



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA  
Área de Concentração:  
Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar**



**TESE DE DOUTORADO**

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ZONA COSTEIRA  
DO MUNICÍPIO DE ARACAJU-SE: ESTUDO DE CASO  
UTILIZANDO O SMC (SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA)**

Doutoranda:  
**TAIS KALIL RODRIGUES**

Orientador:  
**Dr. José Maria Landim Dominguez**

Co-orientadora:  
**Dra. Ana Cláudia da Silva Andrade**

**SALVADOR - 2014**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ZONA COSTEIRA  
DO MUNICÍPIO DE ARACAJU-SE: ESTUDO DE CASO  
UTILIZANDO O SMC (SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA)**

Por

**TAIS KALIL RODRIGUES**

TESE DE DOUTORADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

**DOUTORA EM CIÊNCIAS  
- GEOLOGIA -**

à

Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa  
da  
Universidade Federal da Bahia

Aprovado:

Comissão Examinadora:

..... Dr. José Maria Landim Dominguez (orientador)

..... Dr. Abílio Carlos da S. Bittencourt - UFBA

..... Dra. Junia K. Guimarães - UFBA

..... Dra. Iracema Reimão da Silva - UFBA

..... Dr. Lucas do Nascimento - UNIFACS

Data da Aprovação: ...../...../.....

Grau conferido em: ...../...../.....

## RESUMO

O estudo dos processos dinâmicos em ambientes costeiros é muito importante, uma vez que estes processos determinam a evolução destes ambientes. O Sistema de Modelagem Costeira (SMC), desenvolvido pelos pesquisadores do IH- Cantábria para o Ministério de Meio Ambiente Espanhol é uma ferramenta que inclui um conjunto de metodologias e modelos numéricos, que permitem estudar os processos costeiros e quantificar as variações que sofre o litoral como consequência de eventos naturais e/ou interferências humanas. Este trabalho visa contribuir para uma avaliação da dinâmica marinha e sedimentar atuantes na linha de costa do município de Aracaju utilizando o SMC-Brasil, assim como avaliar, utilizando esta ferramenta os impactos decorrentes das mudanças climáticas nesta região. Verificou-se que dois sistemas de ondas atuam na região, provenientes de leste-sudeste (ESE) e de Sudeste (SE). As ondas mais frequentes são aquelas com altura significativa entre 1,0 e 1,5m, e período de pico em torno de 5 e 8s em 30,84% dos casos. Na maioria dos perfis praias os sentidos de transporte médio positivo (NE-SW) e negativo (SW-NE) são aproximadamente equivalentes, com um pequeno transporte líquido orientado de NE para SW. Divergências no sentido do transporte líquido foram verificadas nas praias do Refúgio-Mosqueiro e da Coroa do Meio. Os valores extremos da cota de inundação ocorreram nos mesmos perfis nos quais se verificam as maiores magnitudes no sentido do transporte (Coroa do Meio e Mosqueiro). Nestes dois locais é onde também se verificaram os maiores valores de inundação. Durante 50% do tempo analisado entre os anos de 1948 e 2008, foram verificados valores entre 5 m (Coroa do Meio-Atalaia) e 3,4 m (Mosqueiro-Refúgio) respectivamente. Estes são portanto os dois trechos que apresentam a maior vulnerabilidade a um eventual incremento na frequência de eventos extremos e subida no nível do mar decorrentes de mudanças climáticas. Os resultados aqui apresentados permitirão um melhor planejamento da ocupação da linha de costa do município de Aracaju.

## ABSTRACT

The study of coastal dynamic is very important to better understand the processes that controls coastal evolution. The Coastal Modeling System (SMC), developed by researchers at IH- Cantabria to the Ministry of Environment Spanish is a set of tools, including methods and numerical models, which allow the study of coastal processes and quantification of impacts of human activities. This work aims to assess the marine and sediment dynamics of the Aracaju municipality, using the SMC tools It will also evaluate the areas that will be most impacted by future climate change. Major results show that dominant wave systems affecting the area are from east-southeast (ESE), and outeast (SE). Most frequent waves have significant heights between 1.0 and 1.5 m, with peak periods around 5 and 8s in 30.84% of the cases. Beach profiles experience both NE-SW and SW-NE almost equivalent transport, with a slight net transport directed SW. Divergence of longshore transport occurs at Refúgio - Mosqueiro and the Coroa do Meio beaches. The extreme flood events occur at these same places. During 50% of the time analyzed, between 1948 and 2008, flood events at those places reached 5 m and 3.4 m respectively. These are the two sectors do the Aracaju shoreline most vulnerable to coastal processes and their eventual intensification by an increase in storm frequency and sealevel rise, associated with climate change. In these two sectors are also observed the highest waves and more vigorous longitudinal currents of the whole study area. The results presented herein will certainly provide a basis for better management of shoreline ocupation of the Aracaju municipality shorezone.

*Quando a gente é mãe,  
todo tempo do mundo  
é muito pouco para ficar colada  
com os nossos pequenos!!!*

Dedico esse trabalho a minha filha  
**Giulia Kalil Andrade**, meu amor verdadeiro,  
que foi a força e motivação dessa tese.

*“Que eu tenha um coração humilde  
Que eu tenha um coração sincero  
Que eu tenha a vida no altar com lábios santos pra adorar  
E o céu irá se abrir e o milagre acontecer”*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o início de tudo, por dar-me força nesta caminhada para que concluísse mais esta fase de minha vida.

Ao professor Dr. José Maria Landim Dominguez, por dispor do seu tempo com dedicação e paciência.

Aos meus pais Marinaldo Gomes Rodrigues e Marta de Brito Kalil, e ao meu irmão Tarciso Kalil Rodrigues, pelo apoio constante, apesar da distância física.

A José Andrade de Souza Neto, pelo companheirismo nesses quase 14 anos, e paciência durante a graduação, mestrado e doutorado.

A professora Dra. Ana Cláudia da Silva Andrade, por dispor de seu tempo, até mesmo em suas folgas, para auxiliar no meu crescimento acadêmico.

A Junia, pela amizade, pelas sugestões, “puxões de orelha” e muita paciência.

A Acácia Pinto pela nossa amizade que foi crescendo aos poucos, pelos tantos momentos de *stress* e risadas.

As minhas amigas antigas e recentes, Kelly, Edilea, Manu, Débora, Luciana, Neise, Eliene, Joane, e você também André Lyrio, que sempre acreditaram em meu potencial, levantavam a minha autoestima, ou simplesmente escutavam longos desabafos pelo telefone.

A professora Dra. Débora Correia Rios, primeiramente quero agradecer pela contribuição com suas disciplinas, pelo exemplo de profissional (professora, mãe, amiga, orientadora, esposa, etc.....), e sempre de bom humor. Agradeço também pela paciência, pelos debates sobre temas acadêmicos e familiares, e pela hospitalidade em sua sala.

As professoras Dra. Iracema Reimão e Dra. Alina Sá, ambas sempre com palavras de incentivo.

A professora Ana Amélia Lavenère-Wanderley, pelo apoio e incentivo no início de toda essa caminhada (Iniciação Científica), pelo exemplo de profissional apaixonada pelo que faz.

A todos os colegas do Laboratório de Estudos Costeiros, pela colaboração e amizade.

A todos os professores do curso que tiveram direta ou indiretamente contribuição na realização deste trabalho.

Aos funcionários da secretaria de pós-graduação Nilton e Rafael, pela paciência e atenção.

A CAPES, pela concessão de bolsa de doutorado.

Ao inctAmbTropic pelo suporte na execução deste trabalho.

Ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), Instituto de Hidráulica Ambiental da Cantabria (IHCantabria) da Universidad de Cantabria, Ministério de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente espanhol, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade de São Paulo (USP), pelo patrocínio, desenvolvimento, disponibilização, incentivo e disseminação do SMC-Brasil.

**MUITO OBRIGADA!!!!!!!!!!**

## ÍNDICE

<b>RESUMO.....</b>	<b>iii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1 Colocação do problema.....	16
1.2 Justificativa.....	18
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
2.1 Objetivo Geral.....	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
<b>3. IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMATICAS NA ZONA COSTEIRA.....</b>	<b>21</b>
3.1 Aquecimento Global e Mudanças Climáticas Recentes.....	22
3.2 Erosão Costeira decorrente dos efeitos das Mudanças Climáticas.....	25
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
4.1. Levantamento Bibliográfico .....	27
4.2. Trabalho de Campo .....	27
4.3. Análise Granulométrica dos Sedimentos .....	28
4.4. Utilização do Sistema de Modelado Costeiro - SMC.....	28
4.4.1 Análise da Dinâmica Marinha e Sedimentar.....	32
4.4.1.1 Análise de curto prazo - Propagação de Ondas e Correntes.....	32
4.4.1.2 Análise de médio e longo prazo Transporte e Fluxo médio.....	32
4.5 Integração dos Dados.....	33
<b>5. BASE DE DADOS E INFORMAÇÕES UTILIZADAS.....</b>	<b>34</b>
5.1 Batimetria.....	34
5.2 Ondas.....	35
5.3 Pressão e Vento.....	37
5.4 Maré meteorológica e Maré astronômica.....	37
5.5 Regime médio e Regime extremo.....	38
<b>6. ÁREA DE ESTUDO. ....</b>	<b>40</b>
6.1 Aspectos Gerais.....	40
6.2 Evolução Histórica da Linha de Costa.....	41
<b>7. UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MODELADO COSTEIRO - SMC.....</b>	<b>50</b>



<b>7.1 Dinâmica Marinha.....</b>	<b>50</b>
7.1.1 Definição do Ponto da Base de Dados.....	50
7.1.2 Ondas em águas Intermediárias.....	52
7.1.3 Maré astronômica e Maré meteorológica.....	55
7.1.4 Ondas na área de estudo.....	63
7.1.4.1 Padrão de Refração de Ondas sob Condições de Tempestades.....	65
7.1.4.2 Padrão de Refração de Ondas sob Condições Médias.....	71
7.1.5 As correntes na área de estudo.....	76
7.1.5.1 Direção e magnitude das correntes sob condições de ondas médias e de tempestades.....	76
<b>7.2 Dinâmica do Litoral.....</b>	<b>86</b>
7.2.1 Clima de Ondas em Pontos de Análise selecionados ao longo da Linha de Costa.....	87
7.2.2 Transporte litorâneo.....	101
7.2.3 Cota de Inundação.....	106
<b>7.3 Áreas vulneráveis a inundação durante ocorrência de tempestades e a elevação do nível do mar.....</b>	<b>111</b>
<b>8. CONCLUSÕES.....</b>	<b>114</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Modelos que consideram apenas forçantes naturais e Modelos que consideram todas as forçantes (naturais e antrópicas).....	24
Figura 02: Previsão para o aumento do nível do mar (até 2100), cenário pessimista e otimista, segundo o IPCC (2013).....	25
Figura 03: Esquemas de representação dos módulos do SMC.....	30
Figura 04: Estrutura global do SMC-Brasil.....	31
Figura 05: Cartas náuticas pertencente à base de dados do SMC-Brasil.....	35
Figura 06: Esquema do acoplamento dos modelos SWAN e OLUCA.....	38
Figura 07: Localização da área de estudo.....	43
Figura 08: Variação de largura ao longo da área de estudo: (a) e (b) setor norte, (c) setor sul.....	44
Figura 09: Recortes de Jornal (2007 e 2008) relatando problemas de erosão na área em estudo. ....	45
Figura 10: Recorte de Jornal (2010) relatando problemas de erosão na área em estudo. ....	46
Figura 11: (A) Praia de Atalaia na década de 60 (Foto: Acervo A. Gentil); (B) Visão da praia de Atalaia anos 70/80, em destaque o local no qual a rodovia foi construída (Foto: Arivaldo Azevedo); (C) Rodovia José Sarney década de 90 (Foto: autor desconhecido); (D) Visão da rodovia danificada, erosão iniciada em 2004 (Foto: <i>Ascom DER</i> ); e (E) Pista destruída em 2006 (Foto da autora).....	47
Figura 12: A - Comportamento da linha de costa e expansão da ocupação humana no período de 1965 a 2008 nas praias da Atalaia Velha. B - Comportamento da linha de costa e expansão da ocupação humana (rodovia José Sarney, tracejado em vermelho) no período de 1965 a 2008 no Mosqueiro.....	49
Figura 13: Foto (A) de Janeiro de 2006, mostrando a Praça de Eventos com a passarela de acesso a praia e os bares da Coroa do Meio. Foto (B) em 2008, erosão nos bares/restaurantes da Orlinha da Coroa do Meio e fotos (C e D) em 2007, mostrando a erosão na Praça de Eventos da Orla. Fonte: (A) Reinado Mota; (B e C) Fábio Nascimento e (D) Elaine Feitosa.....	50
Figura 14: Imagem de satélite de 2003 (Google Earth) mostrando a rodovia José Sarney, nas proximidades do Farol. Foto (B) em 2005, visão para sul com o farol ao fundo, mostrando o recuo da linha de costa com a destruição parcial da rodovia José Sarney. Foto (C) em 2009, visão para norte da pista erodida. Fonte: (B) Tais Rodrigues e (C) Fábio Nascimento.....	50

