da praia (estirâncio) e consequentemente a concentração da energia de arrebatamento das ondas no local, provocando aumento da turbulência da água, maior carga de sedimentos em suspensão, uma consequente aceleração da erosão da praia, o solapamento do muro e por fim seu colapso.

Figura 15: Muro de proteção aderente reflexivo e impermeável em Olinda.



Fonte: Sales de Melo, 2015.

Figura 16: Muro de proteção aderente dissipativo e permeável em Boa Viagem.



Fonte: Sales de Melo, 2015.

d) Alimentação artificial das praias

Tem a finalidade de corrigir o déficit sedimentar, injetando areia para restabelecer o perfil de equilíbrio da praia, sem perturbar os processos naturais atuantes no litoral.

O material a ser utilizado na obra deve estar o mais próximo possível e ser muito semelhante ao que constitui a praia que se quer reconstruir. Geralmente é dragado da plataforma, mas em alguns casos pode ser retirado do campo de dunas. Em ambos os casos, antes de proceder a retirada do material, deve-se efetuar um estudo integrado para identificar os possíveis impactos ambientais decorrentes da extração de areia.

No estado de Pernambuco praias como as de Jaboatão dos Guararapes passaram por esse processo (figura 17).

Figura 17: Engorda na praia de Candeias.



Fonte: Autor, 2017.

3.2. Erosão costeira na Ilha de Itamaracá

Segundo Manso *et al.* (2006), a erosão costeira foi registrada em aproximadamente 1/3 das praias do estado de Pernambuco. Tendo como fatores principais a intervenção antrópica, seja por ocupação desordenada das áreas de pós-praia e até da área de praia, impermeabilizando os cordões marinhos arenosos do holoceno, ou com a construção de estruturas artificiais de proteção contra o processo erosivo, sem nenhum estudo técnico que oriente estas construções de forma a não prejudicar a dinâmica de sedimentos costeiros.

O estado de Pernambuco possui uma faixa costeira pouco extensa, que representa 4% do seu território total, mas onde está concentrado cerca de 44% da população, apresentando crescimento demográfico acelerado, ocorreu a maximização dos problemas erosivos nas praias. Podendo se afirmar que o processo de urbanização nas zonas costeiras influencia diretamente nos processos erosivos.

A ocupação desta faixa de terra em específico remete ao modelo de colonização adotado na época pela coroa portuguesa. Com uma economia voltada à exportação de suas manufaturas para a Europa e com o propósito de defesa dos seus portos. Várias vilas e povoados se estabeleceram na costa e estes passaram a condição futura de cidades.

A ocupação de Itamaracá data do início do período colonial brasileiro, foi em 1528, no local hoje conhecido como Vila Velha, estabelecida a primeira ocupação quando fundada a Feitoria de Itamaracá. Mas, só em 21 de janeiro de 1535 o povoado foi elevado à condição de vila.

Até então, a Ilha não possuía construção próximas a praia, foi apenas em 1631 com a construção do Forte Orange que este cenário foi alterado. Mapas holandeses que remontam a época indicam Vila Velha, o Forte, um engenho na região mais central e rotas de acesso como únicas intervenções humanas na área. Além disso, é interessante notar o entorno retratado ao Forte, localizado numa restinga e ao que aparenta uma informação que o local onde se encontrava poderia estar alagado ou não, dependendo do nível da maré. (figura 18).

Na questão da erosão, o mapa de época já fazia referência ao arqueamento da costa na hoje conhecida como Praia de São Paulo. Séculos após, a paisagem da Ilha ainda guarda semelhanças com o passado. Porém, toda a área de restinga foi aterrada e no seu espaço loteamentos surgiram com comércio e casas. E com isso, a Praia de São Paulo, já vista com sua vulnerabilidade natural, com a urbanização perdeu seu ambiente natural de troca de sedimentos e acentuou os problemas locais.

Figura 18: Caerte Vant Eylant Tamarcca.



Fonte: Original manuscrito que integra o atlas de Johannes Vingboons do Instituto Histórico, Arqueológico e Geográfico Pernambucano, Recife. BARLAEUS, 1647.

Na figura 19 (Detalhe da 'Descrição da Ilha de Tamaraca com os alojamentos do Inimigo Olandez quando o Tomou; e o fortificação da Villa'), a praia do Pilar localizada na região central da Ilha, tem sua costa proeminente em relação ao setor sul, característica mantida até os dias atuais e fato que indica já a influência do recife na proteção da área. Pelas construções identificadas ao longo do setor, indicam estabilidade do ambiente.

[illegible]

O Forte Orange, símbolo do estabelecimento holandês na época (1631), por ser representado em mapas antigos é útil como parâmetro de comparação das alterações da linha de costa através do tempo. Em imagens mais atuais, compreendidas num período de tempo de 10 anos (2007-2016), é possível notar forte retrogradação da linha de costa ao norte do Forte, especificamente a praia de São Paulo. Este fato, trouxe um alerta nos moradores e entidades (IBAMA) situadas na região, muros de contenção se destacam na paisagem como paliativo na proteção do patrimônio (figura 20).

Figura 20: Evolução da erosão na linha de costa sul de Itamaracá 2007 – 2016.



Evolução da erosão na Praia de São Paulo de 2007 - 2016.

- A) 2007 -
- B) 2009 -
- C) 2016 - Atual

Fonte: Autor

O setor central da Ilha apresenta menor variação da linha de costa ao longo do período avaliado. Porém, é o que apresenta maior concentração de construções na linha de praia. Estas construções ao longo do tempo perderam quase que por completo a faixa de areia a frente do seu estabelecimento, mas devido a proteção natural do recife sua taxa de erosão ocorre em menor velocidade se comparado aos outros dois setores (figura 21).

O setor norte por sua vez, apresenta quase que por completa perda da faixa de areia na Praia do Fortim, a praia é naturalmente desprotegida de recifes e possivelmente com o passar dos anos o aporte de sedimentos vindos pelo canal tem diminuído, sendo incapaz de suprir a perda para o mar (figura 22).

É de interesse da sociedade e da ciência a busca por uma solução que contemple uma resolução a longo prazo. Para isto, torna-se importante ter o conhecimento dos aspectos dinâmicos das praias no enfrentamento dos problemas de erosão. Para o caso específico da Ilha de Itamaracá, neste capítulo é apresentado o estudo de caso dos parâmetros hidrodinâmicos, sendo caracterizado o nível do mar para os três setores da Ilha, clima de ondas, correntes e modelagem da plataforma.

Figura 21: Evolução da erosão na linha de costa central de Itamaracá 2007 – 2016.



Evolução do litoral central da Ilha de Itamaracá 2007 - 2016.

A) 2007 -

B) 2009 -

C) 2016 - Atual

Fonte: Autor

Figura 22: Evolução da erosão na linha de costa norte de Itamaracá 2007 – 2016.



Evolução do litoral Norte da Ilha de Itamaracá 2007 - 2016.

A) 2007 -

B) 2009 -

C) 2016 - Atual

Fonte: Autor

3.3. Os Currais

No Brasil, até 1960, a atividade pesqueira era predominantemente artesanal, com a produção voltada para o mercado interno. Na referida década, a pesca industrial começou a ter maior participação na produção nacional de pescado, porém, a quase totalidade da produção era destinada à exportação. Na época, as empresas de pesca contavam com subsídios governamentais que possibilitaram o desenvolvimento de um parque industrial mais sofisticado (Neiva, 1990).

Além de sua importância na contribuição para a produção nacional de pescado, a pesca artesanal apresenta relevância social e econômica, sendo fonte de proteína animal, renda e subsistência de várias comunidades pesqueiras. Caracterizada, principalmente, por mão de obra familiar e embarcações de pequeno porte que exploram ambientes localizados próximos à costa, devido às limitações de autonomia de mar e ao raio de ação. A captura das espécies é feita por técnicas com reduzido rendimento relativo e sua produção é total ou parcialmente destinada ao mercado regional (Diegues, 1989).

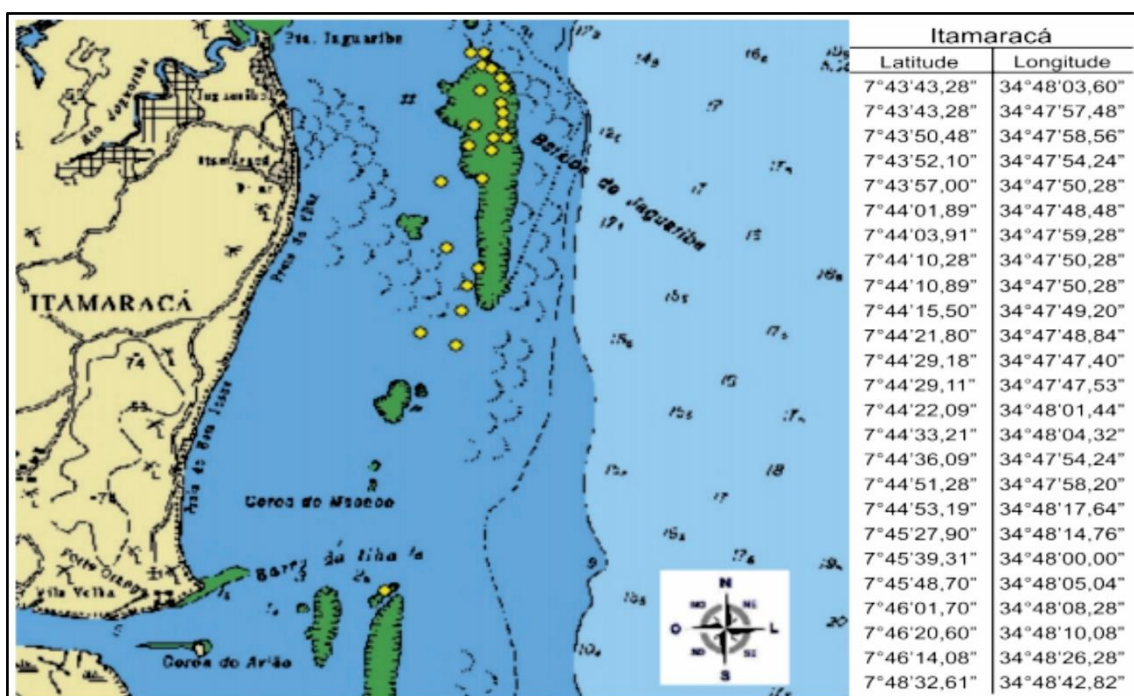
Os currais, foram então introduzidos no Brasil na época de 1694, quando três militares portugueses construíram os primeiros labirintos para aprisionar os peixes na Praia de Pau Amarelo, litoral norte da então capitania de Pernambuco (Silva, 2001).

Os currais daquela época não se diferem totalmente dos utilizados atualmente, sua função principal é funcionar como uma armadilha que utiliza o princípio do aprisionamento, ou seja, o peixe não consegue sair depois que chega ao seu interior. Sua edificação em substrato marinho ocorre sempre em regiões de mar tranquilo e baixa declividade.

Em Itamaracá, foram registrados 25 currais (figura 23), cuja maioria está concentrada sobre o baixio de Jaguaribe, em uma distância que varia de 2 km a 3 km da praia. Os currais estão distribuídos em frente às praias do Pilar e Jaguaribe, sendo nessa última localidade registrado apenas um curral que fica próximo à foz do rio Jaguaribe, também sobre o banco de areia (Lucena, 2013).

Na localidade, os currais são fixados em aberturas existentes do recife, formando conjuntamente uma estrutura inteiriça com aproximadamente 6 km paralelo a região central da Ilha.

Figura 23: Mapa de localização dos currais na Ilha de Itamaracá.



Fonte: Lucena, 2013.

A interação entre currais e recife é registrada através de fotografias, no ano de 2006 as estruturas estavam destruídas pela falta de manutenção, durante esses anos os pescadores locais recuperaram e fortificaram as estruturas. Com a falta das estruturas que ficam submersas ancoradas no recife, a praia do Jaguaribe, em frente a maior concentração dos currais começou a sofrer processo erosivo, com a nítida recuperação da praia é relevante afirmar que a reestruturação dos currais nos espaçamentos do recife foi decisiva para se reestabelecer a praia (figura 24).

Figura 24: Evolução da praia do Jaguaribe após recuperação dos currais submersos instalados nas aberturas do recife.



Fonte: Cedida por Valdir Manso, 2018.

4. DINÂMICA COSTEIRA DE ITAMARACÁ

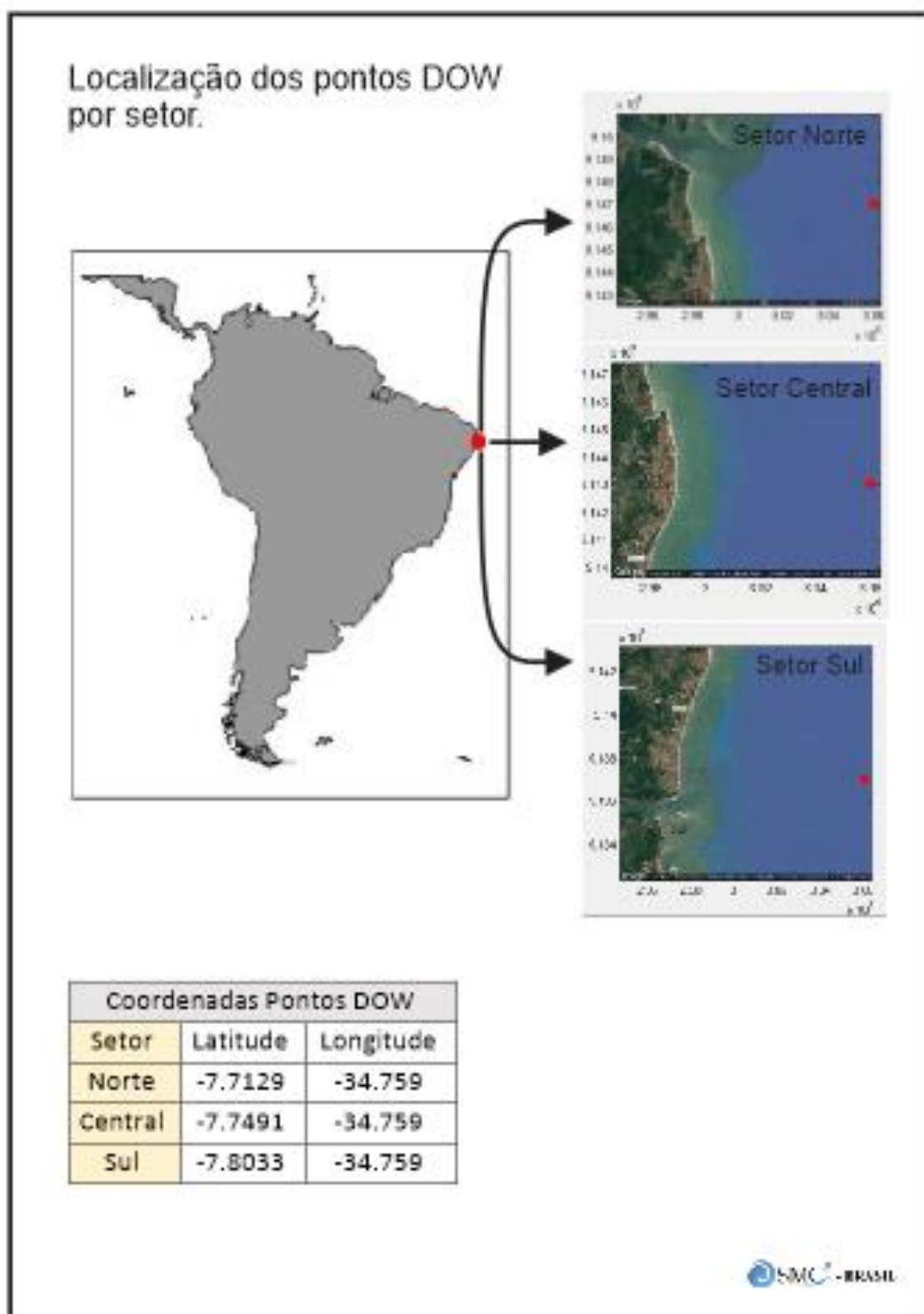
4.1. Aplicação do SMC – Brasil

Para caracterização das marés astronômicas e meteorológicas das praias de Itamaracá, a ilha foi setorizada em três regiões: sul, central e norte. Onde foram aplicadas malhas desenhadas visando propagar ondas de regiões profundas para rasas. Sendo selecionado pontos DOW próximos a cada malha. Para seleção dos pontos foram utilizados os dados da base GOT, que já se encontram estabelecidos no explorador de dados.

Conforme figura 25, os setores, a definição das malhas e pontos DOW ficaram assim estabelecidos.

Os resultados das variações de nível do mar levam em consideração o valor de 1,5m como sendo o nível médio (NM) da maré pré-definido para a área estudada.

Figura 25: Localização dos pontos DOW por setor.



Fonte: Autor

4.2. Setor Norte

Para o setor foram propagados 50 casos, com equivalência de 150 execuções em pré-processo pelo SMC Tools. Os casos propagados são os considerados mais relevantes dentro dos parâmetros estabelecidos para a malha. A tabela 04 contempla cada caso relacionando as alturas relativas das ondas período de pico e direção relativa.

Em seguida é apresentada a ficha com os casos selecionados e seus vetores de direção, probabilidade e pico de ondas. Além das combinações, geradas automaticamente, dos casos propagados (Figura 26).

a) Caracterização do Nível do Mar

Com um regime de oscilação do nível do mar governado por uma maré astronômica, as oscilações na série temporal representado no histograma da figura 27 apresentam variáveis entre -1,4 m e +1,4 m, ocorrendo as preamares e baixamares mais frequentes entre -0,5 m e +0,5 m.

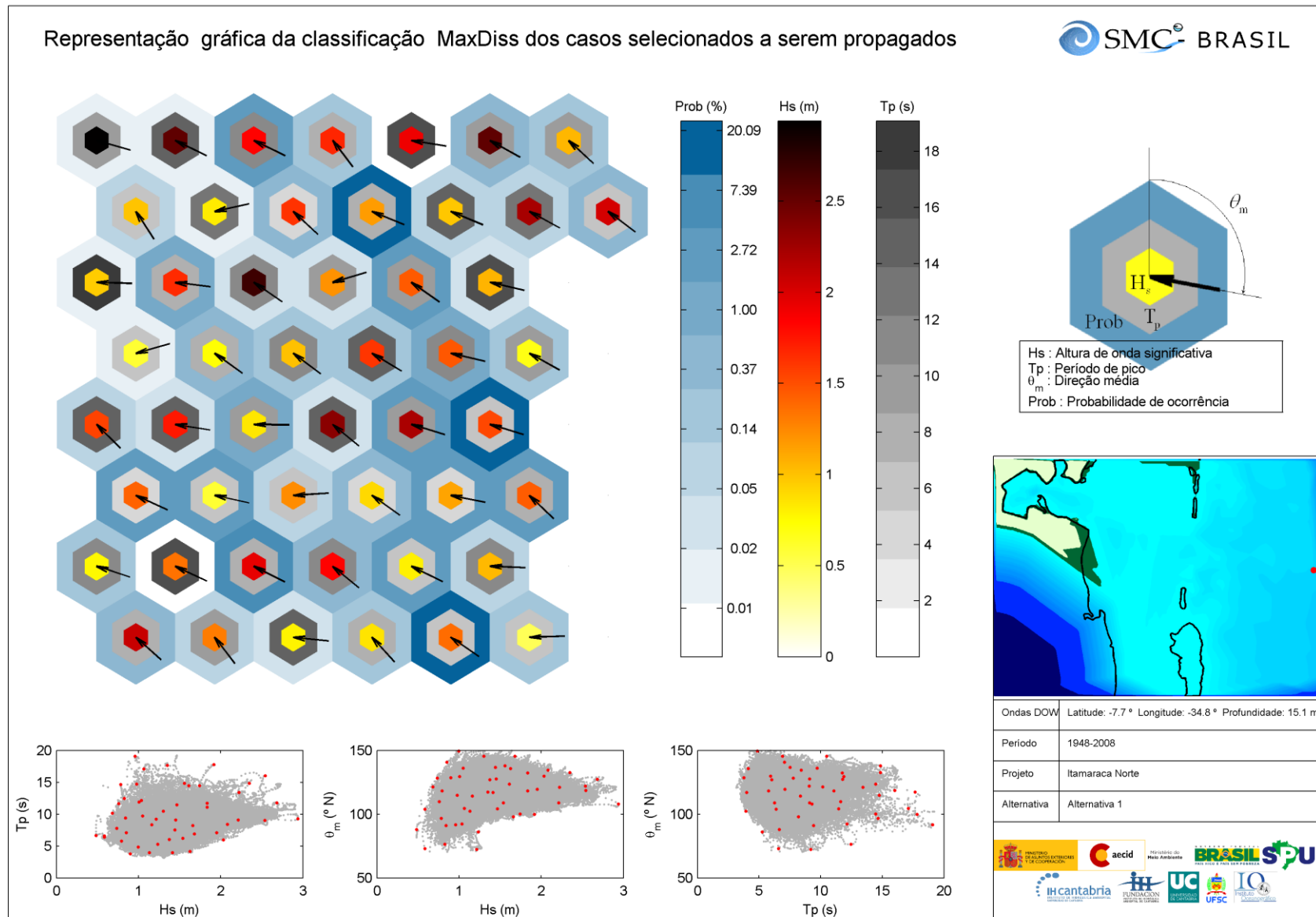
Em relação a maré meteorológica, ou seja, a elevação do nível do mar devido a influência de eventos atmosféricos, a série temporal apresenta histograma com oscilações entre os períodos de -0,1 m e +0,1 m, com períodos de picos oscilando de maneira igualitária nas últimas décadas. O histograma demonstra o percentual de frequência em relação a subida e descida do nível do mar ao longo da série histórica que oscilou entre -0,2 m e +0,2 m (Figura 28).

Para o setor norte a série histórica representativa do nível médio de maré apresenta histogramas com picos entre +1,0 m e +1,5 m em sua preamar e -1,5 m e -1,0 m em sua baixamar. Porém, com frequência maior de representatividade são marés entre -0,5 m e +0,5 m (Figura 29).

Tabela 04: Lista de casos propagados no setor norte.

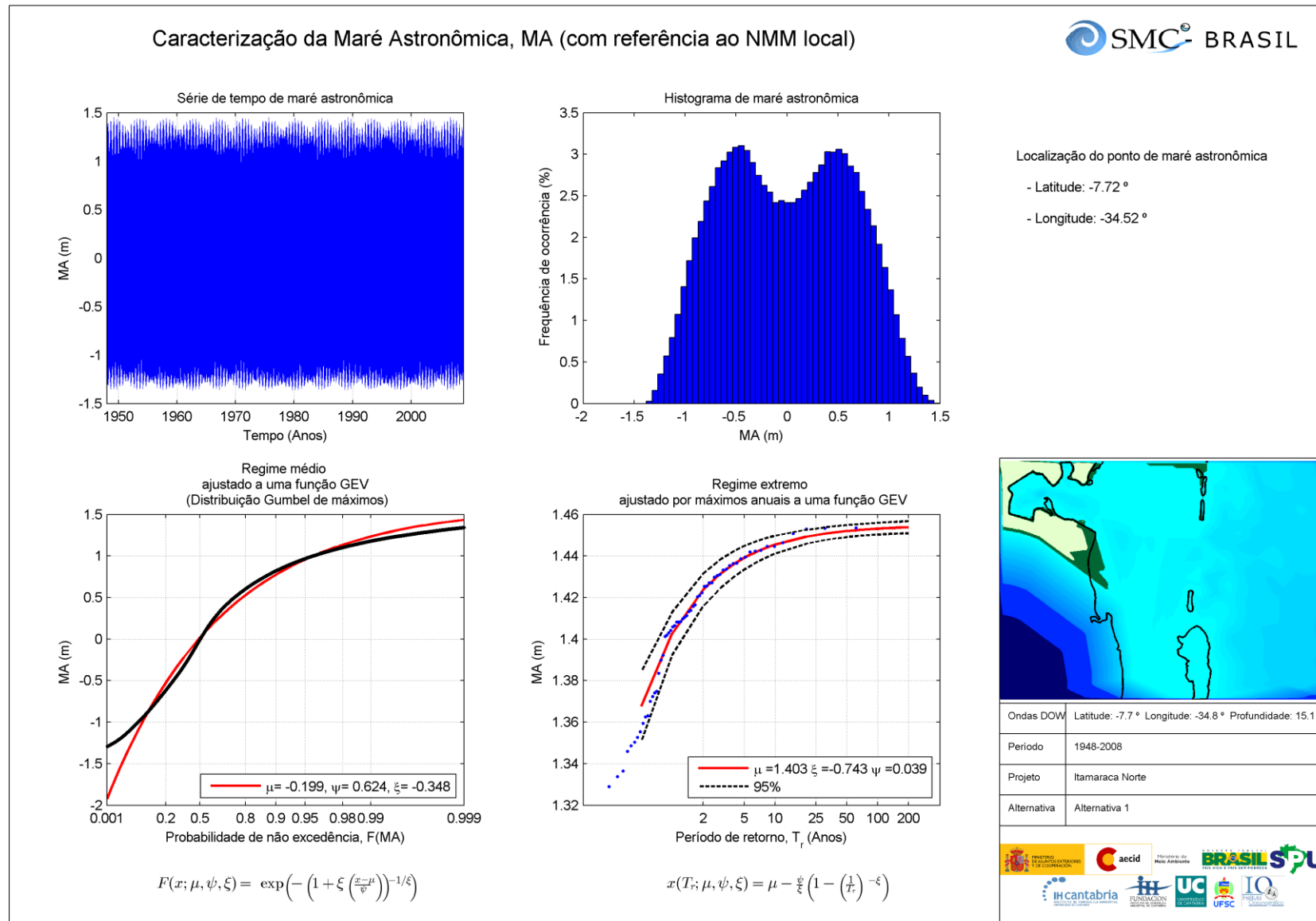
caso	Hs	Tp	Dir	DirRel	Prob (%)	Propagado	malha 1
1	2.94	9.30	107.81	-162.19	0.01	true	MALHAITA03
2	1.00	4.87	149.54	-120.46	0.05	true	MALHAITA03
3	0.96	19.09	91.77	-178.23	0.01	true	MALHAITA03
4	0.58	6.59	72.94	162.94	0.01	true	MALHAITA03
5	1.56	14.84	137.87	-132.13	0.05	true	MALHAITA03
6	1.41	3.98	117.19	-152.81	3.70	true	MALHAITA03
7	0.76	11.63	109.78	-160.22	0.17	true	MALHAITA03
8	2.08	8.43	134.55	-135.45	0.35	true	MALHAITA03
9	2.54	16.00	118.50	-151.50	0.01	true	MALHAITA03
10	0.82	12.46	76.34	166.34	0.01	true	MALHAITA03
11	1.66	8.19	97.98	-172.02	1.17	true	MALHAITA03
12	0.73	7.77	128.35	-141.65	0.40	true	MALHAITA03
13	1.74	14.45	100.01	-169.99	0.02	true	MALHAITA03
14	0.59	6.38	103.78	-166.22	2.05	true	MALHAITA03
15	1.35	17.67	117.30	-152.70	0.00	true	MALHAITA03
16	1.30	10.50	145.38	-124.62	0.04	true	MALHAITA03
17	1.83	11.06	118.18	-151.82	3.03	true	MALHAITA03
18	1.63	4.13	135.66	-134.34	0.28	true	MALHAITA03
19	2.68	11.78	127.34	-142.66	0.02	true	MALHAITA03
20	1.01	11.89	129.61	-140.39	0.12	true	MALHAITA03
21	0.84	9.43	90.99	-179.01	0.86	true	MALHAITA03
22	1.23	5.25	85.98	175.98	0.09	true	MALHAITA03
23	1.95	7.09	119.53	-150.47	12.85	true	MALHAITA03
24	0.78	14.65	96.72	-173.28	0.03	true	MALHAITA03
25	1.68	6.91	145.51	-124.49	0.12	true	MALHAITA03
26	1.16	8.34	114.37	-155.63	23.63	true	MALHAITA03
27	1.22	9.21	72.28	162.28	0.02	true	MALHAITA03
28	1.61	14.46	123.73	-146.27	0.15	true	MALHAITA03
29	2.35	14.84	132.56	-137.44	0.02	true	MALHAITA03
30	0.90	3.75	128.56	-141.44	0.50	true	MALHAITA03
31	1.83	11.73	132.39	-137.61	0.34	true	MALHAITA03
32	0.85	7.07	140.66	-129.34	0.14	true	MALHAITA03
33	1.92	17.81	99.80	-170.20	0.00	true	MALHAITA03
34	0.97	14.75	114.79	-155.21	0.05	true	MALHAITA03
35	1.45	9.09	127.56	-142.44	4.05	true	MALHAITA03
36	1.47	11.45	104.19	-165.81	1.02	true	MALHAITA03
37	2.21	9.09	108.98	-161.02	2.80	true	MALHAITA03
38	1.13	3.94	102.45	-167.55	2.15	true	MALHAITA03
39	0.79	5.78	118.27	-151.73	3.45	true	MALHAITA03
40	1.37	6.02	127.04	-142.96	15.92	true	MALHAITA03
41	2.54	9.06	122.00	-148.00	0.64	true	MALHAITA03
42	2.22	13.42	121.13	-148.87	0.10	true	MALHAITA03
43	1.06	17.11	104.50	-165.50	0.02	true	MALHAITA03
44	0.68	10.15	121.51	-148.49	0.13	true	MALHAITA03
45	1.54	6.24	108.95	-161.05	16.42	true	MALHAITA03
46	1.44	7.50	136.60	-133.40	2.11	true	MALHAITA03
47	1.04	12.13	92.36	-177.64	0.08	true	MALHAITA03
48	0.48	6.64	88.10	178.10	0.11	true	MALHAITA03
49	1.05	9.70	136.07	-133.93	0.14	true	MALHAITA03
50	2.03	5.94	129.95	-140.05	0.54	true	MALHAITA03

Figura 26: Representação gráfica MaxDiss dos casos a serem propagados setor norte.



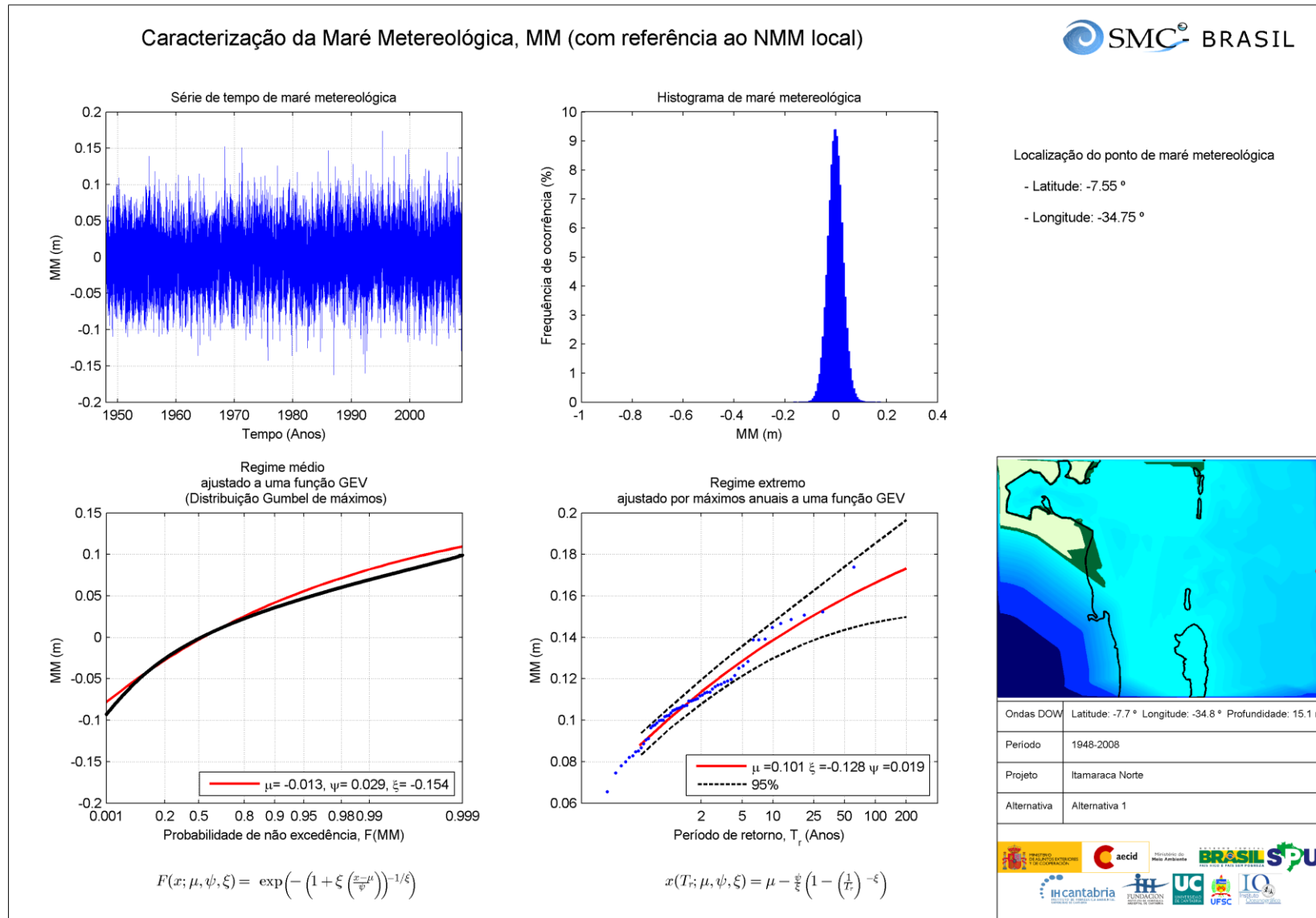
Fonte: Autor

Figura 27: Caracterização da maré astronômica setor norte.



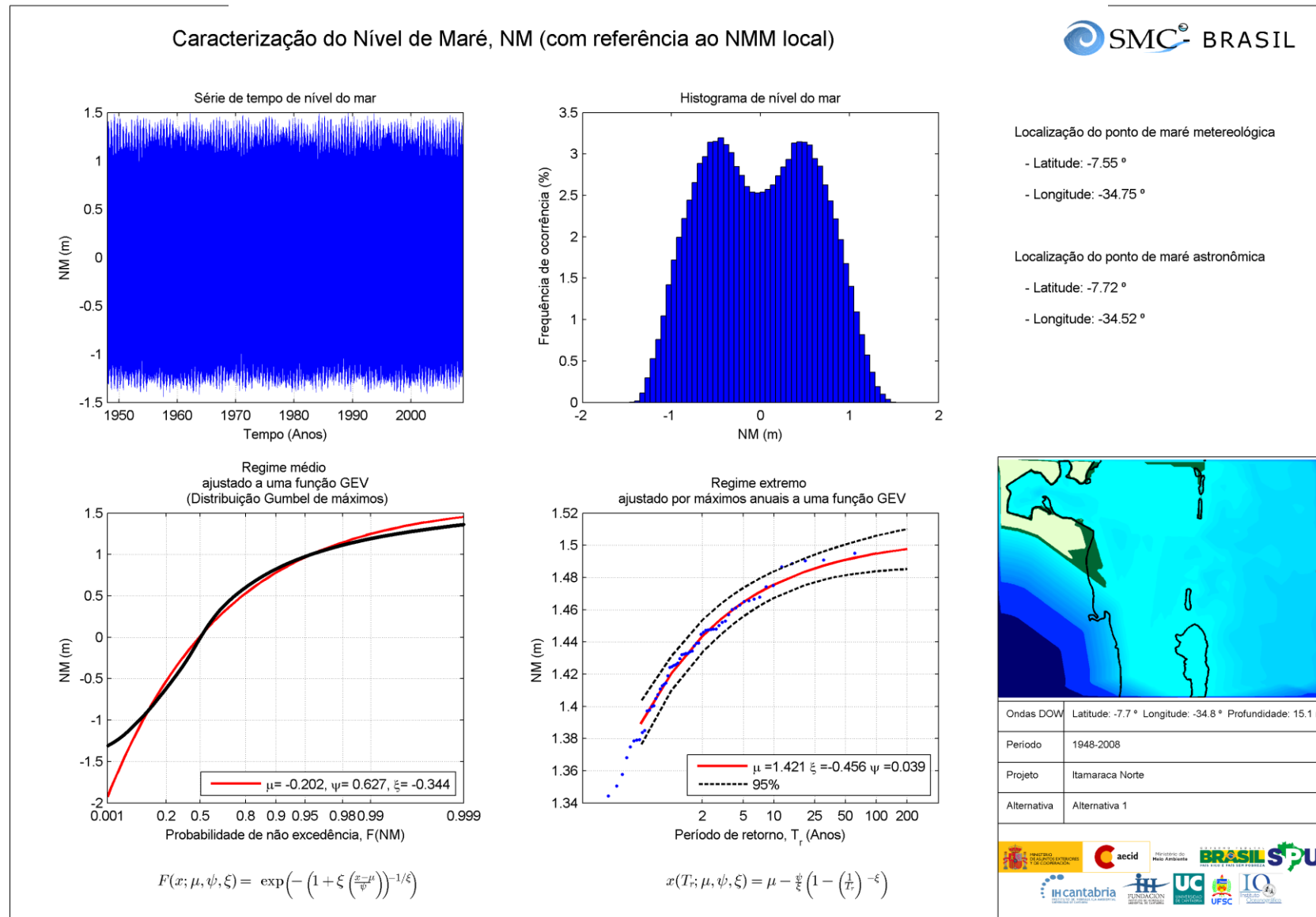
Fonte: Autor

Figura 28: Caracterização da maré meteorológica setor norte.



Fonte: Autor

Figura 29: Caracterização do nível de maré setor norte.



Fonte: Autor

b) Caracterização do Clima de Ondas

O clima de ondas é definido como a distribuição da altura de onda, período e média das direções durante um determinado tempo, para um determinado local. Em águas profundas e longe da costa (*offshore*), o clima de ondas é raramente variável, mas em águas rasas e próximas à costa (*nearshore*), o clima de ondas depende do que foi gerado em offshore, prevalecendo ventos e tempestades, e sobre a influência da topografia de fundo, a qual tende a modificar a direção de propagação das ondas (Fairbridge, 1982).

Em uma análise estatística de ondas em geral pode-se utilizar a média das alturas e a variância das médias, mas o método mais utilizado é a análise da Altura Significativa de Onda (*Significant Wave Height – Hs*) definida como a média da terça parte das ondas de maior altura registrada. Esta escolha é baseada no fato de que, para diversas aplicações, as ondas maiores são mais importantes que as menores e, conseqüentemente, Hs garante um parâmetro mais significativo (Komar, 1983).

Para o setor norte são identificadas cinco direções de ondas atuando. Porém, apenas duas possuem relevância, são ondas provenientes da direção ESE com 78,84% e SE com 18,1% de probabilidade de ocorrência, totalizando 96,94% das ondas incidentes locais (Tabela 05).

Para os parâmetros de altura de onda e período de pico e suas respectivas probabilidades de ocorrência nas cinco direções. Para as condições medianas (Hs50% e Tp50%) a altura de onda varia entre 0,9 m e 1,41 m e no período de pico ocorre variação entre 5,5 s e 8,6 s. Para condições de tempestade (Hs12 e Tp12) as ondas alcançam entre 1,27 m e 2,51 m os períodos de pico variaram entre 12,8 s e 17,7 s (Tabela 06)

Tabela 05: Estatística básica para a variável Hs setor norte.

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS

Variável medida: Hs

direções(Â°)	prob.direção	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ENE	0.0003	0.9355	1.2267	1.2708	1.2729
E	0.0301	1.0435	1.2600	1.6148	1.8427
ESE	0.7884	1.4121	1.8206	2.2189	2.5180
SE	0.1810	1.4190	1.7595	2.1438	2.3401
SSE	0.0002	1.2491	1.5312	1.7522	1.8607
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabela 06: Estatística básica para a variável Tp setor norte.

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS

Variável medida: Tp

direções(Â°)	prob.direção	Tp _{50%}	Tp _{90%}	Tp _{99%}	Tp ₁₂
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ENE	0.0003	8.6194	9.8041	12.6458	12.8143
E	0.0301	7.3953	9.3928	14.6026	17.7926
ESE	0.7884	7.4811	8.8838	10.8726	13.5587
SE	0.1810	6.7633	8.8756	12.6186	14.9425
SSE	0.0002	5.5137	6.7440	9.6460	10.7678
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

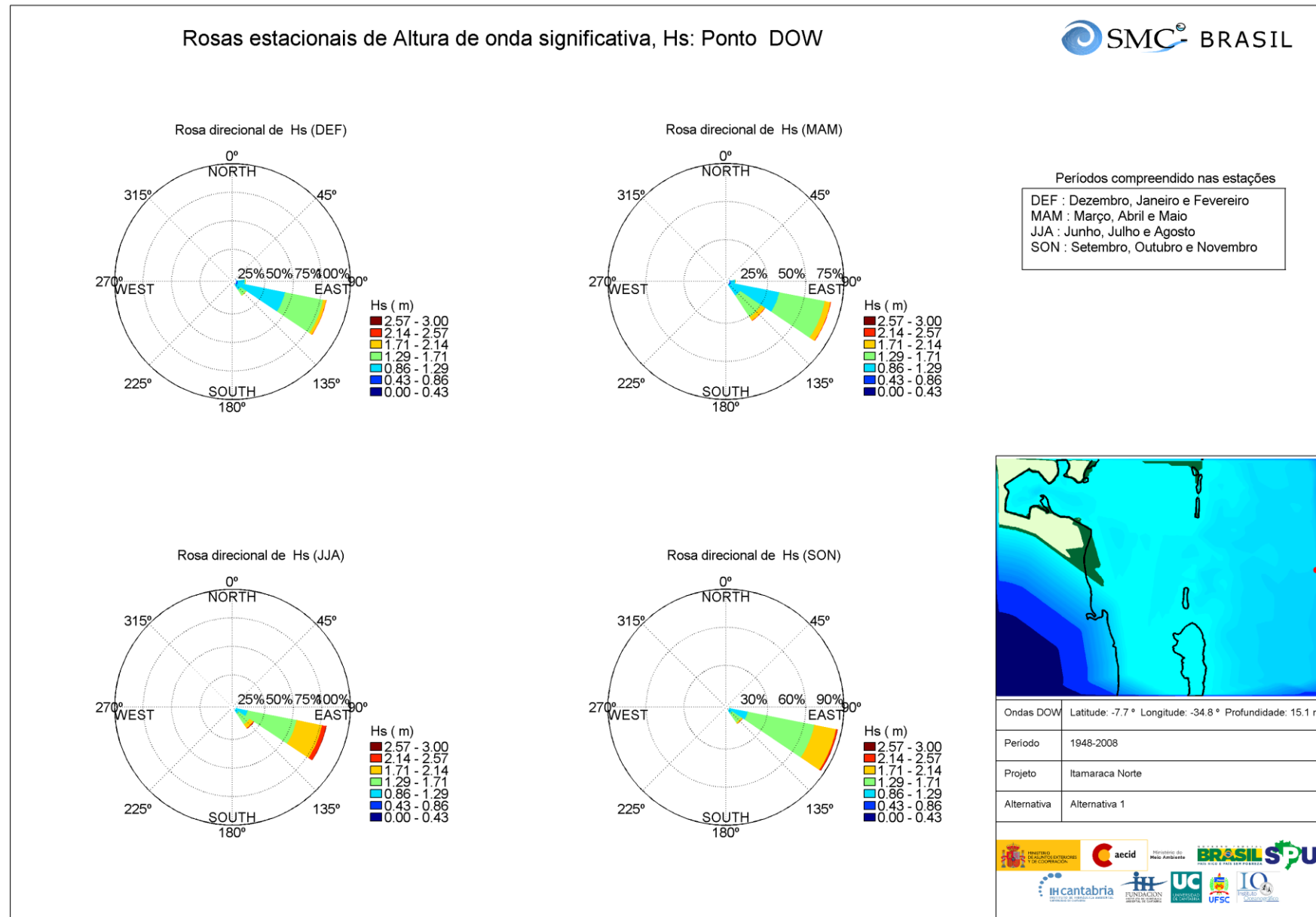
As rosetas direcionais de ondas demonstram graficamente a dominância de ondas E-SE (maior percentual 120º) ao longo das estações do ano, verão (dezembro, janeiro e fevereiro); outono (março, abril e maio); inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro (figura 30).