Figura 15: Pontos DOW, com destaque para alguns dos avaliados em águas intermediárias.....	52
Figura 16: Variável Hs (Fonte: SMC-Brasil).....	55
Figura 17: Variável Tp (Fonte: SMC-Brasil) .....	55
Figura 18: Caracterização do clima de ondas do ponto DOW (P3) com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp). .....	57
Figura 19: Rosas de direções de ondas do ponto P3 para cada estação do ano: Verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro); Outono (Março, Abril e Maio); Inverno (Junho, Julho e Agosto) e Primavera (Setembro, Outubro e Novembro). .....	58
Figura 20: Relação quantitativa (%) entre altura (Hs) e período (Tp) de ondas no ponto DOW (P3). .....	59
Figura 21: Caracterização da Maré Meteorológica no ponto DOW (P3) com: série temporal (1950-2000), regime médio e regime extremo. ....	60
Figura 22: Caracterização da Maré Astronômica no ponto DOW (P3) com: série temporal (1950-2000), regime médio e regime extremo. ....	61
Figura 23: Caracterização do Nível do Mar no ponto DOW (P3) com: série temporal (1950-2000), regime médio e regime extremo. ....	62
Figura 24: Regime extremo de altura de ondas significativas e período, no ponto DOW. ....	63
Figura 25: Malhas para área 01, A (E e ESE) e B (SE e SSE). ....	65
Figura 26: Malhas para área 02, A (E e ESE) e B (SE e SSE). ....	65
Figura 27: Modelagem 2D plataforma submersa, círculos em vermelho (1,2 e 3) altos topográficos e círculo em amarelo (isóbata de -5,22, próximo a linha de costa).....	66
Figura 28: Área 01 propagação das ondas de Leste (período de tempestade).....	68
Figura 29: Área 02 propagação das ondas do quadrante Leste (período de tempestade). ....	68
Figura 30: Área 01 propagação das ondas do quadrante Leste-sudeste (período de tempestade). ....	69
Figura 31: Área 02 propagação das ondas do quadrante Leste-sudeste (período de tempestade). ....	69

Figura 32: Área 01 propagação das ondas do quadrante Sudeste (período de tempestade). .....	70
Figura 33: Área 02 propagação das ondas do quadrante Sudeste (período de tempestade). .....	70
Figura 34: Área 01 propagação das ondas do quadrante Sul-Sudeste (período de tempestade). .....	71
Figura 35: Área 02 propagação das ondas do quadrante Sul-Sudeste (período de tempestade). .....	71
Figura 36: Área 01 - magnitudes de Hs e direção média de procedência das ondas de Leste (condições de medianas). .....	73
Figura 37: Área 02 - magnitudes de Hs e direção média de procedência das ondas de Leste (condições de medianas). .....	73
Figura 38: Área 01 - magnitudes de Hs e direção média de procedência das ondas de Leste-Sudeste (condições de medianas). .....	74
Figura 39: Área 02 - magnitudes de Hs e direção média de procedência das ondas de Leste-Sudeste (condições de medianas). .....	74
Figura 40: Área 01 - magnitudes de Hs e direção média de procedência das ondas de Sudeste (condições de medianas). .....	75
Figura 41: Área 02 - magnitudes de Hs e direção média de procedência das ondas de Sudeste (condições de medianas). .....	75
Figura 42: Área 01 - magnitudes de Hs e direção média de procedência das ondas de Sul-Sudeste (condições de medianas). .....	76
Figura 43: Área 02 - magnitudes de Hs e direção média de procedência das ondas de Sul-Sudeste (condições de medianas). .....	76
Figura 44: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Leste (condições de tempestade). .....	79
Figura 45: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Leste (condições de medianas) .....	79
Figura 46: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Leste (condições de tempestade). .....	80
Figura 47: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Leste (condições de medianas). .....	80
Figura 48: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Leste - Sudeste (condições de tempestade). .....	81
Figura 49: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Leste - Sudeste (condições de medianas). .....	81

Figura 50: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Leste – Sudeste (condições de tempestade). .....	82
Figura 51: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Leste – Sudeste (condições de medianas). .....	82
Figura 52: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Sudeste (condições de tempestade). .....	83
Figura 53: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Sudeste (condições de medianas). .....	83
Figura 54: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Sudeste (condições de tempestade). .....	84
Figura 55: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Sudeste (condições de medianas). .....	84
Figura 56: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Sul-Sudeste (condições de tempestade). .....	85
Figura 57: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Sul - Sudeste (condições de mediana). .....	85
Figura 58: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Sul-Sudeste (condições de tempestade). .....	86
Figura 59: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes procedentes da direção Sul-Sudeste (condições de medianas). .....	86
Figura 60: Escala espaço-temporal envolvidas no estudo de praias e processos relativos à dinâmica costeira (Fonte: Short, 2000). .....	87
Figura 61: Localização dos pontos de análise. ....	88
Figura 62: Caracterização do clima de ondas do ponto de análise P1 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp). .....	91
Figura 63: Regime extremo de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P1. ....	92
Figura 64: Caracterização do clima de ondas do ponto de análise P2 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp). .....	93
Figura 65: Regime extremo de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P2. ....	94
Figura 66: Caracterização do clima de ondas do ponto de análise P3 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp). .....	95
Figura 67: Regime extremo de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P3. ....	96

Figura 68: Caracterização do clima de ondas do ponto de análise P4 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp). .....	97
Figura 69: Regime extremo de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P4. ....	98
Figura 70: Caracterização do clima de ondas do ponto de análise P5 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp). ....	99
Figura 71: Regime extremo de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P5. ....	100
Figura 72: Caracterização do clima de ondas do ponto de análise P6 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp).....	101
Figura 73: Regime extremo de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P6. ....	102
Figura 74: Localização dos perfis de praia na zona de estudo área 01.....	104
Figura 75: Localização dos perfis de praia na zona de estudo área 02.....	104
Figura 76: Mapa de transporte médio de sedimentos nos perfis da área 01. ....	106
Figura 77: Mapa de transporte médio de sedimentos nos perfis da área 02. ....	107
Figura 78: Mapa do sentido do transporte médio bruto de sedimentos na área de estudos, e zonas de erosão. ....	108
Figura 79: Cota de Inundação (Fonte: GIOC 1997) .....	109
Figura 80: Valores extremos e período de retorno da cota de inundação em cada perfil da área 01. ....	111
Figura 81: Valores extremos e período de retorno da cota de inundação em cada perfil da área 02. ....	112
Figura 82: A e B praia da Coroa do Meio; C e D praia do Refúgio; E e F Praia do Mosqueiro.....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Caracterização do clima de ondas do ponto DOW P3.....	53
--	----

# 1. INTRODUÇÃO

---

## 1.1 Colocação do problema

Grande parte da costa brasileira vem sofrendo processos erosivos de forma acelerada, tanto em setores urbanizados como nos ainda não ocupados. Muehe (2004) apresenta uma revisão dos estudos sobre a erosão costeira no litoral de todo o Brasil afirmando que, do total dos 75% de ocorrências relatadas, 40% se referem à erosão de praias arenosas, 20% dizem respeito à erosão de escarpas sedimentares e 15% estão relacionadas à erosão em desembocaduras de rios e estuários.

A dinâmica costeira é a principal responsável pelos processos de erosão e/ou deposição em áreas litorâneas. Os ventos, as ondas e as correntes atuam ininterruptamente sobre os materiais inconsolidados, erodindo-os, transportando-os e depositando-os (Villwock *et al.*, 2005). Para a preservação das praias e a manutenção de propriedades costeiras é necessário o entendimento da dinâmica costeira aí atuante (Komar, 1998).

Segundo Silva *et al* (2001) a definição dos padrões de dispersão de sedimentos e a distribuição de energia da onda ao longo da costa, contribuem para a previsão de possíveis mudanças na configuração da linha de costa, evitando, ou minimizando as perdas físicas e econômicas. Este conhecimento é muito importante, também, para a instalação de obras de engenharia ao longo da costa.

O fenômeno de erosão costeira também está frequentemente associado à subida do nível do mar, e pode se agravar frente às perspectivas impostas pelas mudanças climáticas provocadas pelas emissões de dióxido de carbono derivados da queima de combustíveis fósseis. Nos próximos cem anos estima-se que o nível do mar suba em torno de 50cm a 1m, conforme as previsões do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013).

As mudanças climáticas podem também desencadear ou agravar o processo erosivo, em decorrência de alterações na distribuição das chuvas e na



frequência direcional e intensidade dos ventos e ondas, fatores estes que afetam a hidrodinâmica, o balanço e a dispersão dos sedimentos ao longo da costa. Alterações na descarga sólida de rios e na frequência direcional de ondas, não só nas últimas décadas como também nas escalas histórica e geológica, podem acelerar os processos de erosão e/ou avanço da zona costeira (progradação), acarretando em grandes prejuízos às cidades costeiras (Lins de Barros, 2005; Muehe, 2010). De acordo com Dominguez (2011), a combinação do aumento do nível do mar com as mudanças na frequência direcional das ondas pode acelerar o processo de erosão costeira no nordeste brasileiro.

Em decorrência da erosão é comum encontrar nos grandes centros urbanos, um elevado número de estruturas de engenharia tais como molhes, enrocamentos, muros e espigões para solucionar o problema (Dias, 1990). As atividades antrópicas requerem muitas vezes a construção de obras costeiras como portos e marinas que alteram profundamente o equilíbrio dos processos de transporte de sedimentos, conseqüentemente, causando modificações no posicionamento da linha de costa ao longo do tempo, como erosão ou progradação (Esteves, 2004).

Estudos realizados no Estado de Sergipe sobre a evolução da linha de costa de longo prazo demonstraram que esta se encontra em progradação desde 5.100 anos A.P. (antes do presente) (Bittencourt *et al.*, 1983; Dominguez & Bittencourt, 1996). No entanto, quando a evolução costeira é examinada em médio prazo, alguns setores do litoral sergipano apresentam-se em erosão, outros em progradação e outros em equilíbrio. Os setores que apresentaram maior variabilidade nas últimas décadas encontram-se associados às desembocaduras fluviais (Oliveira, 2003; Bittencourt *et al.*, 2006; Rodrigues, 2008).

Localizado entre as desembocaduras dos rios Sergipe (ao Norte) e Vaza-Barris (ao Sul) o município de Aracaju apresentou nos últimos 50 anos um intenso processo de urbanização. As regiões adjacentes às desembocaduras que na década de 50/60 apresentavam apenas manguezais e dunas foram ocupadas pela incorporação imobiliária, sem que fossem analisadas as conseqüências que isso traria a dinâmica costeira (Rodrigues, 2008).

As praias sob influência da desembocadura do rio Sergipe e do rio Vaza-Barris, sofrem variações que são atribuídas às mudanças na morfologia do delta de maré vazante, que variam de acordo com as ações dos agentes dinâmicos, e a migração da desembocadura (Rodrigues, 2008).

A interrupção da deriva litorânea através da construção de estruturas fixas, como o molhe na margem esquerda da desembocadura do rio Sergipe, no município de Barra dos Coqueiros, tem causado problemas de desequilíbrio ambiental em função do aprisionamento dos sedimentos à montante do molhe, causando a progradação da planície costeira, e conseqüentemente déficit sedimentar a jusante, influenciando o processo de erosão costeira. Estas obras provocam alterações no transporte de sedimentos causando transformações na morfodinâmica local (Rodrigues, 2008).

## **1.2 Justificativa**

Com o intuito de estabelecer alternativas que possibilitem uma melhor compreensão das causas e mitigação dos processos erosivos em todo litoral brasileiro, os governos brasileiro e espanhol firmaram em 2010 o Acordo de Cooperação Técnica, Científica e Tecnológica para executar o Projeto “Transferência de Metodologias e Ferramentas de Apoio à Gestão da Costa Brasileira (SMC-Brasil)”.

O Sistema de Modelagem Costeira (SMC) desenvolvido pelos pesquisadores do IH-Cantábria para o Ministério de Meio Ambiente Espanhol, é uma ferramenta que inclui um conjunto de metodologias e modelos numéricos, que permitem estudar os processos costeiros e quantificar as variações que sofre o litoral como consequência de eventos naturais ou de atuações humanas na costa. Diante de um problema na costa, estas ferramentas permitirão definir que estudos devem ser desenvolvidos, que escalas espaciais e temporais devem ser utilizadas, e que ferramentas numéricas devem ser aplicadas e que dados de entrada são necessários para o estudo. O SMC também inclui bases de dados dos

parâmetros meteo-oceanográficos no país (ondas, correntes, ventos, nível do mar) (GIOC, 2003).

Tendo em vista que a zona costeira do município de Aracaju está localizada entre duas desembocaduras, o que confere a mesma uma instabilidade natural e devido à grande importância econômica e graves problemas de erosão nas praias de Atalaia e Mosqueiro (localizadas na parte norte e sul do litoral do município de Aracaju, respectivamente), este trabalho visa contribuir com uma avaliação da dinâmica marinha e sedimentar de forma mais detalhada dessa região, para o período 1948 - 2008, utilizando o Sistema de Modelagem Costeira (SMC). Pretende-se também avaliar os impactos futuros decorrentes das mudanças climáticas nos processos costeiros atuantes na linha de costa do município de Aracaju. Isto possibilitará em orientações mais adequadas para a gestão costeira do município.

## **2. OBJETIVOS**

---

### ***2.1 Objetivo Geral***

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo da dinâmica litorânea e avaliar o impacto de mudanças climáticas na região costeira do município de Aracaju.

### ***2.2 Objetivos Específicos***

- Compreender a dinâmica dos processos marinhos utilizando o Sistema de Modelagem Costeiro – Brasil (SMC).
- Avaliar o período de retorno de eventos extremos e os dados de cotas de inundação para a área de estudo.
- Identificar os trechos de linha de costa mais vulneráveis à inundação durante a ocorrência de tempestades e de elevação do nível do mar.

### 3. IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMATICAS NA ZONA COSTEIRA

---

*“Mudanças climáticas significativas têm ocorrido na Terra no passado e certamente, ocorrerão no futuro. A sociedade nada pode fazer sobre às influências de longo prazo, que alternam períodos glaciais e períodos mais quentes. No entanto, a nossa sociedade global deve observar as mudanças de curto prazo que influenciam as temperaturas globais no tempo de vida das gerações presente”* (Christopherson, p. 306, 2012).

A Terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento. Atualmente a atividade industrial, através da emissão de gases estufa, está afetando o clima terrestre. Mapas de anomalias de temperatura mostram que houve, de modo geral, aquecimento no planeta, porém o aumento de temperatura foi maior nos continentes que nos oceanos, e também nas maiores latitudes do Hemisfério Norte, o que sugere que a atividade humana desempenha fator determinante no aquecimento (Marengo, 2006; IPCC, 2007).

De acordo com o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), a temperatura média global da Terra aumentou em 0,74°C no século 20 e os efeitos desse aumento têm se manifestado em alterações no ciclo hidrológico global (IPCC, 2007). As manifestações das mudanças podem ser observadas, dentre outros efeitos, na elevação do nível médio do mar e no aumento de eventos climáticos extremos. Em decorrência dessas mudanças no transporte de sedimentos litorâneos poderão ocorrer com o recuo desde alguns metros a até vários quilômetros da linha de costa e erosão em ambientes costeiros (praias, baías, manguezais, deltas, estuários, lagoas e lagunas) (Allan e Komar, 2006).

### 3.1. Aquecimento Global e Mudanças Climáticas Recentes

Na atualidade, quando se fala em mudanças climáticas, remete-se ao conceito de aquecimento global, que representa o aumento da temperatura média do ar próxima à superfície terrestre desde a metade do século passado. A suposta causa desta recente mudança climática global é atribuída às atividades antrópicas emissoras de gases do efeito estufa (GEE), especialmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), cuja concentração na composição da atmosfera tem sofrido progressivo incremento, em virtude da crescente queima de combustíveis fósseis, da prática do desmatamento e das queimadas (Zee, 2005).

Arrhenius (1896) foi o primeiro cientista a quantificar experimentalmente os impactos do dióxido de carbono no efeito estufa terrestre, sugerindo que variações na concentração deste gás poderiam exercer grande influência nas temperaturas médias globais. Ele tornou-se assim o primeiro pesquisador a prever a possibilidade do aquecimento global antropogênico no clima contemporâneo. No entanto este autor chamou ainda atenção para o fato de que o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> irá favorecer um melhor clima para a humanidade no futuro, *“especialmente nas partes mais frias da Terra”* (Arrhenius, 1908).

Callendar (1938) e Plass (1956) contribuíram com o estabelecimento do conceito do efeito estufa, quando sugeriram que o gás carbônico proveniente de queima de combustíveis fósseis provocaria alterações do clima e aumento da temperatura média global.

Em um trabalho subsequente, Revelle e Suess (1957) mediram a taxa de dissolução do CO<sub>2</sub> atmosférico nos oceanos por meio do <sup>14</sup>C e concluíram que há acumulação do CO<sub>2</sub> antropogênico na atmosfera. Antes destas medições acreditava-se que o CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera na combustão dos combustíveis fósseis dissolvia-se parcial ou totalmente nos oceanos evitando o aumento da sua concentração atmosférica.

Uma grande contribuição ao estudo do acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera, foi realizada por Keeling (1960) que comprovou que a concentração do CO<sub>2</sub> estava realmente crescendo, e que esse aumento era compatível com a hipótese de que

apenas parte das emissões antropogênicas eram dissolvidas nos oceanos. As medições de Keeling no vulcão de Mauna Loa, na ilha do Hawaii, passaram a constituir uma prova reconhecida da interferência antropogênica sobre o sistema climático.

A identificação da influência humana na mudança do clima resultou na crescente preocupação da comunidade científica com as questões climáticas, culminando em 1979 na “Primeira Conferência Mundial do Clima” e posteriormente em 1988 no “Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas”, reconhecido pela sua sigla em inglês *IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*.

Os relatórios do IPCC (2001, 2007 e 2013) mostram que as mudanças observadas no clima não são devidas à variabilidade interna do clima, ou seja, a capacidade do mesmo de produzir variações de considerável magnitude em longo prazo sem forçamentos externos. As mudanças observadas são consistentes com as respostas estimadas devido a uma combinação de efeitos antropogênicos e forçamentos naturais.

Tucci (2002) apresenta observações diretas das recentes mudanças climáticas, as quais vêm se manifestando de diversas formas, dentre elas estão o aumento da temperatura no planeta (correlacionado ao aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico), a maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, alterações no regime pluviométrico, perturbações das correntes marinhas, a diminuição das camadas de gelo e o aumento do nível relativo do mar.

De acordo com o divulgado no relatório do IPCC (2007) dados de satélites mostram que a extensão média anual de gelo no mar Ártico tem retraído em 2,8 % por década, assim como têm diminuído as áreas sujeitas a congelamento sazonal, evidenciando, assim, uma tendência de elevação da temperatura no globo. A contribuição humana nas mudanças climáticas recentes são mostradas nas figuras 01 e 02.

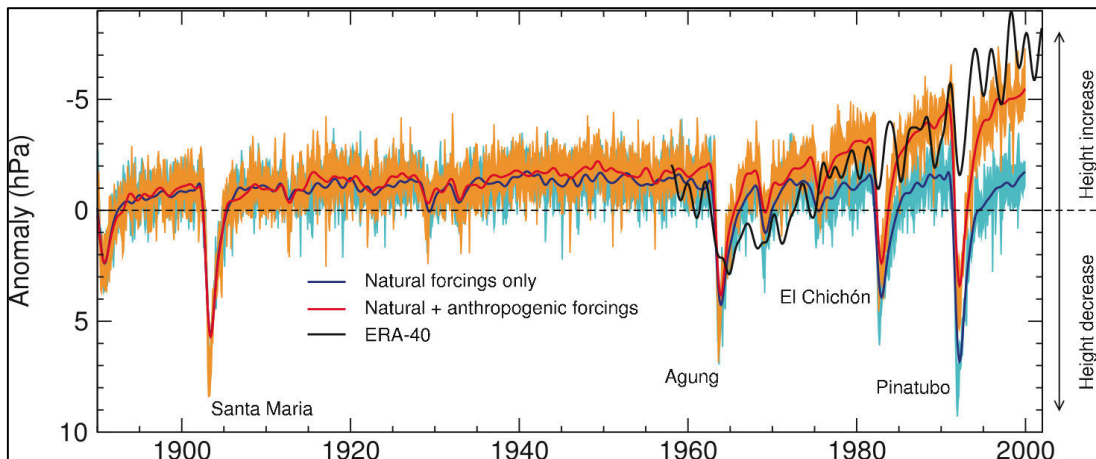


Figura 01: Modelos matemáticos demonstrando as forçantes naturais e antrópicas. Em azul, modelos que consideram apenas forçantes naturais (atividade solar e vulcões); em laranja, modelos que consideram todas as forçantes (naturais e antrópicas); e em preto, medição da temperatura por instrumentos (fonte: IPCC, 2007).

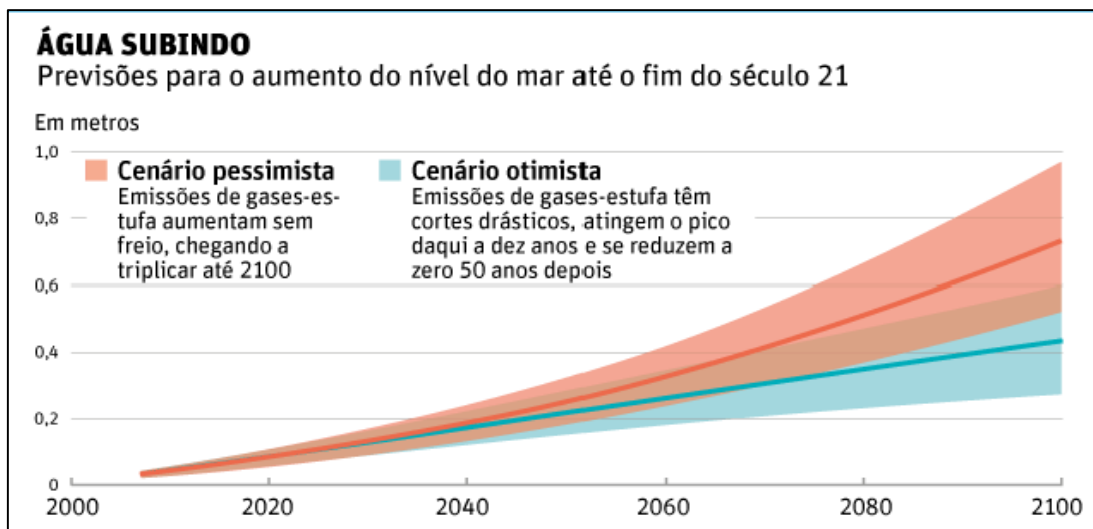


Figura 02: Previsão para o aumento do nível do mar (até 2100), cenários pessimista e otimista, segundo o IPCC (2013) (Fonte: <http://umaincertaantropologia.org>) Acessado em 21/01/014.



### 3.2 Erosão Costeira decorrente dos efeitos das Mudanças Climáticas

As zonas costeiras concentram 60% da população mundial que a utiliza para diversos fins, como habitação, alimentação, economia e lazer. O crescimento da urbanização da orla marítima a partir de meados do século XX se deu geralmente de forma desordenada, implicando em um crescente aumento da degradação dessas áreas (Araújo *et al.*, 2003).

As áreas costeiras estão entre as mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas globais, pois serão atingidas diretamente pelo aumento do nível médio do mar, pela exposição a eventos extremos de tempestade, pelas mudanças nos regimes de descarga fluvial dos rios, pela elevação da temperatura superficial do mar, pela acidificação dos oceanos, dentre outros eventos (Neves e Muehe, 2008).

Além das pressões já impostas pela ocupação humana, é provável que as regiões costeiras fiquem expostas a maiores riscos de erosão. Nos próximos cem anos estima-se que o nível do mar suba em torno de 50cm a 1m, conforme as previsões do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013). Como quase 60% da população mundial vive nas áreas costeiras qualquer elevação no nível do mar torna-se uma grave ameaça.

As principais causas da elevação do nível do mar em decorrência das mudanças climáticas são a expansão térmica da água dos oceanos e o derretimento das geleiras continentais. Além da elevação do nível do mar, mudanças climáticas podem implicar ainda, no aumento da frequência dos eventos climáticos extremos o que reduzirá a estabilidade da linha costeira. Com o aquecimento, a água tende a evaporar mais rápido e teremos mais chuvas e tempestades, além de ventos, furacões e ciclones (Lins de Barros, 2005; Allan e Komar, 2006; Zee, 2012).

De acordo com Dominguez (2011) as respostas da zona costeira brasileira à subida do nível do mar e às mudanças climáticas serão complexas e dependerão de aspectos específicos intrínsecos da zona costeira, relacionados à história geológica antecedente e da ocupação humana. Segundo o autor a erosão

costeira, oriunda das mudanças climáticas induzidas pelo homem, será causada pela subida do nível do mar, pela mudança na frequência direcional das ondas, pelo aumento na intensidade de tempestades, e por mudança no aporte de sedimentos fluviais. Dominguez (2011) ressalta que a combinação do aumento do nível do mar com as mudanças na frequência direcional das ondas podem acelerar o processo de erosão costeira.

Segundo o IPCC (2007), alguns eventos climáticos extremos têm aumentado em frequência e intensidade nos últimos 50 anos. Com a maior frequência de eventos climáticos extremos haveria mais secas e a maior intensidade de tempestades, o que ocasionaria a maior frequência de ondas e marés meteorológicas de maiores amplitudes. Os impactos desses efeitos seriam o aumento da erosão, possível destruição de benfeitorias, perda da faixa de areia de praias, maior incidência de alagamentos e inundações em zonas de baixadas (Neves e Muehe, 2008).

Para Zee (2012) eventos climáticos extremos, representam as forças com maior poder de destruição da zona costeira. À intensidade desses eventos soma-se a dificuldade de gerenciamento de planos para a adaptação e a atenuação de seus efeitos, devido à impossibilidade de prevê-los com exatidão.

A erosão costeira deve ser considerada um problema global, principalmente pela tendência histórica a ocupação humana das zonas litorâneas. Além de essa população ser a mais vulnerável aos eventos extremos e às mudanças do clima, a sua intervenção no ambiente costeiro diminui a capacidade de adaptação e suporte da costa a essas alterações, ou seja, torna o ambiente costeiro mais vulnerável.

## **4. METODOLOGIA**

---

### **4.1 Levantamento Bibliográfico**

Esta etapa consistiu no levantamento de artigos científicos, publicações e livros referentes ao tema principal do trabalho, bem como temas correlatos. Esta etapa incluiu a obtenção de mapas, cartas náuticas da DHN, fotografias aéreas de diferentes épocas e imagens de satélite.