Na ficha pode-se verificar que há maior incidência de ondas de leste nas estações de primavera e outono. Porém, será no inverno que ocorrerá, de maneira significativa, frequência pouco superior a 25% de incidência para ondas acima de 1,71 m.

O gráfico de função de densidade conjunta da altura significativa e período de pico (H_s-T_p) do setor norte, exemplifica a predominância da maré astronômica frente a meteorológica.

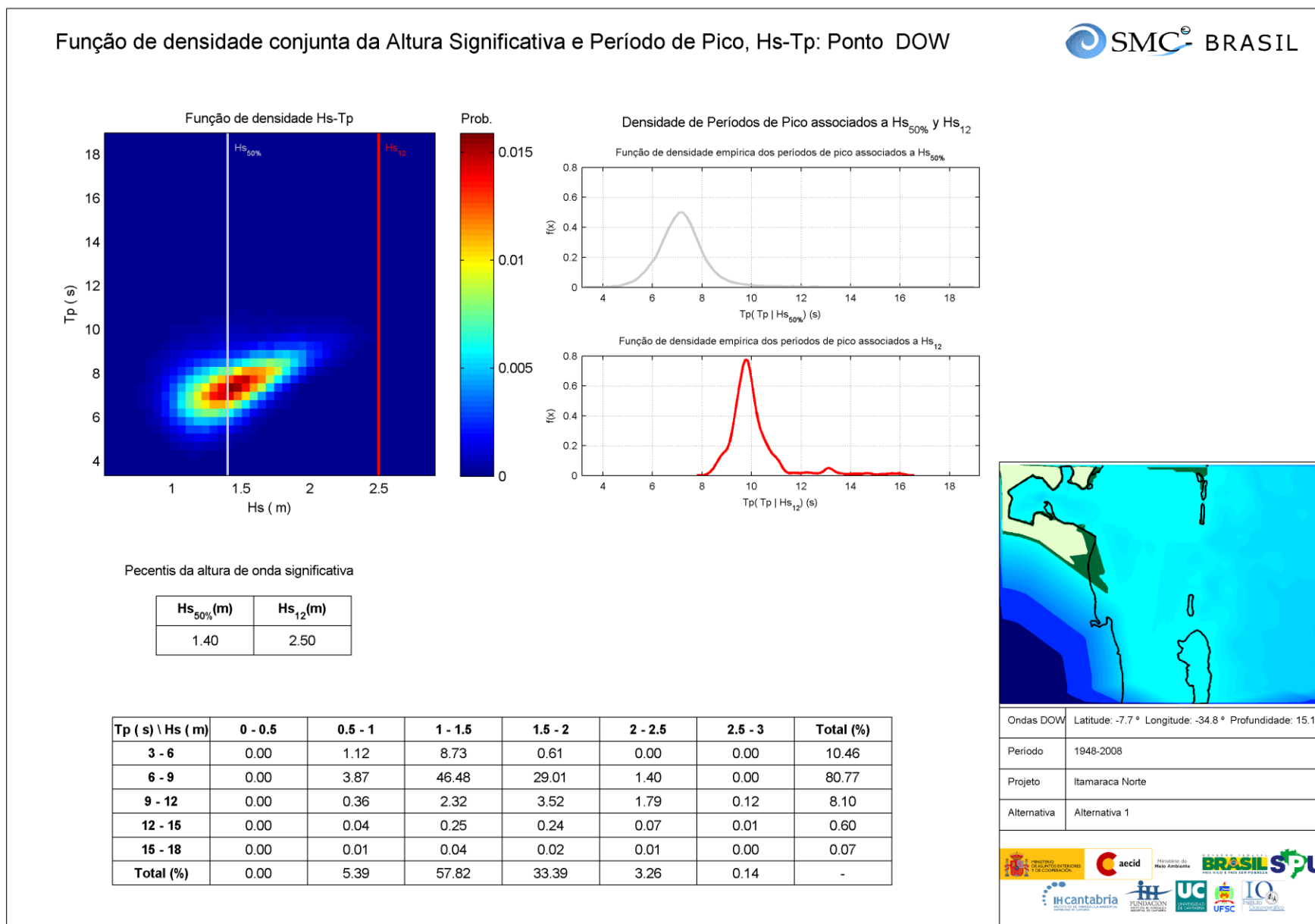
Na função de densidade H_s-T_p , a altura de onda de maior probabilidade de ocorrência para a maré astronômica ocorre no intervalo de 1,25 m a 1,75 m, a média são para ondas de 1,4 m. O gráfico de função relata que ondas formadas em marés meteorológicas tendem quase a zero e, a média são ondas com 2,5 m de altura (figura 31).

Figura 30: Rosas estacionais de altura de onda significativa setor norte.



Fonte: Autor

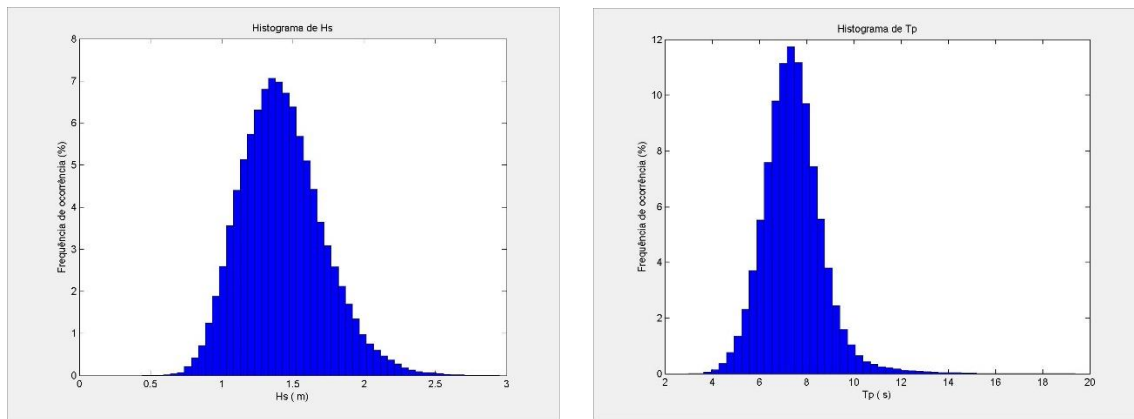
Figura 31: Função de densidade conjunta setor norte.



Fonte: Autor

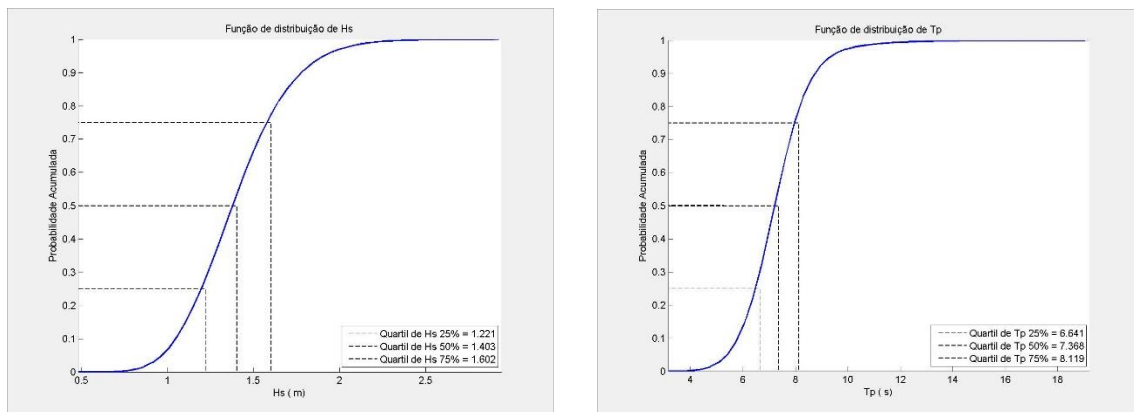
Em uma representação por histogramas o ponto Dow selecionado com os resultados das avaliações da altura de onda significativa (H_s) e período de pico (T_p) são apresentados abaixo, demonstrando que as alturas de onda que ocorrem estão compreendidas no intervalo de 0,5 m a 2,5 m e os períodos de pico compreendidos entre o intervalo de 3 s a 15 s. (figura 32). Com relação as probabilidades acumuladas para altura de onda significativa, a distribuição 5significativa aponta que 50% ocorre no intervalo de 1,22 m a 1,60 m. Em relação ao período de pico, 50% das ondas tem como intervalo a ocorrência abrangida entre 6,64 s e 8,11 s (figura 33).

Figura 32: Histograma H_s e T_p setor norte.



Fonte: Autor

Figura 33: Função de distribuição H_s e T_p setor norte.



Fonte: Autor

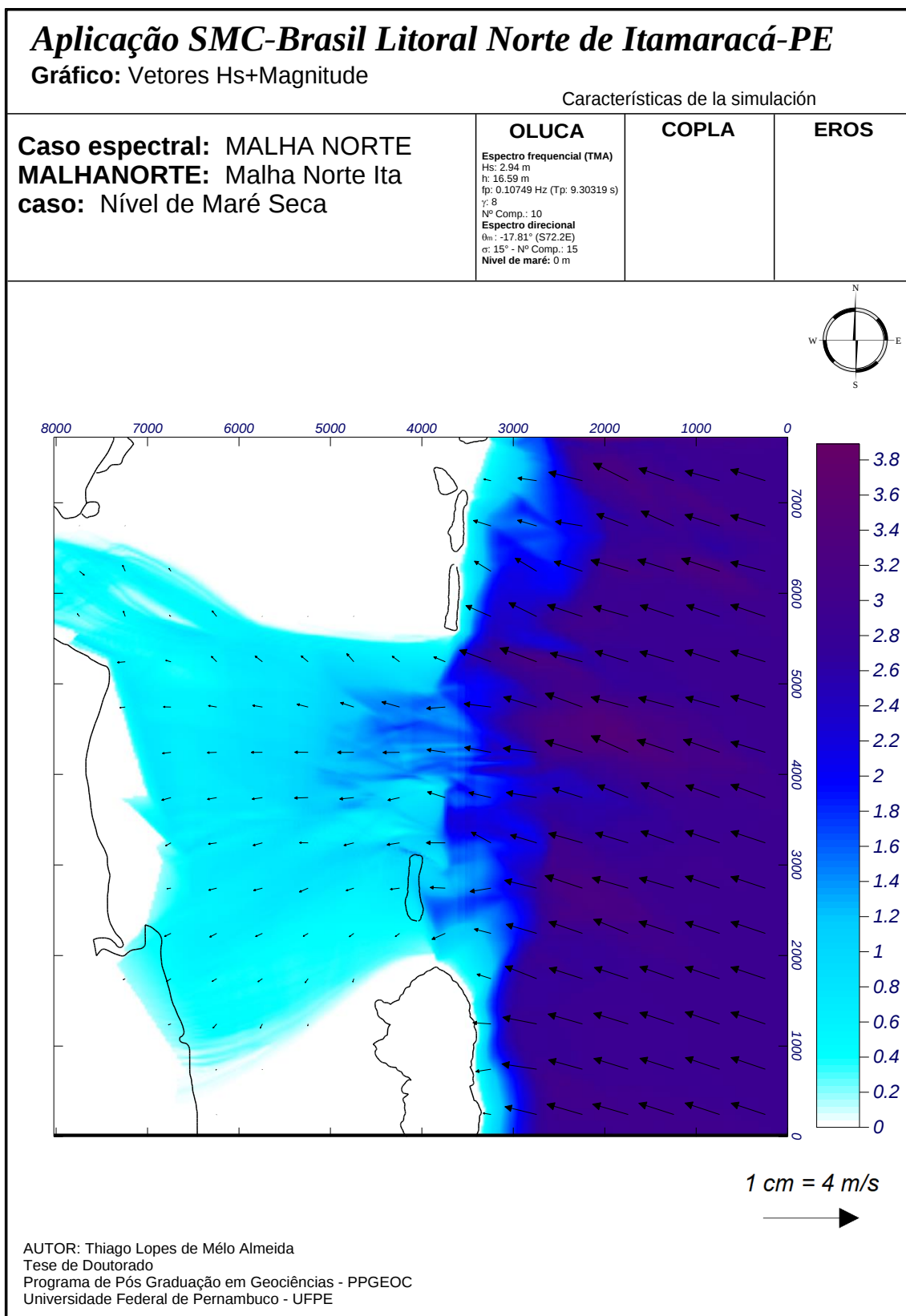
Os resultados obtidos na propagação e simulação de ondas pode ser demonstrado em mapas de vetores e magnitude, produzido no SMC Tools. As ondulações de ESE são as mais frequentes para a região, representando 78% dos casos de estado de mar para o setor. No trem de ondas propagado é visualizado a importância do recife na função de minimizar a energia das ondas que chegam à linha de praia. Os recifes produzem uma zona de sombra para as situações de maré seca (figura 34), limitando a altura da onda e sua energia, em contrapartida, nas áreas sem a presença de recifes, o trem de ondas chegam à praia com maior energia e altura, podendo chegar a 1,8 m, sendo apenas refreado pelo nível de fundo. É de se notar, o arqueamento da linha de costa nesses setores que não são protegidos e a energia de entrada da onda é mais elevada. Em situação de maré média e de tempestade com maré variando de 1,67 m a 2,6 m, o trem de ondas propagado ultrapassa o recife, perdendo força devido a influência do assoalho oceânico e adentrando em todo setor central da Ilha (figuras 35 e 36).

c) Correntes

As ondas que chegam à praia geram uma série de correntes, cujo padrão depende do ângulo de incidência. O estudo de correntes costeiras realizado é baseado em modelagem da propagação das ondas, que tem como consequência a estimativa das correntes e do transporte de sedimento geradas por estas ondas. As correntes foram geradas através de dados de reanálise das ondas contidos no banco de dados IH-Data e calculado pelo modelo Copla. Os resultados foram obtidos através da análise dos mapas de vetores e magnitudes.

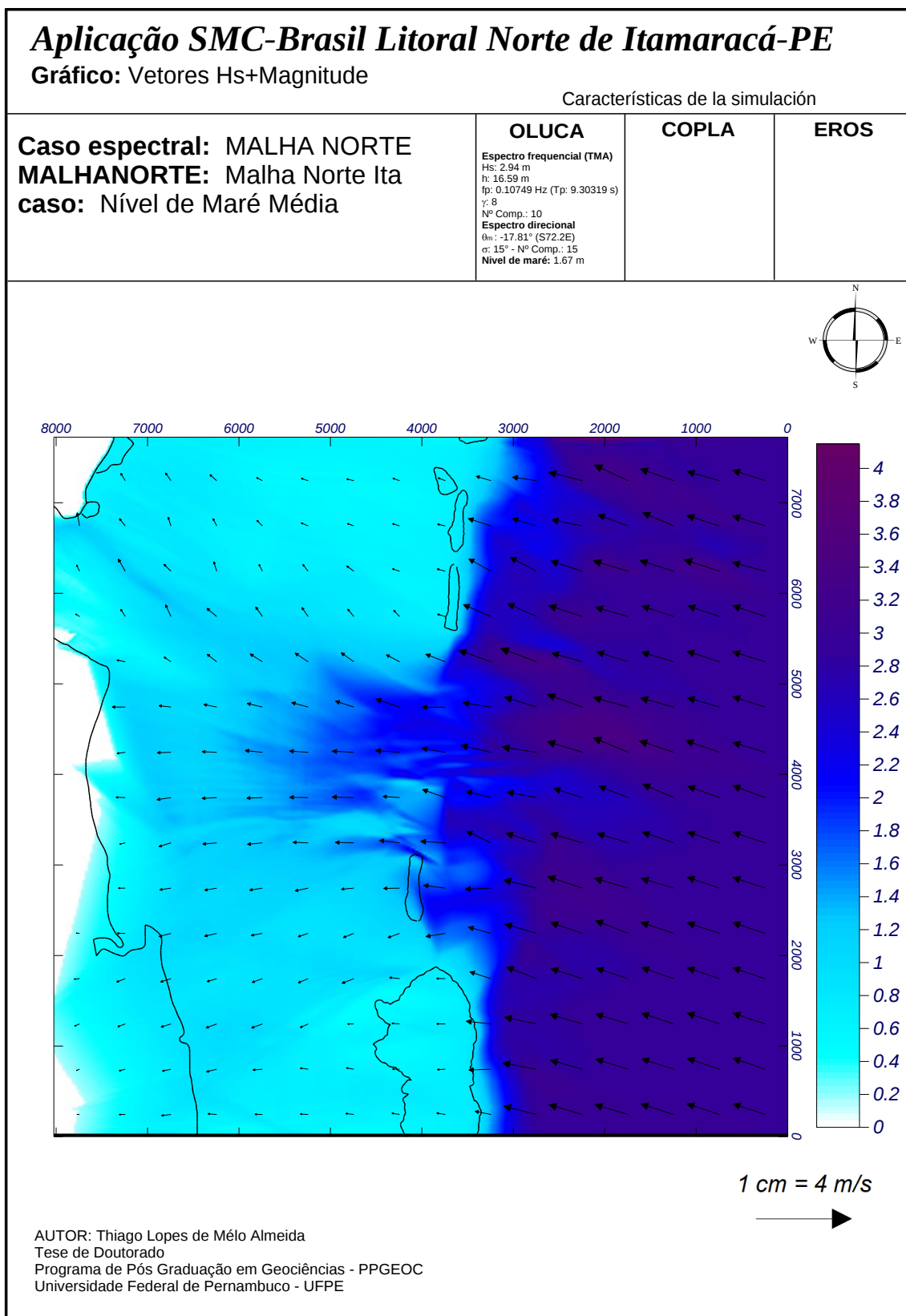
O setor em questão apresentou, para os três níveis de maré, fluxo de correntes mais intensa na região externa aos recifes, área esta que tem maior profundidade e sofre com a quebra de ondas mais intensamente. Em consequência, as correntes circulam os recifes acelerando e ganhando mais energia e se dirigindo à costa com maior intensidade a praia do Jaguaribe e a desembocadura norte do canal de Santa Cruz (figuras 37, 38 e 39).

Figura 34: Vetores Hs + Magnitude para o setor norte em maré seca.



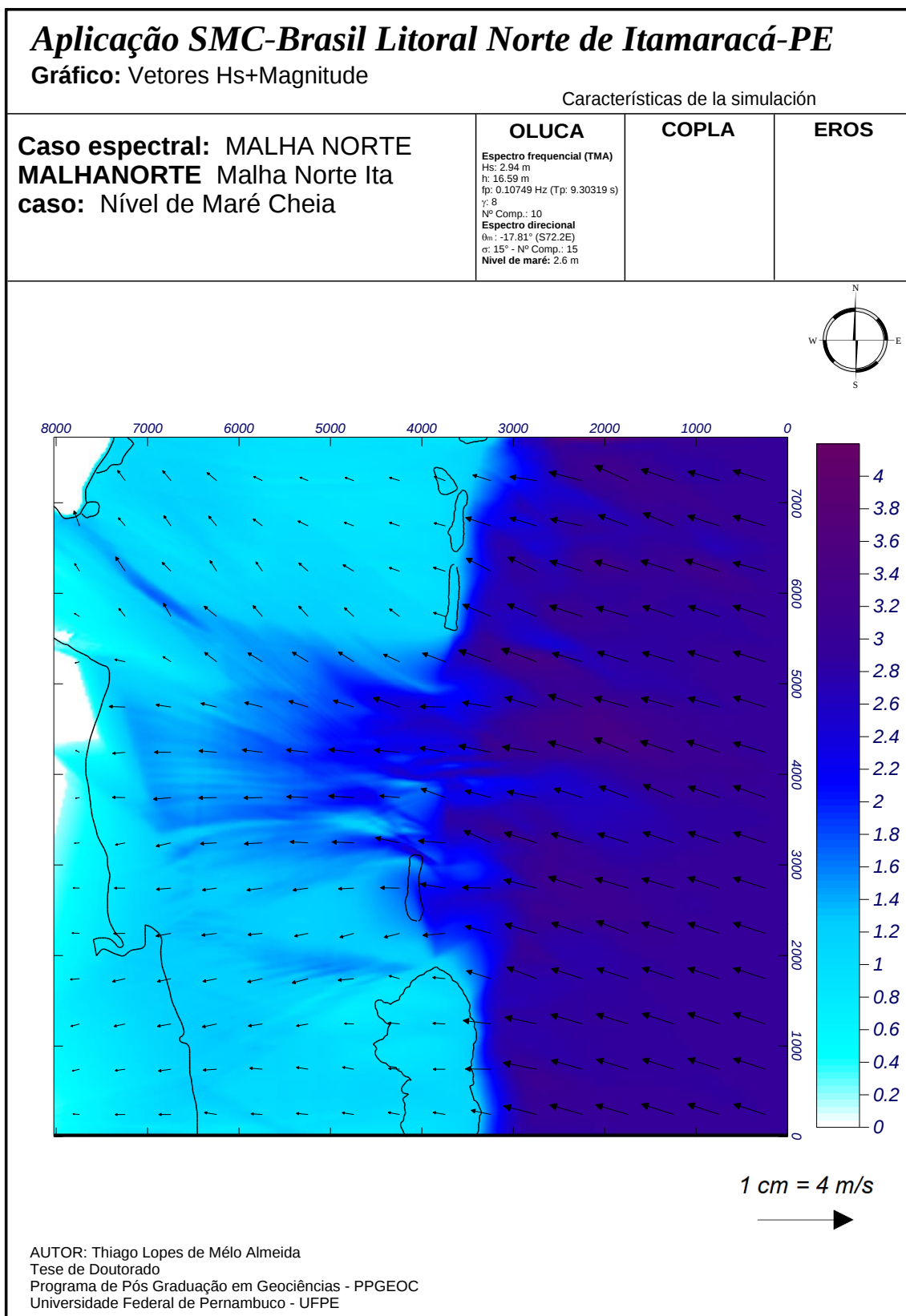
Fonte: Autor

Figura 35: Vetores Hs + Magnitude para o setor norte em maré média.



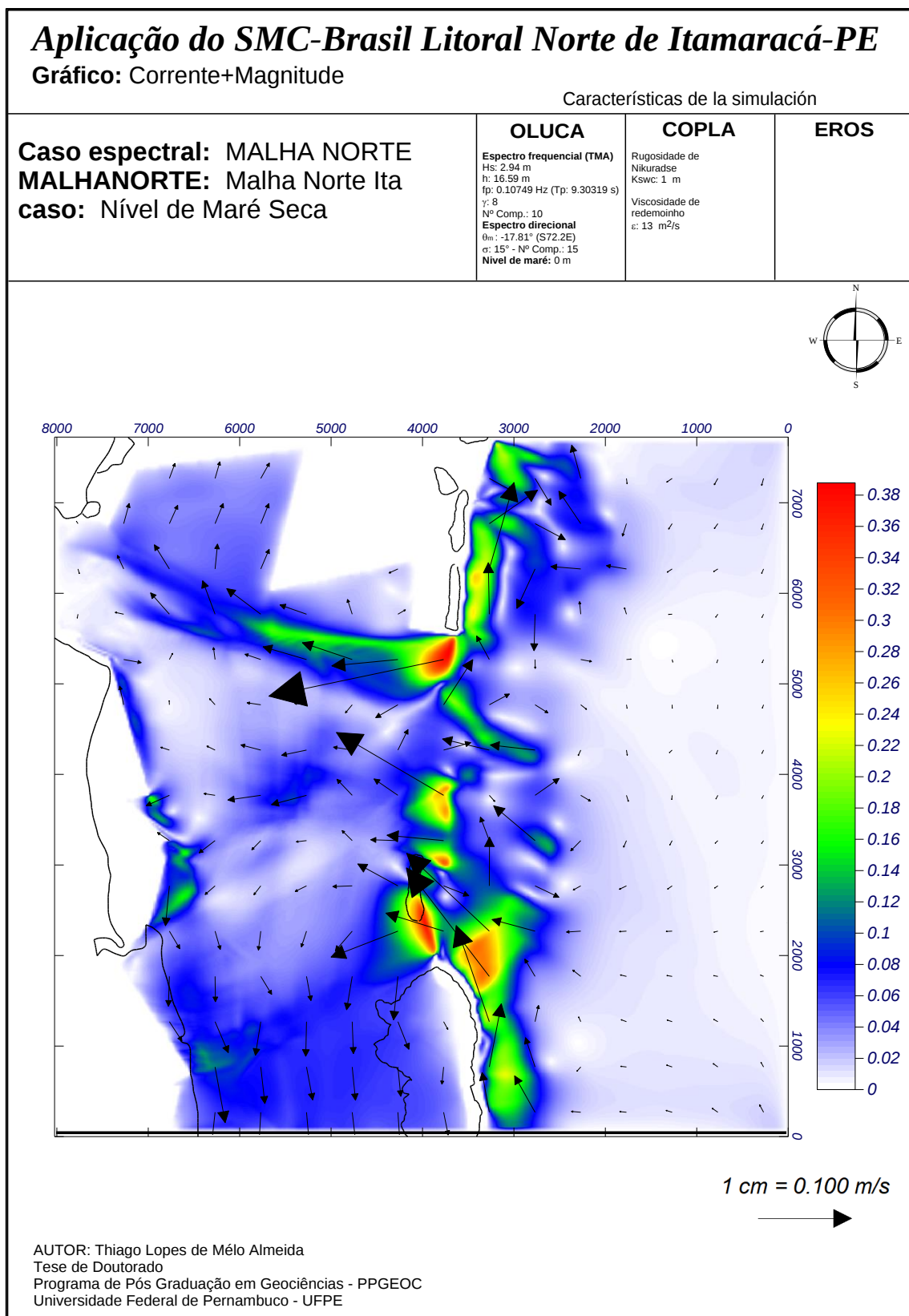
Fonte: Autor

Figura 36: Vetores Hs + Magnitude para o setor norte em maré cheia.



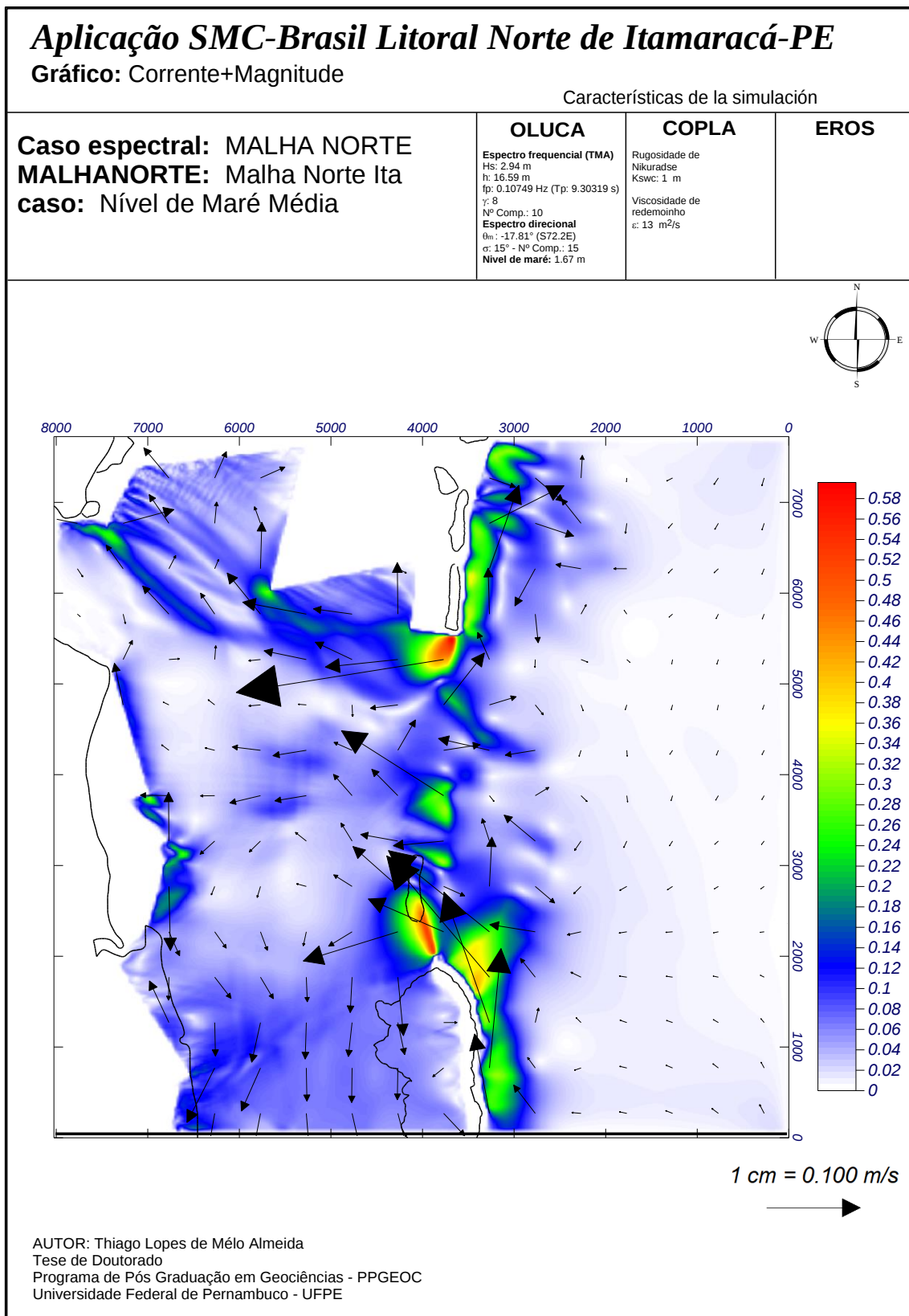
Fonte: Autor

Figura 37: Corrente + Magnitude para o setor norte em maré seca.



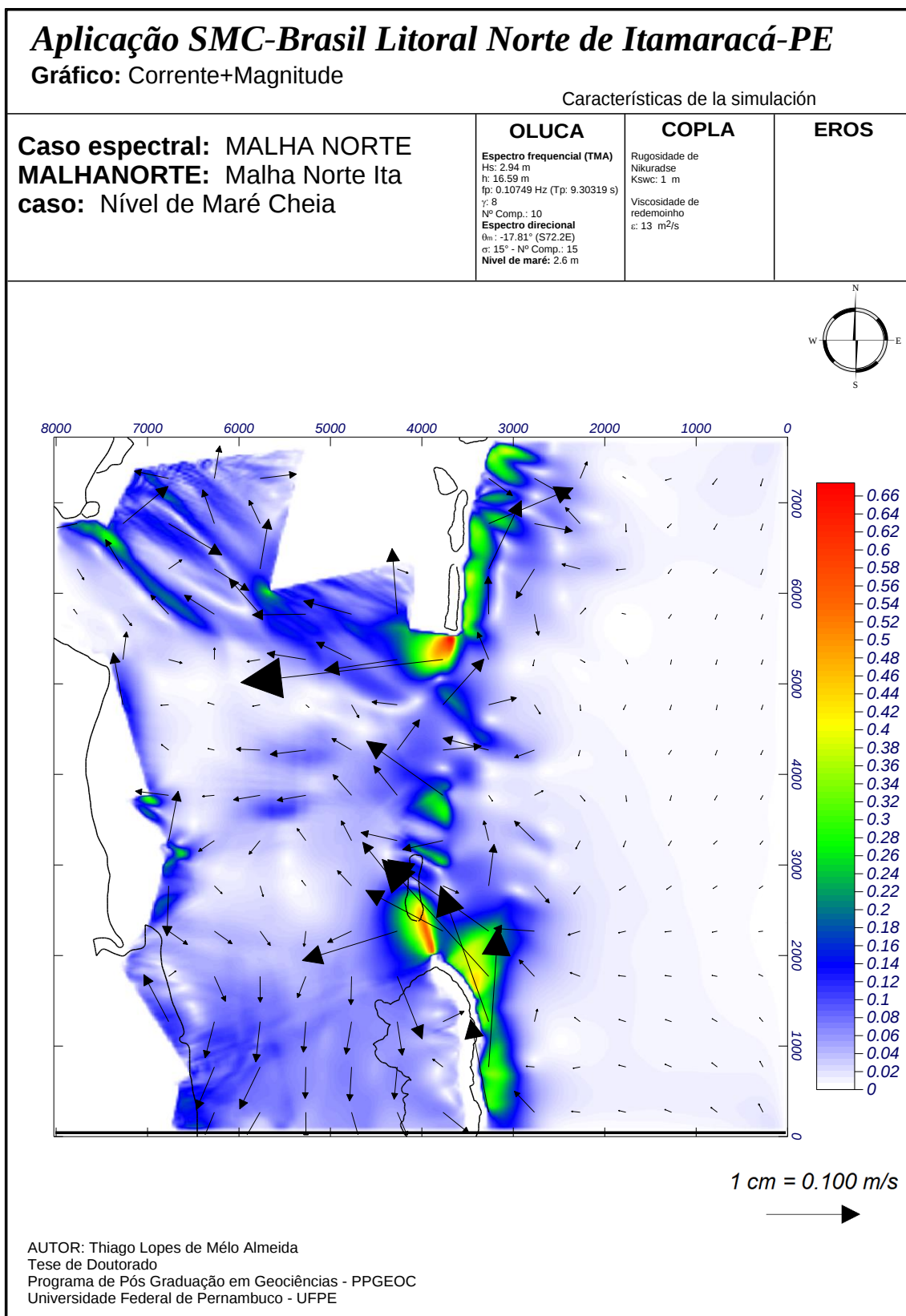
Fonte: Autor

Figura 38: Corrente + Magnitude para o setor norte em maré média.



Fonte: Autor

Figura 39: Corrente + Magnitude para o setor norte em maré cheia.



Fonte: Autor

4.3. Setor Central

Para este setor foi aplicado o mesmo método para a propagação dos casos já discutido no setor norte. A tabela 07 contempla cada caso relacionando as alturas relativas das ondas período de pico e direção relativa.

Em seguida é apresentada a ficha com os casos selecionados e seus vetores de direção, probabilidade e pico de ondas. Além das combinações, geradas automaticamente, dos casos propagados (figura 40).

a) Caracterização do Nível do Mar

Os resultados obtidos não se diferem do apresentado no setor norte. Sendo apresentado no histograma a oscilação na série temporal variáveis entre -1,4 m e +1,4 m, ocorrendo as preamares e baixamares mais frequentes entre de -0,5 m e +0,5 m (figura 41).

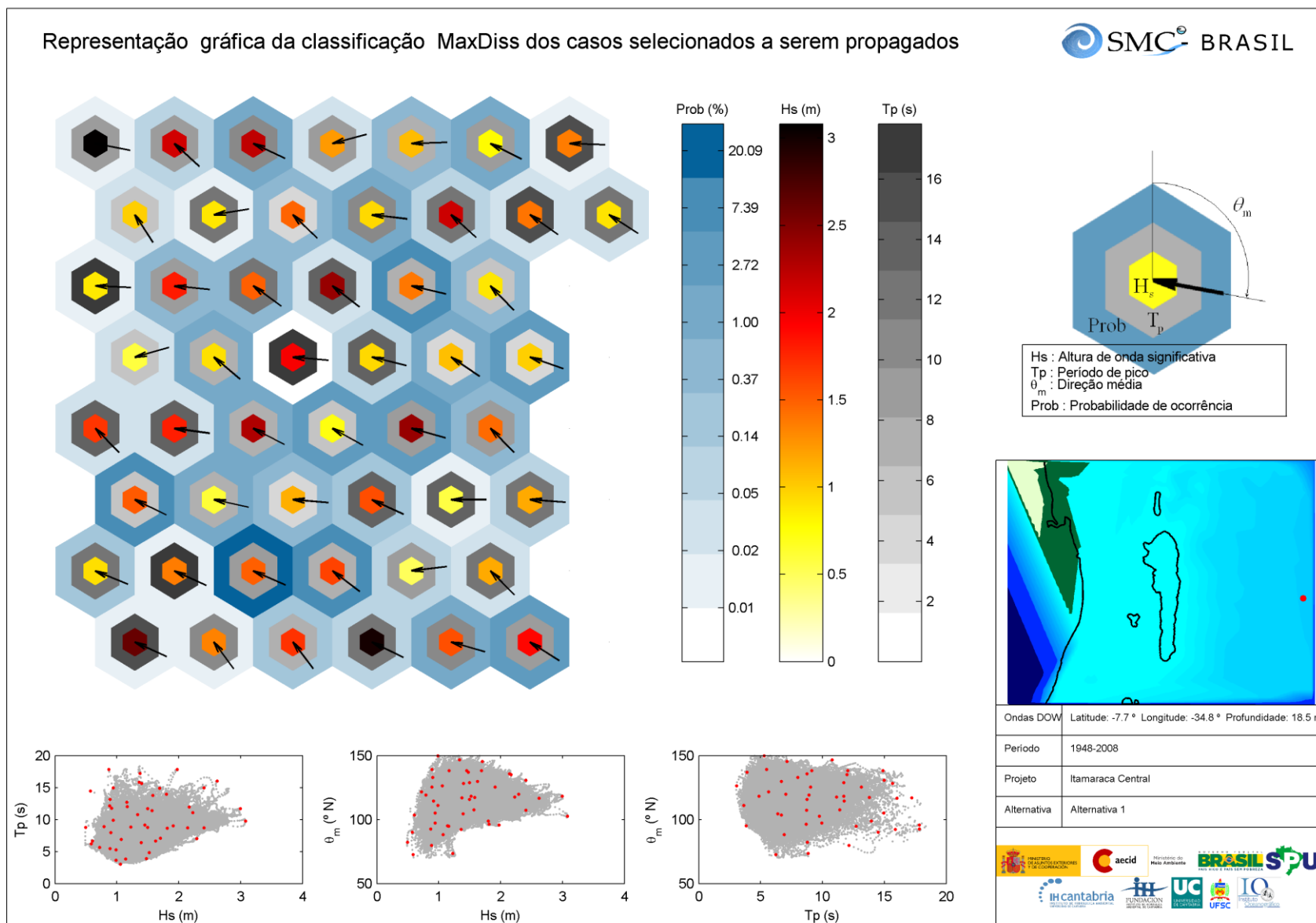
Em relação a maré meteorológica, a série temporal no histograma apresenta oscilações entre os períodos de -0,1m e +0,1m, com períodos frequentes períodos de pico. O histograma demonstra o percentual de frequência em relação a subida e descida do nível do mar ao longo da série histórica que oscilou entre -0,2 m e +0,2 m (figura 42).

Assim como o setor norte, o histograma da série histórica representativa do nível médio de maré para o setor central apresenta picos entre +1,0 m e +1,5 m em sua preamar e -1,5 m e -1,0 m em sua baixamar. Porém, com frequência maior de representatividade são mares entre -0, 5m e +0,5 m (figura 43).

Tabela 07: lista de casos propagados no setor central.