### **4.2 Trabalho de campo**

Durante esta etapa, foram coletadas amostras de sedimentos da face da praia, com cerca de 300 g cada, nos 2 cm superficiais, em intervalos de aproximadamente 1 km. Todas as amostras coletadas foram acondicionadas individualmente em sacos plásticos e devidamente identificadas para posteriores análises em laboratório. Em cada local de coleta foi marcado um ponto com GPS e preenchida uma ficha contendo as seguintes informações: 1) identificação do ponto; 2) características da pós-praia, tanto naturais como antrópicas; 3) características da face da praia; 4) estimativas da altura da onda e do tipo de arrebentação; 5) características das feições expostas na antepraia. Com o GPS também foram marcados os trechos da linha de costa que apresentem evidências de erosão, equilíbrio, acresção, ou alta variabilidade (desembocadura de rios), descrevendo as suas características em uma segunda ficha.

Durante o caminhamento foi também registrada a densidade de ocupação da orla marítima, expressa como o número de construções fixas ao longo da linha de costa, encontradas em um segmento de tamanho padrão de 1 km. Foram registrados, ainda, os tipos e características de obras de proteção à erosão ao longo da linha de costa.

Uma documentação fotográfica foi realizada durante o trabalho de campo. O horário da câmera digital foi sincronizado com o horário do GPS para a posterior

utilização da extensão GPS-Photo Link, no aplicativo ArcMap 9.3®, o que permite a geolocalização das fotos no SIG.

#### **4.3 Análise granulométrica dos sedimentos**

As amostras de sedimento foram analisadas para textura. As amostras foram lavadas para a retirada dos sais solúveis e colocadas para secar em estufa, a uma temperatura média de 50° C. Após esse processo, as amostras foram quarteadas manualmente, para a obtenção de cerca de 50 g de sedimento, e peneiradas com a utilização de um agitador de peneiras tipo Rotap, em um conjunto de peneiras fracionadas em intervalos de 0,5 Phi. As frações granulométricas retidas em cada peneira foram pesadas em uma balança de precisão (0,0001 g). Os dados obtidos nesse processo foram inseridos no programa SysGran2.2, para o cálculo dos parâmetros estatísticos.

#### **4.4 Utilização do Sistema de Modelagem Costeira – SMC – Brasil 3.0**

O Sistema de Modelagem Costeira (SMC) é estruturado em módulos:

- (i) O módulo Pré-Processo é o módulo que permite caracterizar e processar informações de entrada para os diferentes modelos numéricos;
- (ii) O módulo Acordes (**Análisis a corto plazo de playas**) acessa as ferramentas numéricas que permitem analisar a morfodinâmica de um sistema costeiro, em uma escala espaço-temporal de curto prazo;
- (iii) O módulo Arpa (**Análisis a largo plazo de playas**) permite analisar a morfodinâmica de praias em uma escala espaço-temporal de médio e longo prazo;
- (iv) O módulo de Modelagem de Terreno permite modificar os contornos do fundo (batimetria) e laterais (estruturas), o qual é fundamental para avaliar diferentes cenários de um projeto de engenharia;

(v) O módulo TIC (Tutor de Engenharia de Costas) apresenta o apoio teórico, conceitual e de informação básica para os diferentes modelos numéricos do sistema (González *et.al*, 2007).

O SMC integra uma série de modelos numéricos, os quais se encontram estruturados de acordo com as escalas temporais e espaciais dos processos a serem modelados. Na figura 03 é apresentada a estrutura de organização do SMC.

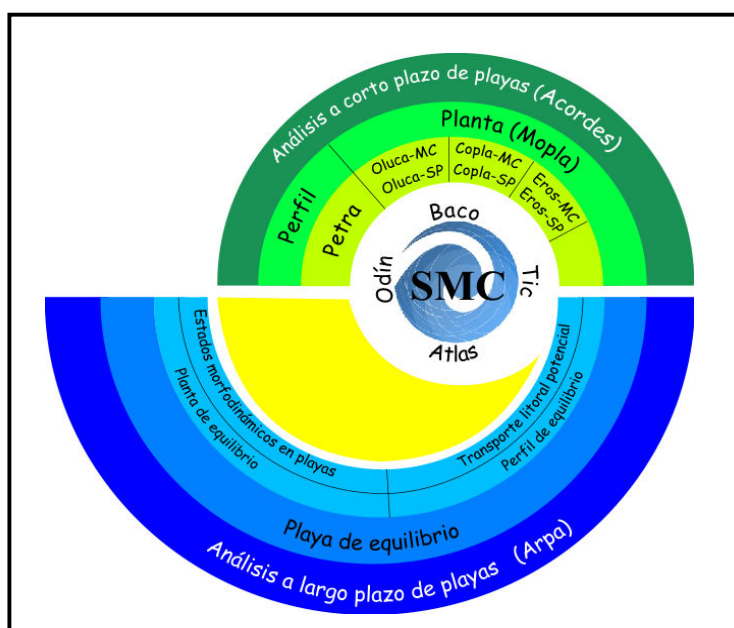


Figura 03 - Esquemas de representação dos módulos do SMC (Fonte GIOC 2003f).

O quadro 01, abaixo mostra os dados de entrada necessários para a execução de cada módulo e os dados de saída.

SMC – SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA		
	DADOS DE ENTRADA	DADOS DE SAÍDA
<b>PRÉ-PROCESSO</b>	-	-
<i>ODIN</i>	Registro de ondas da região (previsão águas profundas)	Caracterização do clima de ondas
<i>BACO</i>	Batimetria digitalizada	Carta batimétrica digitalizada
<i>ATLAS</i>	Topografia da zona costeira	Atlas de inundação
<b>ACORDES</b>	-	-
<i>MOPLA (Oluca; Copla; Eros)</i>	-	-
Oluca	Dados ODIN	Propagação de ondas em diferentes profundidades
Copla	Dados ODIN, BACO	Modelo de correntes geradas na zona de arebentação
Eros	Sedimentologia, dados ODIN, BACO	Modelo de erosão/sedimentação
<i>PETRA</i>	Dados ODIN, Baco, Atlas, MOPLA	Evolução do perfil transversal
<b>ARPA</b>	Dados dos módulos anteriores	Evolução à médio e longo prazo
<b>MMT</b>	Dados dos módulos anteriores	Geração de diferentes cenários morfodinâmicos
<b>TIC</b>	Dados dos módulos anteriores	Geração de diferentes cenários morfodinâmicos

Para a padronização estrutural dos dados coletados, é necessária a inserção de metadados de informação geográfica (descrição textual), os dados de batimetria, linha de costa, arquivos de imagem, perfis de praia, sedimentologia, ondas e nível do mar (tabelas de padronização em anexo).

O SMC, também foi transferido a diferentes países do mundo (Colômbia, Taiwan, Tunísia, etc.). A versão brasileira inclui novos desenvolvimentos, graças aos avanços científicos na engenharia costeira e aos avanços na área de informática nos últimos anos que permitiram criar uma versão mais avançada e prática. O SMC-Brasil 3.0 é composto por alguns documentos metodológicos chamados “Documentos Temáticos” e algumas Ferramentas numéricas, como o SMC e o SMC-Tools (Figura 04).

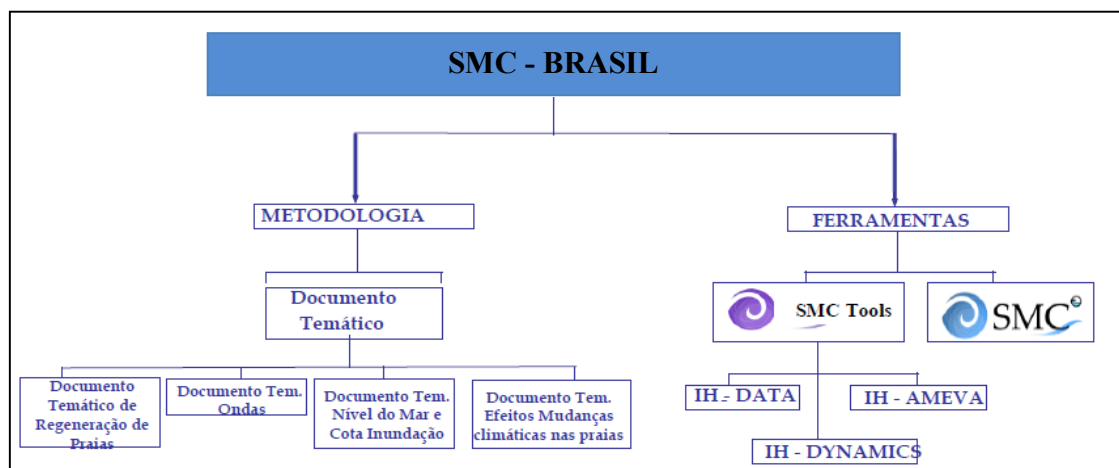


Figura 04: Estrutura global do SMC-Brasil (Fonte Manual do usuário SMC-Brasil 3.0).

Os documentos temáticos estão resumidos em quatro:

- (i) Documento Temático de Regeneração de Praias: o qual reúne a metodologia que devemos seguir para o estudo ou projeto de recuperação de uma praia. Os dados de entrada necessários, modelos, e escalas a serem estudadas, são reunidos neste documento.
- (ii) 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.

- (iii) 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, e o aumento do nível do mar na costa devido à quebra das ondas (“wave setup”).
- (iv) Documento Temático sobre os Efeitos das Alterações Climáticas nas Praias: este documento apresenta a metodologia que permite efetuar análises prognósticas da estabilidade de uma praia, devido aos efeitos das mudanças climática nas forçantes: altura, período e direção das ondas e o nível do mar. Este documento permite ainda avaliar para uma praia, sua tendência com relação à retração ou avanço da linha de costa, rotação praial, variação da cota de inundação etc.

O SMC-Brasil inclui duas ferramentas numéricas:

(i) O SMC-TOOLS que permite acessar o módulo IH-DATA, que inclui as bases de dados das cartas náuticas do litoral brasileiro (imagens, dados de batimetrias no formato XYZ), dados de ondas e dados de nível do mar (maré astronômica e meteorológica). Dentro desta ferramenta, os dados de ondas podem ser caracterizados através de uma análise estatística de suas variáveis ambientais, a partir do módulo IH-AMEVA, que também permite realizar a transformação de ondas dos pontos GOW/DOW em relação à costa, avaliar o transporte de sedimentos e fluxo médio de energia e a cota de inundação (IH-DYNAMICS). Estes módulos processam as séries temporais de dinâmicas marinhas e sedimentares que são necessárias como entrada dos modelos do SMC.

(ii) SMC - esta ferramenta reúne uma série de modelos numéricos que permitem analisar a estabilidade de uma praia e inclui dois módulos: o módulo de análise de curto prazo de praia (Acordes), formado pelos programas MOPLA e PETRA e o módulo de análise de médio e longo prazo da praia (Arpa), formado

pelo modelo de praia em equilíbrio. Também inclui um módulo de regeneração do terreno para a atualização de topografia e batimetria.

#### **4.4.1 Análise da Dinâmica Marinha e Sedimentar**

##### *4.4.1.1 Análise de curto prazo - Propagação de ondas e correntes*

O módulo Acordes de análise de curto prazo se baseia nos modelos de evolução MOPLA (**M**orfodinâmica de **pl**aias) e PETRA (**P**erfil **trans**versal), que incluem vários modelos numéricos para analisar sistemas costeiros.

O MOPLA inclui três modelos numéricos distintos que simulam a evolução morfodinâmica de uma praia: (i) o OLUCA modela a propagação e transformação das ondas, (ii) o COPLA calcula o sistema de correntes utilizando os tensores de radiação devido à propagação das ondas, e (iii) o EROS calcula o transporte de sedimento e evolução batimétrica com base no campo de ondas e correntes.

Os modelos OLUCA, COPLA e EROS trabalham sequencialmente, pois os dados de saída de um são utilizados como entrada para o próximo.

O PETRA avalia o transporte de sedimento ao longo do perfil de praia (em curto prazo, 12 ou 24 horas) e calcula a conservação da areia dentro do perfil. Permite determinar a resposta de um perfil à eventos de tempestade.

##### *4.4.1.2 Análise de médio e longo prazo - Transporte e Fluxos médios*

Após a propagação das ondas representativas de água profundas até costa, para a área de estudo, obtêm-se os parâmetros espectrais ao longo de todo o domínio da malha e, portanto, pode-se reconstruir as séries de estados de mar em qualquer ponto do domínio estudado. Aplica-se então o submódulo de Pós-Processo, que integra o módulo IH-DYNAMICS. Este submódulo permite avaliar o ponto de quebra das ondas em um perfil de praia, para cada estado de mar, a partir do qual pode-se obter o transporte litorâneo de sedimento, o fluxo médio de energia das ondas e a cota de inundação naquele ponto da costa.



#### **4.5 Integração dos dados**

A aplicação do SMC-Brasil, permitiu identificar os trechos de linha de costa onde os processos costeiros atuam de forma mais intensa, e deste modo também indicar os trechos mais vulneráveis às mudanças climáticas.

## 5. BASE DE DADOS UTILIZADA

---

As bases de dados e fontes de informação que foram utilizadas no estudo e que integram o Sistema de Modelagem Costeira – Brasil são descritas a seguir:

### 5.1 Batimetria

A base de dados batimétricos utilizada no presente estudo foi obtida por meio da digitalização de cartas náuticas do litoral brasileiro, produzidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, e folhas de bordo obtidas junto ao Bampetro, CHM (Centro de Hidrografia da Marinha), USP (Universidade de São Paulo) e Marinha do Brasil, disponíveis na base de dados do Sistema de Modelado Costeiro – Brasil (Figura 05). Todos estes dados estão disponíveis no SMC. Pode-se ainda incorporar batimetrias de maior detalhe caso necessário para o desenvolvimento da pesquisa. Uma batimetria de boa qualidade é um elemento chave para qualquer estudo referente à dinâmica marinha, já que a propagação das ondas até a costa responde, entre outras coisas, à morfologia do fundo marinho.

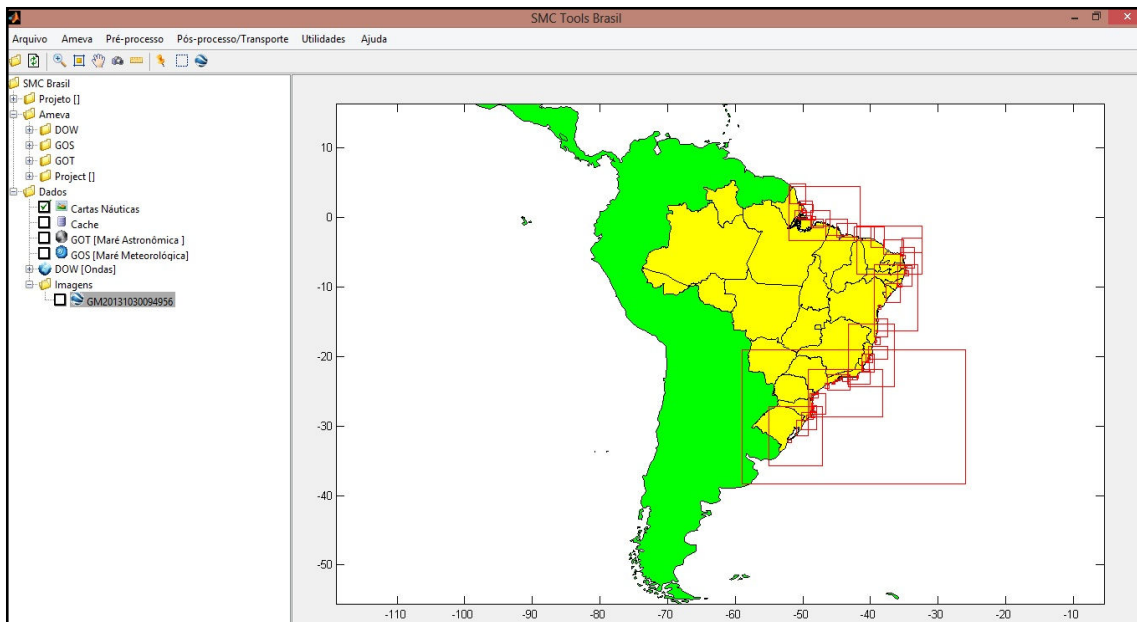


Figura 05: Cartas náuticas incluídas na base de dados do SMC-Brasil. (Fonte: SMC Tools).

## 5.2 Ondas

No Brasil há uma carência de dados de ondas, que foi suprida por dados gerados em estudos retrospectivos utilizando modelos numéricos (dados de reanálise com *downscaling*), realizados pela Universidade de Cantábria/Espanha. Estes dados também estão disponibilizados no SMC-Brasil.

Estes dados retrospectivos foram produzidos utilizando a *Global Ocean Waves* (GOW), com conjunto de dados atualizados de cobertura global, em série temporal longa (desde 1948) e de alta resolução temporal (a cada hora), calibrados e validados com medições instrumentais de bóias oceânicas e por satélites altimétricos. O modelo numérico utilizado para a simulação da reanálise de ondas foi o modelo WaveWatch III (Tolman 1997, 1999) desenvolvido pela NOAA/NCEP. O modelo assume como hipótese fundamental que as propriedades do meio (correntes e batimetria) e o campo de ondas variam em escalas muito maiores que um comprimento de onda, tanto no espaço quanto no tempo. A partir dessa informação, se assume como limitante do modelo, que este não seja capaz de simular os efeitos da propagação das ondas em pequenas profundidades.

Na base de dados GOW, as ondas são pobremente representadas em áreas de águas rasas, porque a resolução espacial não é suficientemente detalhada e as transformações de onda, devido à interação com a morfologia do substrato marinho raso, normalmente não são modelados (Camus *et al.*, 2013). Para a solução deste problema é necessário uma modelagem destes processos de transformação das ondas, com base no aumento da resolução espacial, processo este conhecido como *downscaling*. Deste modo, os dados GOW foram submetidos a este procedimento, gerando a base de dados de ondas de reanálise para 40 anos (de 1948 a 2008) para águas intermediárias e rasas, denominada *Downscaled Ocean Waves* (DOW), com alta resolução espacial e devidamente validada (Camus *et al.*, 2013).

Para análise do clima marítimo em águas profundas, modelagem da propagação de ondas até águas rasas e posterior análise do clima marítimo próximo à costa, são utilizados os modelos SWAN e OLUCA, que apresentam limitações distintas, mas que, quando aplicados conjuntamente, permitem avaliar

de forma bastante confiável os efeitos da topografia na propagação de ondas. O modelo SWAN (Simulating Waves Nearshore) foi desenvolvido pela Universidade de Delft (TU Delft) e resolve a equação do balanço de energia. É um modelo que permite realizar análises em domínios de cálculo grandes (até centenas de quilômetros). O modelo permite incorporar a ação de ventos e correntes constantes e de espectros compostos (swell+sea), mas apresenta limitações em águas rasas, por não resolver bem os processos de difração e quebra das ondas.

Já o modelo OLUCA desenvolvido pelo IH Cantabria resolve a equação da pendente suave através de sua aproximação parabólica. O número de divisões e subdivisões da malha de cálculo são limitados, tornando-o aplicável apenas a domínios pequenos (menores que 10 km). Apesar dessas limitações, o modelo OLUCA resolve bem a difração e a quebra de ondas, além de ser acoplado ao modelo COPLA, que resolve bem as correntes geradas pela quebra de ondas e este ao modelo EROS, de transporte de sedimentos.

O acoplamento entre os dois modelos é realizado obtendo, para cada caso propagado, os resultados de  $H_s$ ,  $T_p$  e direção média, calculados pelo SWAN para um nó da malha que seja mais próximo do nó central da malha do OLUCA (Figura 06). Esses resultados são utilizados como os dados de entrada para o modelo OLUCA.

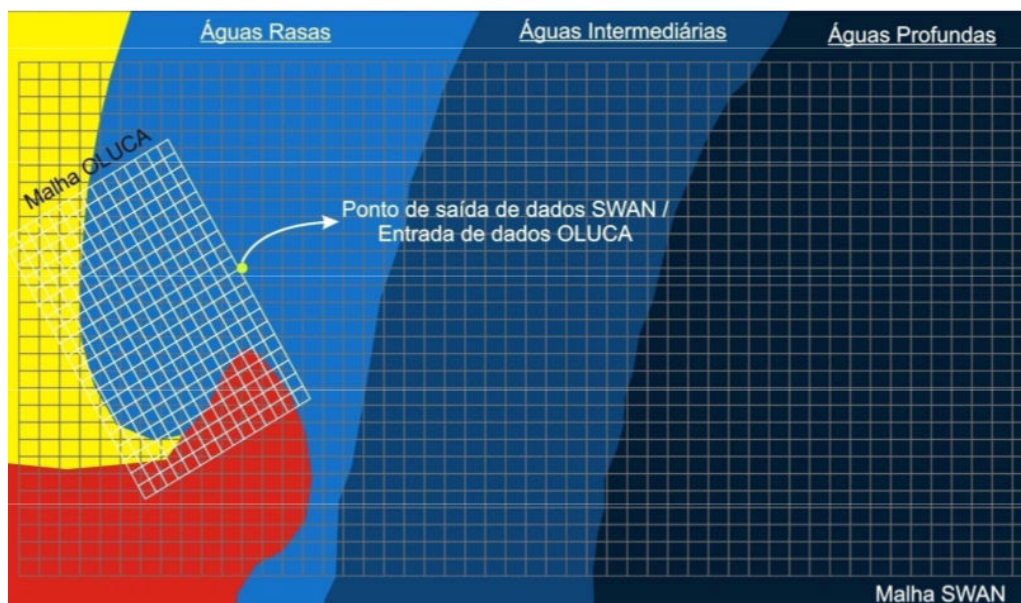


Figura 06 - Esquema do acoplamento dos modelos SWAN e OLUCA. (Fonte GIOC 2003)

### 5.3 Pressão e Vento

Os dados utilizados são oriundos do Projeto de Renálise NCEP/NCAR da *Physical Sciences Division* (NOAA/ESRL) devido a cobertura global, a resolução espacial, e o alcance temporal que os mesmos proporcionam. Os dados cobrem o período de 1948 até o presente, sendo um produto periodicamente atualizado. Esses dados foram utilizados pelo IH Cantabria para a construção da base de dados de reanálise da maré meteorológica e de ondas.

### 5.4 Maré meteorológica e Maré astronômica

O IH Cantabria utilizou para o cálculo da maré meteorológica o modelo tridimensional de circulação ROMS (*Regional Ocean Modeling System*), desenvolvido por *Ocean Modeling Group de Rutgers*. Partindo das informações desse modelo, foi elaborada uma reanálise da maré meteorológica, com 60 anos de dados (1948 – 2008), com resolução espacial de  $0,25^\circ$  e resolução temporal horária. Esta base de dados que apresenta a elevação do nível do mar resultante da maré meteorológica ao longo de todo o litoral brasileiro se denomina GOS (*Global Ocean Surge*).

Os dados da maré astronômica são provenientes do modelo global de marés TPXO (versão 7), desenvolvido pela Universidade do Estado de Oregon. Atualmente, o modelo TPXO é um dos modelos globais mais precisos relacionados à maré. Foi gerada pelo IH Cantabria uma base de dados que abrange o período de 1948 e 2008, ao longo de todo litoral brasileiro, denominada GOT (*Global Ocean Tide*).

### *5.5 Regime Médio e Regime Extremo*

Regime Médio é a probabilidade de que um determinado valor de algum parâmetro do estado de mar, não seja superado dentro da série temporal média na zona de onde está se desenvolvendo o estudo. O regime médio foi ajustado pelas distribuições Gumbel de Máximos, Lognormal, Normal e Weibull de mínimos, calculando seus devidos valores de coeficiente de correlação, para que se pudesse escolher dentre todos.

O Regime Extremo de um determinado parâmetro do estado de mar representa a probabilidade para que o valor máximo desse mesmo parâmetro, em um determinado intervalo de tempo (geralmente um ano), não supere um determinado valor deste mesmo parâmetro. Foi utilizada como metodologia de seleção o critério de Máximos Anuais, que busca dentro de toda a série temporal o valor máximo de cada ano, após o que é realizado um ajuste através de uma função generalizada para valores extremos (GEV) representada pela seguinte expressão:

$$F(x) = \exp \left[ - \left( 1 - \frac{\xi(x - \mu)}{\psi} \right)^{1/\xi} \right]$$

Onde:

$\mu$  é o parâmetro de localização.

$\psi$  é o parâmetros de escala.

$\xi$  é o parâmetro de forma, o qual determina o tipo de distribuição:

Quando  $-0,05 < \xi < 0,05$  a distribuição é de Gumbel.

Quando  $\xi > 0,05$  a distribuição é de Fréchet.

Quando  $\xi < -0,05$  a distribuição é de Weibull.

## 6. ÁREA DE ESTUDO

---

### 6.1 Aspectos Gerais

O litoral Sergipano apresenta uma linha de costa de cerca de 168 km de extensão estendendo-se desde a foz do rio São Francisco ao norte, até a foz do rio Piauí/Real ao sul, caracterizada pela presença de extensos arcos praias separados por amplos estuários (Figura 07). O objeto de estudo deste trabalho é a linha de costa do município de Aracaju, situada entre as desembocaduras dos rios Sergipe e Vaza-Barris, com destaque para as praias de Atalaia e Mosqueiro, que apresentam trechos em processo erosivo (Figura 08).

O clima da região é quente e úmido, caracterizado como Af (superúmido) segundo a classificação de Köppen de 1936 e denominado de Litoral úmido pela SEPLANTEC (1979). A média das temperaturas máximas é superior a 26° C e a média das temperaturas mínimas é de 23° C. Os meses mais quentes ocorrem de fevereiro a março e os meses com temperaturas mais amenas ocorrem de julho a agosto. A precipitação total varia de 1.500 a 1.800 mm durante o ano.

Os ventos na região são controlados pelas massas de ar geradas pela célula de alta pressão do Atlântico Sul e pelos avanços periódicos da Frente Polar Atlântica (Martin *et al.* 1998). Dominam nesta região os ventos provenientes do quadrante leste (NE, E, SE e SSE). Os ventos de SE e SSE são coincidentes com o período chuvoso, relacionados aos avanços episódicos da Frente Polar Atlântica, enquanto que os ventos de NE e E com o período seco (Barbosa & Dominguez, 2004). As marés do litoral de Sergipe são do tipo mesomaré, e características semi-diurnas apresentando amplitude de 2m, com dois picos de marés altas e baixas (DHN, 2001).

A planície costeira segue o modelo clássico das costas que avançam em direção ao oceano, em decorrência do acréscimo de sedimentos mais novos, em que cada cordão litorâneo representa depósitos individuais associados a uma antiga linha de praia (Dominguez, *et.al*, 1992). A área investigada inclui sedimentos quaternários de idades pleistocênica e holocênica, depositados em



ambientes marinho, fluviomarinho, lacustre e eólico (Bittencourt *et. al*, 1983), e engloba formações como manguezais, restingas, dunas e lagoas costeiras.

Os processos morfodinâmicos que atuam na linha de costa representados por ações naturais físicas são basicamente gerados pela ação das ondas, correntes costeiras e marés, que exercem influência na modelagem costeira.