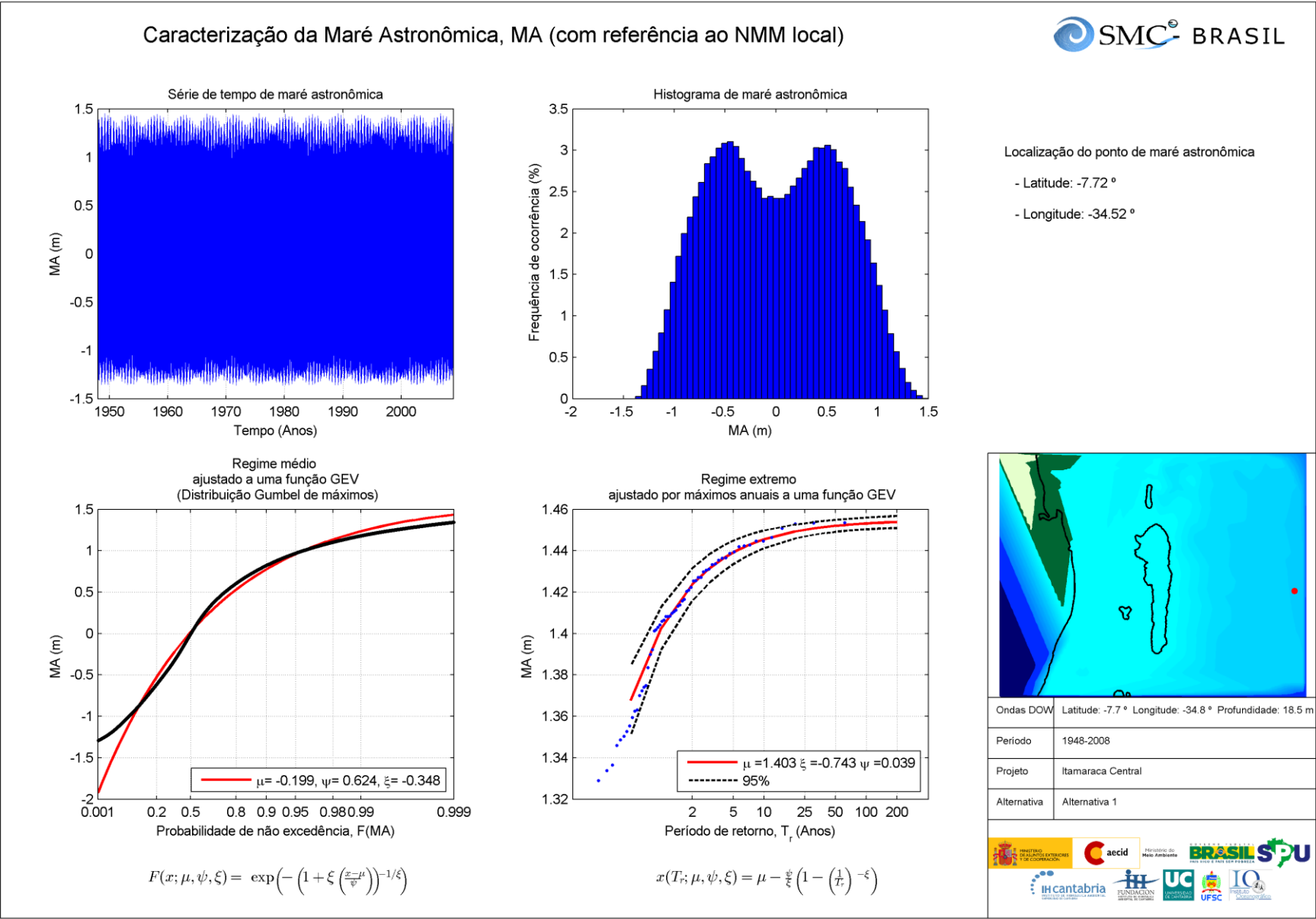
caso	Hs	Tp	Dir	DirRel	Prob (%)	Propagado	malha 1
1	3.08	9.75	102.50	-167.50	0.00	true	MALHAITA02
2	0.99	5.27	149.74	-120.26	0.03	true	MALHAITA02
3	0.87	17.83	92.74	-177.26	0.01	true	MALHAITA02
4	0.58	6.21	72.76	162.76	0.02	true	MALHAITA02
5	1.89	14.89	138.41	-131.59	0.02	true	MALHAITA02
6	1.52	4.85	118.16	-151.84	12.24	true	MALHAITA02
7	0.92	11.76	114.66	-155.34	0.20	true	MALHAITA02
8	2.62	16.00	116.76	-153.24	0.01	true	MALHAITA02
9	2.15	8.74	135.66	-134.34	0.10	true	MALHAITA02
10	0.88	12.14	79.76	169.76	0.01	true	MALHAITA02
11	1.81	8.68	96.46	-173.54	0.41	true	MALHAITA02
12	0.90	7.99	132.93	-137.07	0.93	true	MALHAITA02
13	1.80	13.94	98.80	-171.20	0.02	true	MALHAITA02
14	0.60	6.66	103.62	-166.38	1.36	true	MALHAITA02
15	1.37	17.21	117.12	-152.88	0.01	true	MALHAITA02
16	1.34	10.77	146.60	-123.40	0.01	true	MALHAITA02
17	2.22	11.12	117.77	-152.23	1.96	true	MALHAITA02
18	1.48	3.89	137.04	-132.96	0.69	true	MALHAITA02
19	1.50	11.71	128.96	-141.02	0.49	true	MALHAITA02
20	1.97	17.83	95.73	-174.27	0.00	true	MALHAITA02
21	2.29	7.03	119.90	-150.10	1.13	true	MALHAITA02
22	1.14	3.83	95.23	-174.77	0.74	true	MALHAITA02
23	1.50	8.75	115.72	-154.28	32.29	true	MALHAITA02
24	1.70	7.12	145.55	-124.45	0.17	true	MALHAITA02
25	1.23	8.83	73.51	163.51	0.01	true	MALHAITA02
26	0.94	9.92	97.47	-172.53	1.29	true	MALHAITA02
27	2.40	14.96	130.93	-139.07	0.03	true	MALHAITA02
28	0.94	14.95	105.19	-164.81	0.04	true	MALHAITA02
29	0.72	5.65	121.64	-146.36	2.75	true	MALHAITA02
30	1.58	13.77	117.19	-152.81	0.19	true	MALHAITA02
31	1.63	6.66	129.98	-140.02	9.75	true	MALHAITA02
32	3.00	11.72	118.41	-151.59	0.05	true	MALHAITA02
33	1.07	6.89	88.14	176.14	0.61	true	MALHAITA02
34	2.17	11.97	135.02	-134.98	0.07	true	MALHAITA02
35	1.39	6.38	104.56	-165.44	16.49	true	MALHAITA02
36	1.06	3.04	126.54	-143.46	1.15	true	MALHAITA02
37	2.41	8.70	107.25	-162.75	2.72	true	MALHAITA02
38	0.57	14.49	90.05	-179.95	0.00	true	MALHAITA02
39	0.49	8.76	82.33	172.33	0.05	true	MALHAITA02
40	1.57	11.38	107.66	-162.34	2.17	true	MALHAITA02
41	0.79	8.89	119.21	-150.79	1.75	true	MALHAITA02
42	1.40	15.64	128.27	-141.73	0.03	true	MALHAITA02
43	0.89	5.49	139.11	-130.89	0.39	true	MALHAITA02
44	0.99	3.63	110.98	-159.02	3.06	true	MALHAITA02
45	1.45	9.14	138.38	-131.62	0.38	true	MALHAITA02
46	1.16	12.71	94.80	-175.20	0.05	true	MALHAITA02
47	1.16	12.04	138.19	-131.81	0.04	true	MALHAITA02
48	1.91	9.02	125.46	-144.54	4.03	true	MALHAITA02
49	1.36	15.87	92.41	-177.59	0.01	true	MALHAITA02
50	0.89	13.13	125.55	-144.45	0.03	true	MALHAITA02

Figura 40: Representação gráfica modelo MaxDiss casos a serem propagados setor central.



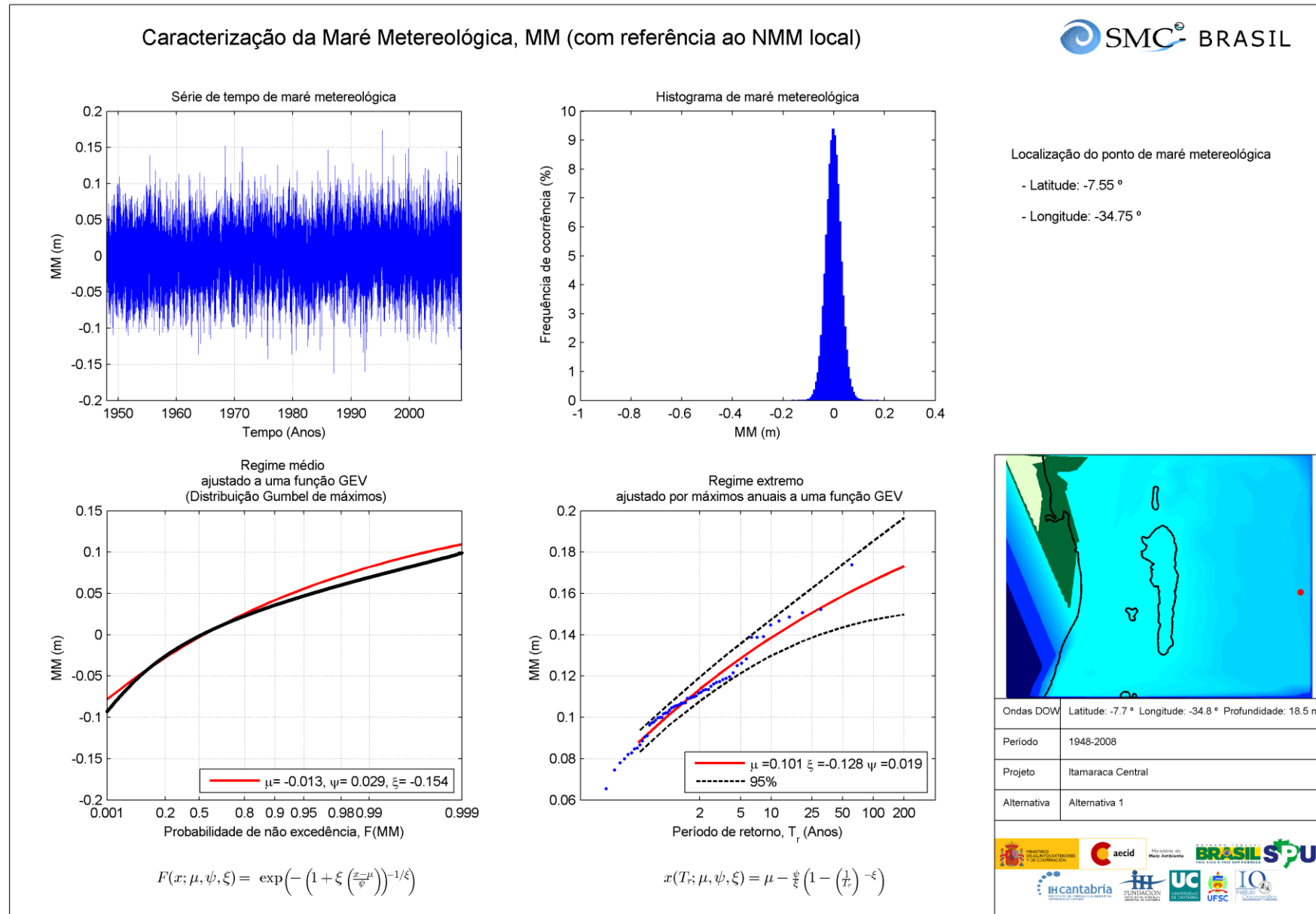
Fonte: Autor

Figura 41: Caracterização da maré astronômica setor central.



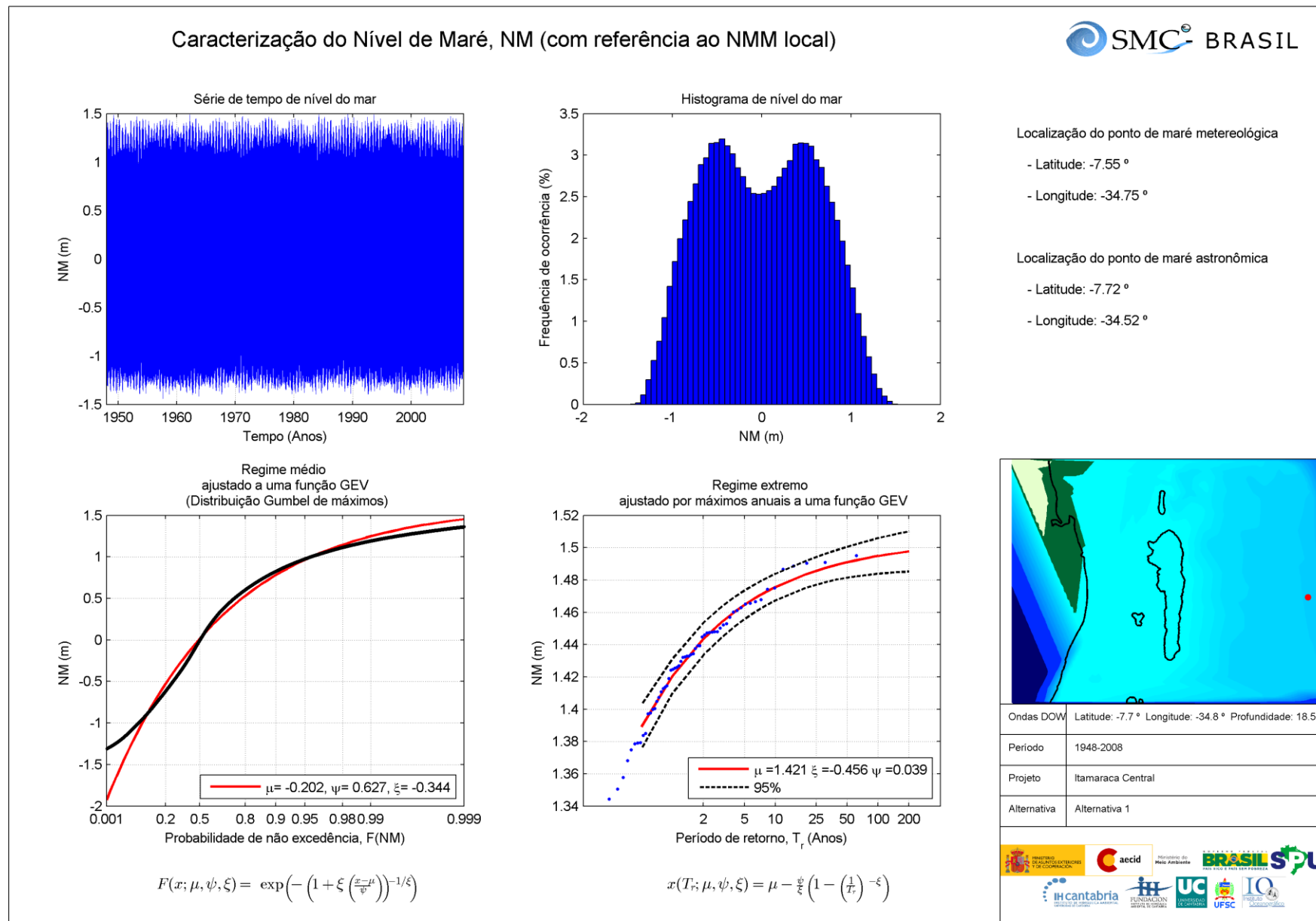
Fonte: Autor

Figura 42: Caracterização da maré meteorológica setor central.



Fonte: Autor

Figura 43: Caracterização do nível de maré setor central.



Fonte: Autor

b) Caracterização do Clima de Ondas

Para o setor central, assim como o anterior, são identificadas cinco direções de ondas atuando. Sendo duas com maior relevância, são ondas provenientes da direção ESE com 80,42% e SE com 15,63% de probabilidade de ocorrência, totalizando 96,05% do trem de ondas incidentes (tabela 08).

Para os parâmetros de altura de onda e período de pico e suas respectivas probabilidades de ocorrência nas cinco direções. Para as condições medianas (Hs50% e Tp50%) a altura de onda varia entre 0,88 m e 1,44 m e no período de pico ocorre variação entre 5,4 s e 7,4 s. Para condições de tempestade (Hs12 e Tp12) as ondas alcançam entre 1,28 m e 2,6 m os períodos de pico variaram entre 10,7 s e 16,8 s (tabela 09)

Tabela 08: Estatística básica para a variável Hs setor central.

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS					
Variável medida:Hs					
direções(Â°)	prob.direção	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0000	0.5867	0.5950	0.5950	0.5950
ENE	0.0004	0.8803	1.2282	1.2650	1.2665
E	0.0389	1.0817	1.3872	1.8407	2.1588
ESE	0.8042	1.4450	1.8758	2.2944	2.6082
SE	0.1563	1.4242	1.7649	2.1439	2.3805
SSE	0.0002	1.2797	1.5423	1.6574	1.6594
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabela 09: Estatística básica para a variável Tp setor central.

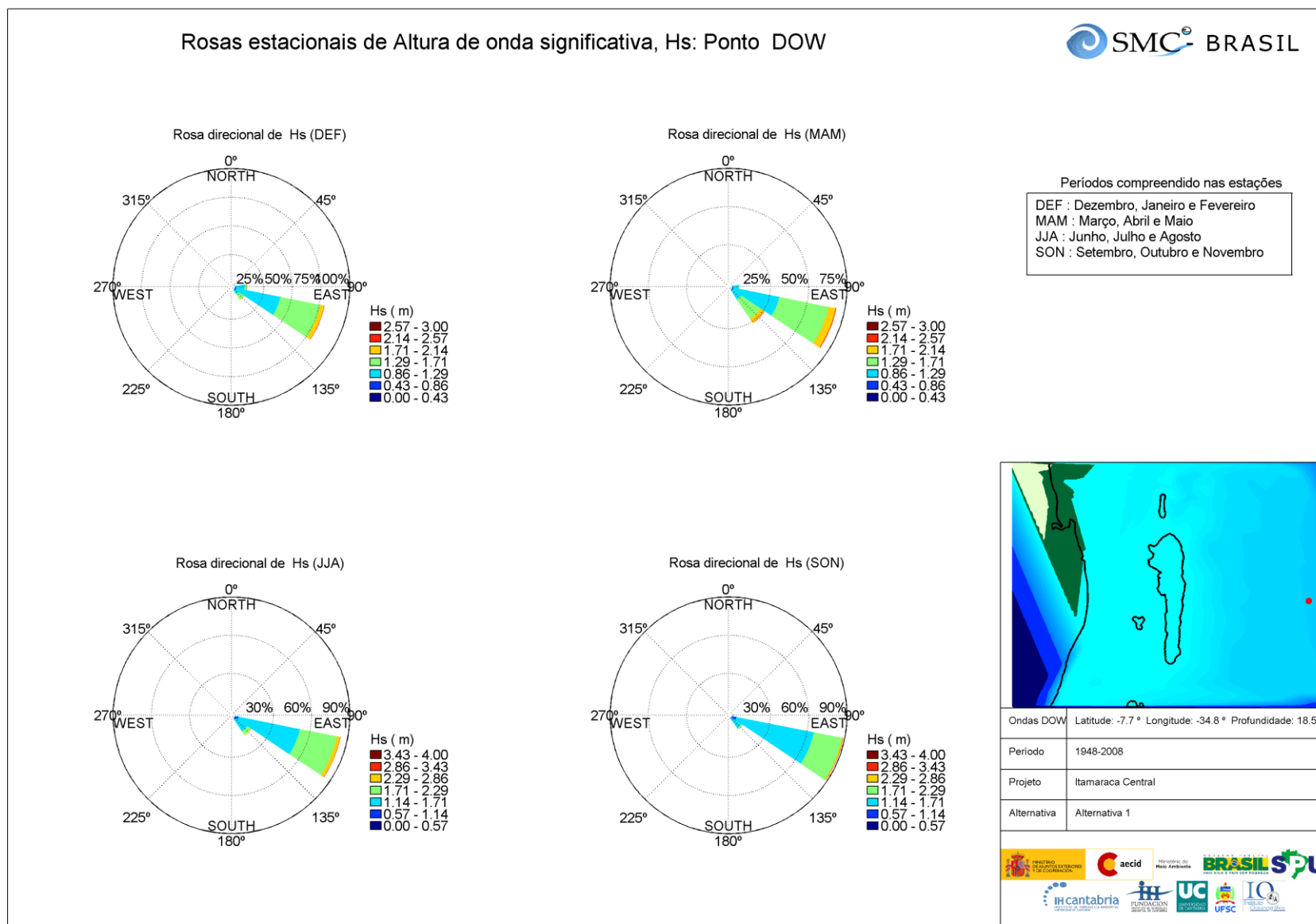
TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS

Variável medida: Tp

direções(Â°)	prob.direção	Tp _{50%}	Tp _{90%}	Tp _{99%}	Tp ₁₂
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0000	6.5629	6.5986	6.5986	6.5986
ENE	0.0004	6.9784	8.5869	14.1463	14.2315
E	0.0389	7.1625	9.0756	13.6461	16.8893
ESE	0.8042	7.4386	8.9260	10.8269	13.3906
SE	0.1563	6.6402	8.7145	12.4069	14.8630
SSE	0.0002	5.4692	6.9614	9.6064	10.7678
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

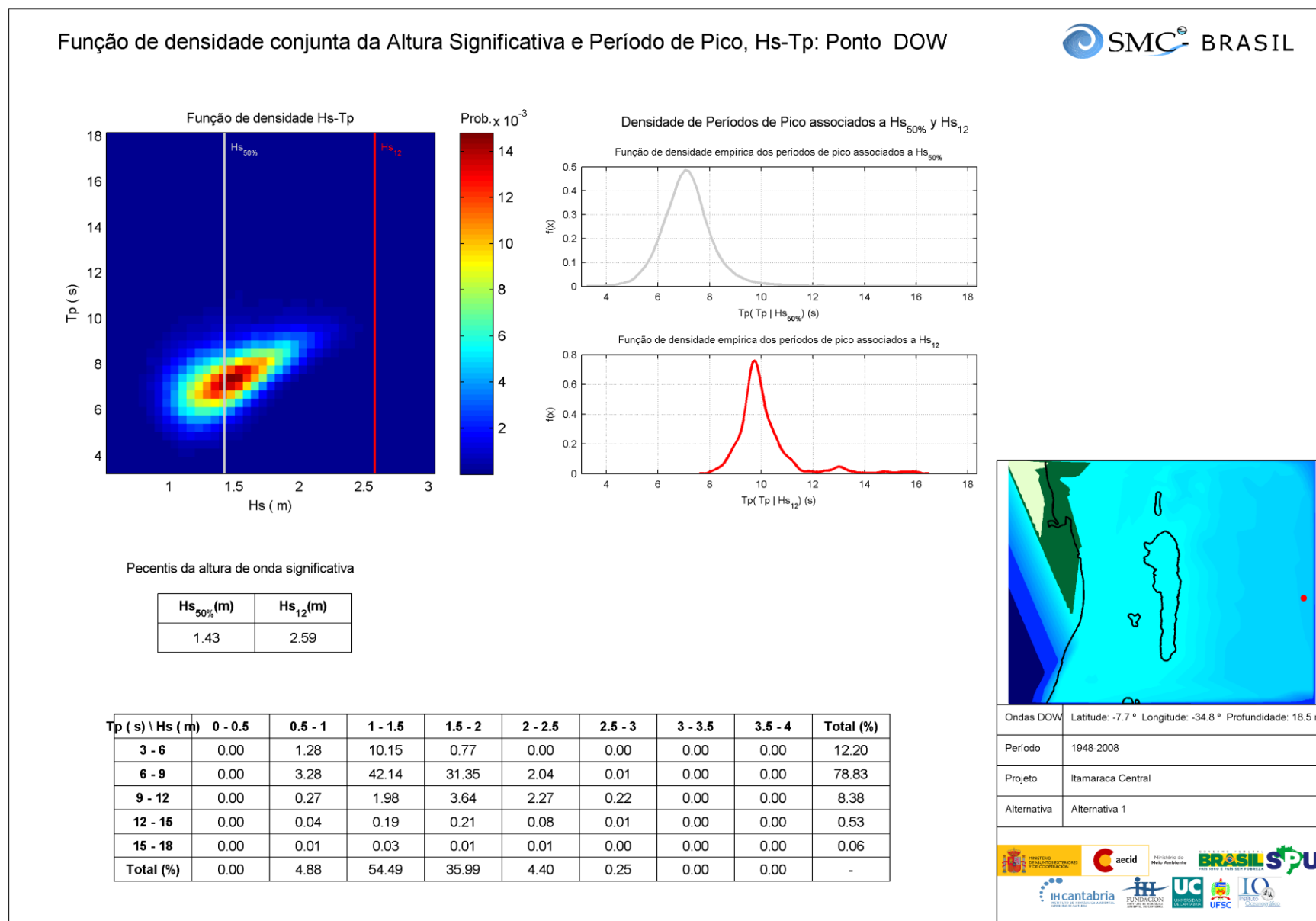
Para o ponto Dow selecionado na região central da Ilha, os valores de referência para direção e as estáticas para densidade conjunta da altura significativa e período de pico se mantêm semelhantes ao calculado para o ponto DOW da região norte da Ilha (figuras 44 e 45).

Figura 44: Rosas estacionais de altura de onda significativa setor central.



Fonte: Autor

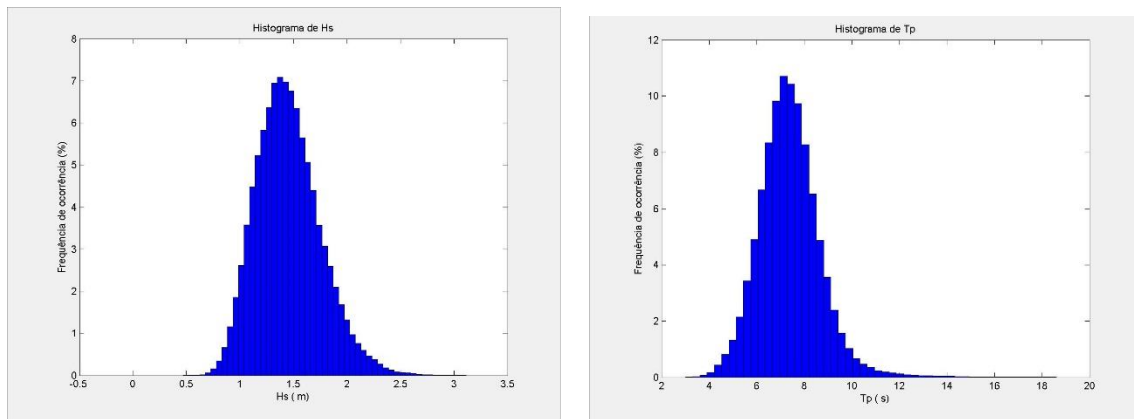
Figura 45: Função de densidade conjunta setor central.



Fonte: Autor

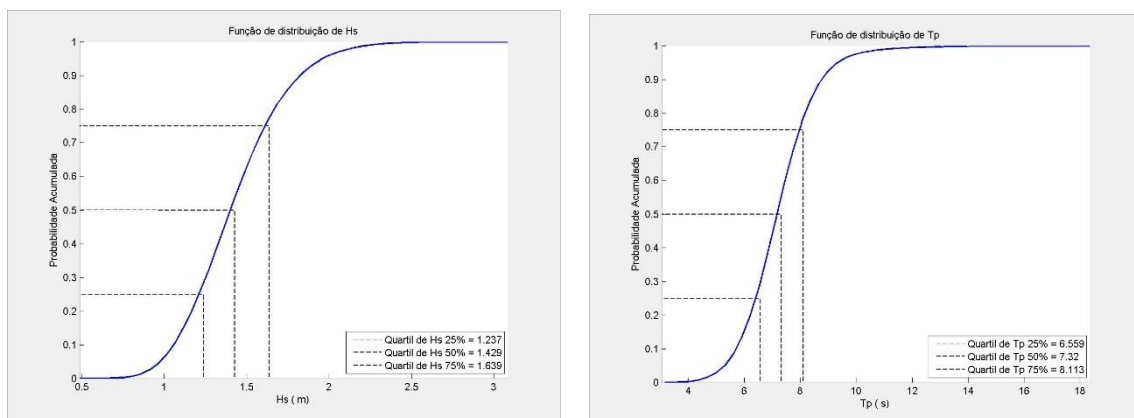
Em uma representação por histogramas o ponto Dow selecionado para o setor central observa os mesmos resultados obtidos para o setor norte para as avaliações da altura de onda significativa (H_s) e período de pico (T_p), confirmando que as alturas de onda estão compreendidas no intervalo de 0,5 m a 2,5 m e os períodos de pico compreendidos entre o intervalo de 3 s a 15 s. (figura 46). Com relação as probabilidades acumuladas para altura de onda significativa, a distribuição significativa aponta que 50% ocorre no intervalo de 1,23 m a 1,63 m. Em relação ao período de pico, 50% das ondas tem como intervalo a ocorrência abrangida entre 6,55 s e 8,11 s (figura 47).

Figura 46: Histograma H_s e T_p setor central.



Fonte: Autor

Figura 47: Função de distribuição H_s e T_p setor central.



Fonte: Autor

Os resultados obtidos na propagação e simulação de ondas pode ser demonstrado em mapas de vetores e magnitude, produzido no SMC Tools. As ondulações de ESE são as mais frequentes para a região, representando 80% dos casos de estado de mar para o setor. No trem de ondas propagado para maré rasa e média (figuras 48 e 49) é visualizado a importância do recife na função de minimizar a energia das ondas que chegam a praia. Em modelagem para maré meteorológica o setor central da Ilha é inundado (figura 50).

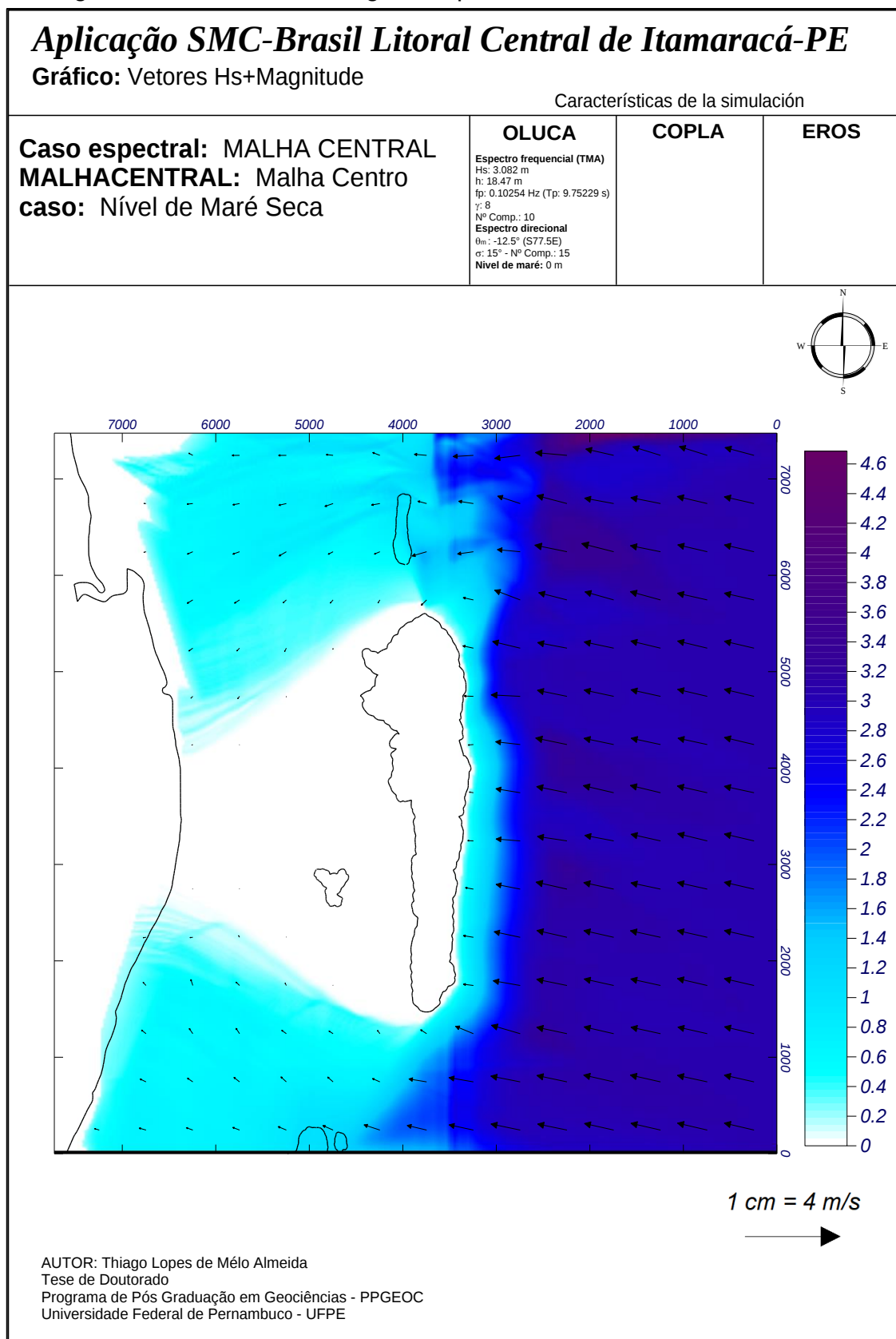
Como resultado para os cálculos realizados para o setor norte, o modelo relaciona a presença do recife na redução dos vetores de energia de onda que chegam a praia. Esta é uma indicação que os problemas erosivos relacionados na área podem estar diretamente relacionados a ocupação da linha de praia e não a ação direta das ondas.

c) Correntes

A influência do recife potencializa as correntes nas suas extremidades, ocasionando maior turbulência na área e fazendo com que cheguem de forma perpendicular na praia, principalmente na extremidade sul e fora da área de influência do Jaguaribe.

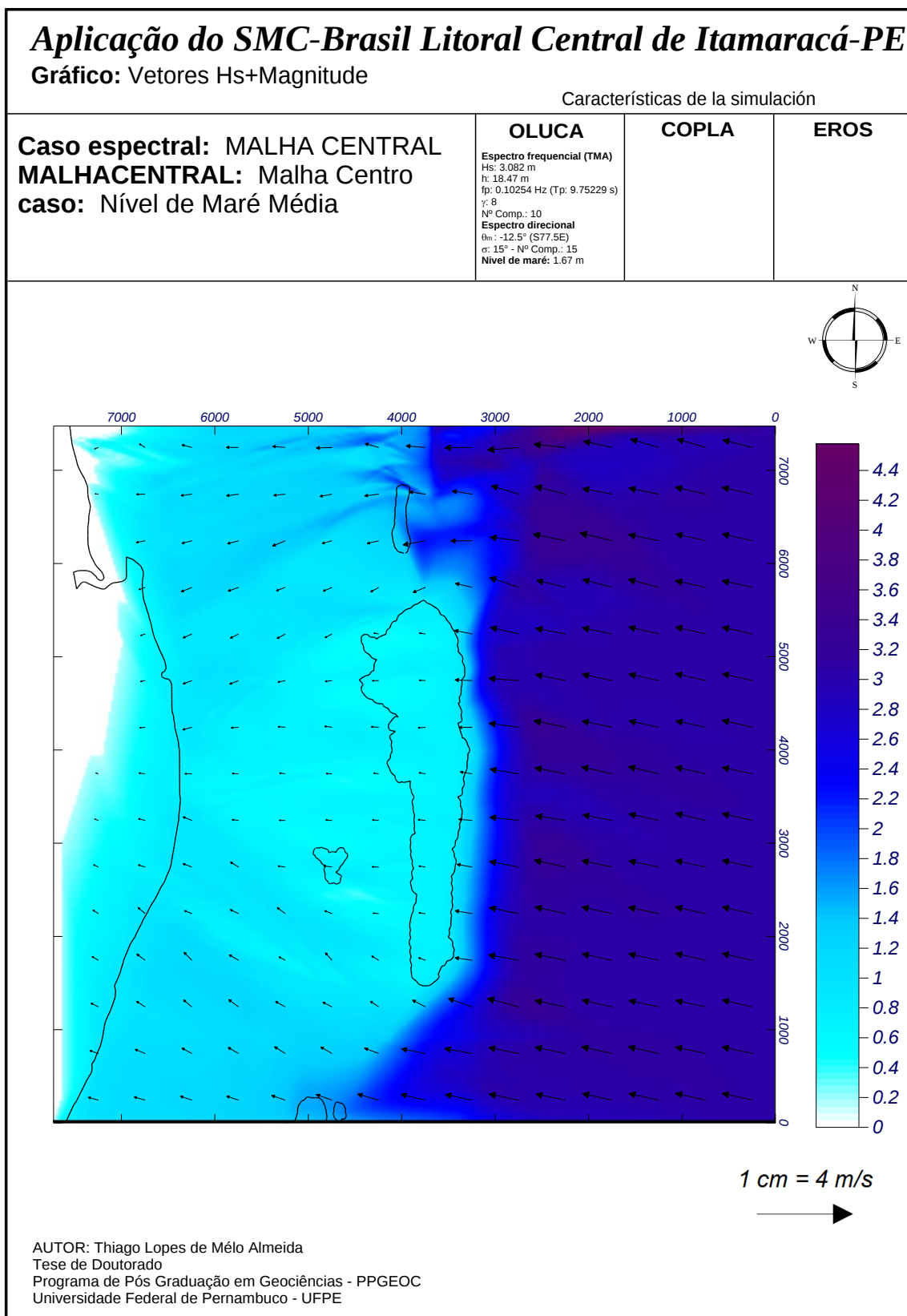
Para o nível de maré rasa, o setor interno ao recife é uma área de pouca energia e pouco poder de mobilizar os sedimentos de fundo proporcionando a deposição de sedimentos mais finos (figura 51). Com o nível de maré média e alta, o recife potencializa a corrente, visualizado nos vetores que são potencializados na área e turbilhonam, devolvendo o material fino a coluna d'água (figuras 52 e 53)

Figura 48: Vetores Hs + Magnitude para o setor central em maré seca.



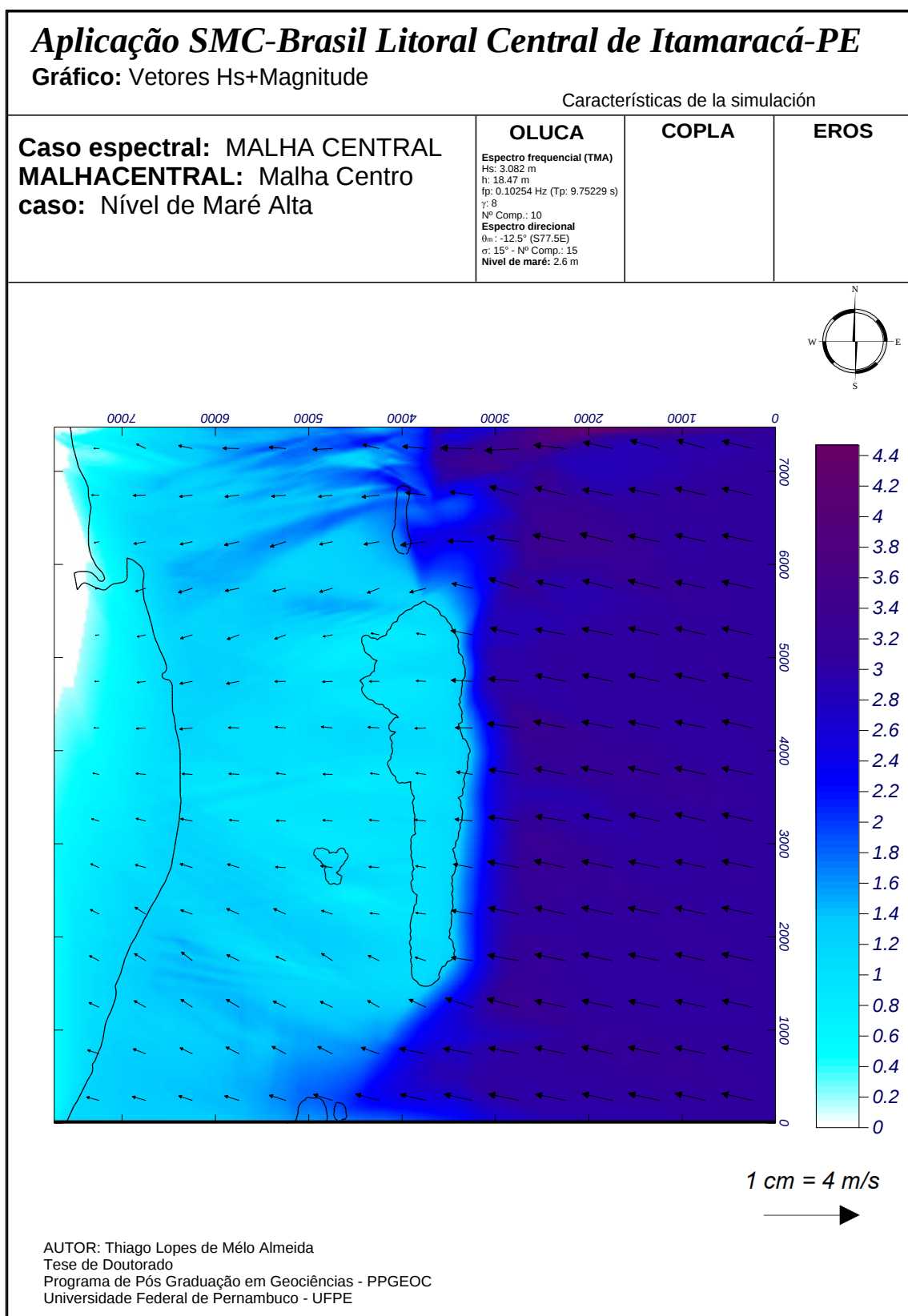
Fonte: Autor

Figura 49: Vetores Hs + Magnitude para o setor central em maré média.



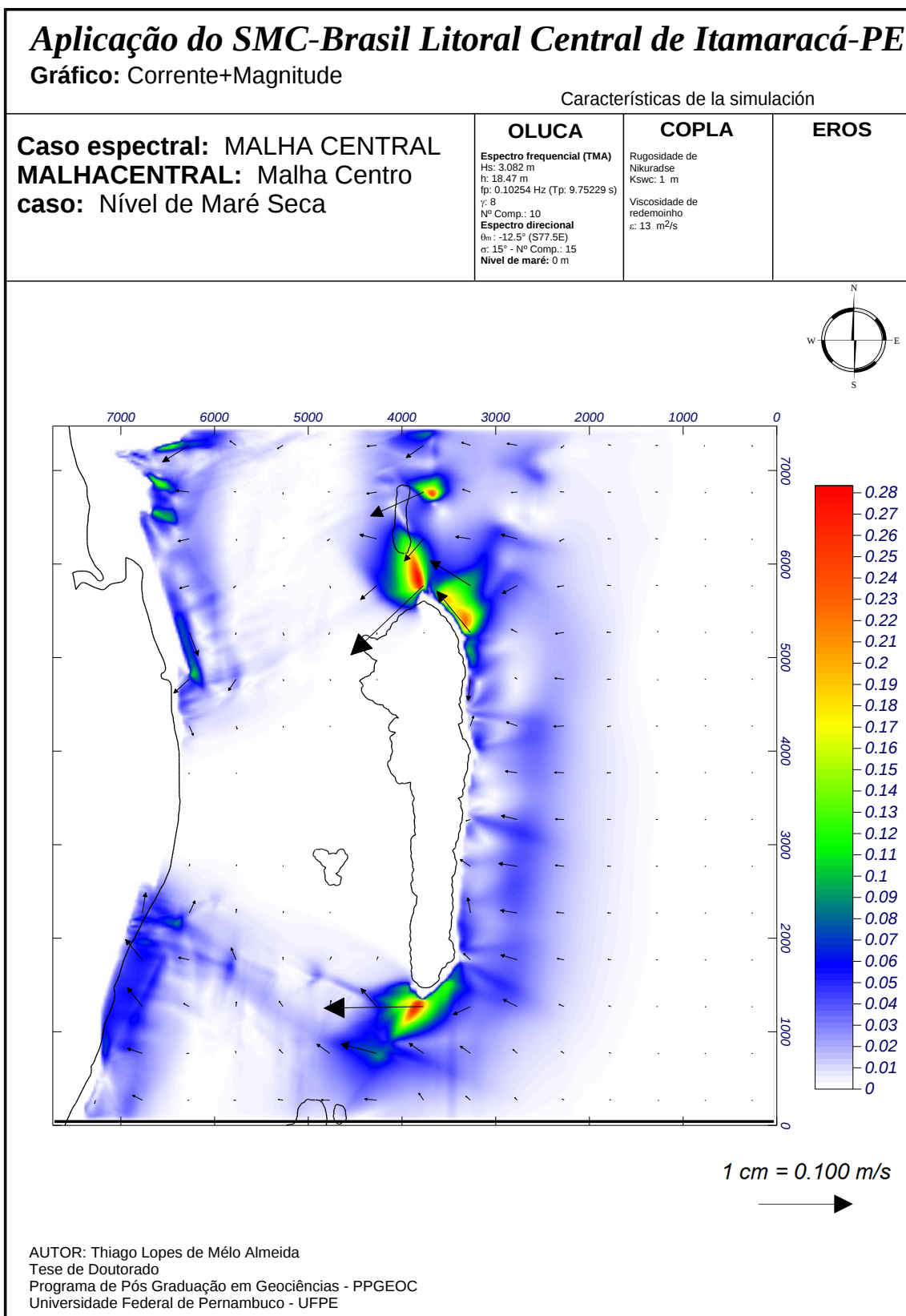
Fonte: Autor

Figura 50: Vetores Hs + Magnitude para o setor central em maré cheia.



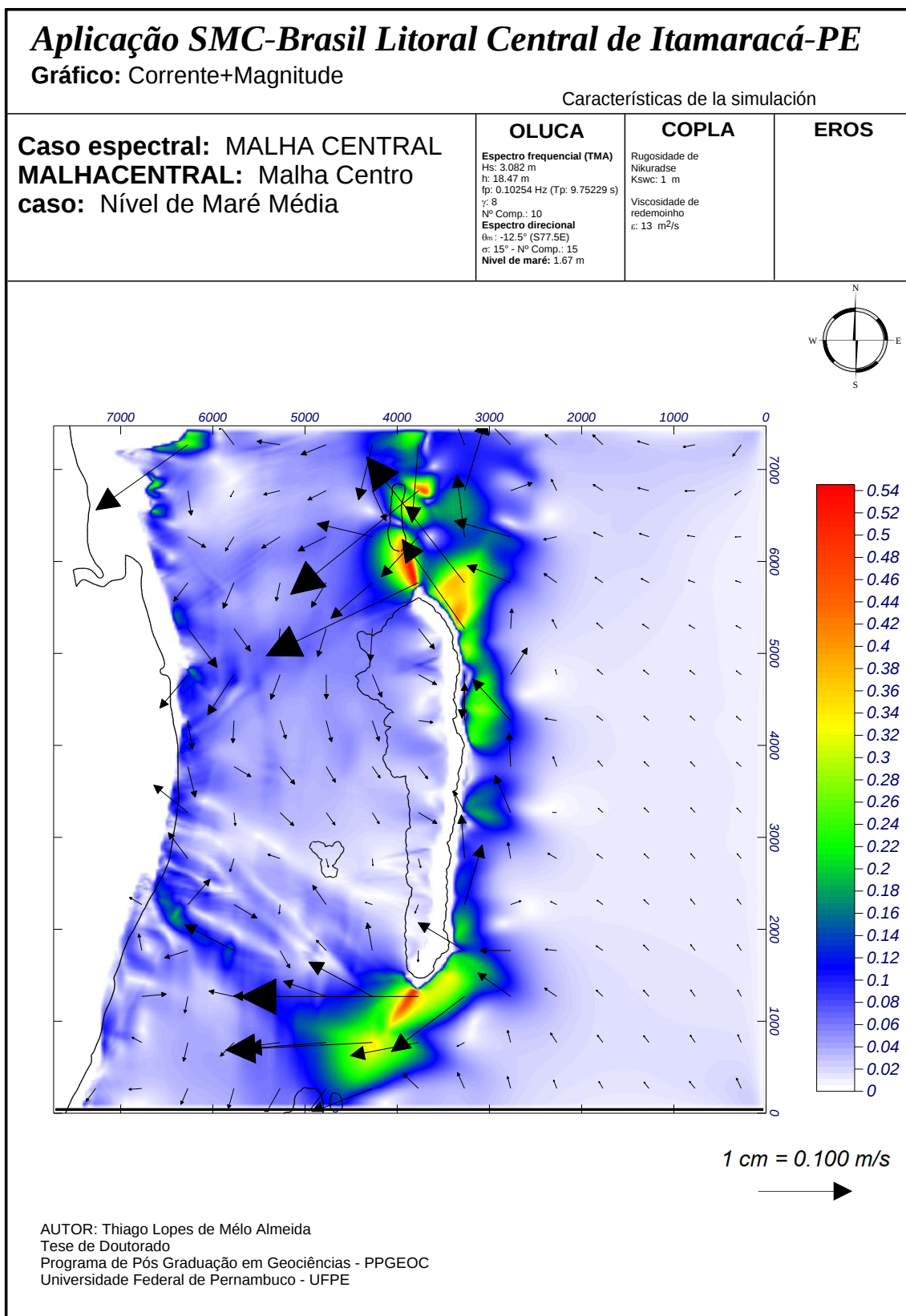
Fonte: Autor

Figura 51: Corrente + Magnitude para o setor central em maré seca.



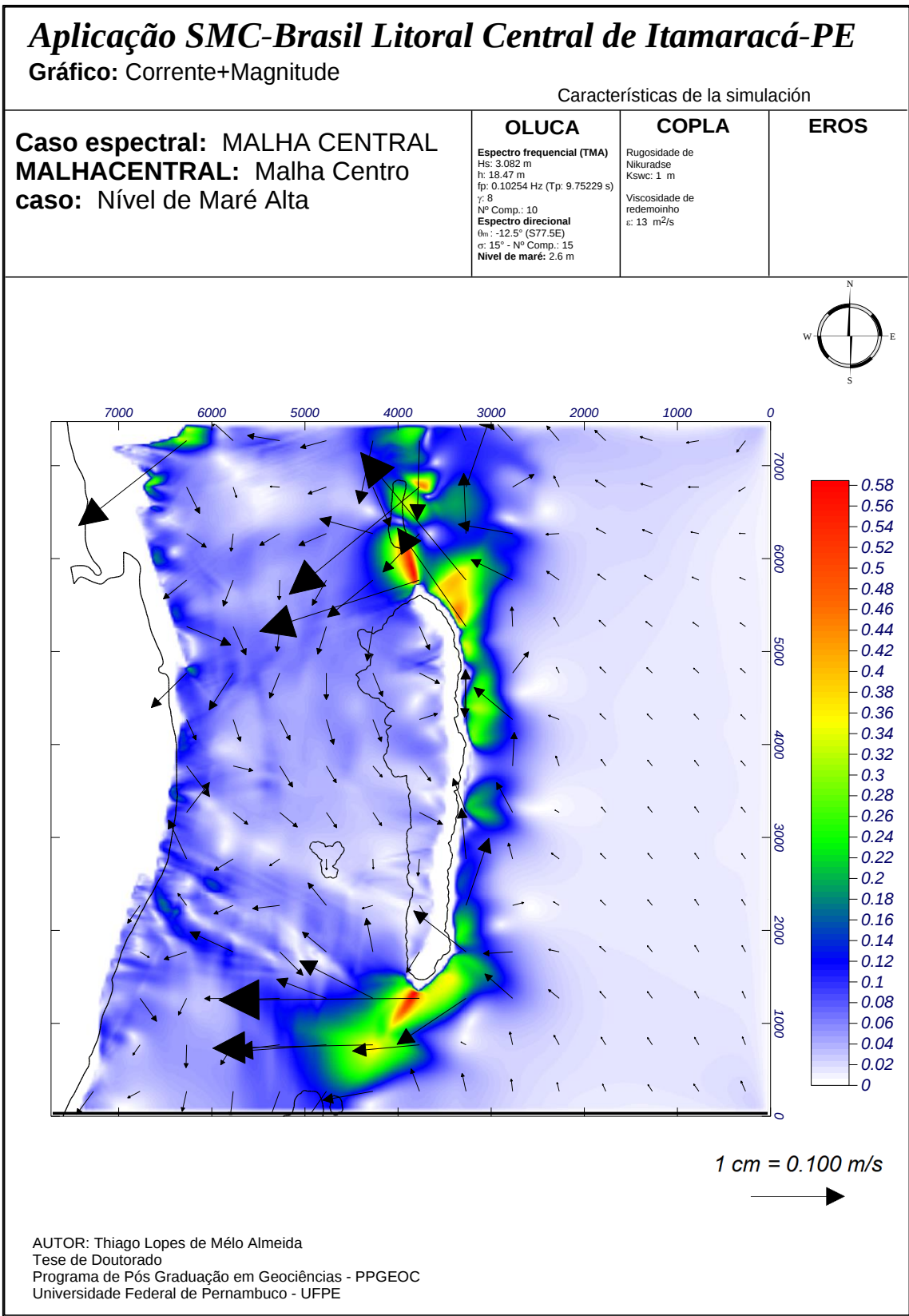
Fonte: Autor

Figura 52: Corrente + Magnitude para o setor central em maré média.



Fonte: Autor

Figura 53: Corrente + Magnitude para o setor central em maré cheia.



Fonte: Autor

4.4. Setor Sul

Para este setor foi aplicado o mesmo método para a propagação dos casos já discutidos. A tabela 10 contempla cada caso relacionando as alturas relativas das ondas período de pico e direção relativa.

Em seguida é apresentada a ficha com os casos selecionados e seus vetores de direção, probabilidade e pico de ondas. Além das combinações, geradas automaticamente, dos casos propagados (figura 54).

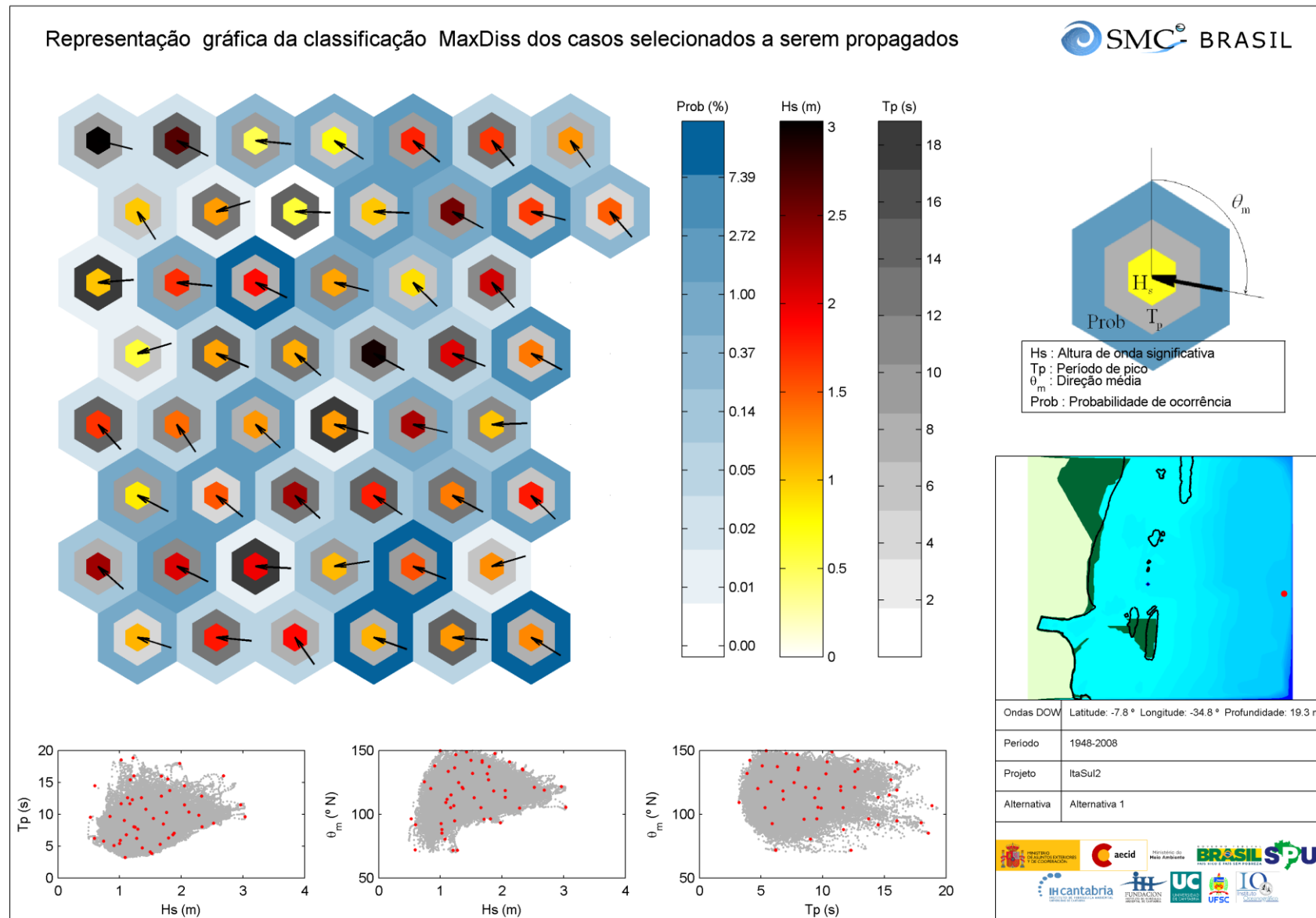
a) Caracterização do Nível do Mar

Os resultados obtidos não se diferem do apresentado aos setores anteriores, sendo suas fichas apresentadas a seguir (figuras 55, 56 e 57).

Tabela 10: lista de casos propagados no setor sul.

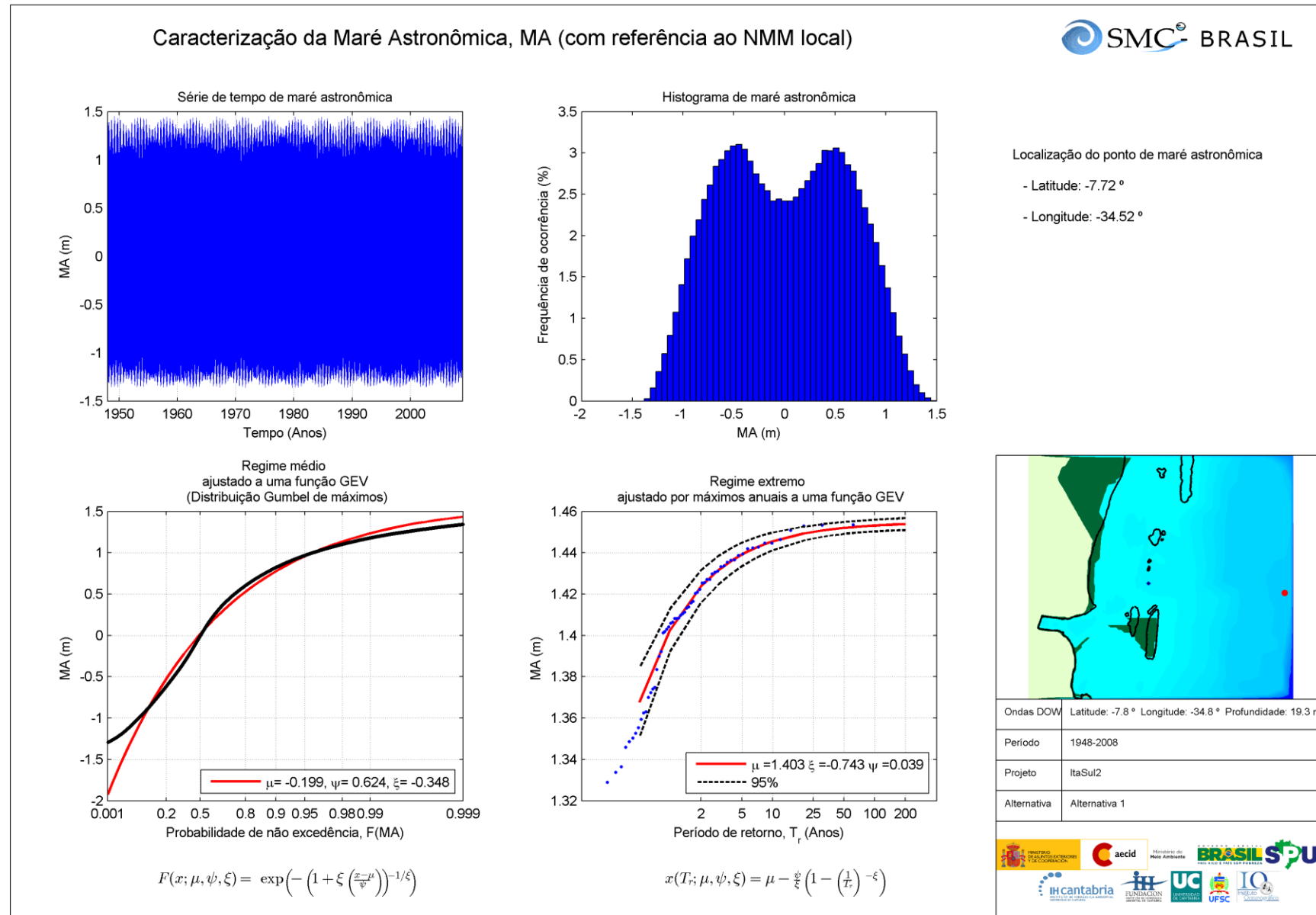
caso	Hs	Tp	Dir	DirRel	Prob (%)	Propagado	malha 1
1	3.04	9.61	105.44	-164.56	0.01	true	MALHASUL02
2	1.00	5.41	149.94	-120.06	0.02	true	MALHASUL02
3	1.03	18.55	85.17	175.17	0.01	true	MALHASUL02
4	0.59	6.20	72.07	162.07	0.01	true	MALHASUL02
5	1.68	15.99	140.72	-129.28	0.02	true	MALHASUL02
6	0.84	9.67	120.22	-149.78	0.59	true	MALHASUL02
7	2.34	8.00	134.85	-135.15	0.20	true	MALHASUL02
8	1.09	3.22	109.17	-160.83	0.91	true	MALHASUL02
9	2.68	16.00	118.80	-151.20	0.01	true	MALHASUL02
10	1.21	12.28	71.66	161.66	0.01	true	MALHASUL02
11	1.71	8.49	95.99	-174.01	0.68	true	MALHASUL02
12	1.17	15.39	115.30	-154.70	0.03	true	MALHASUL02
13	1.43	10.75	148.76	-121.24	0.03	true	MALHASUL02
14	1.52	3.87	131.96	-138.04	1.79	true	MALHASUL02
15	2.05	11.44	118.69	-151.31	1.88	true	MALHASUL02
16	1.81	13.71	96.35	-173.65	0.03	true	MALHASUL02
17	0.53	9.51	96.30	-173.70	0.32	true	MALHASUL02
18	0.60	14.49	91.82	-178.18	0.00	true	MALHASUL02
19	1.87	6.77	118.39	-151.61	14.33	true	MALHASUL02
20	1.13	12.61	133.51	-136.49	0.13	true	MALHASUL02
21	1.23	8.03	136.34	-133.66	1.76	true	MALHASUL02
22	2.33	12.83	135.51	-134.49	0.06	true	MALHASUL02
23	1.98	17.98	93.38	-176.62	0.01	true	MALHASUL02
24	1.88	7.04	147.54	-122.46	0.04	true	MALHASUL02
25	0.74	5.81	125.59	-144.41	1.08	true	MALHASUL02
26	1.01	5.91	92.60	-177.40	2.24	true	MALHASUL02
27	1.17	11.65	105.27	-164.73	0.94	true	MALHASUL02
28	2.96	11.44	121.63	-148.37	0.05	true	MALHASUL02
29	1.22	18.85	106.59	-163.41	0.01	true	MALHASUL02
30	1.78	15.52	127.01	-142.99	0.08	true	MALHASUL02
31	1.07	9.01	80.45	170.45	0.12	true	MALHASUL02
32	1.11	6.80	111.68	-158.32	19.30	true	MALHASUL02
33	1.76	10.26	131.60	-138.40	1.71	true	MALHASUL02
34	2.53	8.59	121.11	-148.89	1.08	true	MALHASUL02
35	0.91	5.10	138.09	-131.91	0.50	true	MALHASUL02
36	2.05	14.49	113.37	-156.63	0.03	true	MALHASUL02
37	2.29	9.86	104.70	-165.30	1.10	true	MALHASUL02
38	1.36	12.57	120.97	-149.03	0.36	true	MALHASUL02
39	1.55	9.36	112.91	-157.09	16.37	true	MALHASUL02
40	1.23	16.00	94.96	-175.04	0.04	true	MALHASUL02
41	1.68	12.85	141.99	-128.01	0.06	true	MALHASUL02
42	1.65	5.30	105.24	-164.76	5.19	true	MALHASUL02
43	2.12	10.37	141.23	-128.77	0.02	true	MALHASUL02
44	1.37	4.72	120.30	-149.70	8.64	true	MALHASUL02
45	1.02	11.67	87.94	177.94	0.09	true	MALHASUL02
46	1.79	6.30	137.33	-132.67	1.75	true	MALHASUL02
47	1.28	6.20	71.79	161.79	0.01	true	MALHASUL02
48	1.30	7.67	124.70	-145.30	15.98	true	MALHASUL02
49	1.25	7.94	146.63	-123.37	0.09	true	MALHASUL02
50	1.49	4.10	142.24	-127.76	0.29	true	MALHASUL02

Figura 54: Representação gráfica modelo MaxDiss casos a serem propagados setor sul.



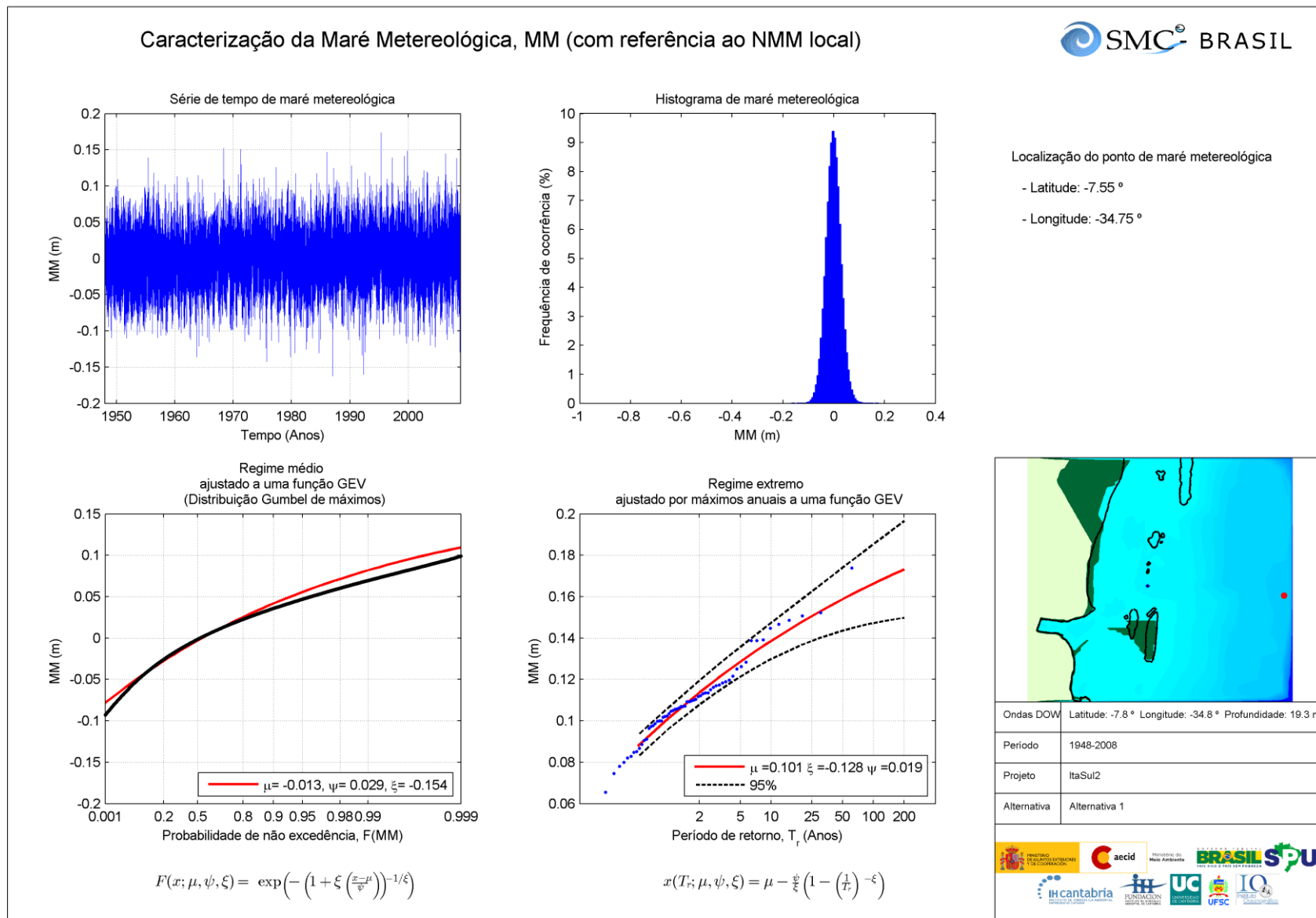
Fonte: Autor

Figura 55: Caracterização da maré astronômica setor sul.



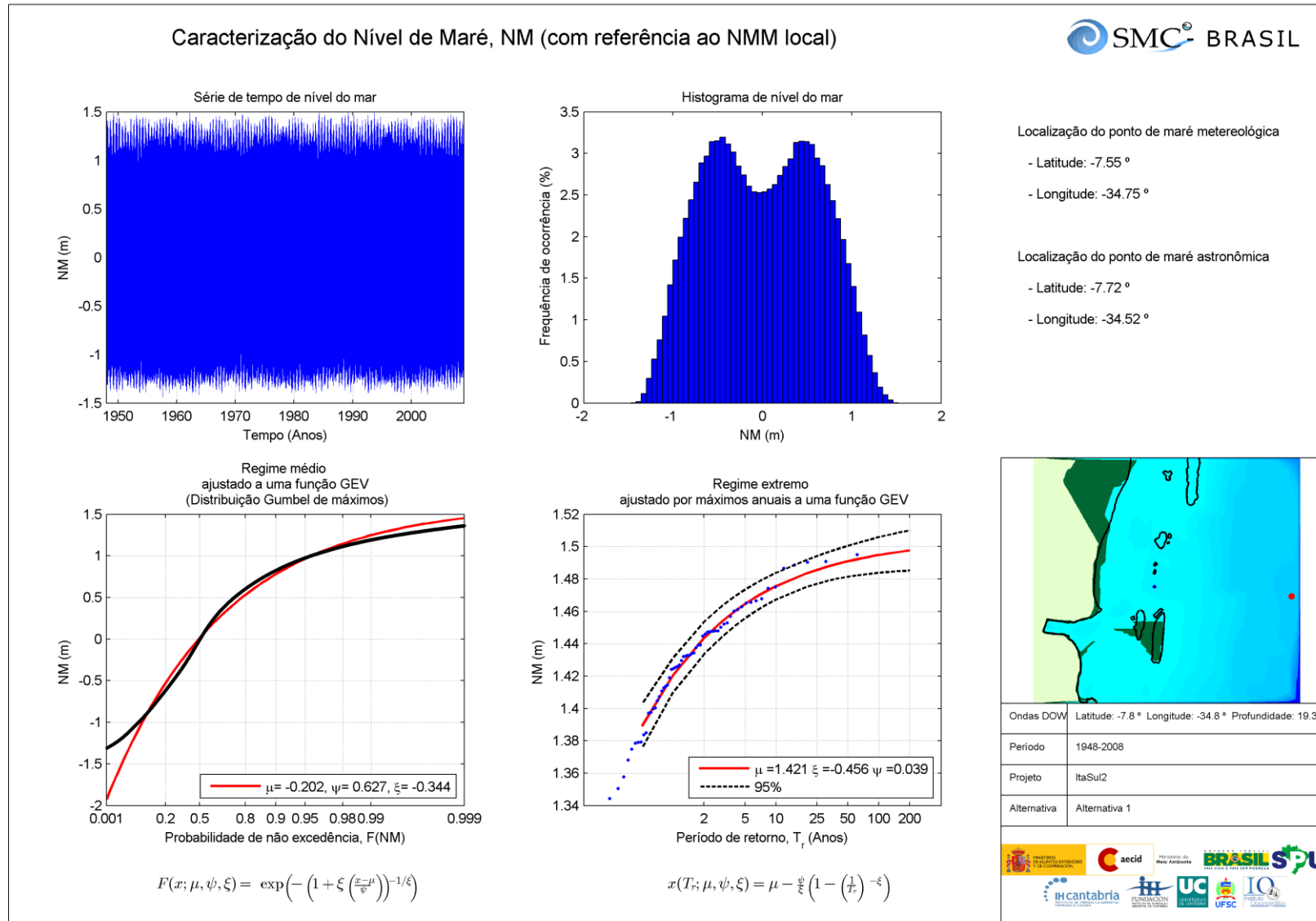
Fonte: Autor

Figura 56: Caracterização da maré meteorológica setor sul.



Fonte: Autor

Figura 57: Caracterização do nível de maré setor sul.



Fonte: Autor

b) Caracterização do Clima de Ondas

Sendo o ponto DOW localizado próximo aos já modelados para os setores anteriores, o setor sul não tem alteração significativa com relação ao clima de ondas já detalhado, sendo identificadas cinco direções de ondas. Duas delas com maior relevância, são ondas provenientes da direção ESE com 76,66% e SE com 19,62% de probabilidade de ocorrência, totalizando 96,28% do trem de ondas incidentes (tabela 11).

Tabela 11: Estatística básica para a variável Hs setor sul.

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS					
Variável medida: Hs					
direções(Â°)	prob.direção	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0000	0.5958	0.6033	0.6033	0.6033
ENE	0.0004	0.8975	1.2589	1.2764	1.2779
E	0.0362	1.0882	1.3867	1.8333	2.1032
ESE	0.7666	1.4520	1.8848	2.3041	2.6192
SE	0.1962	1.4558	1.8210	2.2396	2.4460
SSE	0.0005	1.3940	1.6840	1.8969	1.9091
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Para os parâmetros de altura de onda e período de pico e suas respectivas probabilidades de ocorrência nas cinco direções. Para valores médios (Hs50% e Tp50%) a altura de onda ocorre entre 0,89 m e 1,45 m com picos entre 6,1 s e 8,0 s. Para condições de tempestade (Hs12 e Tp12) as ondas alcançam entre 1,27 m e 2,6 m e com períodos entre 12,1 s e 17,7 s (tabela 12).

Tabela 12: Estatística básica para a variável Tp setor sul.

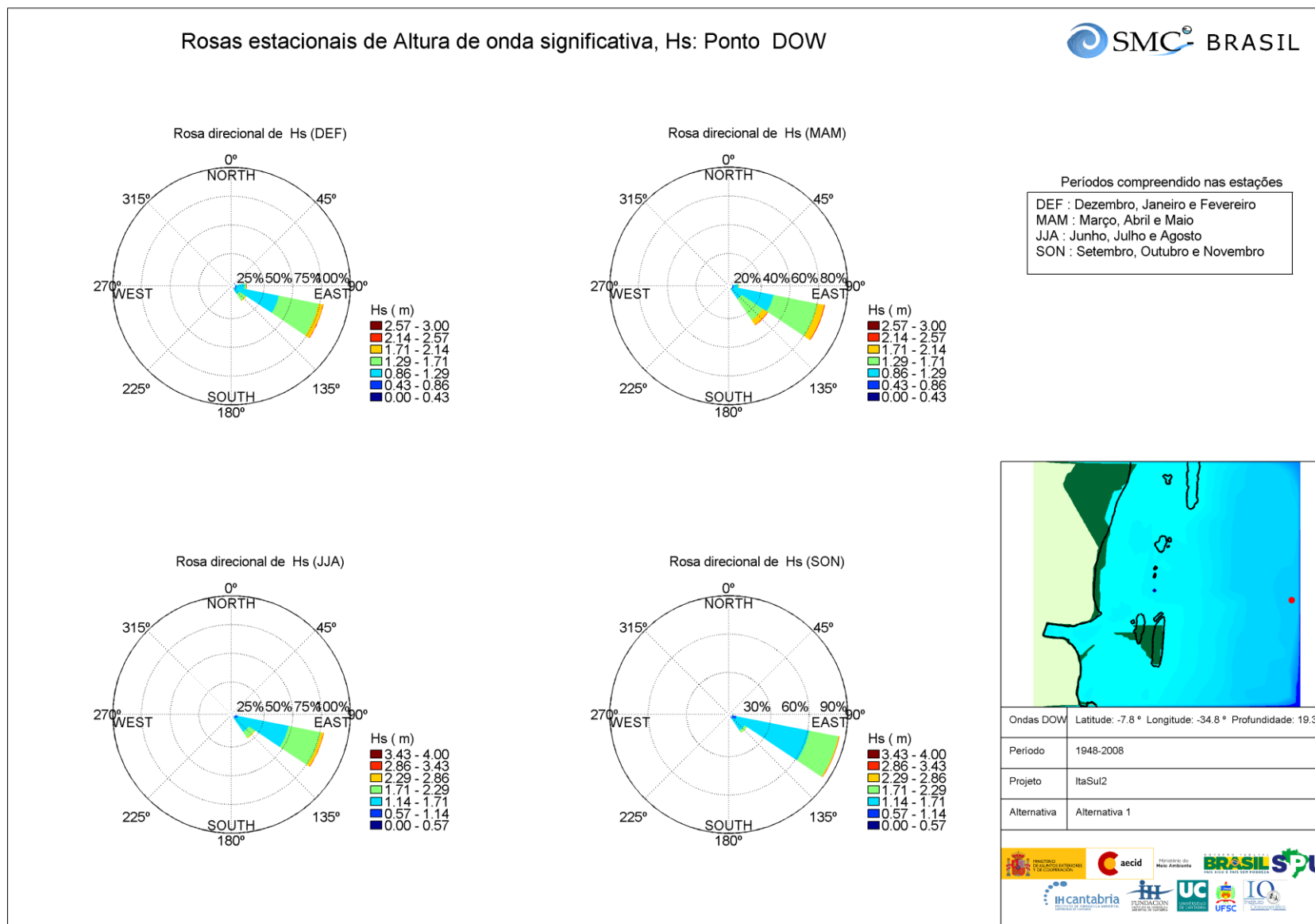
TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS

Variável medida: Tp

direções(Â°)	prob.direção	Tp _{50%}	Tp _{90%}	Tp _{99%}	Tp ₁₂
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0000	6.6226	6.6997	6.6997	6.6997
ENE	0.0004	8.0601	11.7314	13.4397	13.4879
E	0.0362	6.9654	9.1160	14.9226	17.7167
ESE	0.7666	7.3895	8.8130	10.8104	13.5675
SE	0.1962	6.7488	8.9144	12.6682	14.9762
SSE	0.0005	6.1425	8.6351	10.8664	12.1408
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

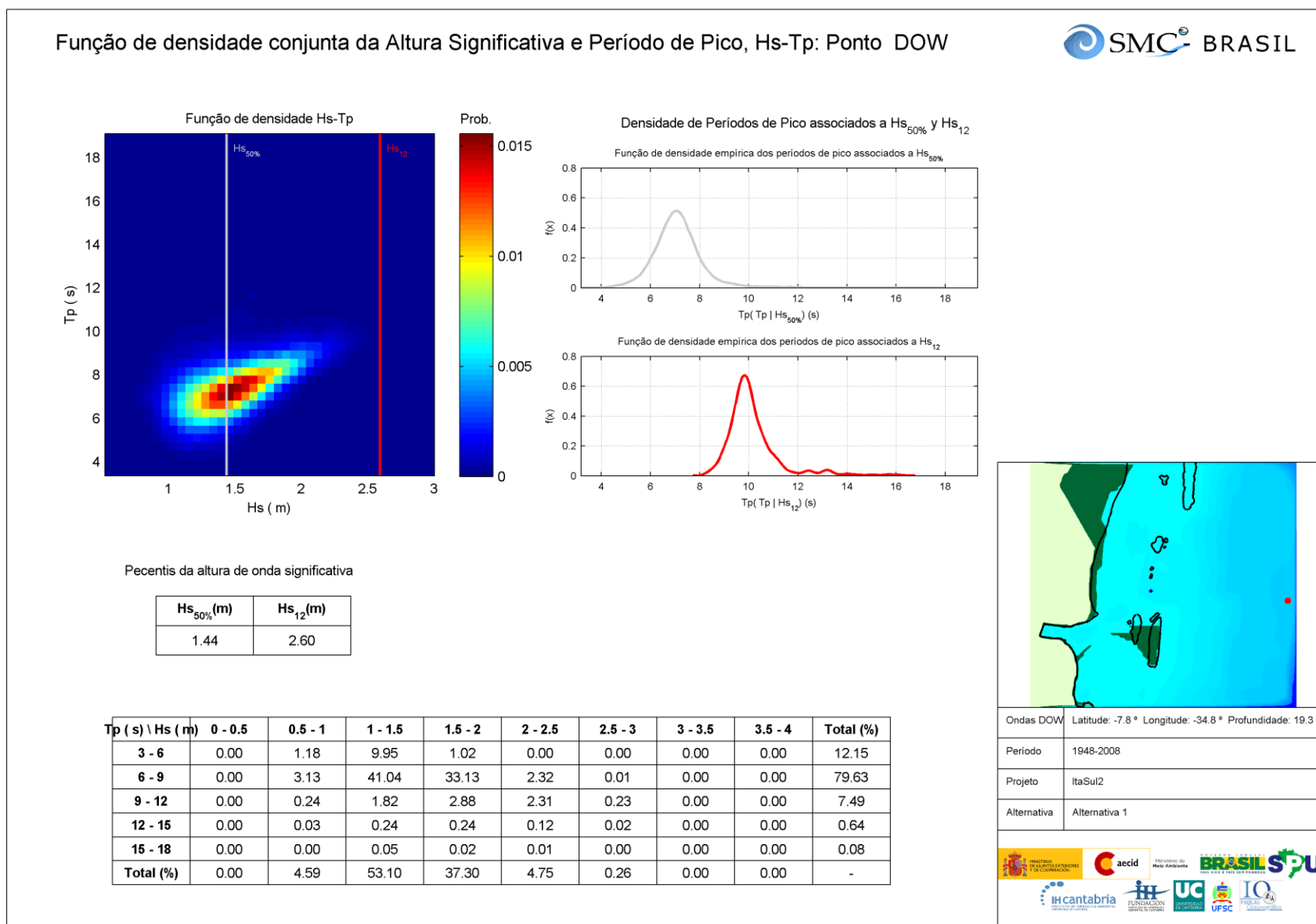
Calculados os valores de referência para direção e as estáticas para densidade conjunta da altura significativa e período de pico, o resultado se mantém semelhante aos calculados para os setores anteriores (figuras 58 e 59).

Figura 58: Rosas estacionais de altura de onda significativa setor sul.



Fonte: Autor

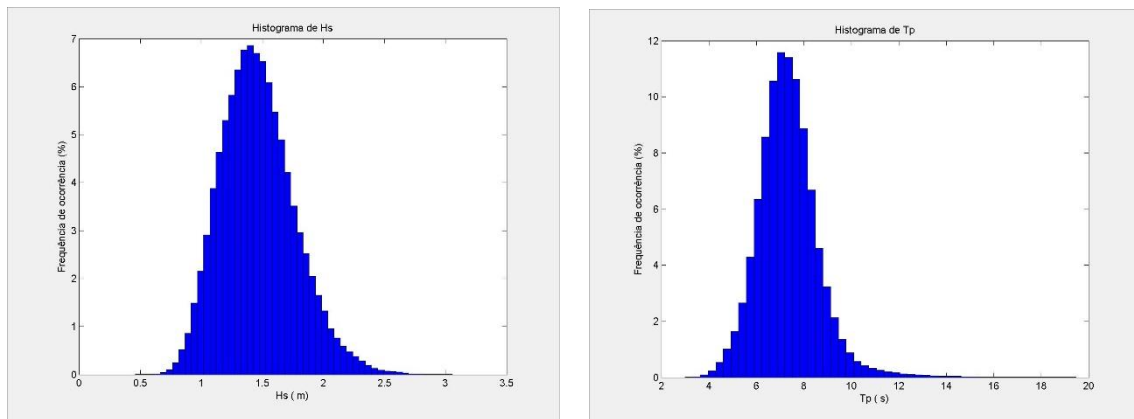
Figura 59: Função de densidade conjunta setor sul.



Fonte: Autor

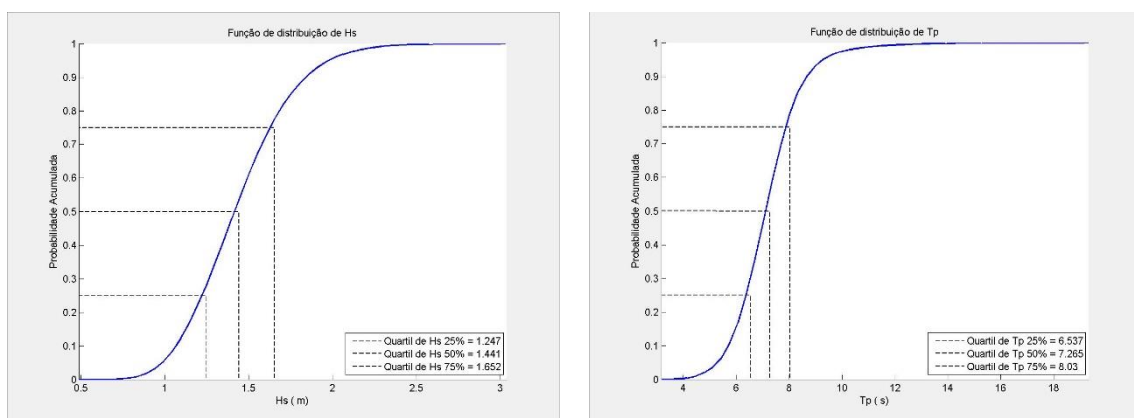
Os histogramas para o ponto Dow selecionado no setor sul indicam os mesmos resultados obtidos anteriormente, para as avaliações da altura de onda significativa (H_s) e período de pico (T_p), confirmando que as alturas de estão compreendidas no intervalo de 0,5 m a 2,5 m e os períodos de pico compreendidos entre o intervalo de 3 s a 15 s. (figura 60). Com relação as probabilidades acumuladas para altura de onda significativa, a distribuição significativa aponta que 50% ocorre no intervalo de 1,24 m a 1,65 m. Em relação ao período de pico, 50% das ondas tem como intervalo a ocorrência abrangida entre 6,53 s e 8,03 s (figura 61).

Figura 60: Histograma H_s e T_p setor sul.



Fonte: Autor

Figura 61: Função de distribuição H_s e T_p setor sul.