### *6.2 Evolução Histórica e da Ocupação da Linha de Costa*

A interferência antrópica, que se intensificou desde a metade do século XX, atua como agente modificador das feições morfológicas das áreas costeiras e da sua dinâmica ambiental. Na área em estudo, em especial a região da desembocadura do rio Sergipe, nos últimos 50 anos apresentou um intenso processo de urbanização.

Perfazendo cerca de 24 km de extensão a zona costeira do município de Aracaju, apresenta algumas diferenças marcantes ao longo do sistema praiar. As áreas que na década de 50/60 apresentavam apenas manguezais e dunas foram ocupadas pela incorporação imobiliária, sem que fossem analisadas as consequências que isto traria à dinâmica costeira.

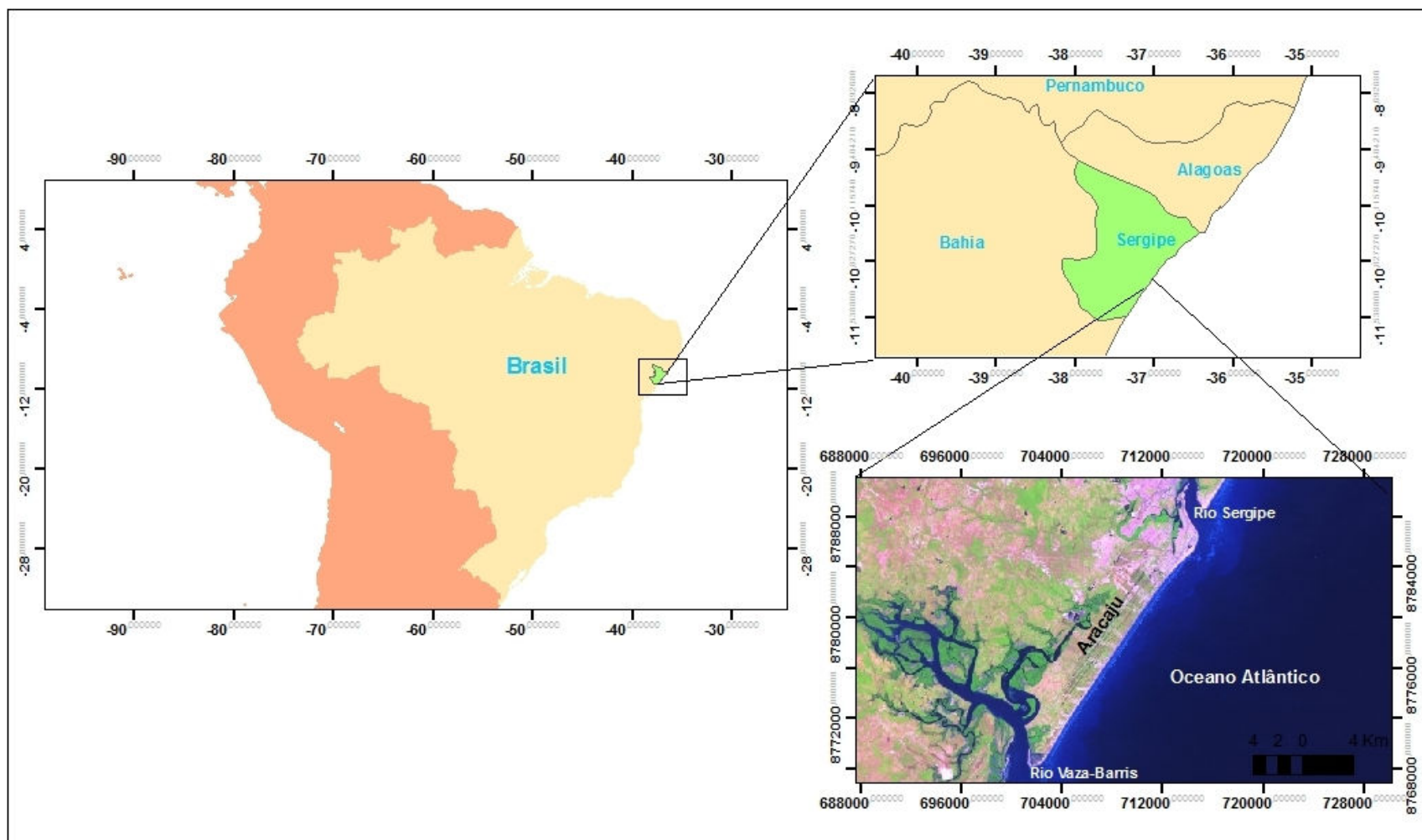


Figura 07: Localização da área de estudo (fonte: Atlas SRH/SE e Imagem Spot 2005).

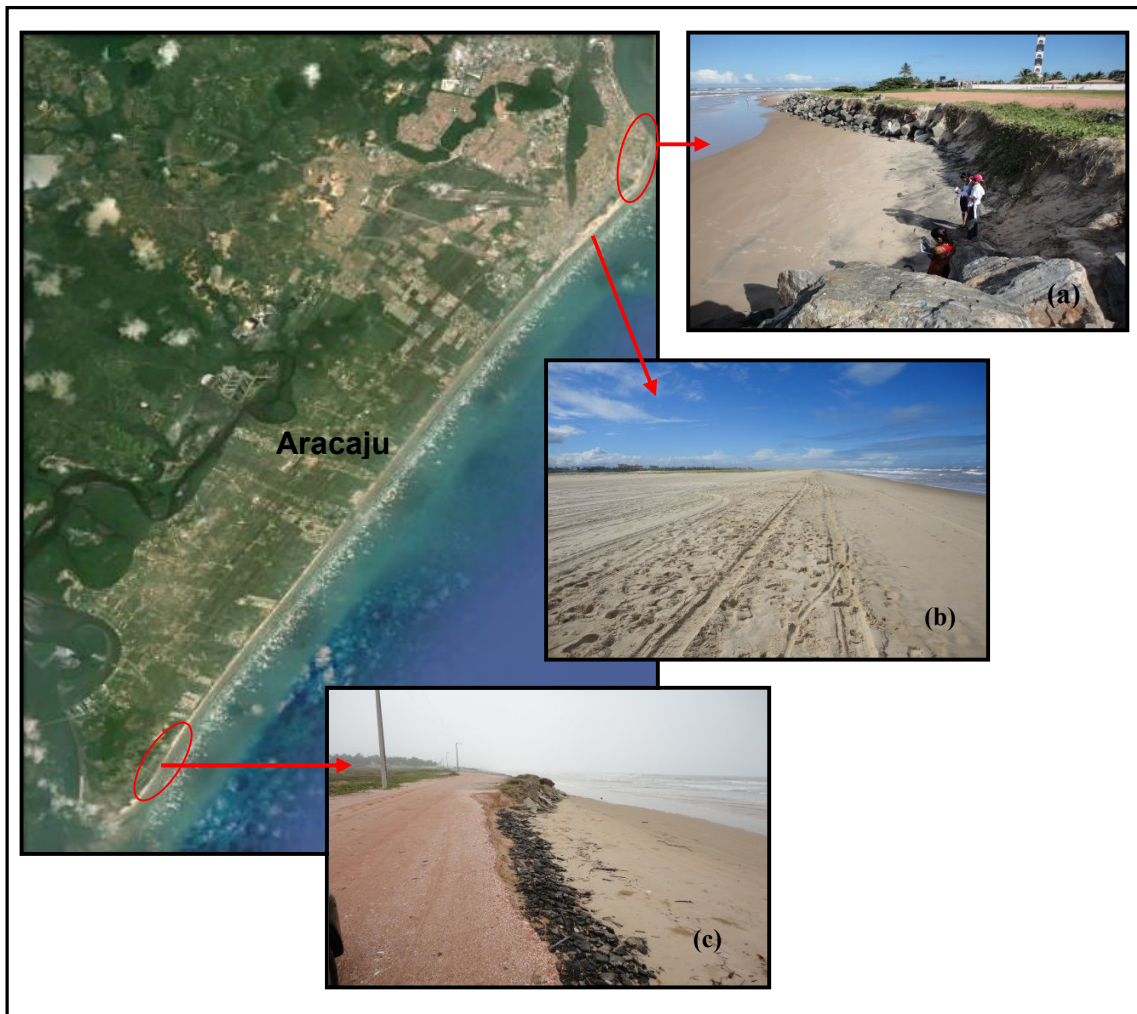


Figura 08: Variação da largura da praia ao longo da área de estudo: (a) e (b) setor norte, (c) setor sul. Fonte: Imagem Landsat 2013 (Google Earth) e fotos do Laboratório de Estudos Costeiros - UFBA.

Existem vários registros em jornais da ocorrência de diversos eventos severos de erosão costeira durante as chamadas “ressacas do mar”, caracterizadas por sobre-elevação do nível do mar e grandes ondas. Tais eventos episódicos, na maior parte das vezes provocam consideráveis prejuízos econômicos, como desabamento de muros e calçadas, destruição de barracas de praia, que muitas vezes são arrastadas pela força das ondas, além de constituir risco para banhistas (Figuras 09 e 10). Esses eventos normalmente estão relacionados às denominadas marés meteorológicas, que são definidas como sendo a diferença entre a maré observada e a maré astronômica (Pugh, 1987).

### Mar causa destruição na Orla de Atalaia

capital ( 27/10/2007 15:27:18 )

A situação na área que compreende a praça de eventos da Orla de Atalaia é de destruição devido ao avanço do mar, o qual já comprometeu as calçadas e parte do estacionamento. Desde a semana passada o visual do lugar apresenta constante mudança. É o mar que pede de volta o seu espaço.



Este era o visual na semana passada, onde a calçada ainda não havia sido destruída.



Quem estava acostumado a frequentar este trecho de praias do litoral sergipano, se surpreendeu ao constatar a mudança da paisagem com a destruição provocada pela alta das marés. Para alguns dos frequentadores, essa mudança foi positiva, como é o caso dos surfistas que adotaram o lugar como o principal ponto de prática do esporte.

B-2 | ARAÇUJ, SEXTA-FEIRA, 25 DE JANEIRO DE 2008

CIDADES

JORNAL DA CIDADE

## Maré alta destrói mais áreas da praça de eventos da Orla

Calçada e estacionamento são os mais atingidos pela ressaca do mar

**A** maré alta no litoral sergipano, que alcançou 2,3 metros na tarde de ontem, 24, agravou ainda mais a destruição na área da calçada e do estacionamento da praça de eventos da Orla de Atalaia, cuja força do mar já havia causado danos na última quarta-feira, 23, quando a alta da maré também chegou a 2,3 metros no período da tarde e a 2,5 metros na madrugada. O Centro de Hidrografia da Marinha informa que até sábado, 27, o cenário não será muito diferente e as altas se mantêm acima de dois metros.

Quanto à estrutura física do espaço danificado, o Departamento Estadual de Habitação e Obras Públicas de Sergipe (Dehop) ainda não realizou um planejamento para conter a situação. De qualquer maneira, técnicos da Energipe visitaram o local na tarde de ontem porque alguns postes, instalados na região atingida fortemente pelas ondas, poderiam apresentar riscos à população. A meteorologista Lene Andrade, do Centro de Meteorologia de Sergipe, informa que as marés altas são comuns nesta época do ano. As chuvas já registradas, por sua vez, são conseqüências



ONDAS MEDINDO 2,3 metros de altura atingiram a praia de Atalaia ontem, destruindo a calçada da praça de eventos

da atuação da borda de um vórtice ciclônico de alto nível sobre a região. Além do quadro atual de chuvas e maré alta, Lene Andrade informa que ainda há condições para o registro de trovoadas nos próximos dias. "Seja pelo vórtice ciclônico como pelo calor, ou ainda pela convergência de unidade do oceano para o continente. Tudo isso associado pode gerar trovoadas a qualquer momento", explicou. As

temperaturas, por sua vez, estão bem elevadas. O sereno vem registrando até 37°. Em Aracaju já foram registrados 29°, 30° e 31° nesse período. "A previsão climática é de que se mantenha em torno da normal. Em março é que surgem as chuvas contínuas na região, mesmo sem descartar possibilidade de pancada de chuva nos próximos dias".

O amadurecimento do fenômeno La Niña, oposto ao

El Niño, também significa uma tendência ao esfriamento. O La Niña corresponde ao resfriamento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental, gerando águas frias nessas oceanos. "O Atlântico também é significativo em nossas chuvas. Se ele vier quente, favorece as chuvas, principalmente associado ao La Niña. Mas, o oceano atualmente está próximo da normalidade".

CAMARÃO

## Abastecidos, barcos voltam para pescaria

**O**s barcos de pesca dos entrepostos de Aracaju, Pirambu e Barra dos Coqueiros voltaram às atividades normais no dia de ontem. Cerca de 40 embarcações, das 90 existentes, ficaram paradas por quase cinco dias por falta de óleo diesel. As distribuidoras não quiseram fornecer o produto aos pescadores sem a publicação da portaria de isenção da taxa do ICMS. Por causa disso, eles não tiveram condições de pagar mais caro pelo óleo e ancoraram os barcos nos entrepostos.

No último quarta, após a reclamação desses trabalhadores feita na imprensa, o secretário da Fazenda, Nilson Lima, resolveu a situação, assinando a portaria e mandando publicá-la. "Graças a Deus, ele teve consideração com a gente e assinou logo a portaria. Hoje (ontem) mesmo os barcos já entraram no alto mar e voltaram às atividades normais", disse o presidente do Conselho de Desenvolvimento Pesqueiro de Pirambu (Condep), Josué Moraes de Souza, ressaltando que a demora para solucionar o problema poderia gerar grandes prejuízos.

Um exemplo do aumento do preço do chamado por conta da escassez do produto. Mas, já está tudo certo e isso não vai mais acontecer. Pelo menos por conta do óleo diesel", declarou. Ele explica que a portaria é atual e já deveria ter sido assinada desde o início deste mês. O litro de óleo diesel na bomba está custando em torno de R\$ 2, na-dia R\$ 1,85. Com a isenção do ICMS, os pescadores pagam R\$ 1,552 por litro.

Além da isenção da taxa do ICMS em cima do óleo diesel para os pescadores por meio do governo do Estado, a categoria também é beneficiada com outra isenção de imposto, pelo governo federal. Sendo que esta última já havia sido aprovada e publicada desde o dia 21 de dezembro.

IPVA

## Pagamento começa dia 11

**O** calendário de pagamento do IPVA e do Licenciamento anual de veículo de 2008 começa no dia 11 de fevereiro para os veículos com fim de placa 1. Em Sergipe, são mais de 308 mil veículos cadastrados no Detran, sendo que 159 mil são empregados na capital, Aracaju, Itabaiana e Lagarto. Hideram o ranking das cidades do interior que mudaram

o Certificado de Registro e Licenciamento do Veículo (CRLV), que é o documento do veículo. Caso isso não ocorra, os clientes podem se dirigir a qualquer unidade de atendimento do órgão, na capital ou interior, portando o comprovante de pagamento e a carteira de identidade. Será emitida uma segunda via do CRLV para o proprietário do veículo.

Figura 09 – Recortes do Jornal da Cidade (2007 e 2008) relatando problemas de erosão na área em estudo.

# Ondas de 5 metros ameaçam bares na praia de Atalaia Nova

>> Mar revolto deixa donos de estabelecimentos comerciais apreensivos



Diógenes DVC/S

Se antes das chuvas a situação nas ruas já era difícil, depois ficou impossível transitar

Mércia Oliva

Que é maravilhoso para uns, é temido por outros. A ressaca que acontece na Praia de Atalaia Nova, bem próximo aos poucos bares que ainda estão em fun-

cionamento, mostra a beleza das águas no quebra mar das pedras que existe para conter a força das ondas que chegam até cinco metros de altura. Essa ressaca acontece geralmente no mês de março e traz consigo a incôstância e o medo para os donos

de bares. Paralelamente ao local estão as obras para fazer a construção da nova orla.

Dos três bares que estão em funcionamento e mais um trailer, dois dos bares estavam fechados na tarde de ontem, ficando abertos somente um bar

e o trailer. Ao ser indagados os proprietários pela equipe do Correio de Sergipe, como eles lidavam com a ressaca, foi respondido pela proprietária Patrícia Emídio que todos ficam apreensivos com as ondas altas, mas já está acostumada.

Para Maria Stenia, que reside no local há mais de seis anos, relatou que gosta muito desse tempo. "Esse espetáculo traz um bem grande e não tenho nenhum medo da ressaca trazendo ondas altas. A água chega próximo ao meu trailer, passa bem na porta, mas estou acostumada", disse.

Ela também relatou que a obra da orla é de competência do Estado e que a Prefeitura da Barra dos Coqueiros - que administra a Atalaia Nova, só está dando apoio logístico. "Disseram que vou sair daqui e serei indenizada, estou esperando", disse Stenia.

Enquanto isto, todos ficam admirando o mar, mas receosos com as estruturas dos seus bares de que não sejam engolidos pelas ondas.

Figura 10 – Recorte do Jornal Correio Urbano (2010) relatando problemas de erosão na área em estudo.

Na área em estudo, em especial a região norte do município, na praia de Atalaia existe um elevado número de obras de engenharia. Cabendo destacar que a praia foi modificada no seu limite interno pela construção da rodovia José Sarney em meados de 1986. Essa rodovia liga as praias da Atalaia à região conhecida atualmente como zona de expansão e praia do Mosqueiro, local esse onde se localiza um dos principais pontos de erosão (Figura 11).



Figura 11: (a) Praia de Atalaia na década de 60 (Foto: Acervo A. Gentil); (b) Visão da praia de Atalaia anos 70/80, em destaque o local no qual a rodovia foi construída a rodovia (Foto: Arivaldo Azevedo); (c) Rodovia José Sarney década de 90 (Foto: autor desconhecido); (d) Visão da rodovia danificada, erosão iniciada em 2004 (Foto: Ascom DER); e (e) Pista destruída em 2006 (Foto: da autora).

Rodrigues (2008) através da superposição das linhas de costa para diferentes datas evidenciou trechos experimentando recuo da linha de costa, que iam desde alguns metros até cerca de 1 km, assim como trechos que experimentaram progradação. Na Atalaia Velha, no período de 1965 a 2003, o balanço sedimentar na região foi positivo e ocorreu progradação da linha de costa. A ocupação humana se expandiu sobre a área progradada em 2005, com instalação de obras de infraestrutura de recreação e lazer, tais como praça de eventos, pista de aerodelismo, lagos da orla, entre outros. No período subsequente, de 2003 a 2008, o balanço sedimentar na região foi negativo e a erosão da linha de costa provocou a destruição parcial ou total de algumas das estruturas antrópicas situadas próximas ao farol do rio Sergipe (Figuras 12 A e 13).

No Mosqueiro, no período de 1965 a 1984, o balanço sedimentar na região foi positivo e ocorreu progradação da linha de costa. A partir de 1984, o balanço sedimentar na região foi negativo e o recuo da linha de costa foi intensificado. A partir do ano de 2003, os eventos erosivos severos causaram a destruição parcial da rodovia José Sarney na sua extremidade sul, próximo ao farol do rio Vaza-Barris, causando danos socioeconômicos (Figura 12 B e 14).

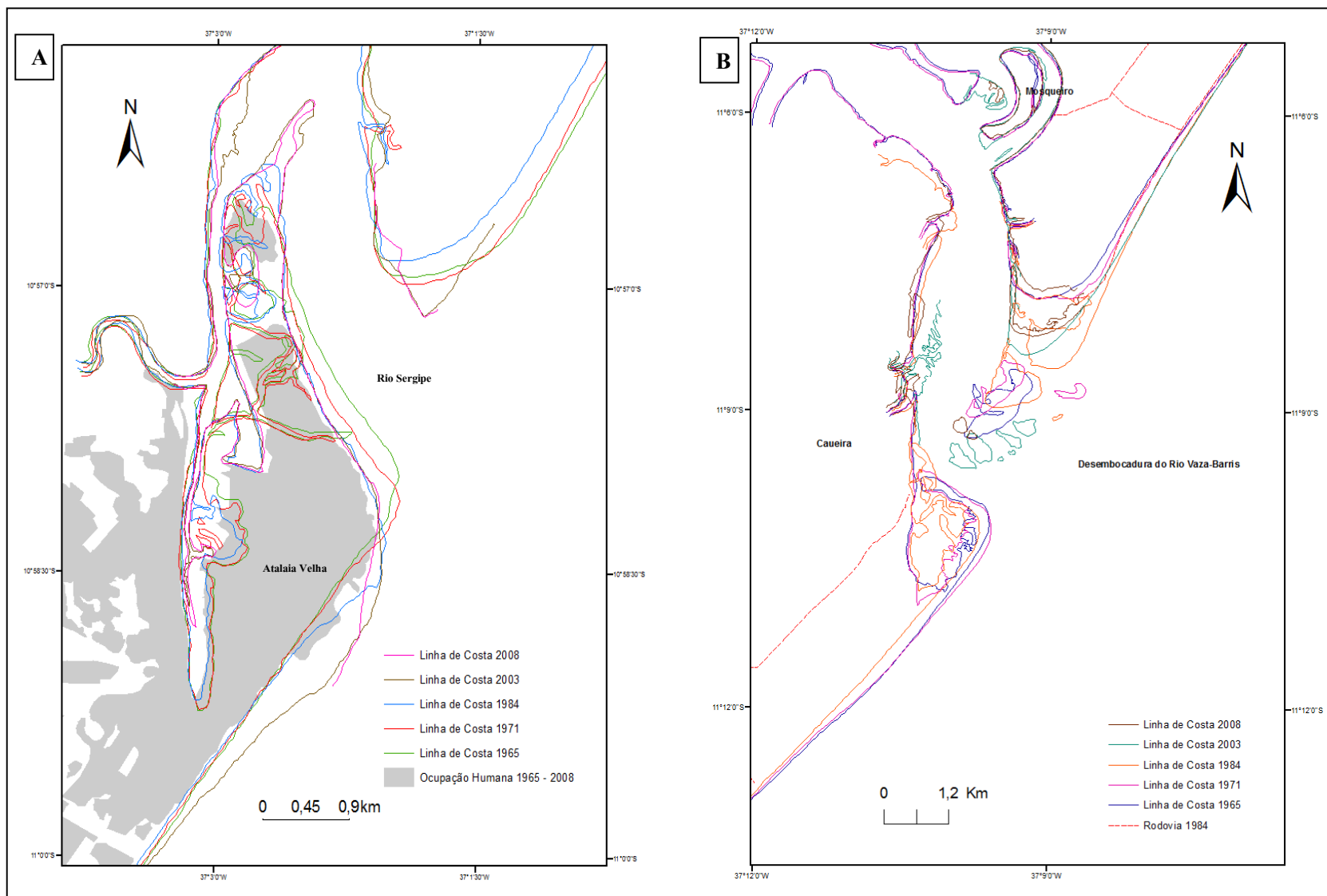


Figura 12: **A** - Comportamento da linha de costa e expansão da ocupação humana no período de 1965 a 2008 na praia da Atalaia Velha. **B** - Comportamento da linha de costa e expansão da ocupação humana (rodovia José Sarney, tracejado em vermelho) no período de 1965 a 2008 no Mosqueiro.





Figura 13: Foto (A) de Janeiro de 2006, mostrando a Praça de Eventos com a passarela de acesso a praia e os bares da Coroa do Meio. Foto (B) em 2008, erosão nos bares/restaurantes da Orlinha da Coroa do Meio e fotos (C e D) em 2007, mostrando a erosão na Praça de Eventos da Orla. Fonte: (A) Reinado Mota; (B e C) Fábio Nascimento e (D) Elaine Feitosa.

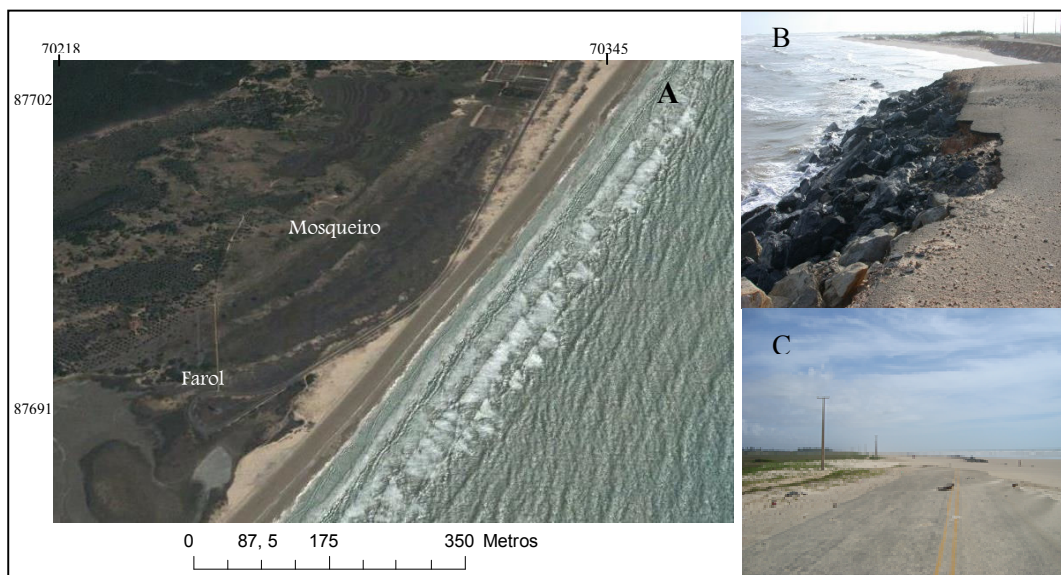


Figura 14: Imagem de satélite de 2003 (Google Earth) mostrando a rodovia José Sarney, nas proximidades do Farol. Foto (B) em 2005, visão para sul com o farol ao fundo, mostrando o recuo da linha de costa com a destruição parcial da rodovia José Sarney. Foto (C) em 2009, visão para norte da pista erodida. Fonte: (B) Tais Rodrigues e (C) Fábio Nascimento.

## 7. UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA (SMC-BRASIL)

---

O SMC-Brasil ainda está em fase de implementação, sua utilização ainda é incipiente e tratada como tema de algumas dissertações e teses que têm o objetivo de testar a base de dados e os modelos de propagação de ondas, como estudos de caso nos estados de Santa Catarina (Almeida, 2013) e São Paulo (Luca, 2011). Outros estudos de casos estão sendo desenvolvidos nos estados do Rio Grande do Norte (RN), Pernambuco (PE) e em Sergipe (SE), e os resultados aqui apresentados fazem parte de um estudo de caso sergipano. Para o desenvolvimento desta pesquisa foi estabelecido um acordo de cooperação técnica entre Ministério do Meio Ambiente e a UFBA (em anexo), o que permitiu o acesso à versão preliminar do programa e a capacitação para utilização da ferramenta.