Fonte: Autor

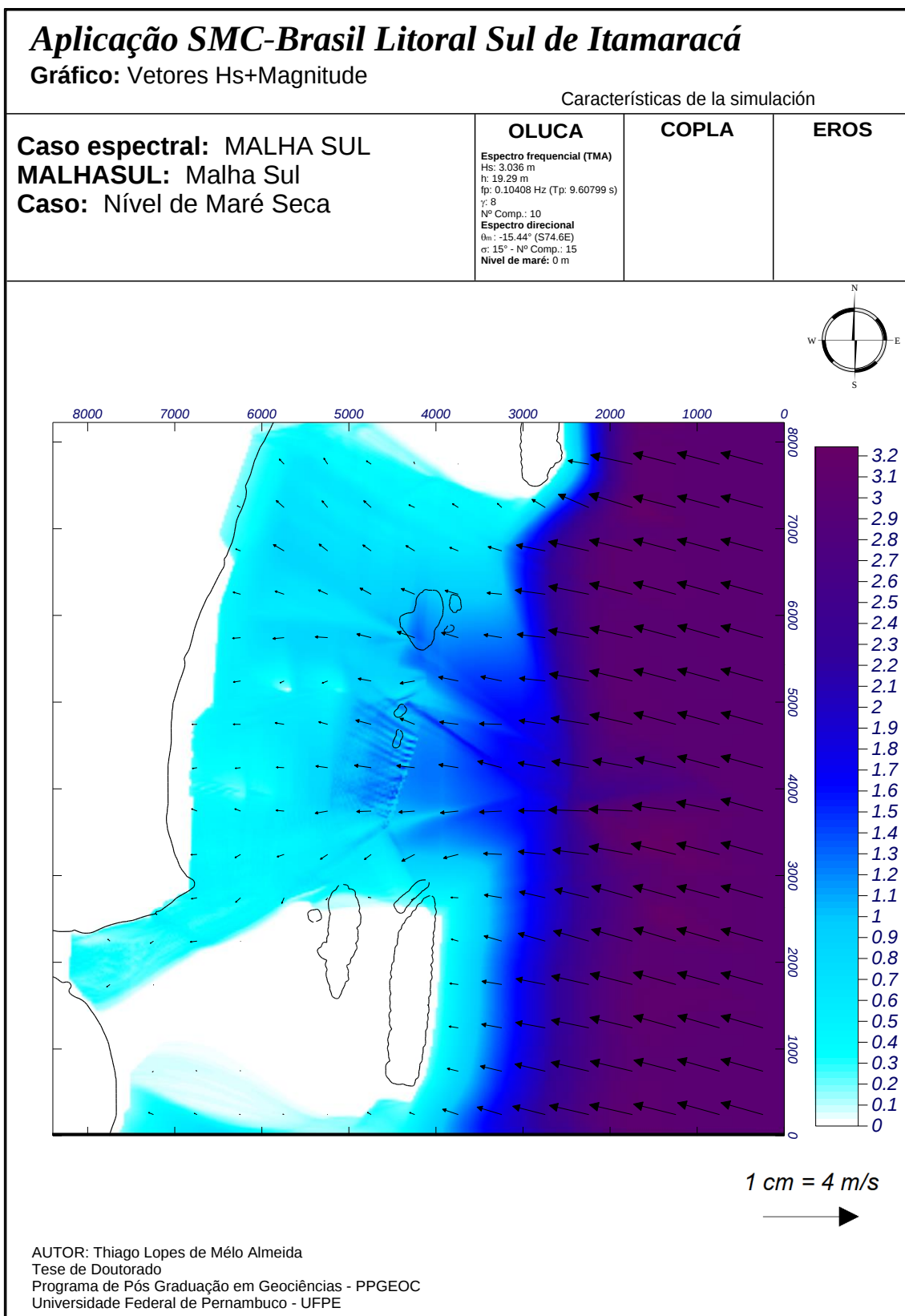
Os resultados obtidos na propagação e simulação de ondas pode ser demonstrado em mapas de vetores e magnitude, produzido no SMC Tools. As ondulações de ESE são as mais frequentes para a região, representando 76% dos casos de estado de mar para o setor. O trem de ondas propagado chega quase em sua totalidade de forma frontal a costa, sendo apenas refreado pelo fundo oceânico, para as propagações de nível de maré média e cheia, o modelo confirma os modelos propagados para o setor norte e central, tendo a região central da Ilha inundada nas cotas de maré mais alta.

No setor mais ao sul a confluência da desembocadura sul do Canal de Santa Cruz e do Rio Timbó, produz uma área de batimetria rasa e com grande deposição de sedimentos, a vista a Coroa do Avião está situada nesse local e ter tido sua área acrescida ao longo do tempo. Os vetores de onda são refreados pelo banco de areia local e torna a área propícia para acúmulo de sedimentos (figuras 62, 63 e 64).

c) Correntes

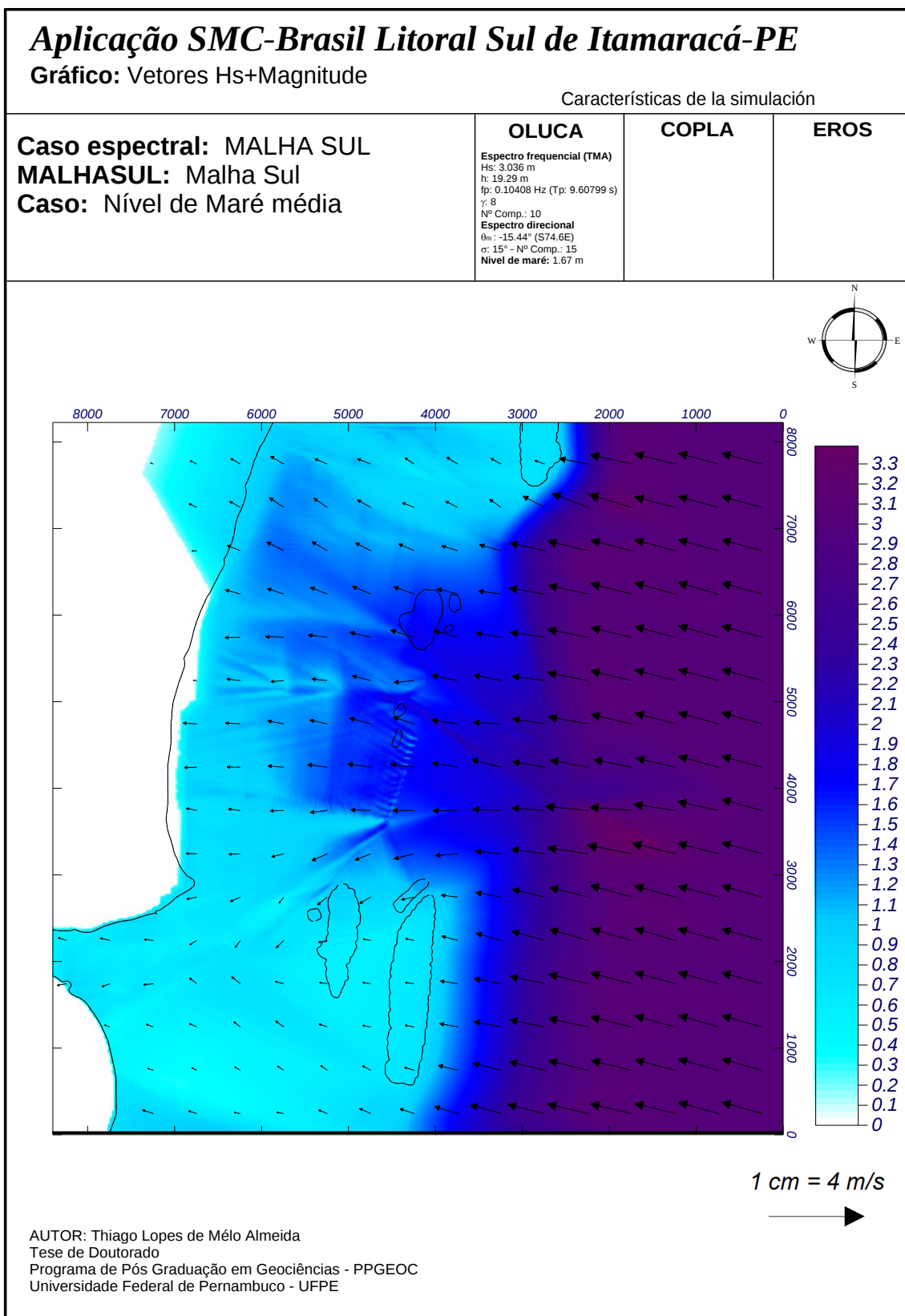
Pela inexistência de uma barreira natural no setor, os vetores de corrente chegam de forma frontal a costa e com pouca perda de energia. Para os níveis de maré média e alta, as correntes atuam com alta magnitude, com turbilhonamento e aceleração no setor central provavelmente pelo grande banco de areia na área e o recife ao norte que afunila a passagem provocando uma aceleração hidrodinâmica. Para o nível de maré mais baixo, a batimetria rasa e escalonada da área permite vetores de correntes menores e que perdem quase que por completo sua energia antes de chegar a costa. (figuras 65, 66 e 67).

Figura 62: Vetores Hs + Magnitude para o setor sul em maré seca.



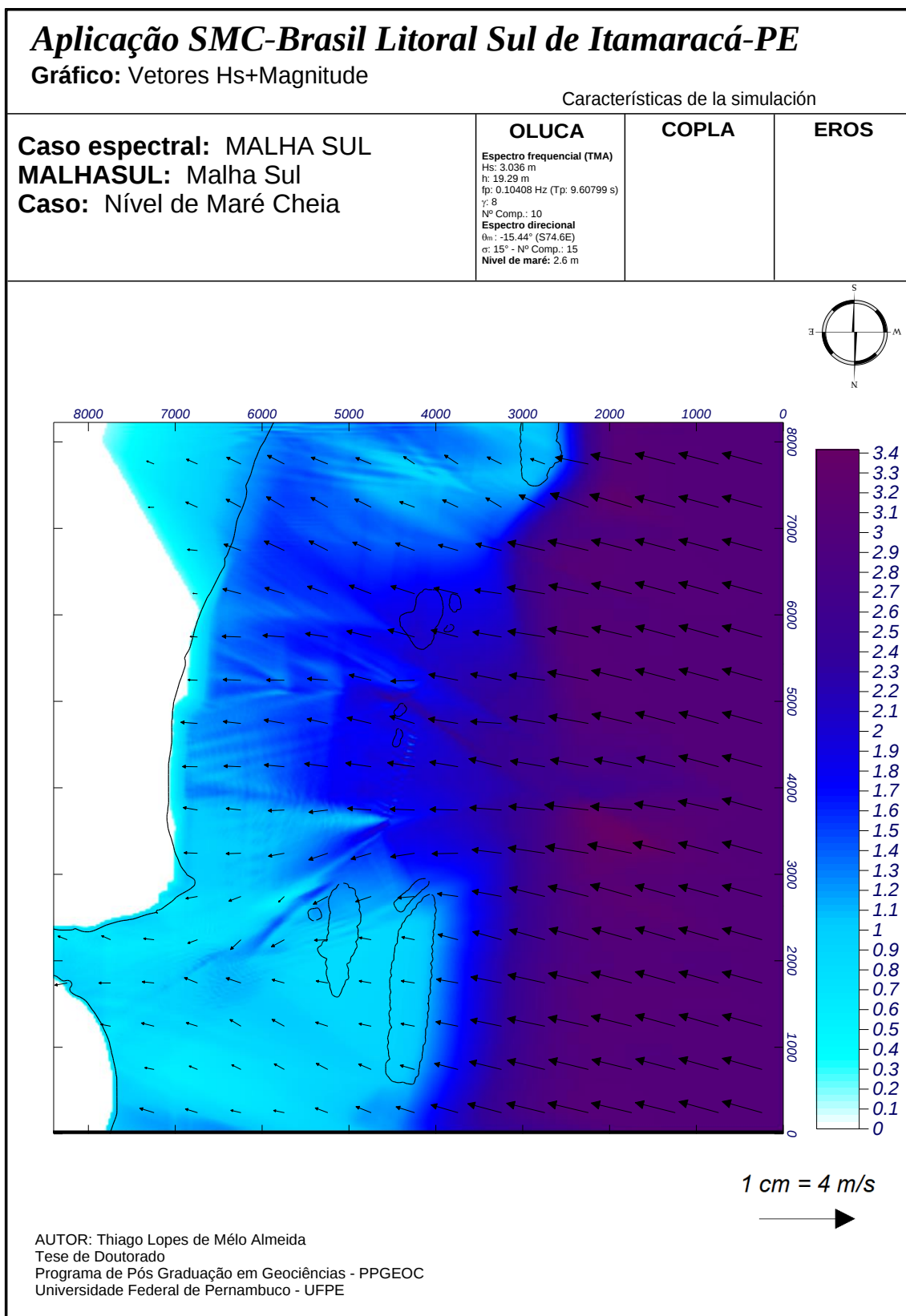
Fonte: Autor

Figura 63: Vetores Hs + Magnitude para o setor sul em maré média.



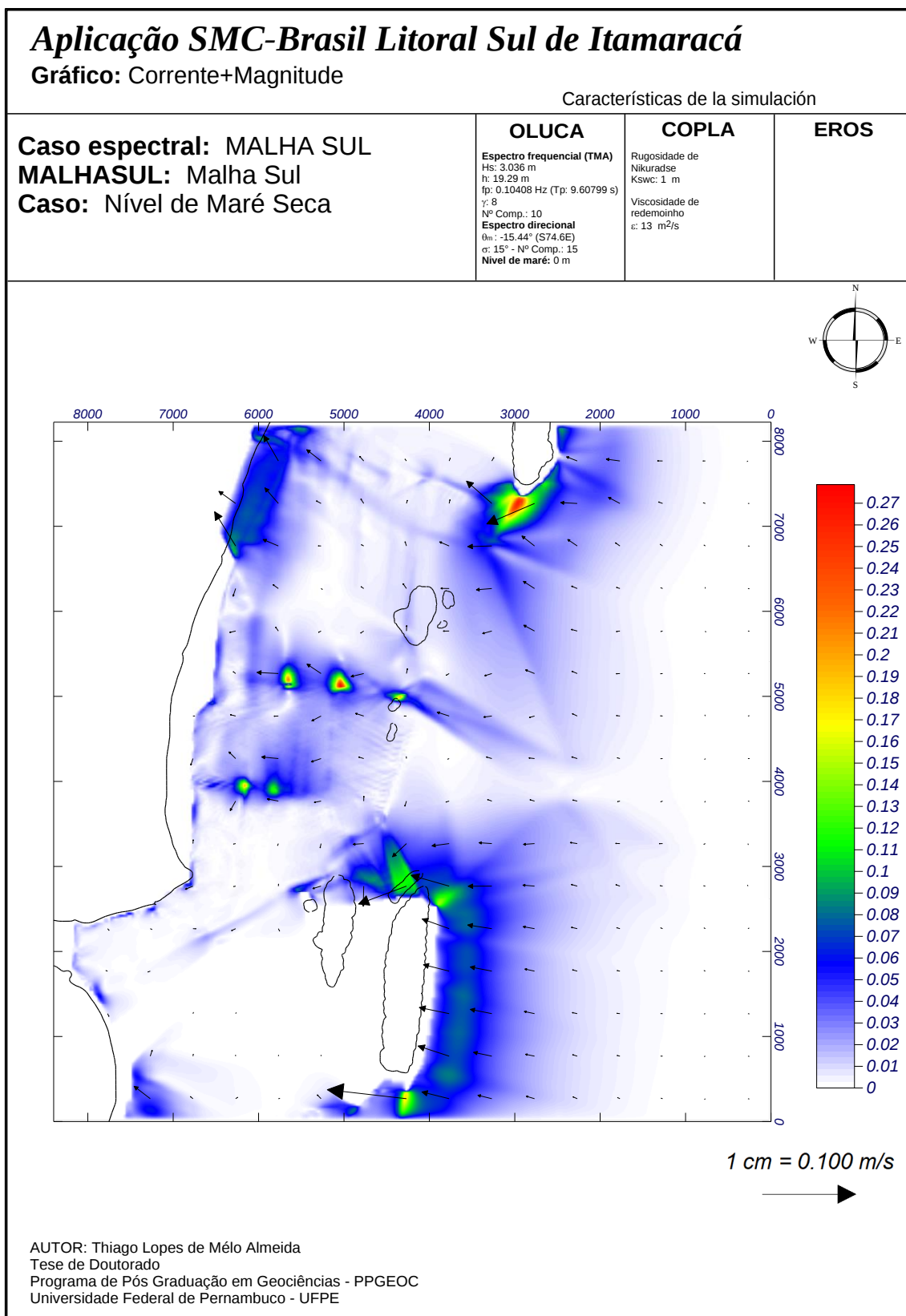
Fonte: Autor

Figura 64: Vetores Hs + Magnitude para o setor sul em maré cheia.



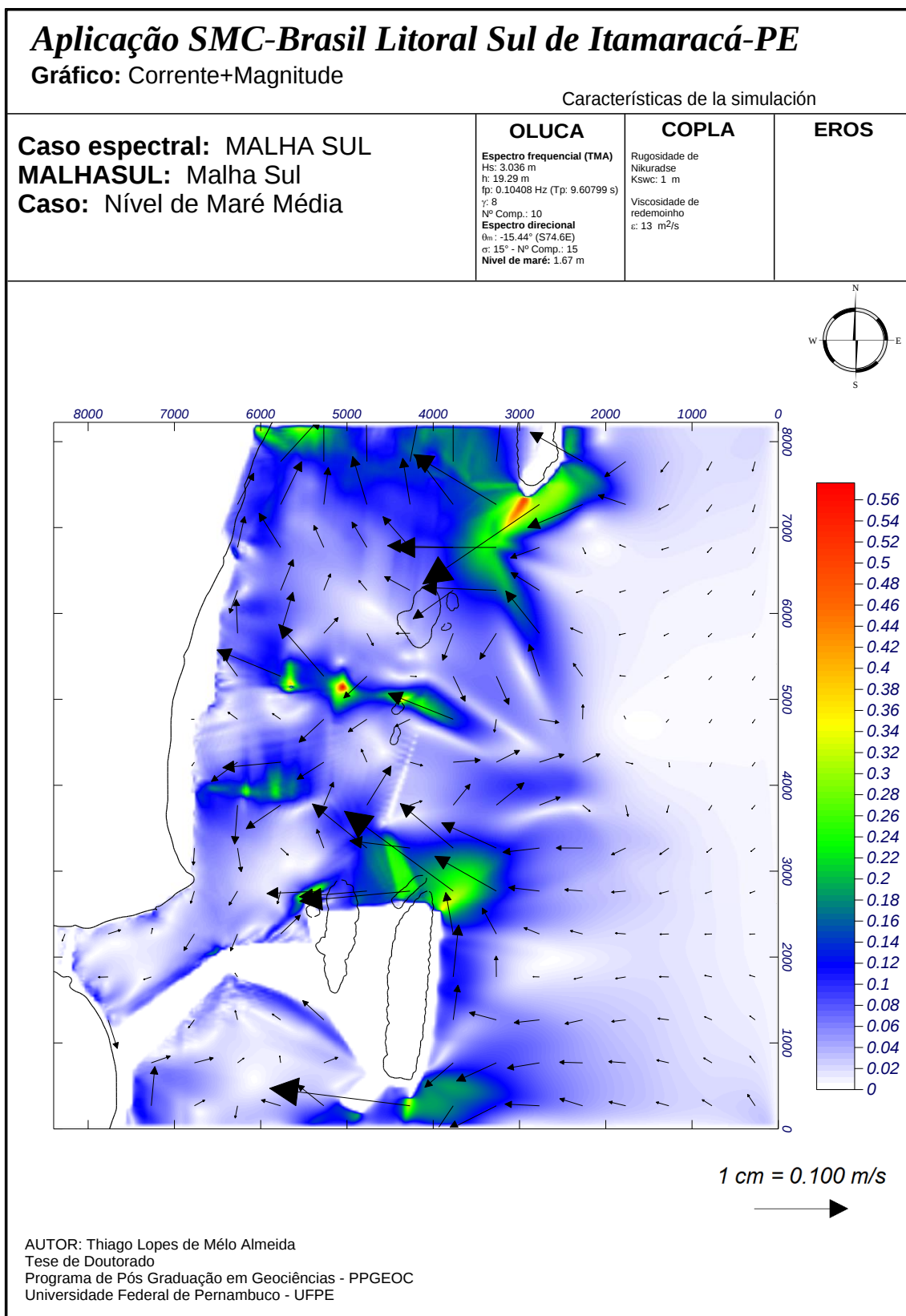
Fonte: Autor

Figura 65: Corrente + Magnitude para o setor sul em maré seca.



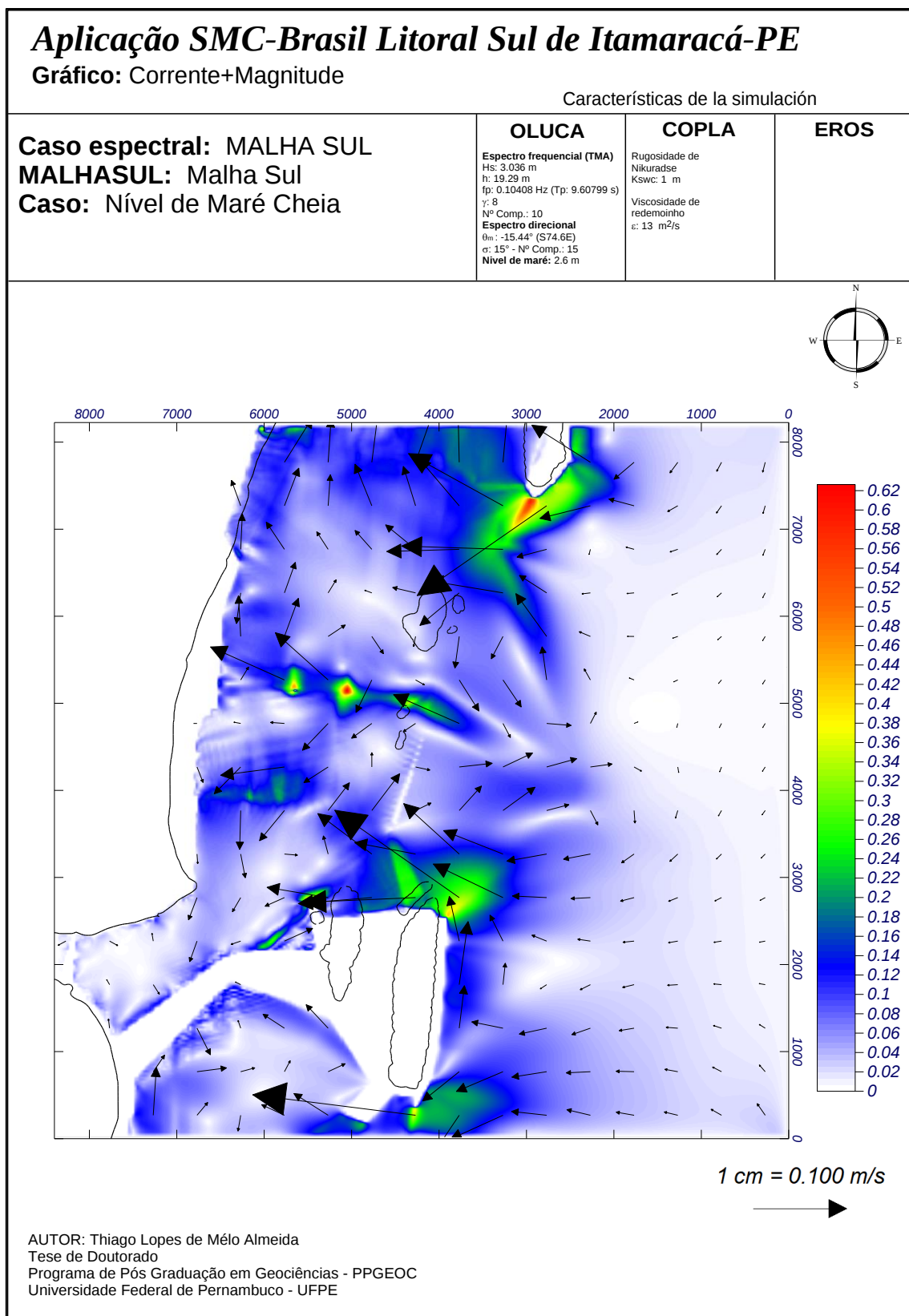
Fonte: Autor

Figura 66: Corrente + Magnitude para o setor sul em maré média.



Fonte: Autor

Figura 67: Corrente + Magnitude para o setor sul em maré cheia.



Fonte: Autor

4.5. Considerações do capítulo

Os cálculos para modelagem da oscilação do nível de maré, considerando o banco de dados do SMC-Brasil, fornece uma base confiável para orientação de estudos na área. Em todos os modelos os resultados se mantiveram idênticos devido a proximidade dos pontos DOW (tabela 13).

Tabela 13: Oscilação do nível de maré astronômica e meteorológica

	Oscilação do Nível de Maré	
	Astronômica	Meteorológica
Setor Norte	-1,4 m a +1,4 m	-0,1 m a +0,1 m
Setor Central	-1,4 m a +1,4 m	-0,1 m a +0,1 m
Setor Sul	-1,4 m a +1,4 m	-0,1 m a +0,1 m

A modelagem do clima de ondas na região fornece dados sólidos e consistentes para toda área estudada (tabela 14).

Tabela 14: Clima de ondas na maré astronômica e meteorológica

	Clima de Ondas		
	Direção preferencial	Altura Média x Período de Pico	
		Maré astronômica	Maré Meteorológica
Setor Norte	E-SE	1,41 m / 7,48 s	2,51 m / 13,55 s
Setor Central	E-SE	1,44 m / 7,43 s	2,6 m / 13,39 s
Setor Sul	E-SE	1,45 m / 7,38 s	2,61 m / 13,56 s

Com relação aos gráficos de altura de onda x magnitude, é possível concluir a relevância do recife e de bancos de areia na região, refreando a velocidade do trem de ondas. Nas praias desprotegidas, do Forte e Fortim, nos setores sul e norte, as ondas colapsam com maior velocidade na face da praia como indicam os vetores.

Os gráficos de magnitude de corrente indicam a relação com o relevo e obstáculos no fundo marinho, com indicativos nos três setores, há ocorrência de aceleração nas margens dos bancos de areia e recife e, a incidência perpendicular nas praias.

5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

5.1. Arrebentação e Transporte

Após propagação das ondas até a costa se tem a informação de seus parâmetros espectrais ao longo de toda costa de Itamaracá, portanto, pode-se reconstruir as séries de estados do mar em qualquer ponto do domínio com o módulo IH-AMEVA. A partir desta informação foi empregado o sub-módulo de Pós-processo do módulo IH-DYNAMICS do SMC-TOOLS, sub-módulo que permite avaliar o ponto de quebra em um perfil de praia para cada estado de mar, a partir do qual se pode obter fluxo médio da energia de onda e o transporte litoral de sedimentos.

Os pontos identificados em campo por GPS definiram o ponto de partida para os perfis transversais e são apresentados a seguir (tabela 15):

Tabela 15: Localização geográfica dos perfis em Itamaracá

	Perfil	Latitude	Longitude
Setor Norte	PN1	9145887.72 S	297911.49 E
	PN2	9147027.99 S	297731.45 E
	PN3	9148423.32 S	297926.49 E
Setor Central	PC1	9140322.88 S	297983.91 E
	PC2	9141362.90 S	298101.10 E
	PC3	9142900.96 S	298555.19 E
	PC4	9144658.75 S	298657.73 E
Setor Sul	PS1	9136166.18 S	296955.26 E
	PS2	9136867.76 S	297361.44 E
	PS3	9138086.29 S	297306.05 E
	PS4	9139692.54 S	297656.84 E

Definidos as localizações dos perfis calculou-se os pontos de quebra de onda para cada perfil dentro da zona de surfe. O programa apresentou as informações de evolução da quebra dentro da zona de surfe ao longo do perfil,

informações dos histogramas e informações do ponto de quebra de onda, o SMC então agrupa a probabilidade de arrebentação para os três níveis de marés, apresentando uma concentração por probabilidade de ocorrência, assim é possível definir pelo agrupamento dos pontos, a caracterização de um padrão de quebra de ondas para cada setor.

Após análise por probabilidade de arrebentação foi realizado o cálculo de transporte de sedimento para cada perfil, onde se optou pela análise no período de tempo anual, de janeiro a dezembro, os resultados são apresentados graficamente da seguinte forma: sentido do transporte de sul para o norte = negativo; sentido de transporte do norte para o sul = positivo; e o balanço bruto do transporte.

5.2. Análise percentual da arrebentação no setor sul

Os perfis na área foram plotados na praia do Forte, ao lado do forte Orange (PS1), na praia de São Paulo na frente do IBAMA (PS2), na região central ao arqueamento da praia (PS3) e na praia do Forno da Cal (PS4) (figura 68).

O agrupamento por probabilidade de quebra da onda ao longo do perfil apresenta dois grupos distintos. O primeiro (G1) formado pelos perfis PS1, PS2 e PS3, com dois setores de maior probabilidade de quebra localizados na Coroa do Avião e bancos de areias adjacentes e quebras de menor ocorrência ao longo de todo perfil. O segundo grupo (G2), formado apenas pelo perfil PS4, possui maior probabilidade de quebra incidente na face de praia (figura 69).

Ressalta-se que o agrupamento por probabilidade demonstra a quebra das ondas para os três níveis de mares inseridos no programa e para uma análise em detalhe se faz necessário a secção dos perfis para cada nível de maré.

Figura 68: Localização dos perfis de praia no setor sul

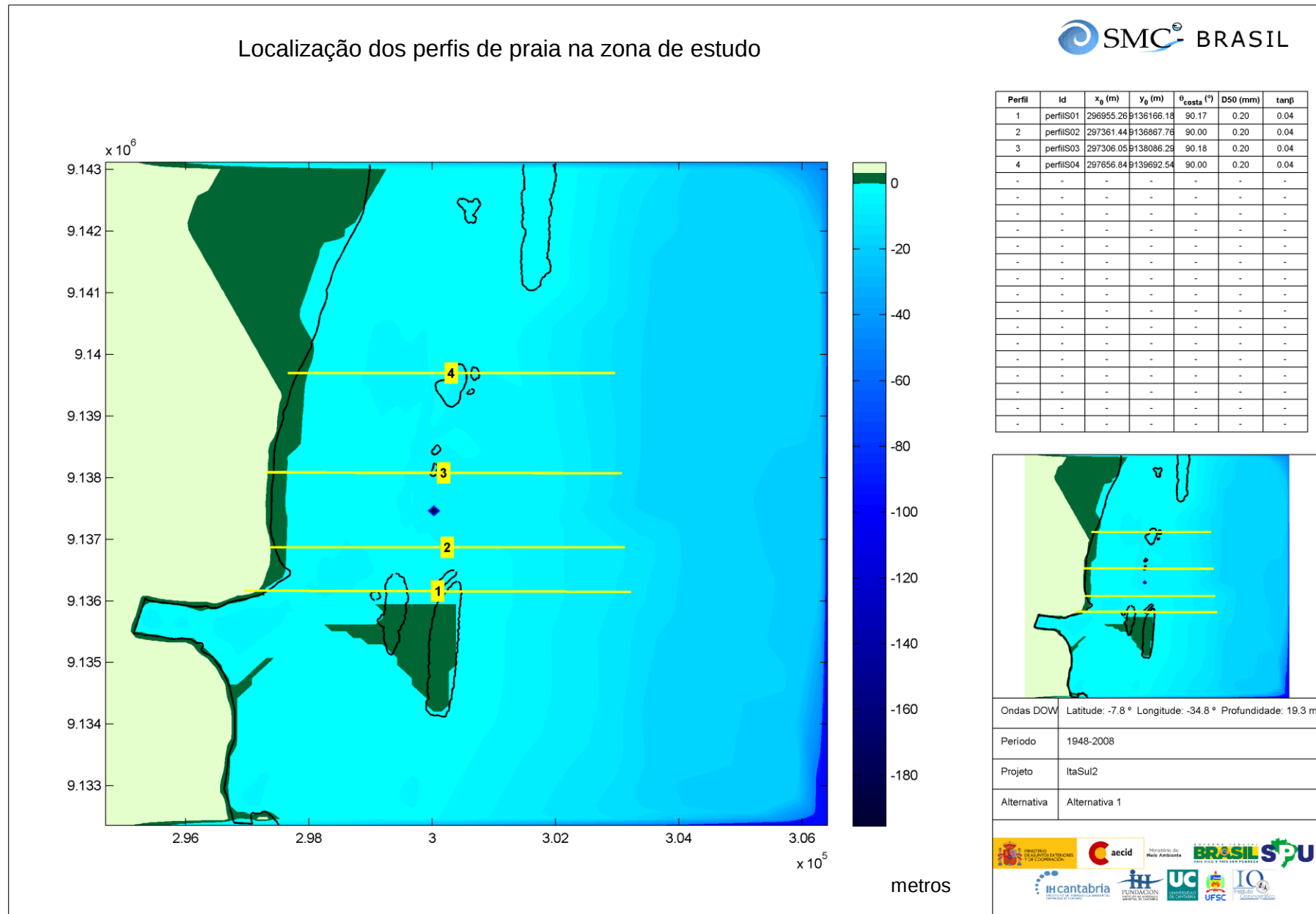
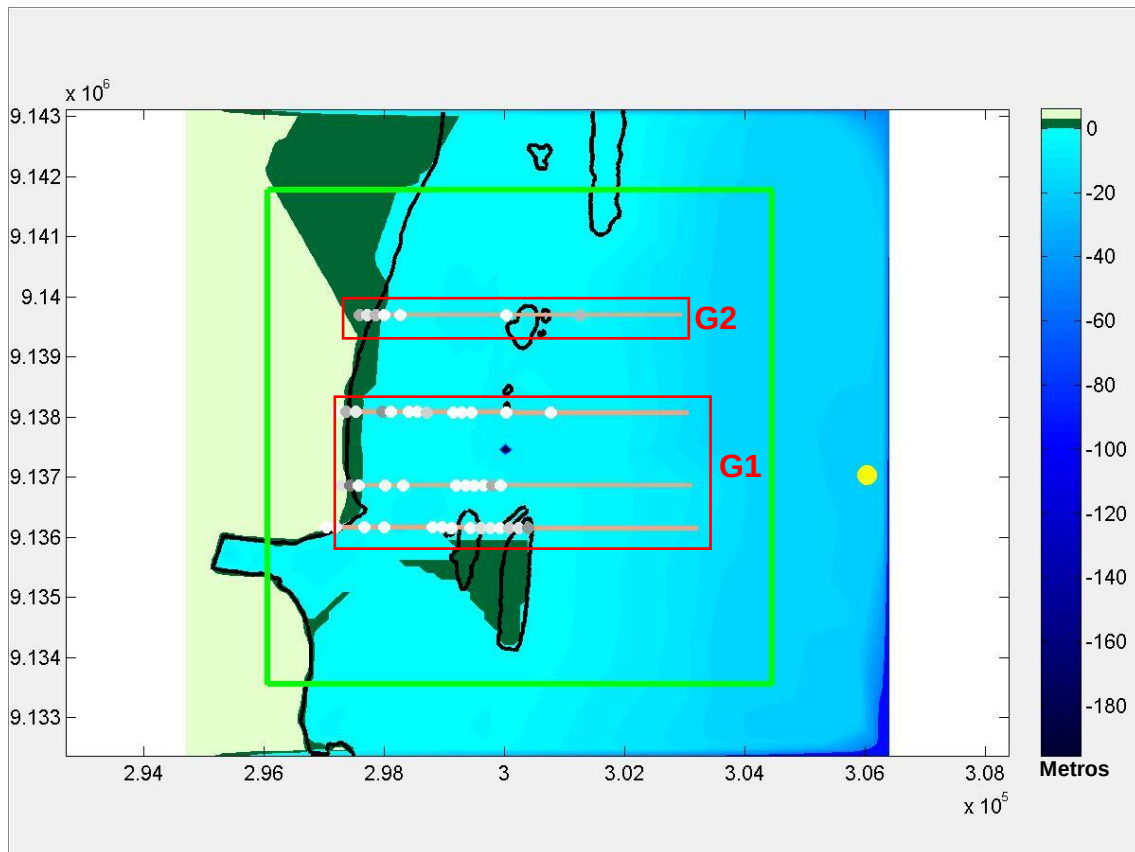


Figura 69: Agrupamento por probabilidade de quebra de onda no setor sul



Fonte: Autor

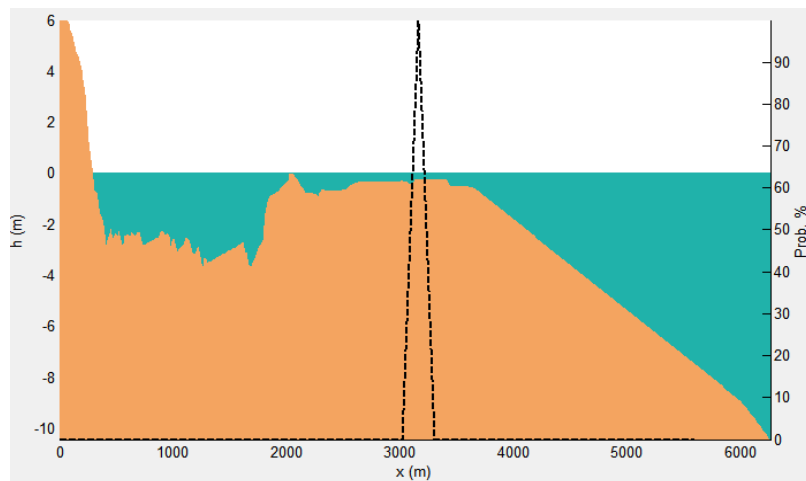
Sendo assim, para o perfil PS1 a análise de probabilidade individual gerou para o nível de maré seca percentual superior a 90% para quebras a 3.000m da praia. Para maré média e meteorológica o percentual se mantém superior a quebras entre 2.000m e 3.000m da linha de praia, o que configura a importância da Coroa do Avião e dos bancos de areia locais em proteção a linha de costa na diminuição da energia das ondas (figura 70).

Figura 70: Histogramas de arrebentação perfil PS1

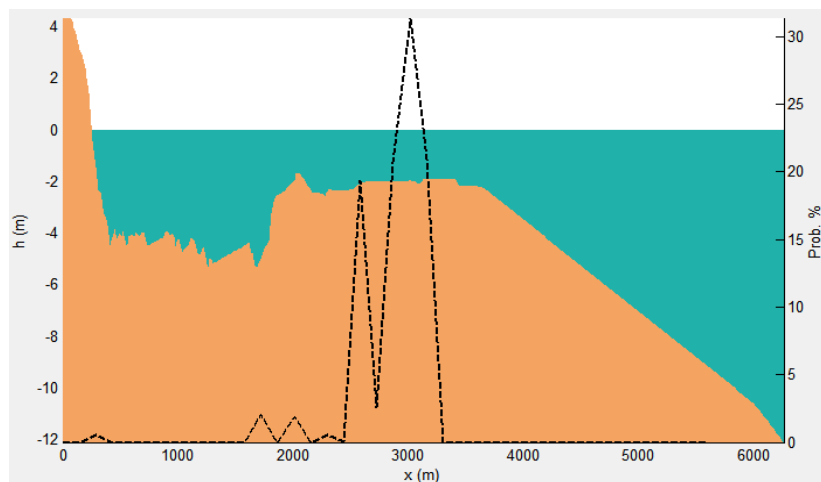
Histograma de arrebentação perfil PS1

Probabilidade de quebra de onda no perfil

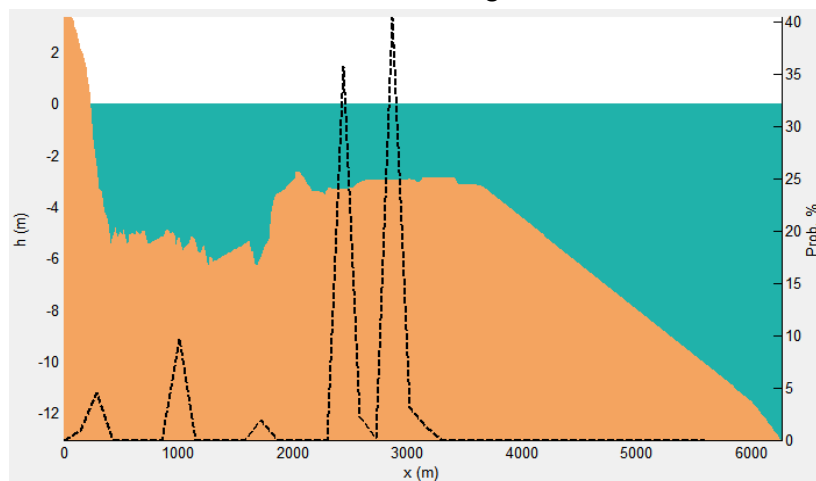
Maré seca



Maré média



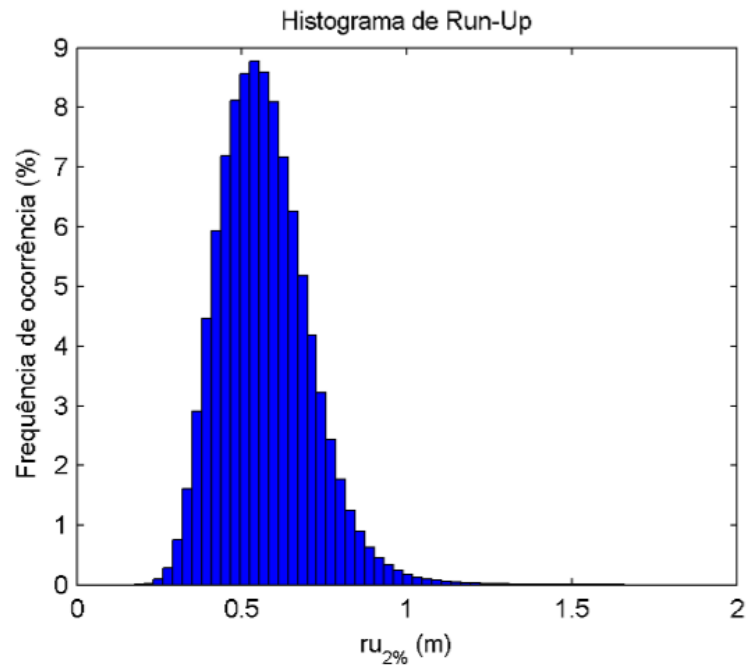
Maré meteorológica



Fonte: Autor

O *Run-Up* é o nível máximo atingido pela onda da sua quebra até seu espraio na face da praia. Sendo assim, o *Run-Up* para o perfil PS1 totaliza intervalos de ocorrência entre de 0,25 m e 1,0 m, com maior relevância os espraio no intervalo entre 0,35 m e 0,75 m totalizando percentual maior que 80% (figura 71).

Figura 71: Histograma de *run-up* perfil PS1



Fonte: Autor

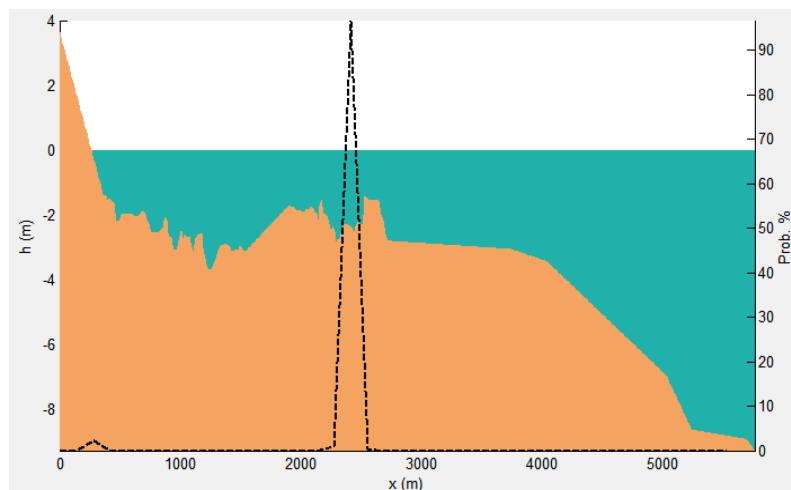
No perfil PS2 para o nível de maré seca percentual superior a 90% para quebras a 2.500 m da costa. Na maré média o percentual é superior a 90% e meteorológica a totalidade das arrebações a menos de 500 m da praia (figura 72).

Figura 72: Histogramas de arrebentação perfil PS2

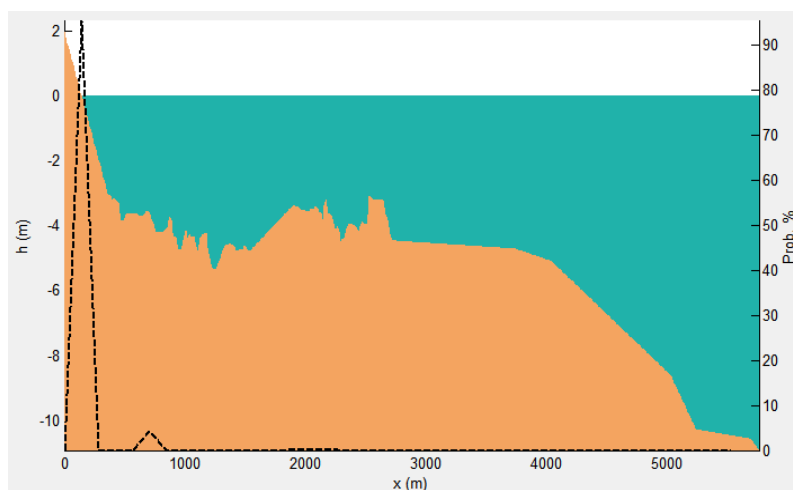
Histograma de arrebentação perfil PS2

Probabilidade de quebra de onda no perfil

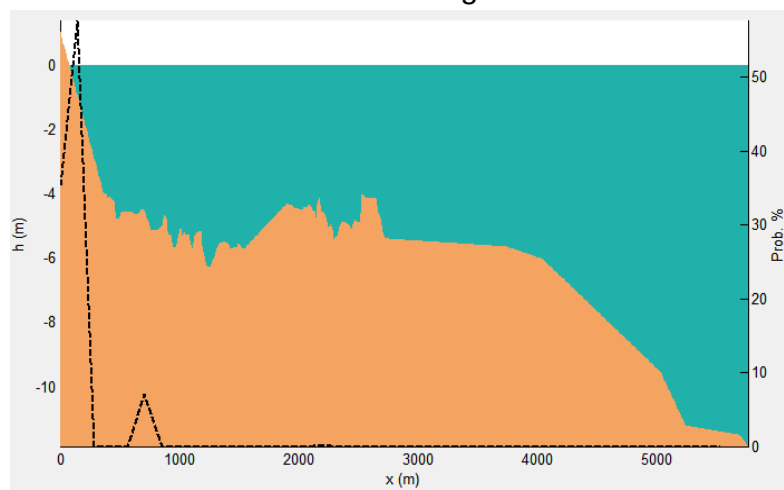
Maré seca



Maré média



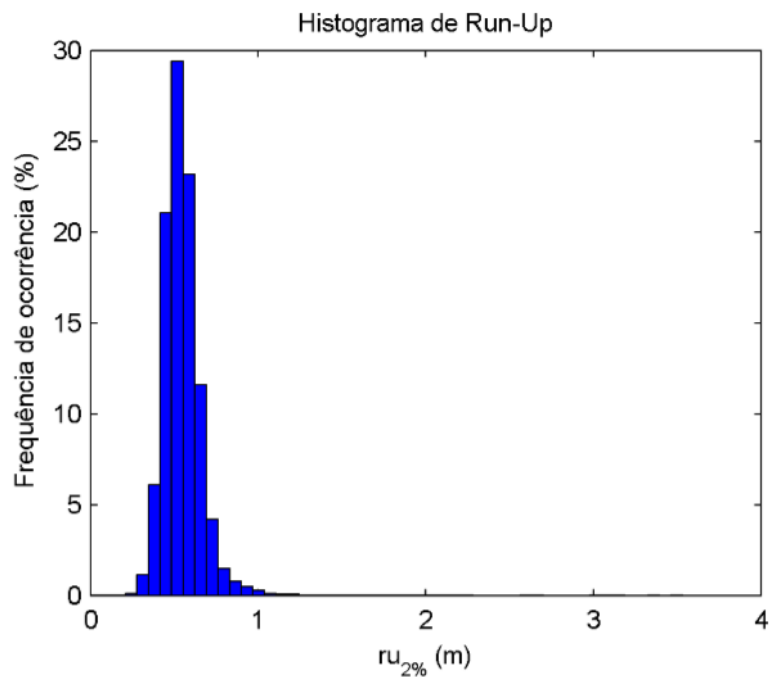
Maré meteorológica



Fonte: Autor

O *Run-Up* para o perfil PS2 apresentou intervalos de ocorrência entre 0,25 m e 1,0 m com percentual maior que 80% para ocorrência de espraiaamentos com 0,5 m a 0,75 m (figura 73).

Figura 73: Histograma de *run-up* perfil PS2



Fonte: Autor

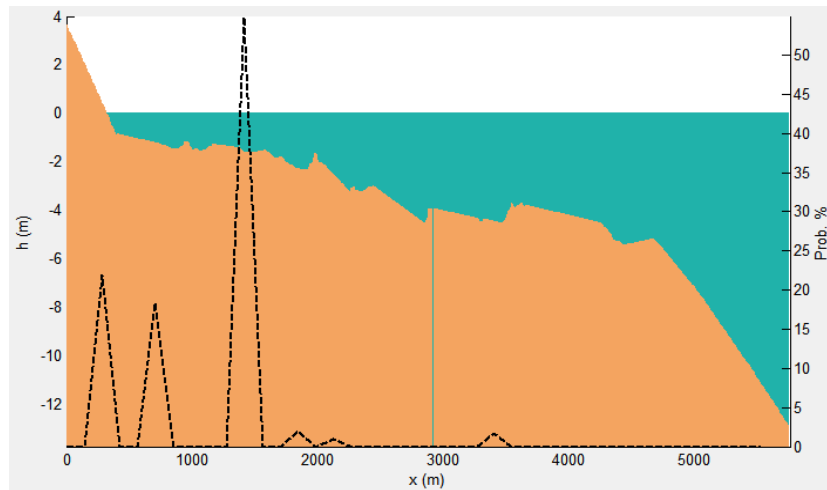
O perfil PS3 para o nível de maré seca apresenta percentual superior a 90% para quebras entre 0 a 1.500m da praia, com predominância de quebra a 1.500m. Na maré média o percentual é superior a 80% na faixa de 500m a 1.000m da praia e para maré meteorológica percentual de 80% de quebra diretamente na praia (figura 74).

Figura 74: Histogramas de arrebentação perfil PS3

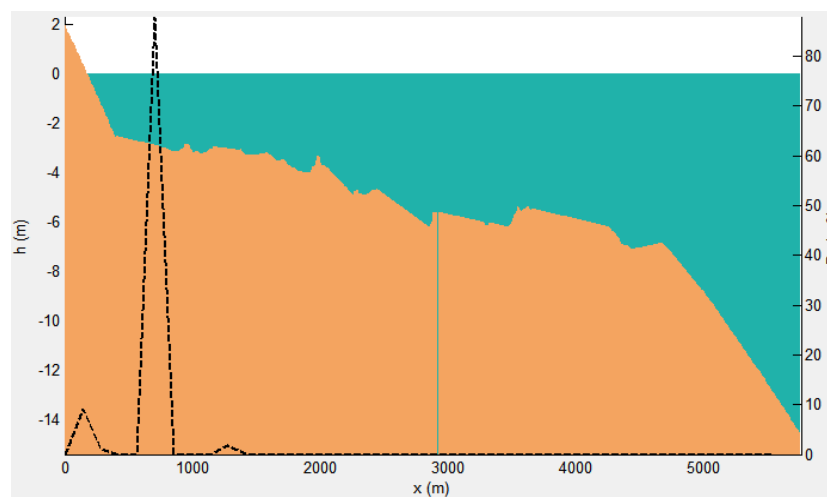
Histograma de arrebentação perfil PS3

Probabilidade de quebra de onda no perfil

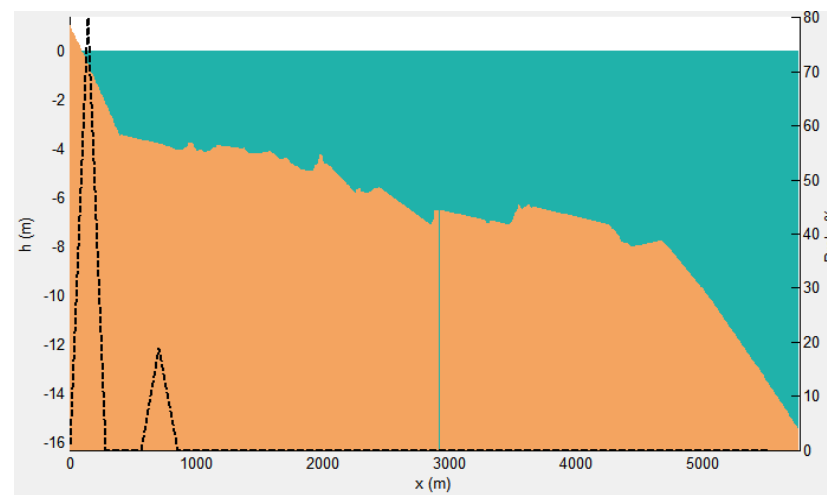
Maré seca



Maré média



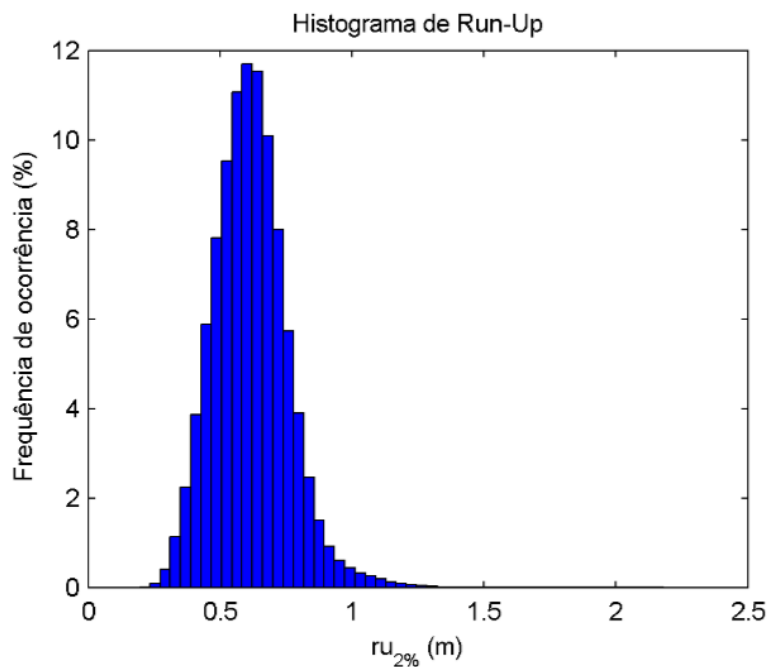
Maré meteorológica



Fonte: Autor

Para o perfil PS3 o *Run-Up* apresentou ocorrência nos intervalos de 0,25 m e 1,25 m com percentual próximo a 80% a ocorrência de espraiaamentos entre 0,4 m e 0,75 m (figura 75).

Figura 75: Histograma de *run-up* perfil PS3



Fonte: Autor

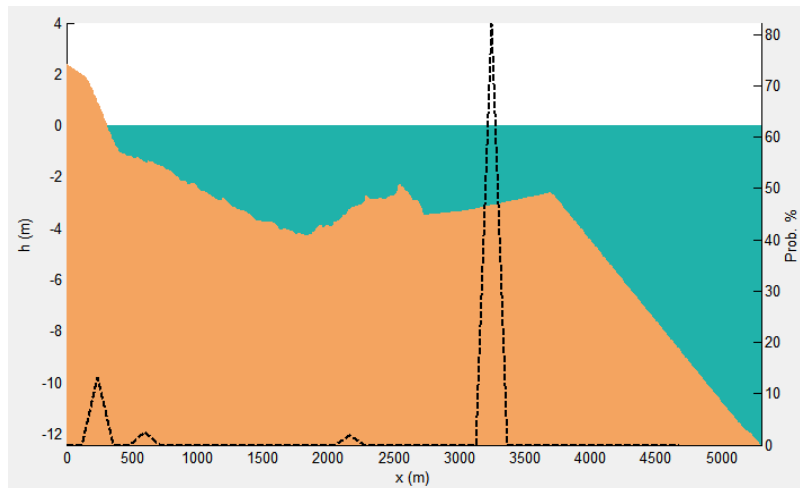
O perfil PS4 para o nível de maré seca apresenta percentual superior a 80% para quebras entre 3.000 m a 3.500 m da praia. Na maré média o percentual é de 100% na faixa que vai da face da praia a 500m e para maré meteorológica percentual é de 100% de quebra diretamente na praia (figura 76).

Figura 76: Histogramas de arrebentação perfil PS4

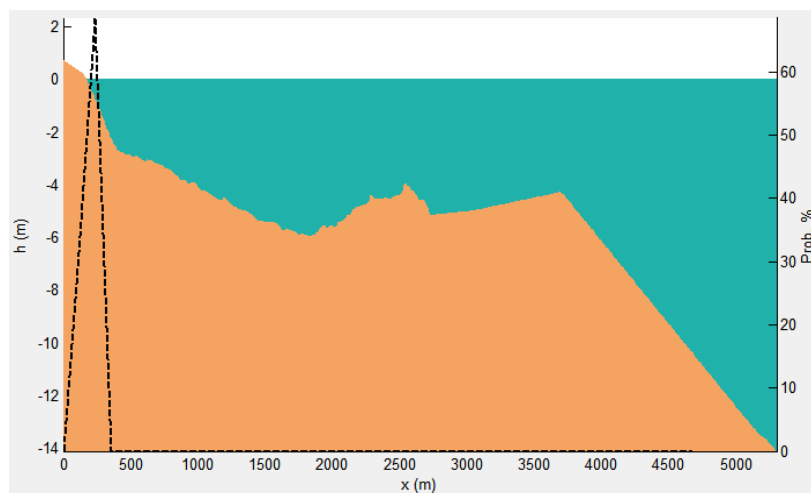
Histograma de arrebentação perfil PS4

Probabilidade de quebra de onda no perfil

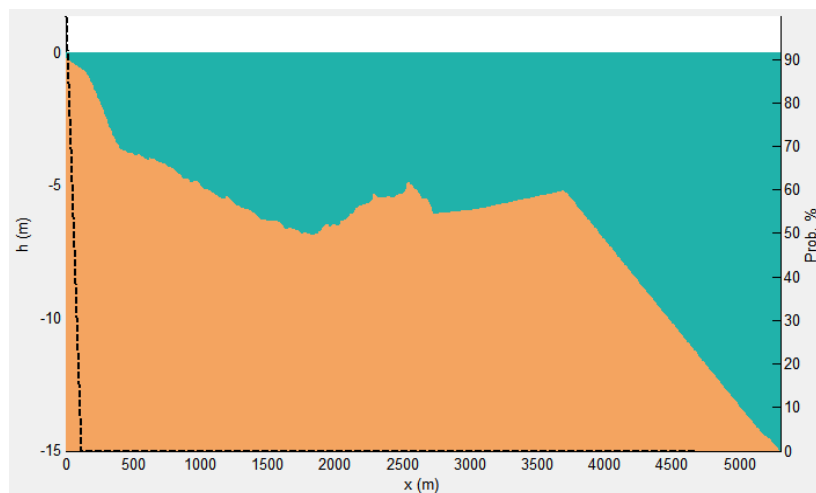
Maré seca



Maré média



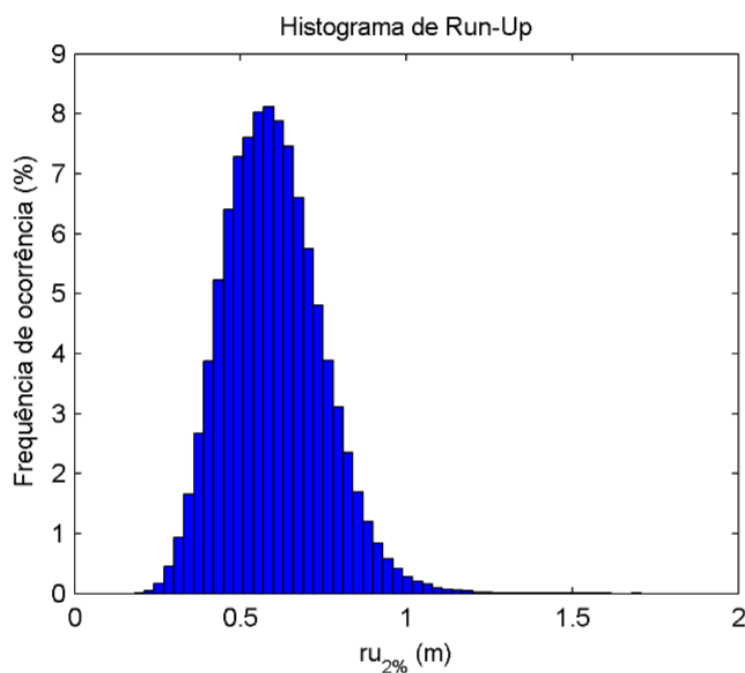
Maré meteorológica



Fonte: Autor

O perfil PS4 repetiu os valores obtidos na análise para o *Run-Up* do perfil PS3 onde a ocorrência de espraçamento apresentou os intervalos de 0,25 m e 1,25 m com percentual próximo a 80% para ocorrências de espraçamentos entre 0,4 m e 0,75 m (figura 77).

Figura 77: Histograma de *run-up* perfil PS4



Fonte: Autor

5.3. Transporte de sedimentos setor sul

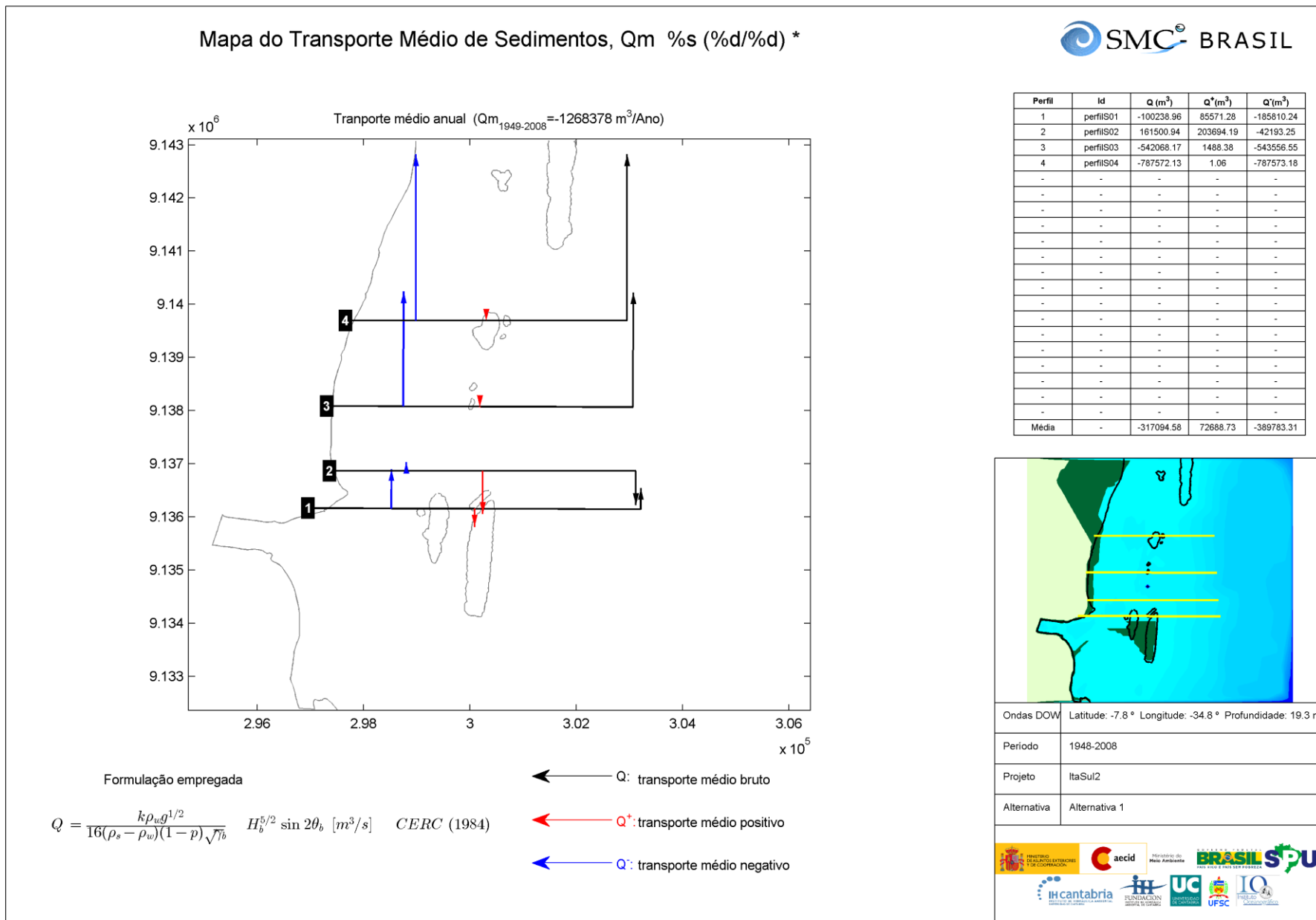
O transporte de sedimentos dentro de um perfil é uma ferramenta de análise quantitativa que visa avaliar a perda ou ganho pela praia dos sedimentos carreados pela corrente e redistribuídos pelas ondas. De uma maneira geral o cálculo do balanço do transporte litorâneo pode indicar processo erosivo, onde células que perdem mais do que recebem apresentam déficit no estoque de areia recebida pela praia, sendo o contrário a praia pode apresentar ganho na sua faixa de areia.

Utilizando-se do sub-módulo de pós-processo IH-DYNAMICS dentro SMC Tools, analisando-se os 4 perfis amostrados para a área, obtêm-se os seguintes resultados:

- a) Para o perfil PS1, PS3 e PS4 o transporte bruto acompanha o sentido da deriva litorânea local (sul para norte).
- b) Para o perfil PS2 em frente a sede do IBAMA, o sentido do transporte bruto de sedimentos é contrário a deriva litorânea local (norte para sul).

No total a célula possui déficit de 317.094,58 m³ de sedimento no período de um ano no sentido do sul para o norte não considerando o aporte de sedimentos provenientes da desembocadura sul do Canal de Santa Cruz (figura 78).

Figura 78: Mapa de transporte médio de sedimentos setor sul



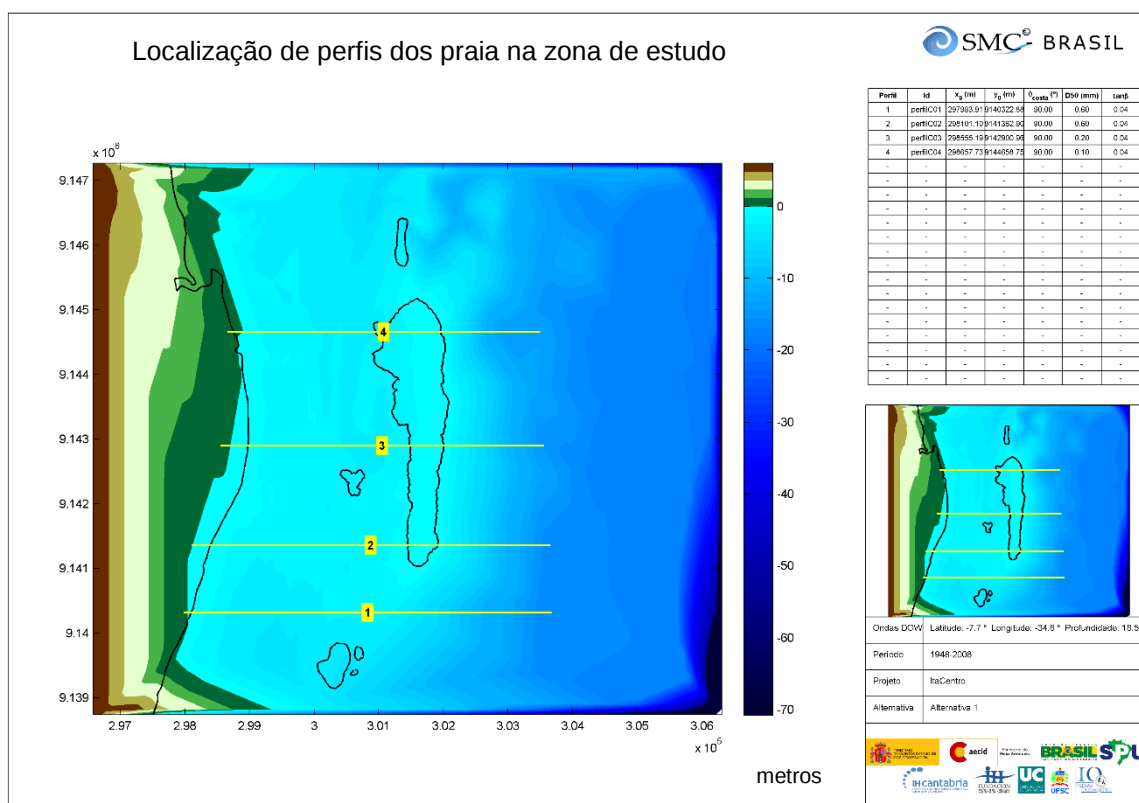
5.4. Análise percentual da arrendatária no setor central

Os perfis na área foram plotados na praia do Forno da Cal (PC1), na praia do Pilar (PC2 e PC3) e na Praia do Jaguaribe (PC4) (figura 79).

O agrupamento por probabilidade de quebra da onda ao longo do perfil apresenta dois grupos distintos. O primeiro (G1) formado pelo perfil PC1, com maior probabilidade da quebra da onda na face da praia.

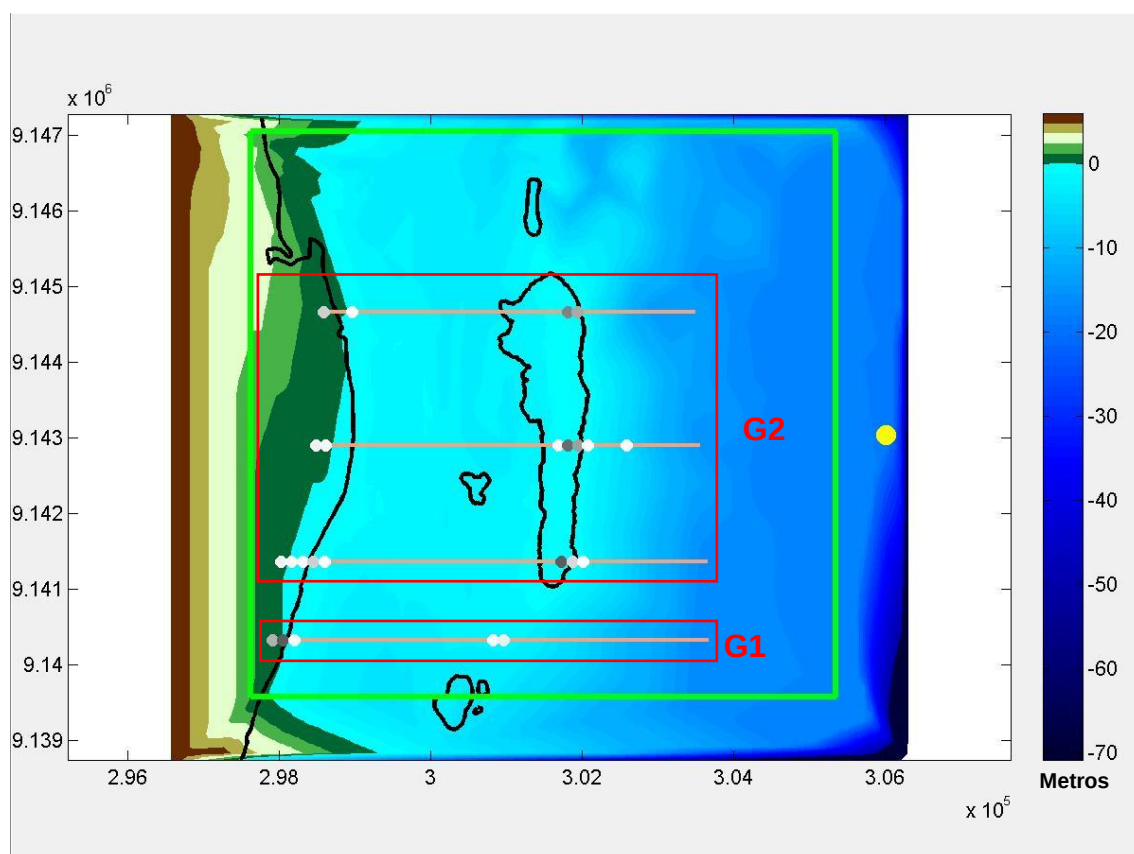
O segundo grupo (G2), formado pelos perfis PC2, PC3 e PC4, possuem dois pontos de maior probabilidade de quebra da onda ao longo do perfil, o primeiro no recife e o segundo ponto na face da praia (figura 80).

Figura 79: Localização dos perfis de praia no setor central



Fonte: Autor

Figura 80: Agrupamento por probabilidade de quebra de onda no setor central



Fonte: Autor

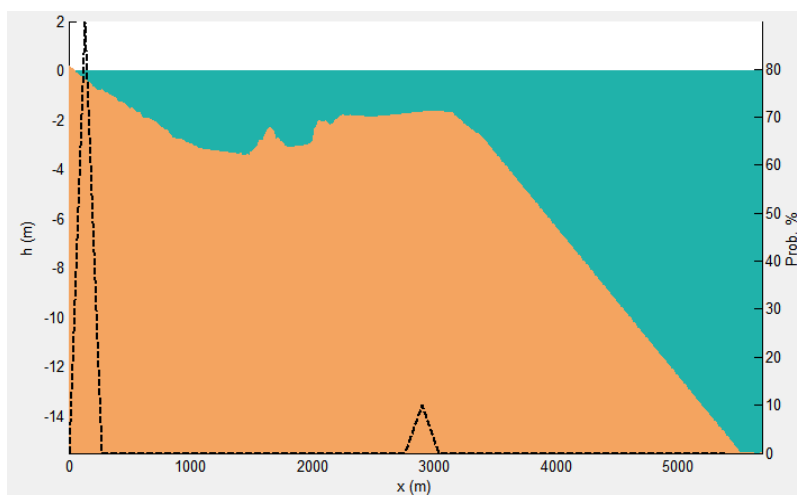
No perfil PC1 a análise de probabilidade individual gerou para o nível de maré seca, média e meteorológica um percentual superior a 80% para quebras a cerca de 250 m de distância da faixa de areia até a face da praia. (figura 81).

Figura 81: Histogramas de arrebentação perfil PC1

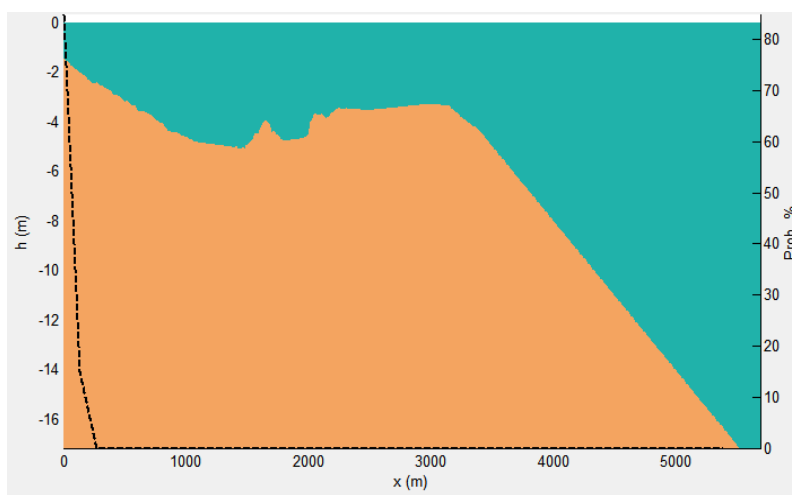
Histograma de arrebentação perfil PC1

Probabilidade de quebra de onda no perfil

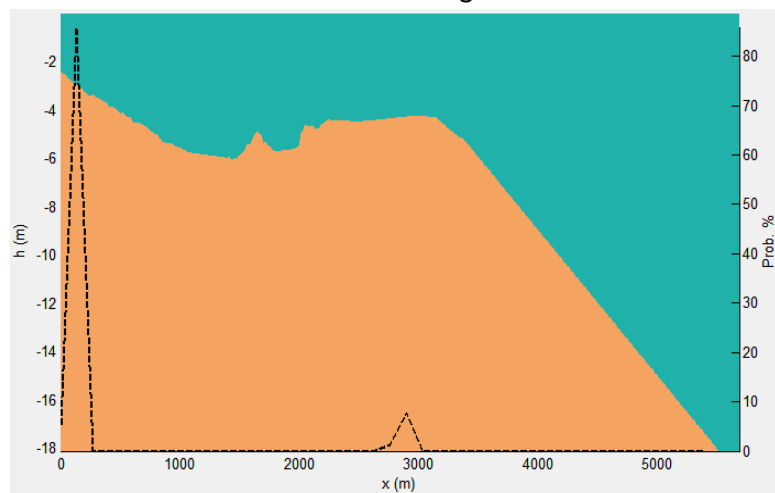
Maré seca



Maré média



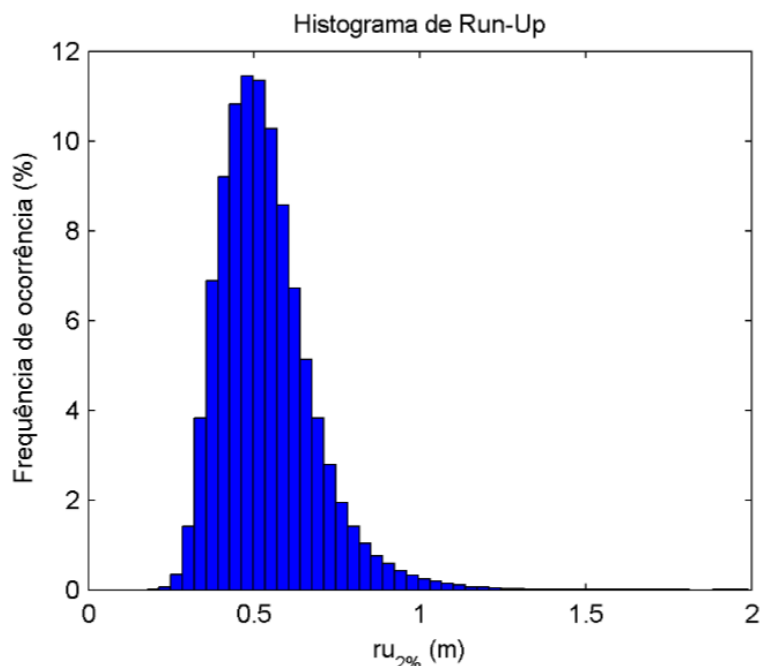
Maré meteorológica



Fonte: Autor

O *Run-Up* para o perfil PC1 totaliza intervalos de ocorrência entre de 0,25 m e 1,25 m com maior relevância para os espriamentos no intervalo entre 0,4 m e 0,75 m totalizando percentual próximo a 90% (figura 82).

Figura 82: Histograma de *run-up* perfil c1



Fonte: Autor

O perfil PC2 para o nível de maré seca apresenta percentual de 40% para quebras no recife a 3.500 m da praia e percentual superior a 50% de quebra a 500 m da areia. Na maré média e meteorológica o percentual é superior a 90% para ondas que quebram em cima do recife (figura 83).

Para o perfil PC3, ponto mais central ao recife, para o nível de maré seca, média e meteorológica o percentual é superior a 90% para quebras em cima do recife, ou seja, a 3.500 m da praia (figura 84).

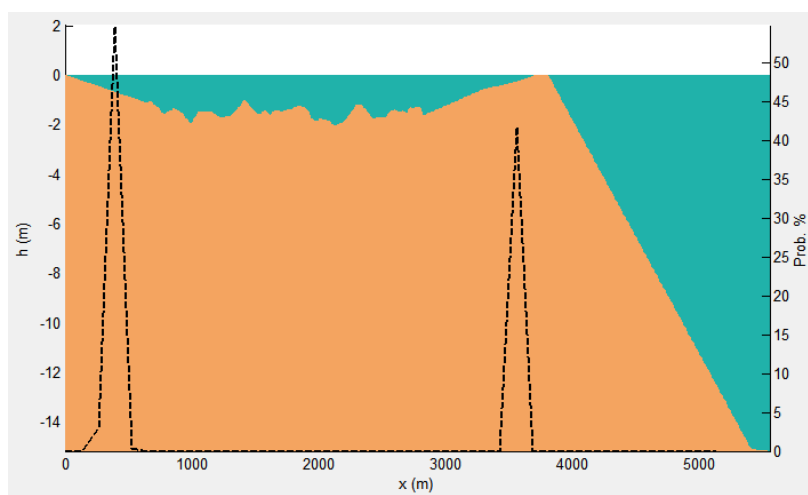
O perfil PC4 próximo a desembocadura do rio Jaguaribe para o nível de maré seca e média o percentual é superior a 90% para quebras em cima do recife. Para o nível de maré meteorológica o percentual de ondas que quebram na linha de recife diminui para pouco menos que 60%, a totalidade restante colapsa na face da praia (figura 85).

Figura 83: Histogramas de arrebentação perfil PC2

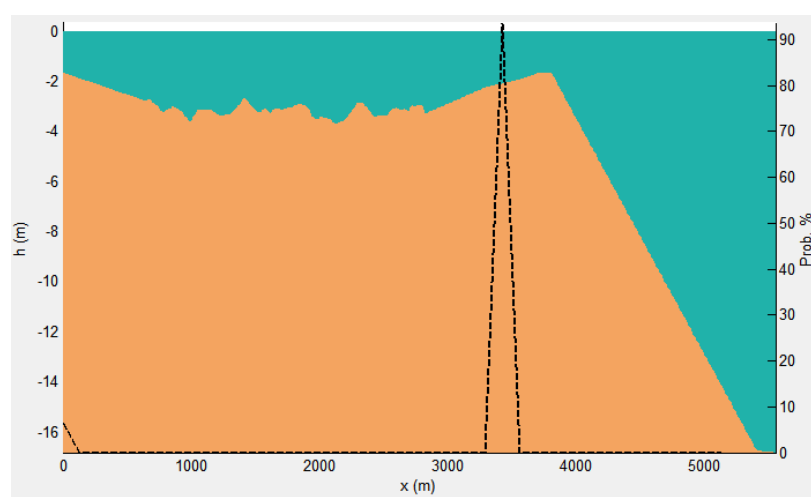
Histograma de arrebentação perfil PC2

Probabilidade de quebra de onda no perfil

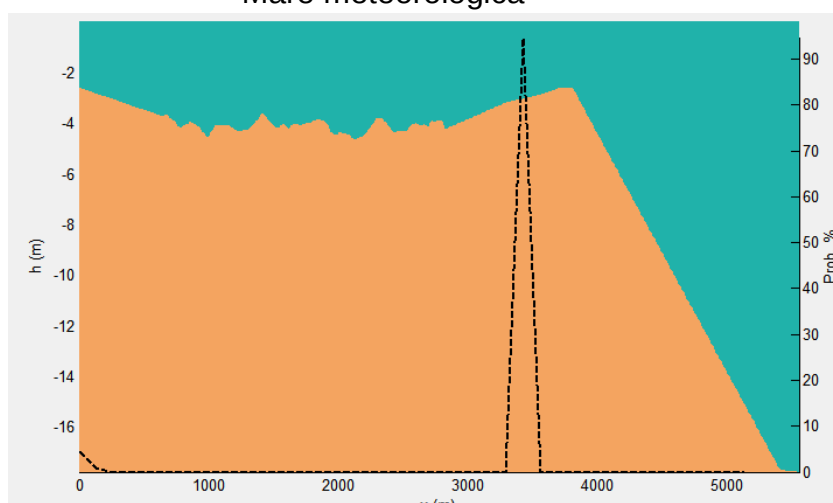
Maré seca



Maré média



Maré meteorológica



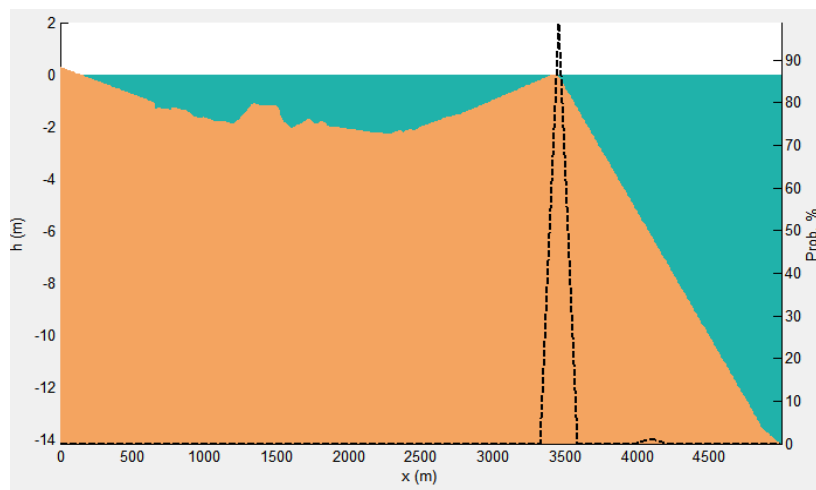
Fonte: Autor

Figura 84: Histogramas de arrebentação perfil PC3

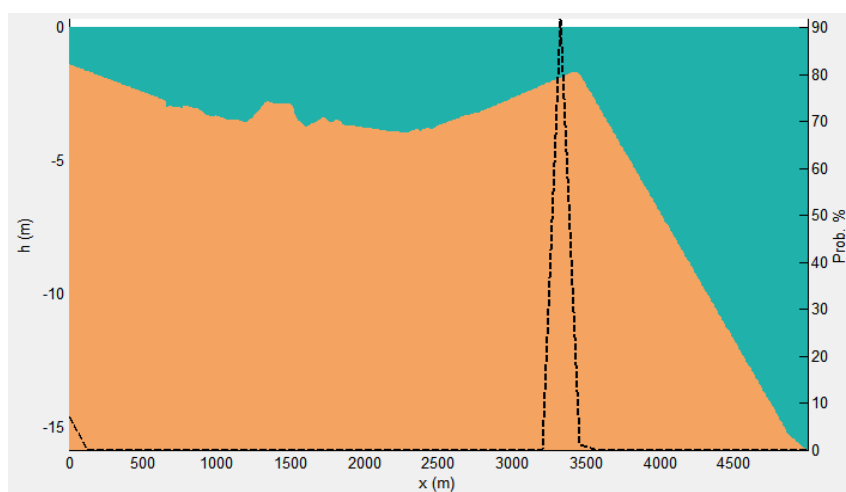
Histograma de arrebentação perfil PC3

Probabilidade de quebra de onda no perfil

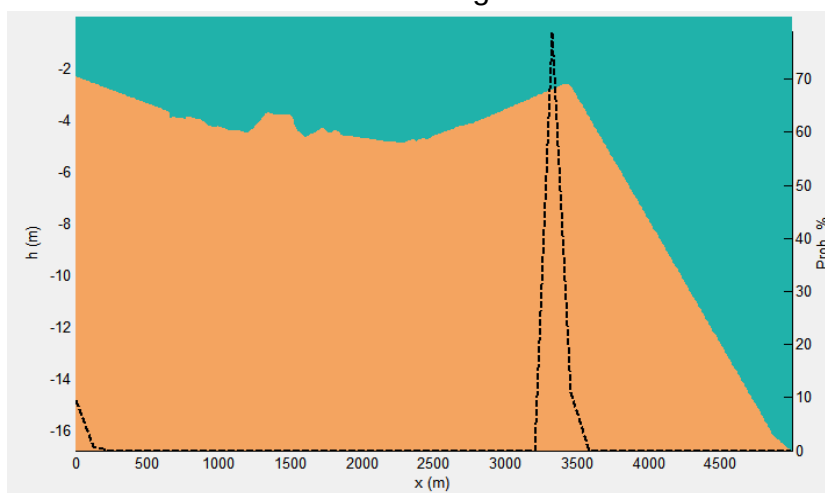
Maré seca



Maré média



Maré meteorológica



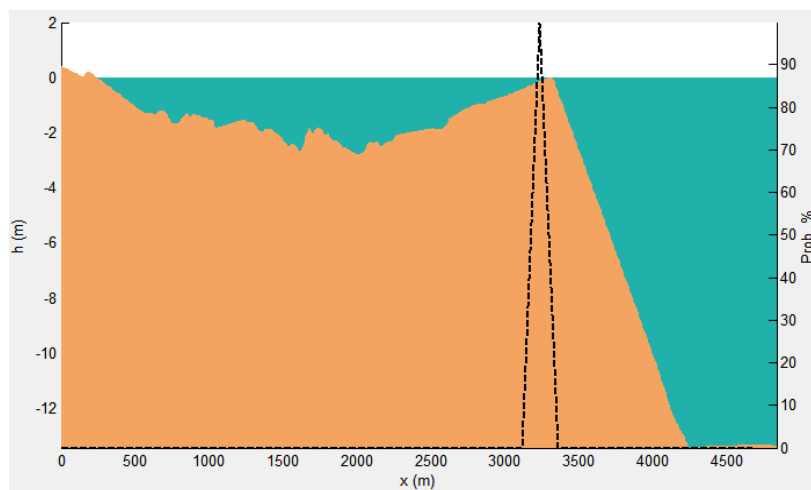
Fonte: Autor

Figura 85: Histogramas de arrebentação perfil PC4

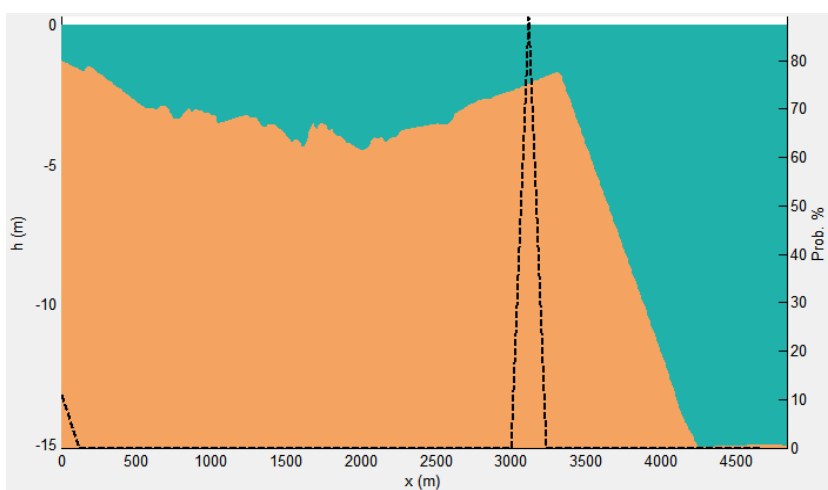
Histograma de arrebentação perfil PC4

Probabilidade de quebra de onda no perfil

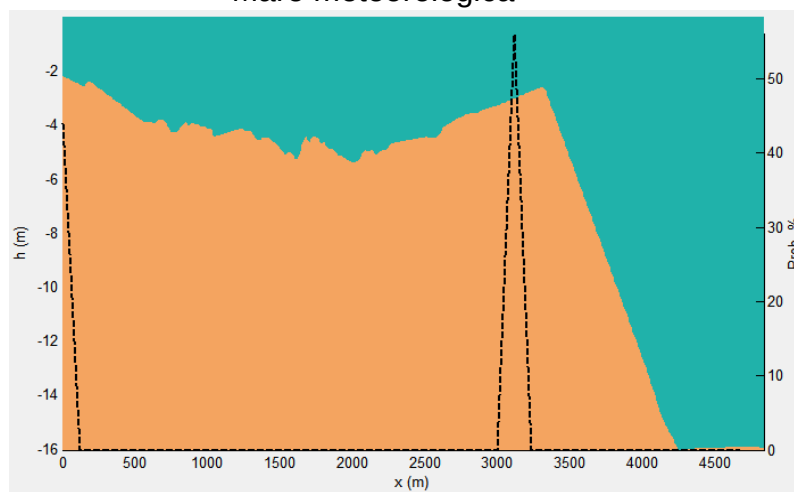
Maré seca



Maré média



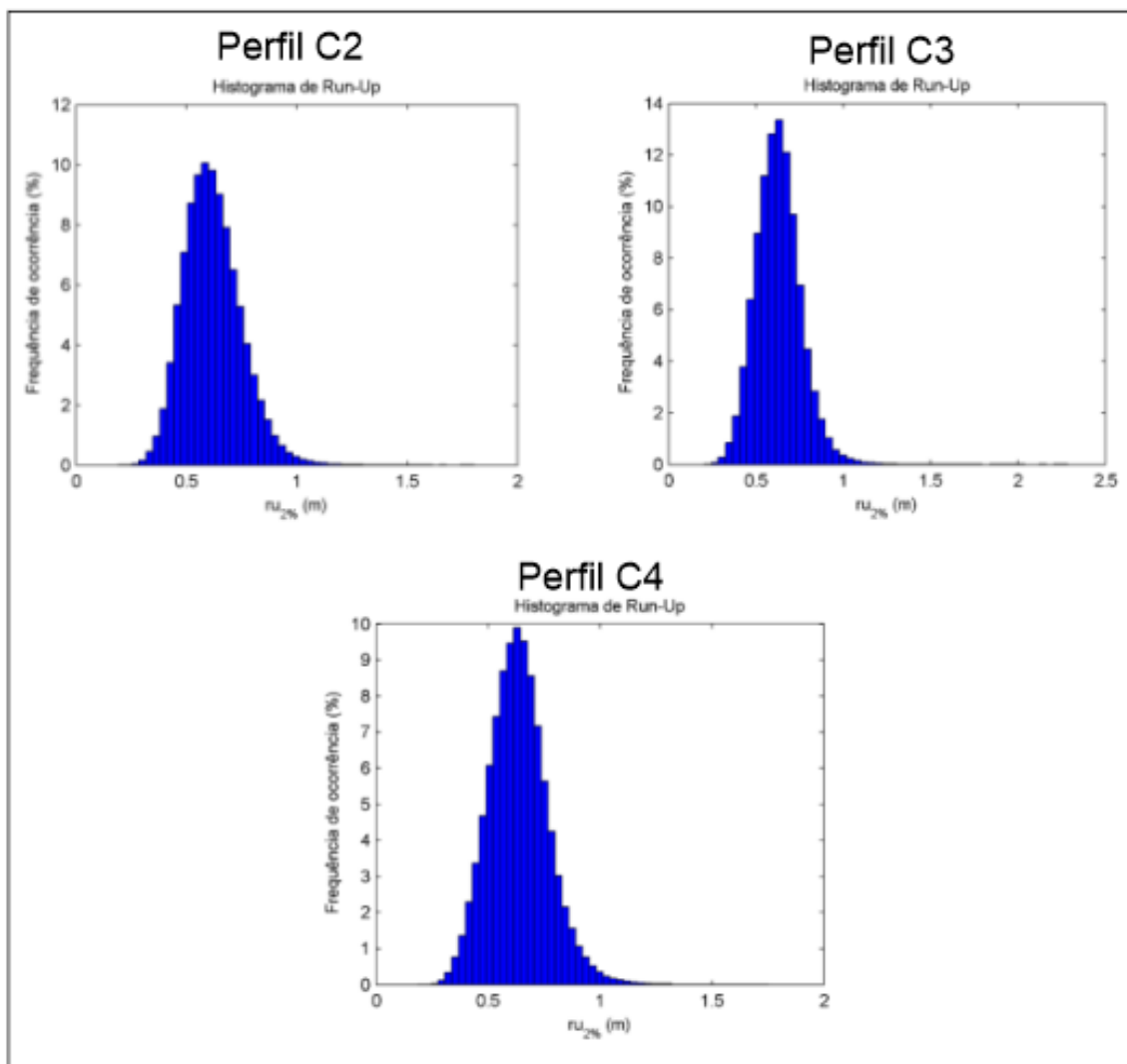
Maré meteorológica



Fonte: Autor

O *Run-Up* para os perfis PC2, PC3 e PC4 apresentaram valores aproximados aos apresentados no perfil PC1 (figura 86).

Figura 86: Histograma de *run-up* perfil PC2, PC3 e PC4



Fonte: Autor

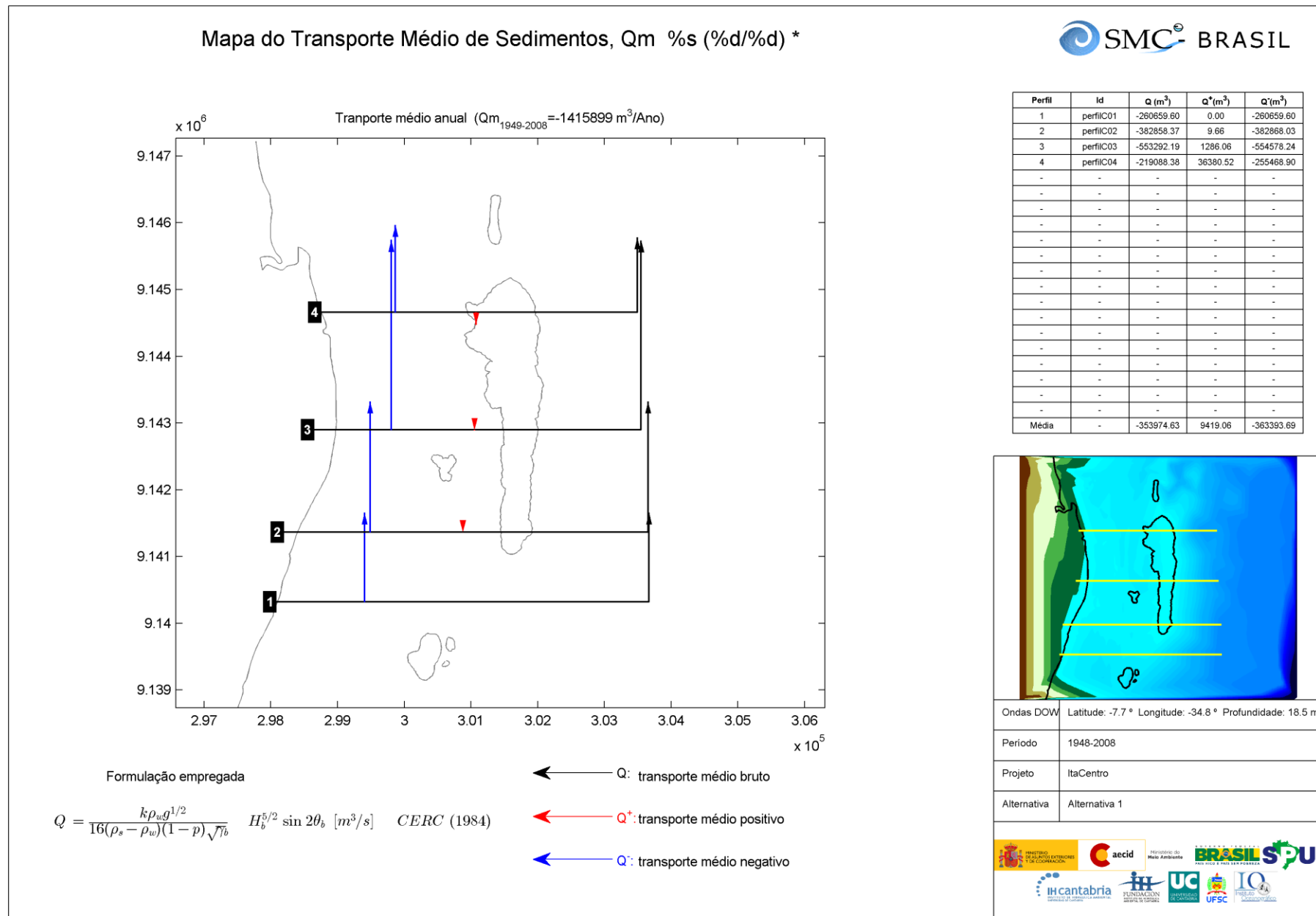
5.5. Transporte de sedimentos setor central

Analisando-se os 5 perfis amostrados para a área, obtêm-se os seguintes resultados:

- a) Para os perfis PC1, PC2, PC3 e PC4 o transporte bruto acompanha o sentido da deriva litorânea local (sul para norte).

No total a cédula possui déficit de 353.974,63 m³ de sedimento no período de um ano no sentido do sul para o norte (figura 87).

Figura 87: Mapa de transporte médio de sedimentos setor central



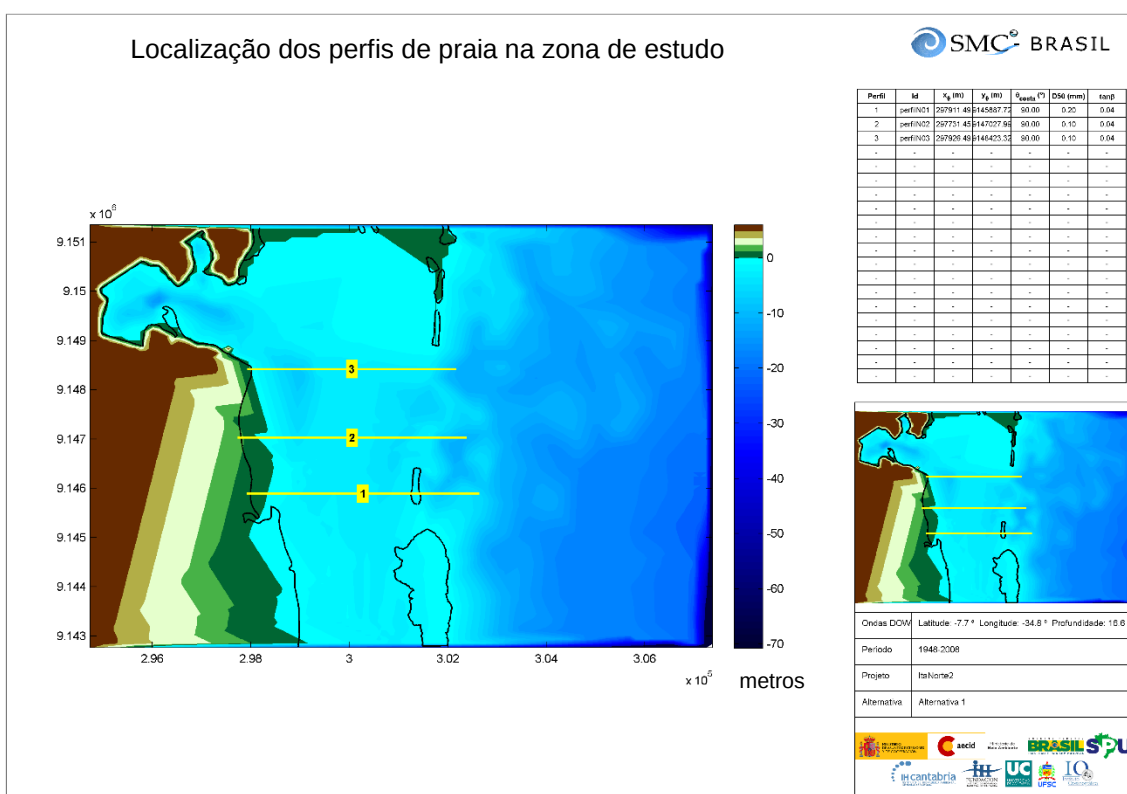
5.6. Análise percentual da arrebentação no setor norte

Os perfis na área foram plotados na praia do Sossego logo após a desembocadura do rio Jaguaribe (PN1 e PN2) e na praia do Fortim (PN3) (figura 88).

O agrupamento por probabilidade de quebra da onda ao longo do perfil apresenta dois grupos distintos. O primeiro (G1) formado pelo perfil PN1, com dois pontos distintos de quebra, o primeiro na linha de recife e o segundo na face da praia.

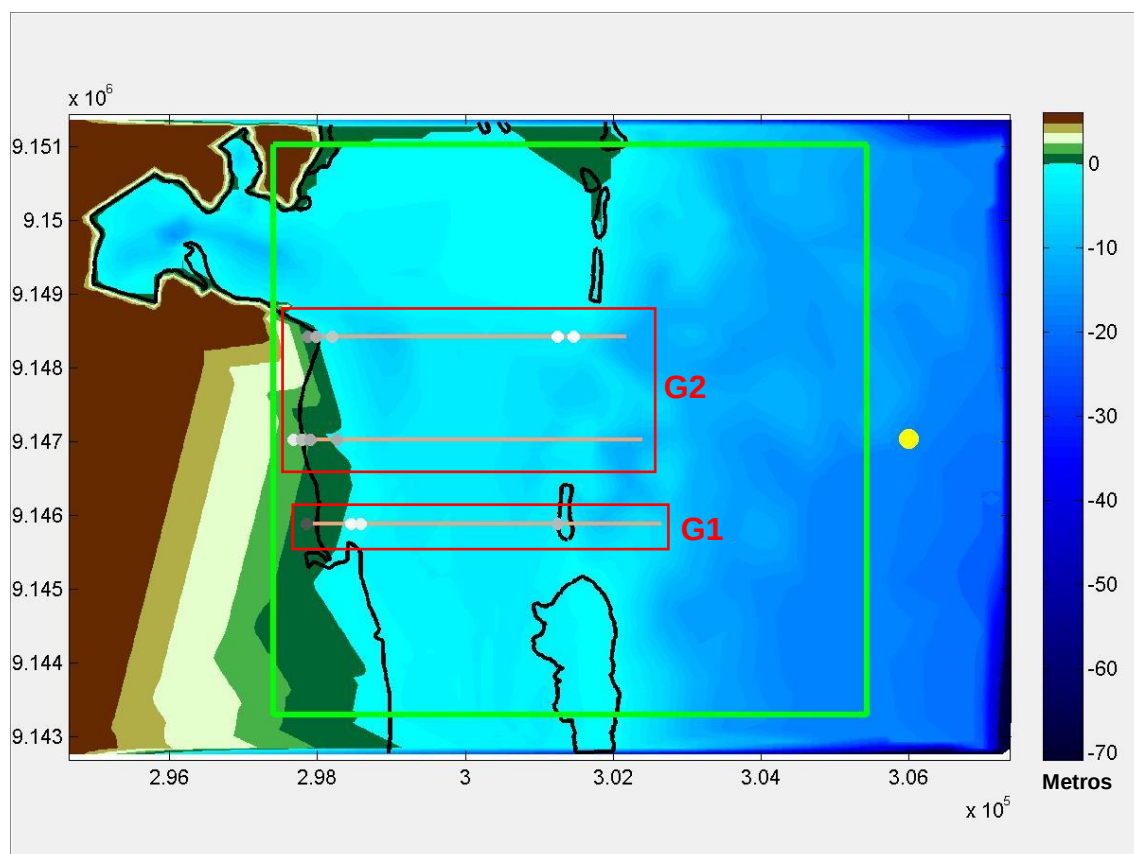
O segundo grupo (G2), formado pelos perfis PN2 e PN3, apresenta um resultado para quebra da onda definido na face da praia (figura 89).

Figura 88: Localização dos perfis de praia no setor norte



Fonte: Autor

Figura 89: Agrupamento por probabilidade de quebra de onda no setor norte



Fonte: Autor

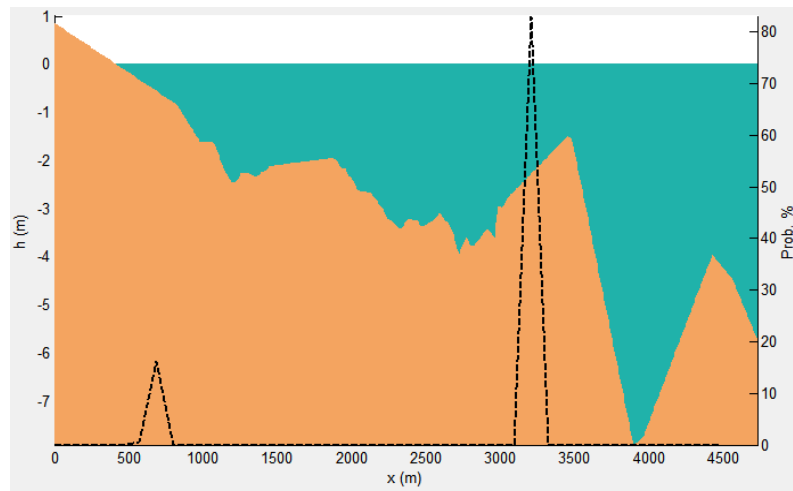
O perfil PN1 a análise de probabilidade individual gerou para o nível de maré seca percentual superior a 80% para quebras na faixa do recife, entre 3.250m de distância da praia. Para maré média e meteorológica a totalidade da arrebentação é na face da praia (figura 90).

Figura 90: Histogramas de arrebentação perfil PN1

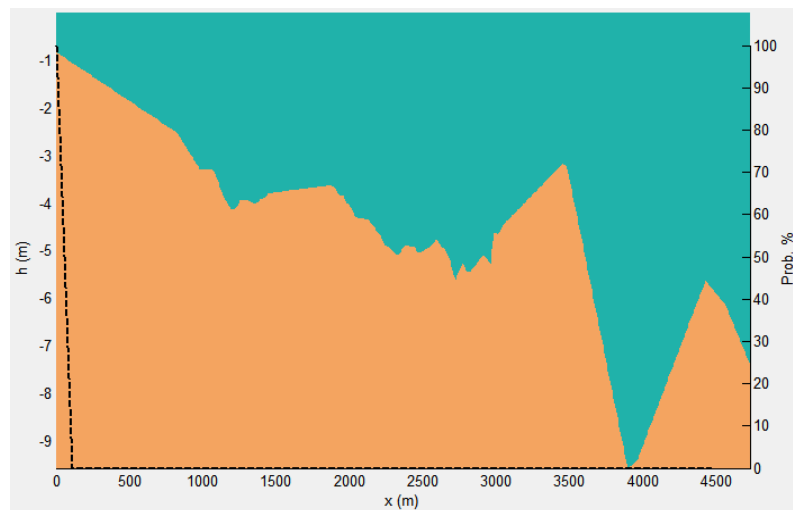
Histograma de arrebentação perfil PN1

Probabilidade de quebra de onda no perfil

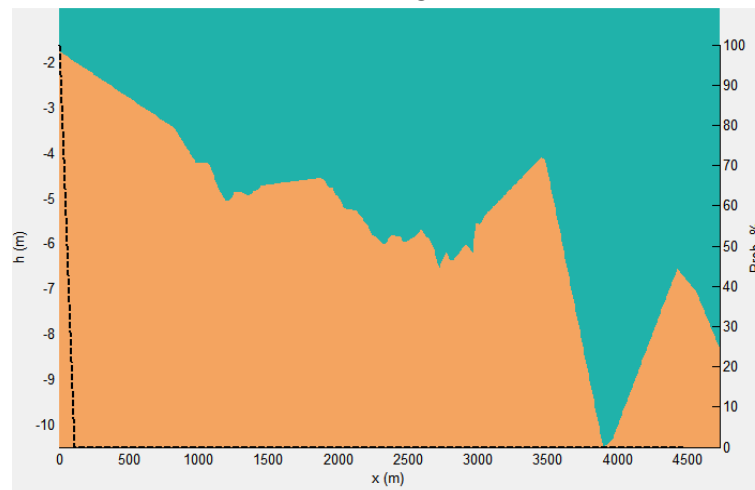
Maré seca



Maré média



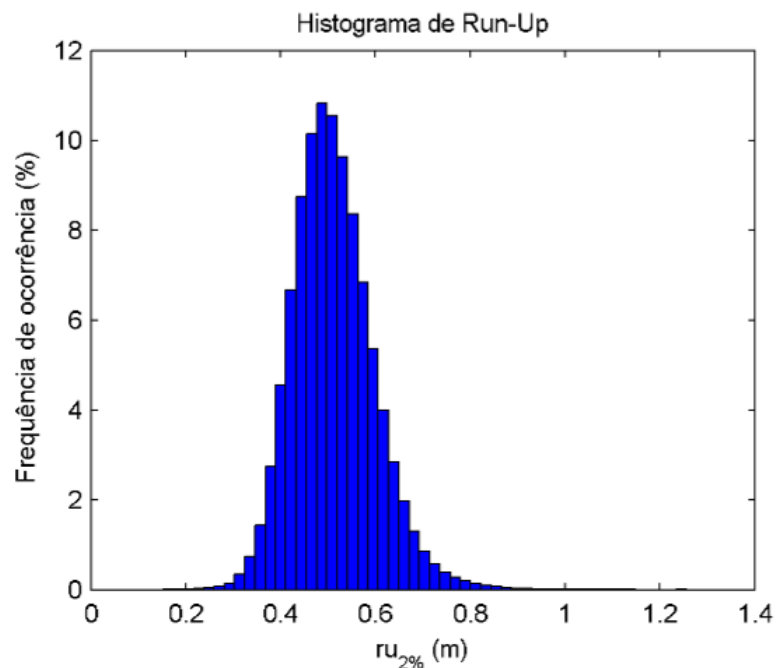
Maré meteorológica



Fonte: Autor

O *Run-Up* para o perfil PN1 totaliza intervalos de ocorrência entre de 0,2 m e 0,9 m possuindo maior relevância os espriamentos ocorridos no intervalo entre 0,4 m e 0,6 m totalizando percentual próximo a 80% (figura 91).

Figura 91: Histograma de *run-up* perfil PN1



Fonte: Autor

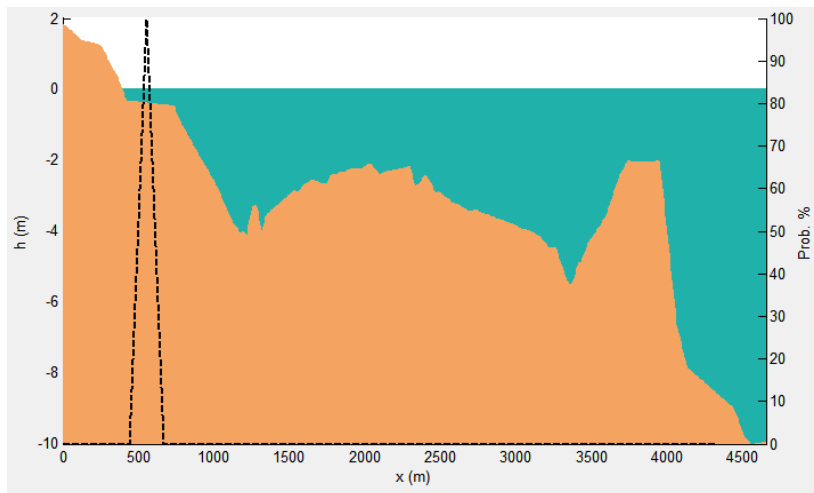
O perfil PN2 e PN3 tanto para o nível de maré seca, média e meteorológica a totalidade da arrebentação ocorre da praia até uma distância de 500 m (figuras 92 e 93).

Figura 92: Histogramas de arrebentação perfil PN2

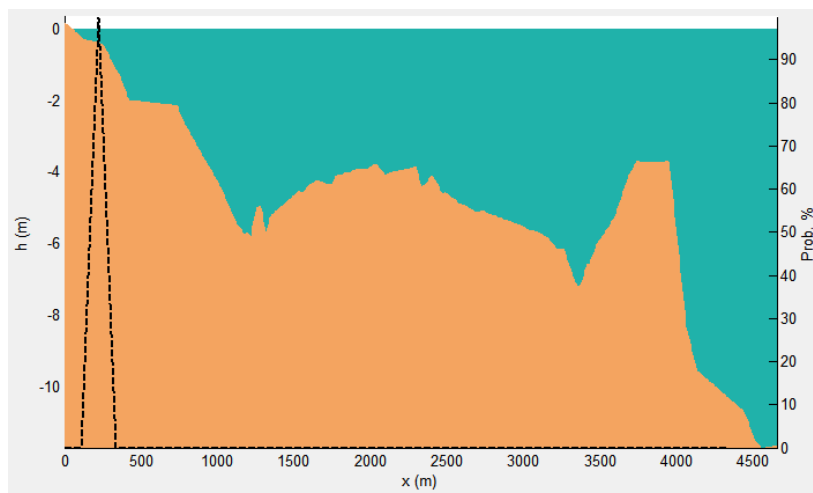
Histograma de arrebentação perfil PN2

Probabilidade de quebra de onda no perfil

Maré seca



Maré média



Maré meteorológica

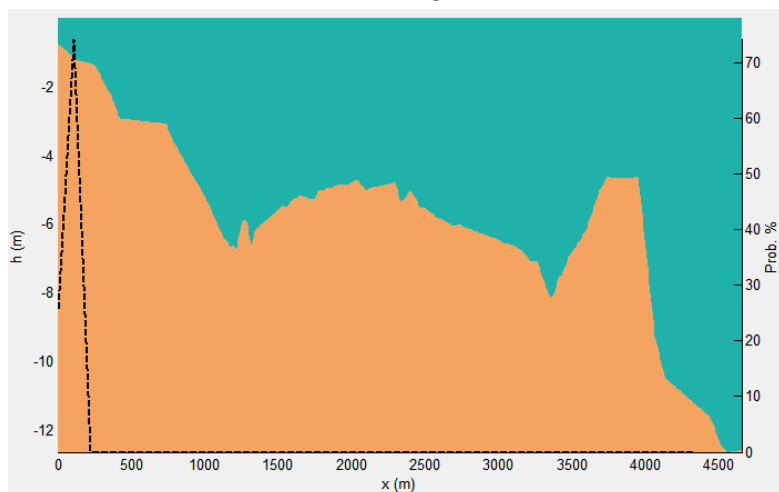
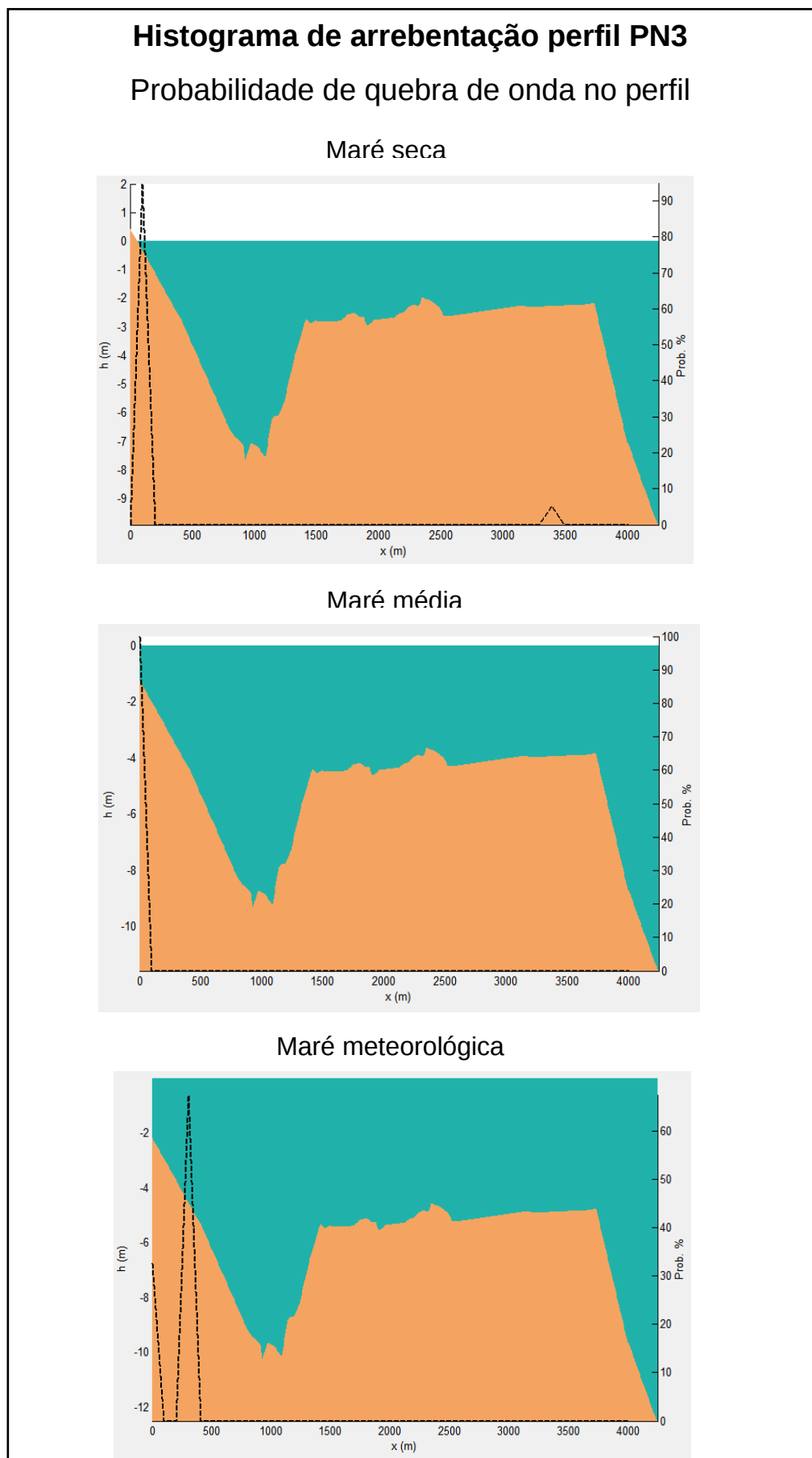


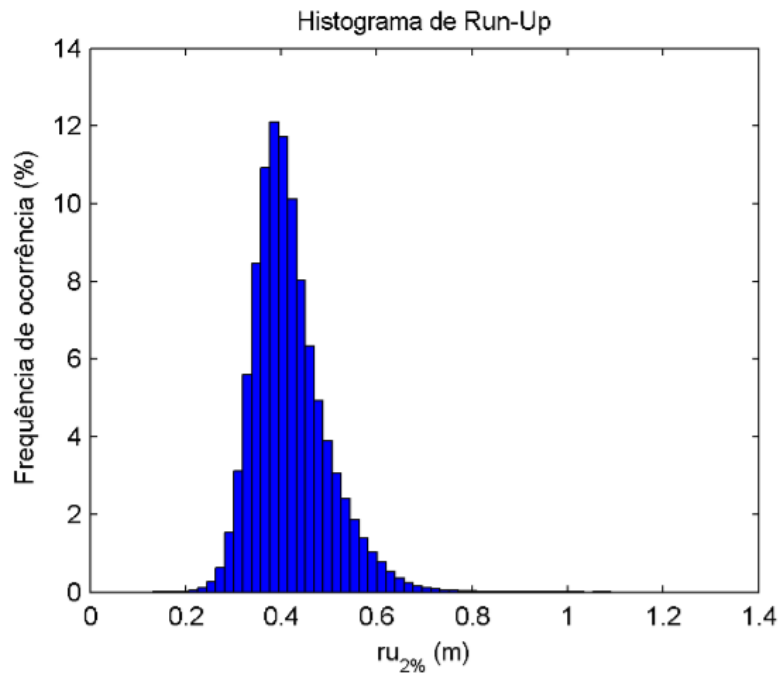
Figura 93: Histogramas de arrebentação perfil PN3



Fonte: Autor

Para o perfil PN2 o *Run-Up* apresenta intervalos de ocorrência entre de 0,2 m e 0,8 m, com maior relevância os espraiaamentos no intervalo entre 0,3 m e 0,6 m totalizando percentual superior a 80% (figura 94).

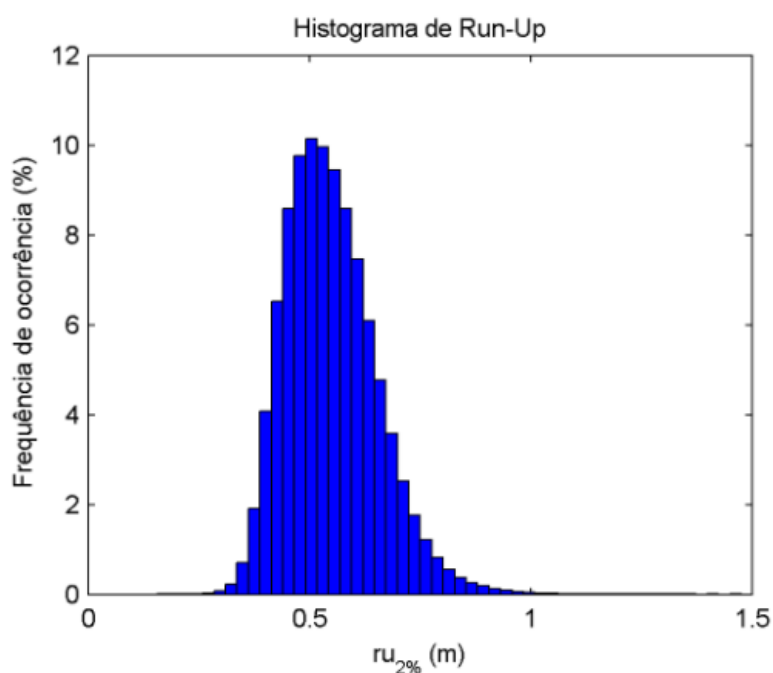
Figura 94: Histograma de *run-up* perfil PN2



Fonte: Autor

O perfil PN3, o *Run-Up*, apresenta intervalos de ocorrência entre de 0,3 m e 1,0 m, com maior relevância os espraiaamentos no intervalo entre 0,4 m e 0,8 m totalizando percentual superior a 90% (figura 95).

Figura 95: Histograma de *run-up* perfil PN3



Fonte: Autor

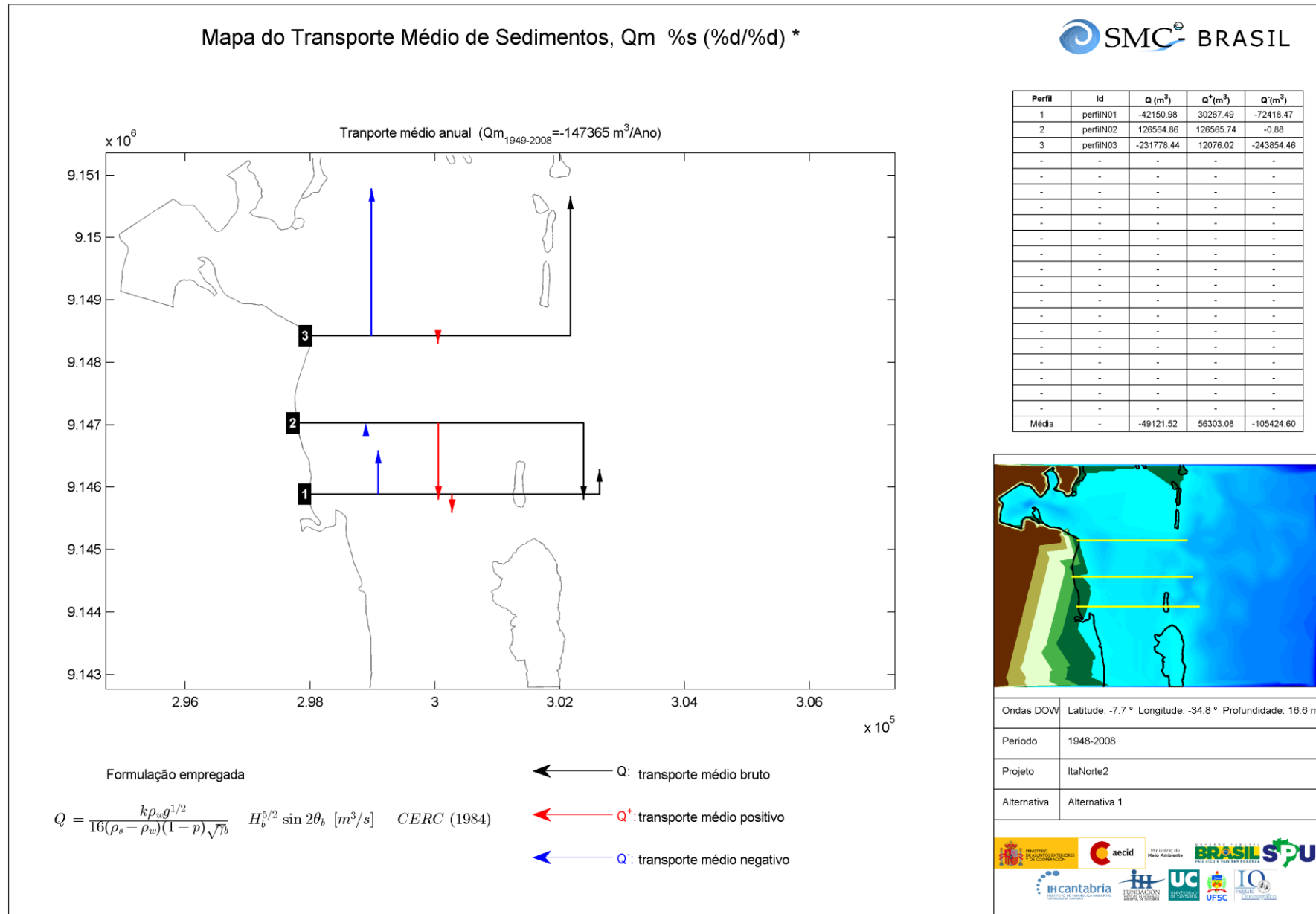
5.7. Transporte de sedimentos setor norte

Analisando-se os 3 perfis amostrados para a área, obtêm-se os seguintes resultados:

- Para os perfis PN1 e PN3 o transporte bruto acompanha o sentido da deriva litorânea local (sul para norte).
- Para o perfil PN2 entre as desembocaduras do rio Jaguaribe e norte do canal de Santa Cruz, o sentido do transporte bruto de sedimentos é contrário a deriva litorânea local (norte a sul).

No total a cédula possui déficit de 49.121,52 m³ de sedimento no período de um ano no sentido do sul para o norte não considerando o aporte de sedimentos provenientes do rio Jaguaribe e da desembocadura norte do Canal de Santa Cruz (figura 96).

Figura 96: Mapa de transporte médio de sedimentos setor norte



Fonte: Autor

5.8. Considerações do capítulo

Os histogramas de arrebentação demonstram a eficiência do recife e dos bancos de areia na ação de dissipar a energia das ondas que chegam a costa. Servindo como primeiro ponto de quebra de maior energia tanto para maré seca, média e meteorológica nos perfis PS1, PC2, PC3 e PC4.

Com a análise desses perfis pode se chegar a conclusão dos seguintes valores para o modelo em Itamaracá, uma estrutura submersa para funcionar como molhe hidráulico deve estar a pelo menos 2 m de profundidade do nível de maré média e entre 3.000 m e 3.500 m de distância da praia.

O perfil PS1 se difere dos demais citados, pois o ponto de ruptura ocorre em banco de areia, que apesar de estar numa profundidade média de 3 m em maré meteorológica, possui uma extensão de 2 km o que permite o arrasto de fundo diminuir a energia das ondas.

Para o cálculo de transporte médio anual de sedimentos, os resultados indicam que estes seguem o sentido da deriva litorânea, com as exceções dos perfis PS2 e PN2 com sentido preferencial de norte para o sul.

Todos os setores apresentaram déficit (figura 97), nesse sentido duas situações podem ser possíveis para o modelo. A primeira seria a deposição do sedimento na frente da praia o que resultaria e explicaria a quantidade de bancos de areia na área, a segunda seria a perda do sedimento para a plataforma.

Figura 97: Fluxograma do transporte bruto de sedimentos

	Setor Sul	Setor Central	Setor Norte
	Sentido da deriva litorânea		
	SUL NORTE 		
Transporte Bruto	389.783,31m ³	363.393,69m ³	105.424,60m ³
	72.688,73m ³	9.419,06m ³	56.303,08m ³
	Déficit por setor		
	317.094,58m ³	353.974,63m ³	49.121,52m ³

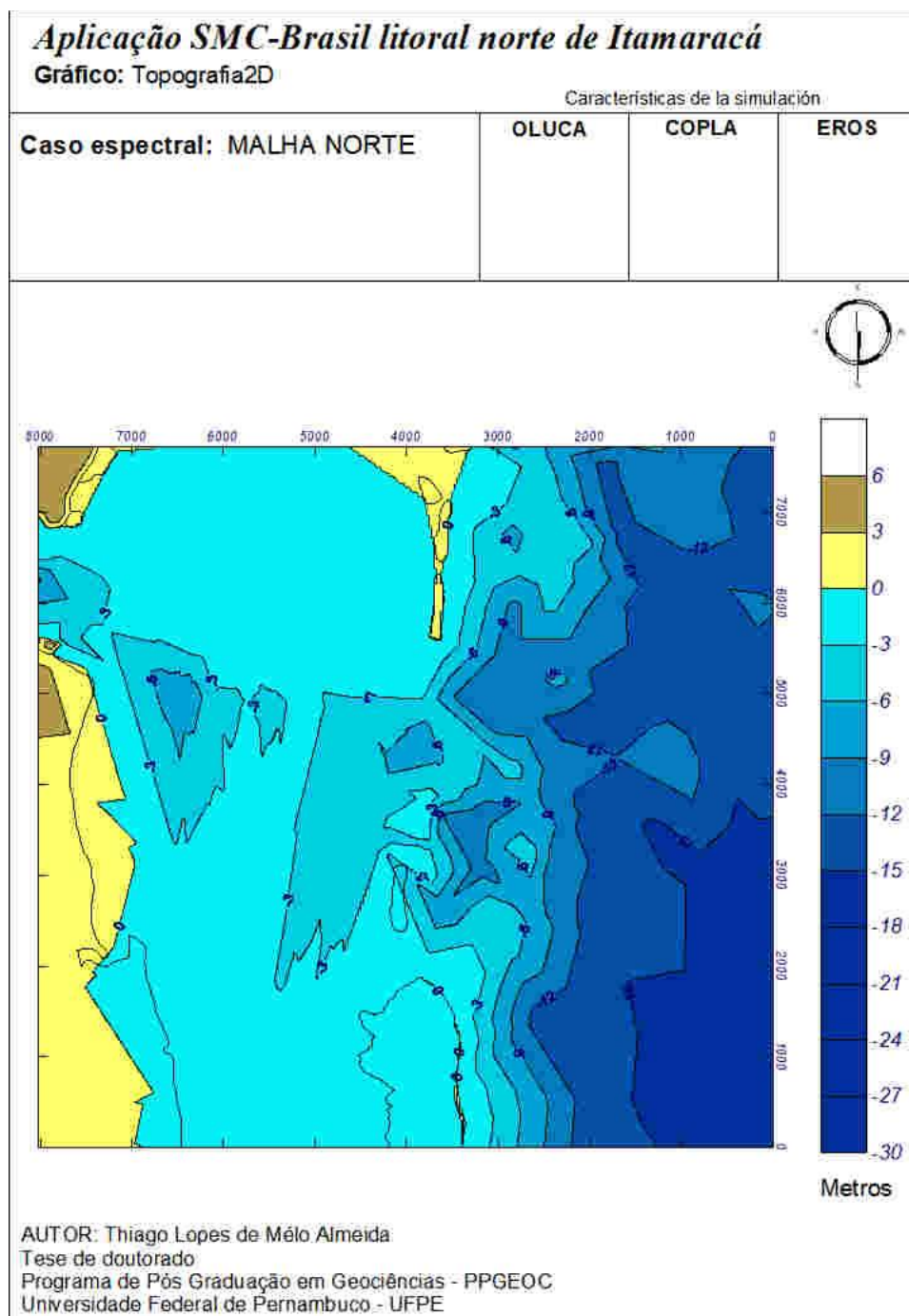
Fonte: Autor

6. BATIMETRIA E MORFOLOGIA DA PLATAFORMA INTERNA

6.1. Mapas batimétricos da plataforma interna

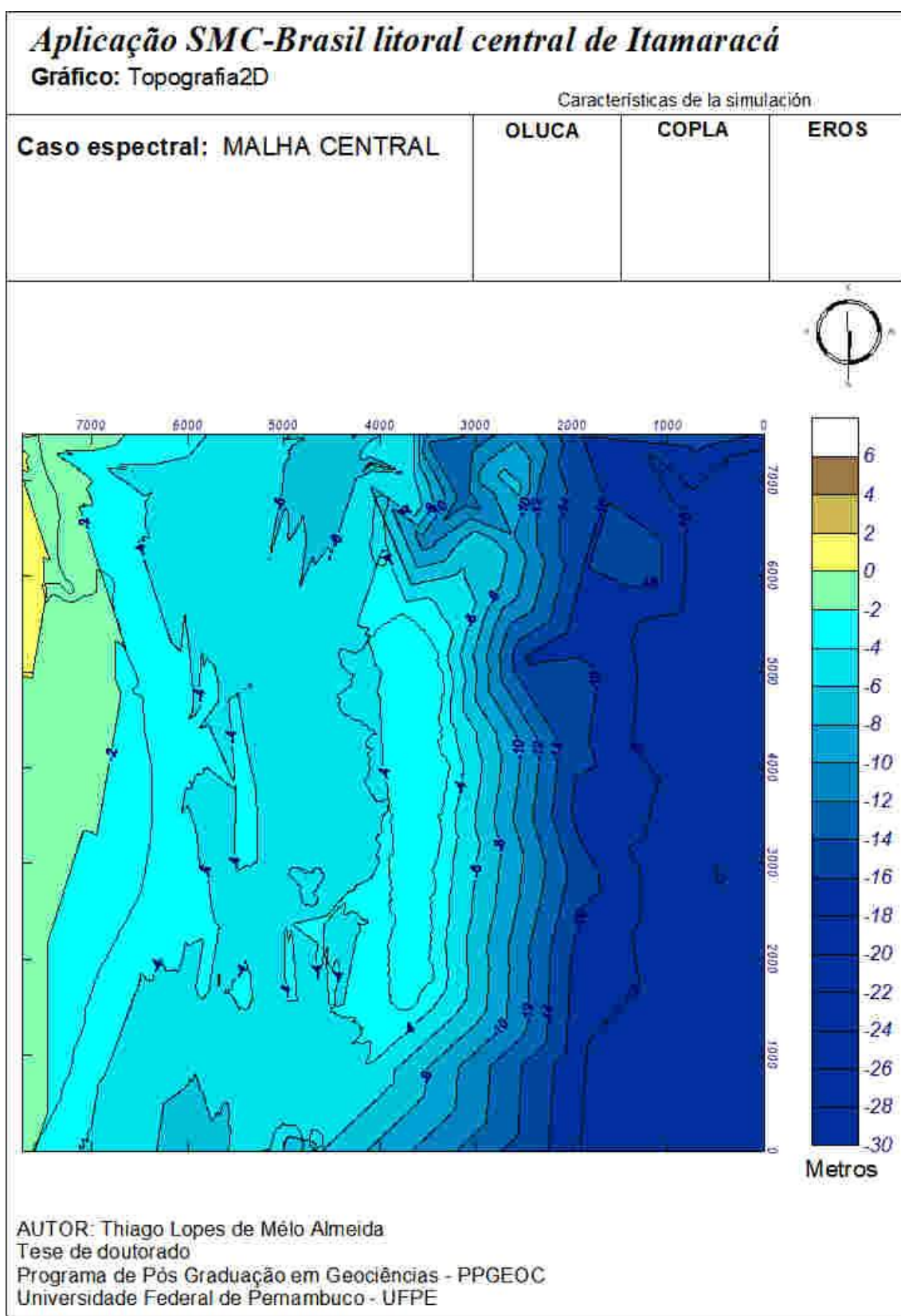
Os mapas batimétricos foram gerados utilizando-se a ferramenta de pós processo do SMC, o Mopla, conjuntamente com a batimetria de Varela (2010). Como resultado temos os mapas batimétricos do setor norte, central e sul (figuras 98, 99 e 100).

Figura 98: Mapa batimétrico setor norte



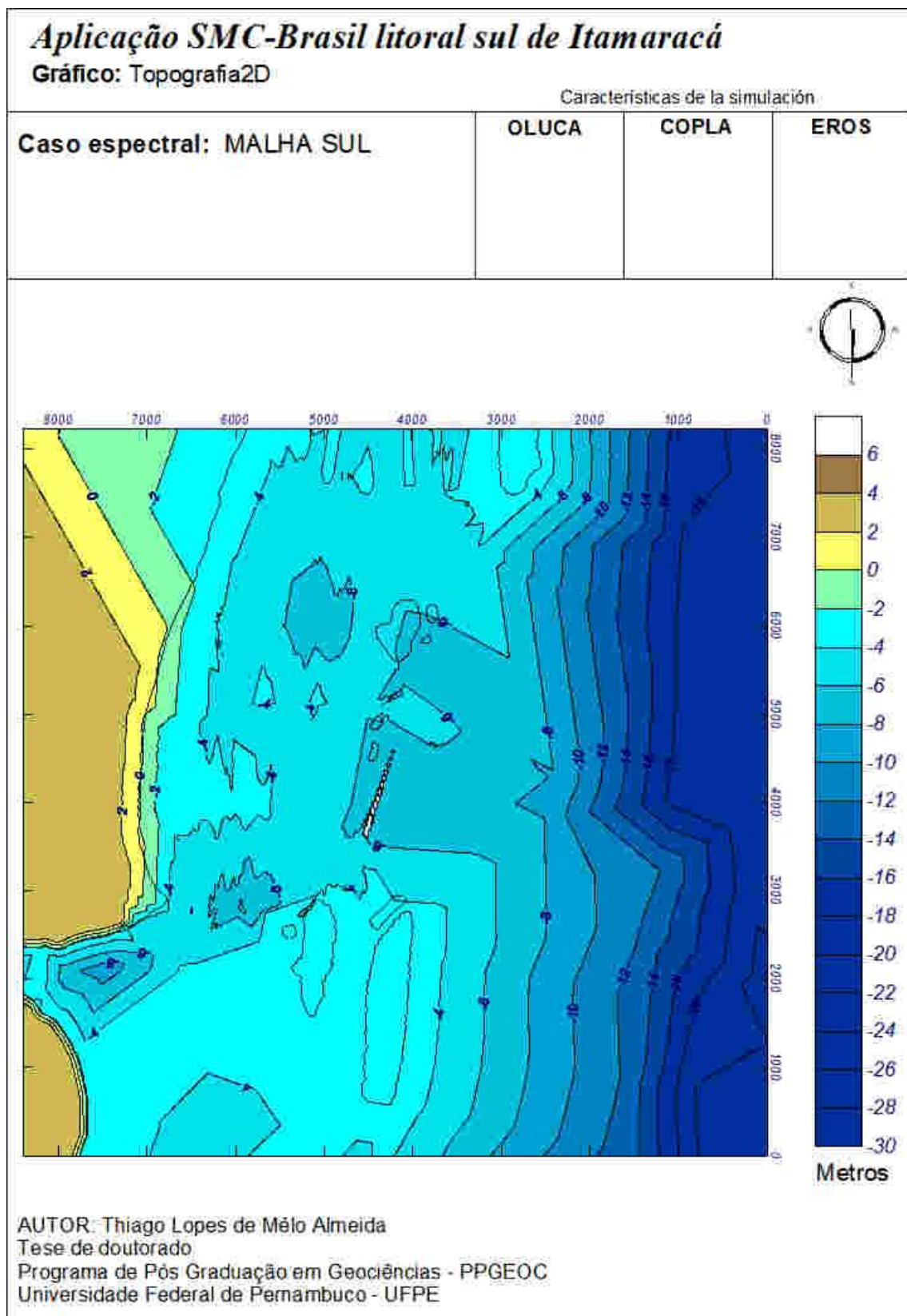
Fonte: Autor

Figura 99: Mapa batimétrico setor central



Fonte: Autor

Figura 100: Mapa batimétrico setor sul



Fonte: Autor

6.2. Morfologia da plataforma interna

a) *Setor norte*

Segundo Suguio (1992), a Plataforma Interna se refere a porção interna da plataforma continental, que se inicia no nível de maré baixa e estende-se até cerca de 30 m de profundidade. Que se caracteriza por apresentar salinidade e temperatura variáveis e com abundância em iluminação possibilitando o desenvolvimento de vida.

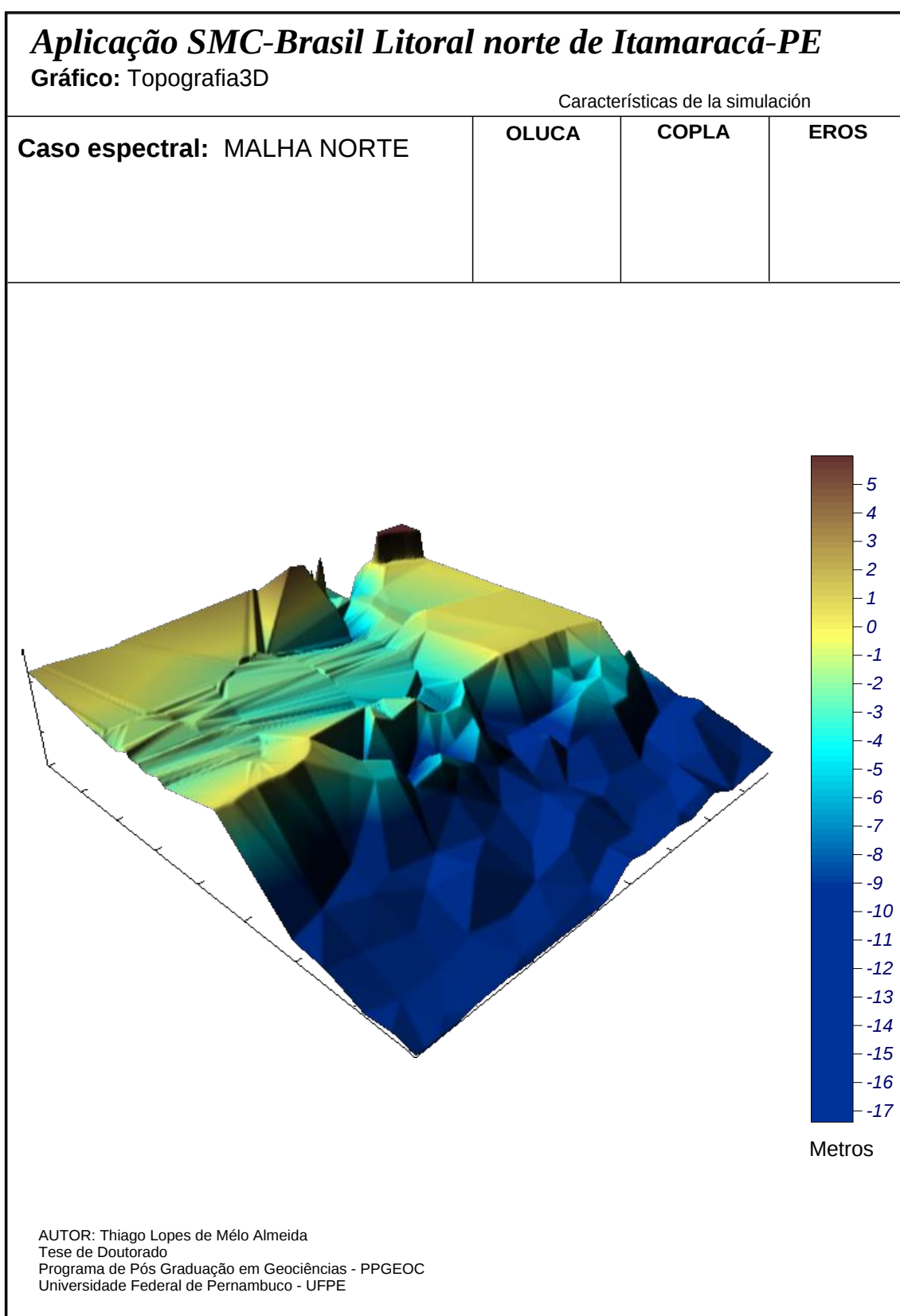
Dentro deste sistema encontramos algumas estruturas associadas, como no caso os recifes, que são estruturas rochosas calcárias, construída por organismos sedentários coloniais, tais como, corais ou algas, em geral incorporados no meio de outras rochas, próxima ao nível do mar. Originalmente, recife significava qualquer obstáculo à navegação (Suguio, 1992). Na Ilha de Itamaracá, encontramos o recife algálico, formado a partir da dissolução do carbonato de cálcio (CaCO_3) de esqueletos de microrganismos.

Utilizando da batimetria de Varela (2010), que recobre a totalidade da plataforma interna da Ilha de Itamaracá é possível modelar com auxílio do SMC Tools e assim classificar morfologicamente o fundo do setor norte (Figura 101).

Com a modelagem fica em evidência a importância do recife na formação de características geomorfológicas das praias, como os sulcos e as cristas da face praial.

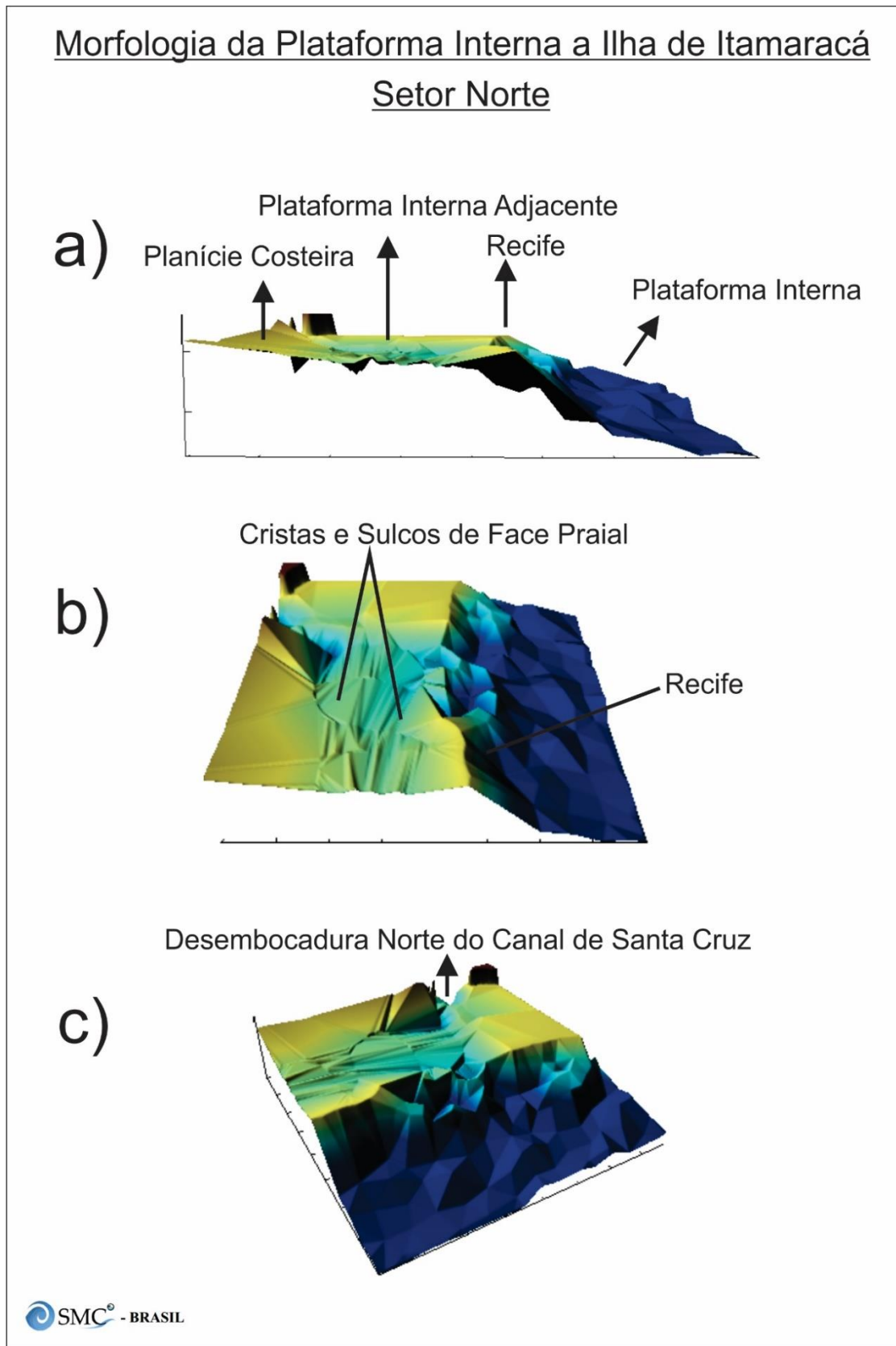
As cristas da face praial são formadas por acumulações de sedimentos de maneira alongada, dispostas paralelamente a paleolinhas praiais e separadas entre si por depressões ou sulcos de face praial. Estas podem ficar expostas durante a maré baixa e são associadas a zona de quebra de ondas pela diminuição da profundidade (Figura 102).

Figura 101: Topografia 3D setor norte.



Fonte: Autor

Figura 102: Morfologia da plataforma interna setor norte.



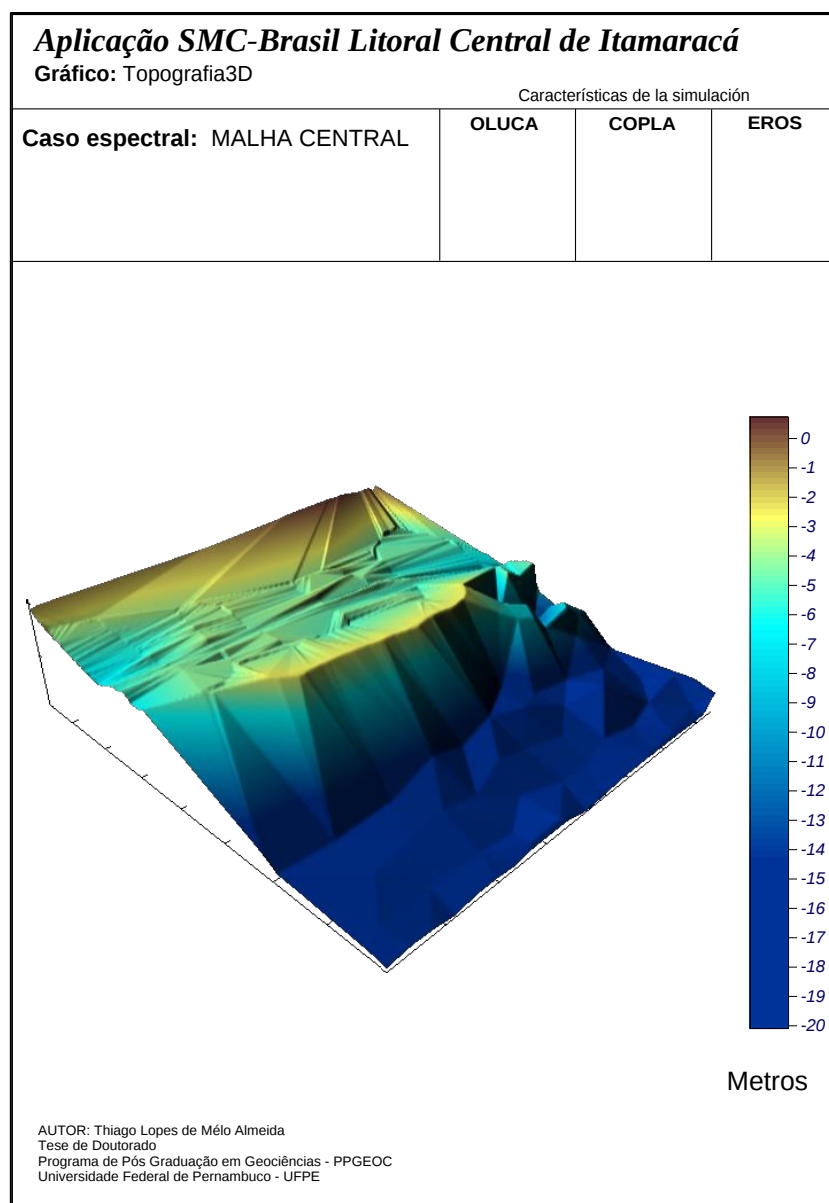
Fonte: Autor

b) Setor central

Com a modelagem da área é possível notar que a influência do recife na dissipação da energia das ondas que quebram produz uma plataforma interna adjacente rasa, com a formação de zonas de quebras (Figura 103 e 104).

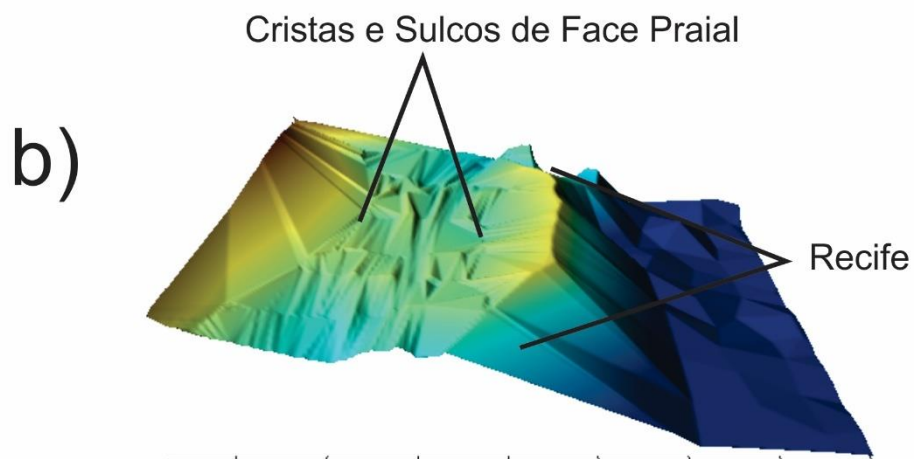
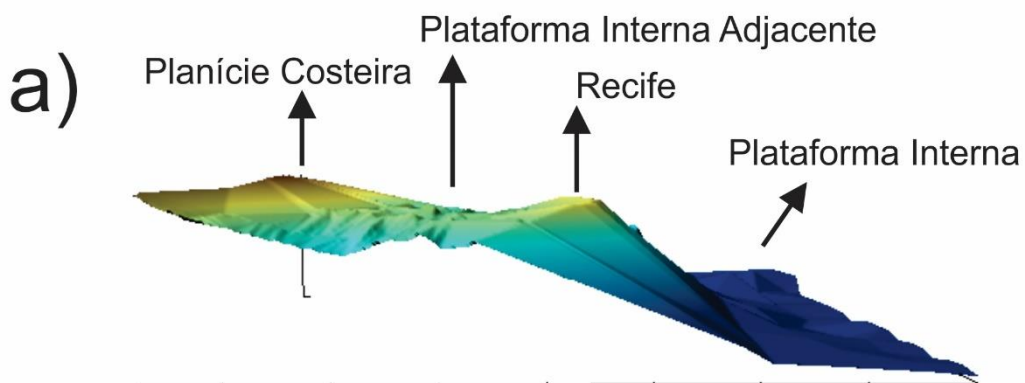
Esta modelo prova que todo o estoque de sedimento perdido pela praia está se acumulando a sua frente, a praia por outro motivo que seja corrente ou ocupação urbana na praia não consegue reter sedimentos, perdendo para a plataforma.

Figura 103: Topografia 3D setor central.



Fonte: Autor
Figura 104: Morfologia da plataforma interna setor central.

Morfologia da Plataforma Interna a Ilha de Itamaracá Setor Central



c) *Setor sul*

O uso de batimetria de detalhe na modelagem da área apresenta uma plataforma interna adjacente rasa, coma formação de extenso banco de areia na desembocadura do canal de Santa Cruz. A frente da linha de costa apresenta uma praia desprotegida, com poucos bancos de areia para dissipar a energia das ondas. A profundidade aumenta no interior da plataforma certamente pela ação do canal (Figuras 105 e 106).

Figura 105: Topografia 3D setor sul.



Fonte: Autor

Figura 106: Morfologia da plataforma interna setor sul.



Fonte: Autor

6.3. Considerações do capítulo

Os mapas batimétricos entregues pelo SMC-Brasil não demonstram o refinamento visual que outros softwares entregam, porém apresenta resultado tecnicamente igual. A vantagem do SMC-Brasil está em ser um software mais completo no estudo das áreas costeiras e livre para uso, considerando *softwares* vetoriais e de geoprocessamento.

A modelagem 3D também sofre com essa falta de refinamento visual, porém é uma ferramenta importante para o estudo geomorfológico da plataforma, com a utilização de uma batimetria refinada os resultados são bons e modelam a situação atual do fundo.

Por fim, visando uma melhor compartimentação geomorfológica adotou-se a nomenclatura de plataforma interna adjacente o segmento compreendido entre a costa e o recife e, plataforma interna o segmento do recife ao talude.

7. CONCLUSÃO

O setor norte, que não apresenta uma linha de recife como a presente no setor central, tem os vetores de altura de onda chegando de forma frontal sobre a praia, com alta magnitude e arrebentação diretamente na linha de costa, o que é um fomentador da erosão no local. Reflexo desse problema ocorre na Praia do Fortim onde a perda de areia demonstrada nas imagens de satélite é comprovada pelo cálculo de transporte de sedimentos. Sendo assim, a falta da proteção dos recifes na plataforma reflete diretamente no arqueamento da costa.

Ainda no setor norte, os bancos de areia presentes entre os perfis PN1 e PN2, corroboram a ideia que o sedimento no local não estar sofrendo transporte para outra região, mas sim estar ficando retido na frente da praia.

O setor central é naturalmente protegido por um recife fragmentado e preenchido por currais que conjuntamente atuam na proteção, proporcionando uma área de sombra na propagação das ondas. O recife é um importante ponto de arrebentação e dissipação de energia das ondas o que resulta diretamente no arqueamento positivo da linha de costa e deposição de bancos de areia na plataforma, o que tende a corroborar com a importância do recife na retenção do sedimento evitando a sua perda para outras áreas.

A respeito das marés meteorológicas a modelagem no setor apresentou inundação, de modo que nessas marés ocorrem os maiores problemas às estruturas fixas presentes sobre a praia. No passado, antes da área ser urbanizada, o setor era ocupado por mangues e braços de marés, o que minimizava os problemas erosivos hoje causados pela perda desse ecossistema.

O setor sul apresenta deposição de extenso banco de areia na confluência do Rio Timbó com o canal de Santa Cruz. Condição que propiciou o surgimento, a estabilidade e o aumento da área da Coroa do Avião. Porém esses bancos não estão na profundidade necessária para promover uma arrebentação efetiva que proteja a linha de costa.

O balanço de sedimentos para o setor apresenta para os perfis Ps1 e Ps2 que o transporte local praticamente se anula e o sedimento fica retido na região acumulando e aumentando a área da Coroa do Avião.

Embasado na modelagem em cálculos realizados nos três setores, ressalta-se a importância da tese em provar que hoje se deve repensar o modelo de proteção utilizada no estado, as obras atuais objetivam primeiramente defender a praia e residências instalando estruturas fixas sobre a areia, obras que a longo prazo não surtem efeito esperado. Apesar de largamente discutido no meio acadêmico existiam poucos dados que comprovassem a eficiência de estruturas naturais submersas na plataforma como meio principal de defesa e recuperação do ambiente.

Os resultados obtidos pelos cálculos de arrebentação nos perfis confirmam a relevância do recife na proteção à costa como primeiro ponto para a quebra e dissipação da energia da onda antes de chegar a praia, protegendo e moldando a linha de costa.

O modelo obtido para Itamaracá determina que a estrutura de proteção deve ser submersa estando a pelo menos 2 m de profundidade do nível de maré média e estar entre 3.000 m e 3.500 m de distância da praia. Nesse sentido, enfatiza-se que em futuros estudos e intervenções nos setores sul e norte delimitados nessa tese, tal informação seja utilizada para aplicar a efetividade do modelo.

Por fim, ressalta-se que em outras praias do estado que sofram com processo erosivo, sejam realizados os cálculos necessários para definição da quebra de onda na plataforma afim de se definir a distância e a profundidade necessária para instalação e eficiência da estrutura na proteção, manutenção e recuperação da praia.

REFERÊNCIAS

- ALBERNAZ, J. T., 1640. **Descrição da Ilha de Tamaraca com os alojamentos do inimigo Olandez quando o Tomou. E a fortificação da Villa;**
- ALMEIDA, T. L. M., 2011. **Sedimentologia e Batimetria da Plataforma Interna Adjacente a Ilha de Itamaracá-PE.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco;
- BARLAEUS., 1647. **Caerte Vant Eylant Tamarca.** Original manuscrito que integra o atlas de Johannes Vingboons do Instituto Histórico. Registro Arqueológico e Geográfico de Pernambuco. Recife;
- BEZERRA, C. S., 2013. **Clima de Ondas e Correntes no Litoral de Boa Viagem (Recife – Pe): Aplicação do Sistema de Radar Náutico de Banda-X.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco;
- BITTENCOURT, A. C. S. P., DOMINGUEZ, J. M. L., MARTIN, L. & SILVA, I. R., 2005. **Longshore transport on the northeastern Brazilian coast and implications to the location of large-scale accumulative and erosive zones: An overview.** Marine Geology, n. 219;
- CAMUS, P.; Mendez F.J.; Medina, R.; Cofiño, A.S., 2011a. **Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate.** Coastal Engineering, n. 58(6);
- CRAIK, A. D. D., 2004. **The Origins of Water Wave Theory.** Annual Review of Fluid Mechanics, v. 36, n. 1.;
- CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T., 1998. **Geomorfologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil;
- DIEGUES, A. C., 1989. **Pesca Artesanal: tradição e modernidade.** In: Encontro de Ciências do Mar: Coletânea de trabalhos apresentados ao programa de pesquisa e conservação de áreas úmidas no Brasil. São Paulo;

DOMINGUEZ, J.M.L., BITTENCOUT, A.C.S.P. & MARTIN, L., 1992. **Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: Roles of sea-level history, trade winds and climate.** Amsterdam: Sedimentary Geology Ed. 80, p. 213-232;

FAIRBRIDGE, R. W. Karst Coast. In: SCHWARTZ, M. L., 1982. **The encyclopedia of beaches and coastal environments.** Hutchinson Ross Publishing Company. Stroudsburg. p. 500-502;

FERRAZ, D.S., 1914. **O Molhe de Olinda.** Rio de Janeiro: Ed. Typographia do Jornal do Commercio;

GOMES, A. G. J., 2015. **Aprimoramento do clima de ondas do SMC como subsídio ao estudo da erosão costeira no litoral de Pernambuco.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco;

GONZALEZ, M. E., 2011^a. **Copla - MC/SP - Modelo de Correntes em Quebra de Praias.** Santander: IH - Cantábria;

HAYES, M. O., 1979. **Barriers islands morphology as a function of tidal and wave regime.** New York: (Ed.) Barrier Island from the Gulf of Mexico;

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis.** Summary for Policymakers. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch.htm>>. Acesso em: 12 fev. 2014;

KOMAR, P. D., 1983. **Rhythmic shoreline features and their on origins.** In: R. Gardner and H. Scoging (eds). Mega-Geomorphology. Oxford: Claredon Press, p. 92-112;

LUCENA, F. P. Et. Al., 2013. **A pesca de currais para peixes no litoral de Pernambuco.** CEPENE: Boletim Técnico Científico, Tamandaré-PE. P. 93-102;

MACÊDO, R. J. A., 2015. **Saliências, tômbolos e enseadas das praias arenosas de Pernambuco: Limites de formação e estabilidade.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco;

MAI - Monitoramento Ambiental Integrado. 2008. **Avaliação do processo de Erosão Costeira nos municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco;**

MANSO, V. A. V., 1992. **Macrozoneamento costeiro do litoral de Pernambuco – Folha Itamaracá (SB-25-Y-C-&).** In: Relatório técnico: Convênio EMLURB/ FADE/ LGGM/ UFPE. 45p.;

MANSO, V. A. V., 2003. **Definição dos pontos de contorno da linha de preamar máxima atual do litoral do município de Ipojuca – PE.** In: Relatório final: MMA/PNMA II - SECTMA n. 249. 36p.;

MANSO, V. A. V., 2006. In: Dieter Muehe (Org.). Erosão e progradação do litoral brasileiro. 2. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente - MMA, p. 179–196;

MMA – Ministério do Meio Ambiente., 2006. **Projeto orla: fundamentos para gestão integrada.** 2° ed. 74p., Convênio: Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. ISBN: 8577380297. Disponível em: <http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/spu/publicacao/081021_PUB_ProjOrla_fundamentos.pdf.htm> Acesso em: 20 mai. 2015;

MUEHE, D. & NEVES, C., 1995. **Potential impacts of sea level rise in the metropolitan region of Recife, Brazil.** In: Journal of Coastal Research, Special Issue, n.14, p. 116-131. Fort Lauderdale, Florida.;

NEIVA, G. S., 1990. **Subsídios para a política pesqueira nacional. Terminal Pesqueiro de Santos (TPS).** Relatório técnico. 64p. São Paulo;

PORTOBRÁS, 1978. **Estado atual das obras de proteção da orla litorânea do município de Olinda.** Rio de Janeiro. 72p.;

PORTOBRÁS, 1989. **Projeto de reforço das obras de defesa contra erosão em Olinda.** Rio de Janeiro. 28p.;

REGUERO, B. G. ET AL., 2012. **A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards.** In: Coastal Engineering, n. 65, p. 38–55;

- SALES DE MELO, M. C. S., 2015. **Reconhecimento sedimentológico para mapeamento de áreas com potencial de granulados marinhos siliciclásticos. Estudo de caso: recuperação das praias de Paulista (PE).** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco;
- SCHMALTZ, A.C., 1965. **As históricas ressacas de Olinda.** In: Anuário de Olinda, n. XV-XVI, p. 46-47;
- SILVA, L. G., 2001. **A fauna, festa e o rito: uma etnografia histórica sobre as gentes do mar (sec. XII ao XIX).** Campinas: Papirus, 103p.;
- SMC-BRASIL, 2014a. **Manual do usuário do Sistema de Modelagem Costeira Versão 3.0.** Disponível em: <<http://smcbrasil.ihcantabria.com/descargas.htm>> Acessado em: 04 fev. 2014;
- SMC-BRASIL., 2014b. **Manual do usuário do Sistema de Modelagem Costeira TOOLS Versão 3.0.** Disponível em: <<http://smcbrasil.ihcantabria.com/descargas.htm>> Acessado em: 04 fev. 2014;
- SUGUIO, K., 1992. **Dicionário de Geologia Marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol.** V. 15, 171p.;
- SUGUIO, K., 2003. **Geologia sedimentar.** São Paulo, Edgar Blücher, 400p.;
- VARELA, G. J. A. C., 2010. **Influência dos recifes na evolução da linha de costa na Ilha de Itamaracá– PE.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2010;
- VIDAL, C.; LOSADA, M. A; MEDINA, R., 1995. **Modelos de morfodinâmica de playas.** *Ingeniería del Agua.* v. 2, n. Abril, p. 55–74.