### **7.1 Dinâmica Marinha**

#### *7.1.1 Definição do Ponto da Base de Dados*

Na caracterização do clima marítimo da região, diversos pontos DOW (*Downscaled Ocean Waves*) foram avaliados, em águas intermediárias (profundidades entre 13 e 28m), em função das possíveis interferências nos resultados da modelagem, sendo que todos apresentaram dados similares (Figura 15). Devido a limitações do modelo de propagação, característico para estudos com área limitada e efeitos locais, não é possível a propagação partindo-se de malhas tão amplas (águas profundas). Deste modo, foi necessário que se determinasse o ponto inicial de propagação desde águas intermediárias até a zona de estudo.

Para a caracterização do clima de ondas em águas intermediárias para a região das praias do município de Aracaju, decidiu-se por selecionar o ponto P3, onde a lâmina d'água é de 26m, na latitude -11,117°S (8770294 UTM) e longitude -36,997°W (718727 UTM) como mostra a figura 15.

A partir dos dados obtidos para o ponto P3, os espectros de ondas foram propagados utilizando o Modelo de Propagação de Ondas Espectral (OLUCA-SP), do SMC-Brasil. O modelo OLUCA-SP é um modelo de propagação de ondulação espectral não dispersivo baseado na equação de declividade suave em sua forma parabólica, que resolve a fase mediante as equações de continuidade da massa e conservação do momento. O OLUCA-SP agrega ainda modelos de propagação não lineares, simulação da capa limite turbulenta ou laminar, a rugosidade do fundo, entre outros fatores. Desta maneira é capaz de simular os processos de transformações que sofrem as ondas em águas intermediárias e rasas, caso da área de estudo.

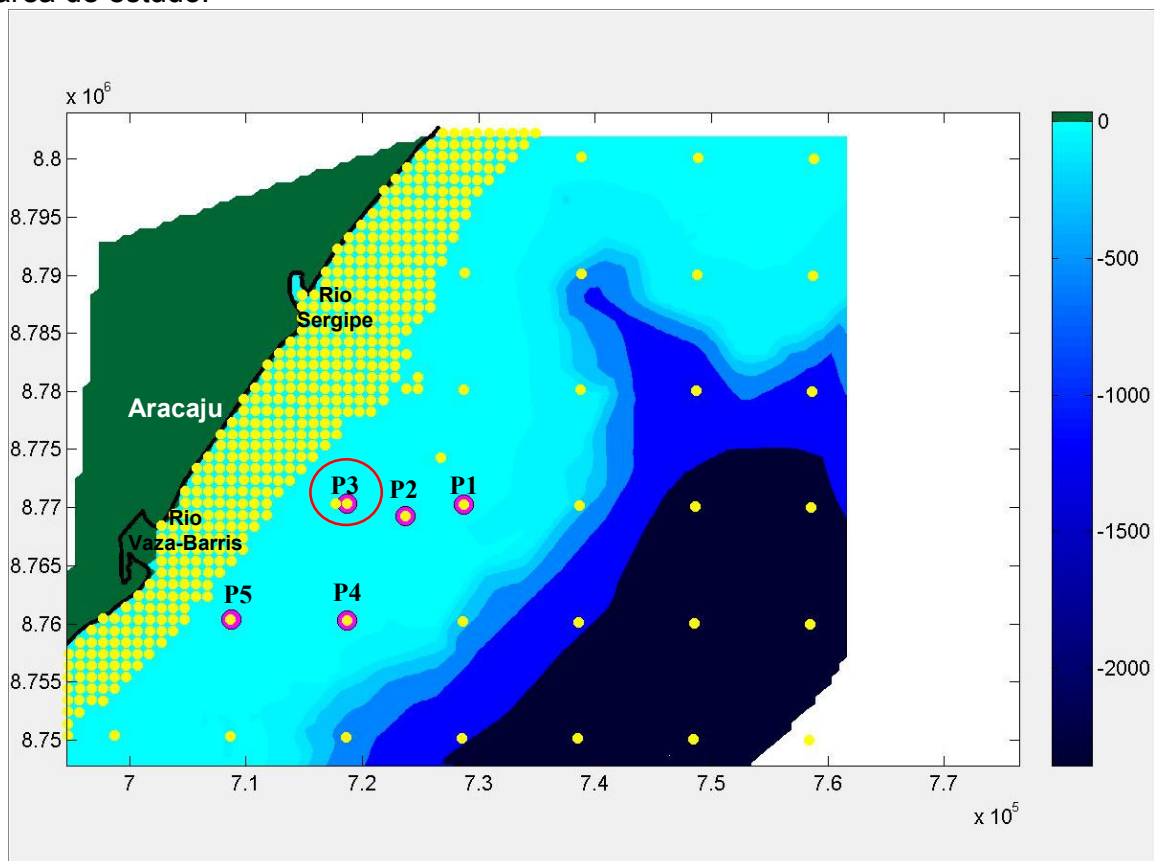


Figura 15: Pontos DOW, com destaque para alguns dos pontos avaliados em águas intermediárias, dentre os quais se escolheu o ponto P3.

### 7.1.2 Ondas em Águas Intermediárias

As ondas transportam até a costa uma grande quantidade de energia que é dissipada na quebra da onda na zona de surfe, possibilitando a geração de correntes, mudanças no nível do mar, movimentos dos sedimentos, turbulência e calor (MOHR, 2003). Durante períodos de tempestades essa energia é ampliada, com uma maior altura do *run-up*, sendo esse a soma das componentes da maré astronômica, maré meteorológica, e ondulação incidente.

Uma tempestade pode ser considerada como um distúrbio atmosférico caracterizado por ventos fortes que podem ser acompanhados de precipitação, formando ondas maiores que as criadas em condições normais, além de gerar elevações anormais no nível do mar próximo da costa, provocando marés meteorológicas e alterando bruscamente o regime energético das ondas no local (MOHR, 2003).

Desta forma, a praia e as dunas são fortemente atacadas pelas ondas incidentes, e geralmente resultam em processos erosivos. Quando ondas de tempestade chegam à praia, estas quebram com muita intensidade, e como consequência, um grande volume de água é lançado sobre a face da praia (Van Rijn, 2009). Entende-se então, que além da elevação do nível do mar pela presença de uma onda longa de maré, há o empilhamento de água na costa pelo processo de arrebentação das ondas (Marone e Camargo, 1994),

Na caracterização das ondas da área em estudo, foram definidas propagações desde águas intermediárias a 26m de profundidade no ponto P3, para casos relacionados às condições de tempestade ( $H_{s12}$  e  $T_{p12}$ , valores em média superados somente 12 horas ao ano) e medianas ( $H_{s50\%}$  e  $T_{p50\%}$ ) para cada uma das principais direções.

Considerando-se os dados gerados da base de dados do SMC-Brasil (entre os anos de 1948 e 2008), a partir do ponto P3, verifica-se que duas direções de ondas atuam predominantemente, aquelas provenientes de leste-sudeste (ESE), e as de Sudeste (SE) que juntas representam mais de 95% das ondas incidentes neste ponto. Porém há a presença de ondulações de leste (E) e Sul-sudeste

(SSE), como indica a Tabela 02. Na avaliação das quatro principais direções (E, ESE, SE e SSE) que somadas representam 100% da ondulação incidente em P3, se observa que a altura de onda em condições de temporais anuais ( $H_{s12}$ ) e os períodos de pico para as condições de tempestade ( $T_{p12}$ ) variam consideravelmente entre as quatro principais direções, sendo que para ondas de tempestade provenientes de SSE, o período de pico é de 16,2s e a altura é de 3,3m, enquanto que para as ondas de tempestade provenientes de E o período de pico é de 9,6s e a altura é de 1,9m. Para as condições medianas, a altura de onda significativa ( $H_{s50\%}$ ) variou de 1,2 a 1,7m e o período de pico ( $T_{p50\%}$ ) variou de 7,0 a 9,0s, dependendo da direção das ondas.

Na tabela 01 de forma sintetizada encontram-se os parâmetros de altura de onda, período de pico e probabilidade de ocorrência para cada direção ( $H_{s50\%}$ ,  $T_{p50\%}$ ,  $H_{s12}$  e  $T_{p12}$ ). Os dados apresentados nessa tabela foram extraídos das figuras 16 e 17 gerados no SMC Tools, no ponto DOW (P3).

Direção	Prob. Direção	$H_{s50\%}$	$T_{p50\%}$	$H_{s12}$	$T_{p12}$
E	0,0043	1.2007	7.0185	1.9455	9.6685
<b>ESE</b>	<b>0,5001</b>	<b>1.4004</b>	<b>7.9013</b>	<b>2.5199</b>	<b>12.1385</b>
<b>SE</b>	<b>0,4593</b>	<b>1.5010</b>	<b>8.0211</b>	<b>2.8440</b>	<b>15.7044</b>
SSE	0,0363	1.7882	9.0426	3.3123	16.2673

Tabela 01: Caracterização do clima de ondas do ponto P3.

A figura 18 apresenta a caracterização do clima de ondas incluindo ainda a localização deste ponto, a batimetria da área de estudo, a série temporal de altura de ondas significativas, as rosas direcionais de altura ( $H_s$ ) e período ( $T_p$ ) e uma tabela com as frequências direcionais que mostra que 50,01% das ondas apresentam direção de ESE (leste-sudeste) seguidas das de SE (sudeste) com 45,93%. Na figura 19, estão representadas as rosas direcionais das ondas, separadas por estações do ano, em que graficamente se destaca a dominância das ondas provenientes de ESE durante as estações de primavera e verão. Durante o outono a predominância é de ondas de SE, e no inverno a ocorrência

de ondas de ESE e SE quase que na mesma proporção, durante esse período observam-se os maiores valores de alturas de ondas.

**TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS**

Variável medida: Hs

direções(Â°)	prob.direção	Hs <sub>50%</sub>	Hs <sub>90%</sub>	Hs <sub>99%</sub>	Hs <sub>1,2</sub>
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	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
E	0.0043	1.2007	1.5206	1.8177	1.9455
ESE	0.5001	1.4004	1.8388	2.2464	2.5199
SE	0.4593	1.5010	1.9843	2.5061	2.8440
SSE	0.0363	1.7882	2.4764	2.9669	3.3123
S	0.0000	1.3360	2.0406	2.1214	2.1214
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

Figura 16 – Variável Hs no ponto P3.

**TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS**

Variável medida: Tp

direções(Â°)	prob.direção	Tp <sub>50%</sub>	Tp <sub>90%</sub>	Tp <sub>99%</sub>	Tp <sub>1,2</sub>
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	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
E	0.0043	7.0185	8.1646	9.2109	9.6685
ESE	0.5001	7.9013	9.4943	10.8990	12.1385
SE	0.4593	8.0211	10.5097	13.7636	15.7044
SSE	0.0363	9.0426	12.3432	14.7117	16.0126
S	0.0000	11.5989	13.2628	13.2673	13.2673
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

Figura 17: Variável Tp no ponto P3.

Na Figura 20 estão apresentados os parâmetros altura de onda significativa (Hs) e período de pico (Tp), no ponto P3.

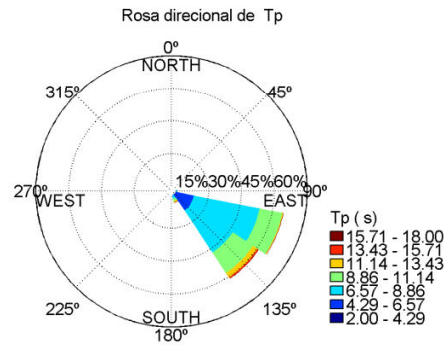
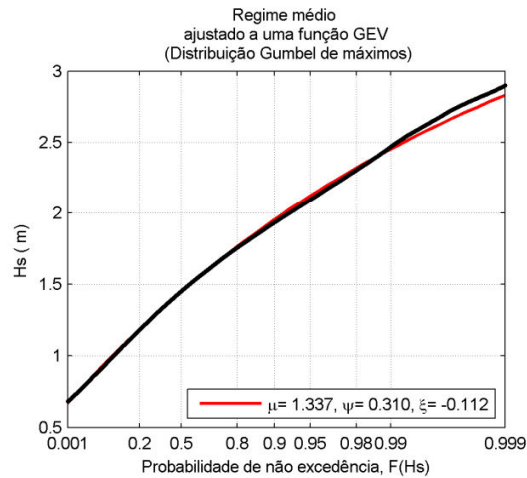
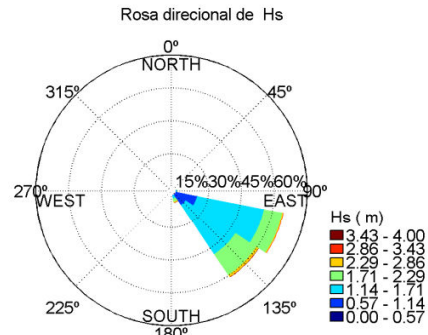
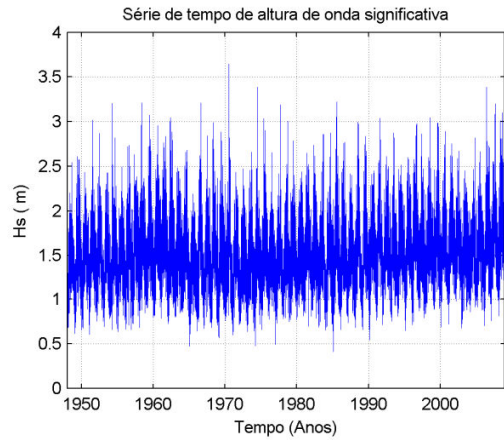
A altura de onda significativa ( $H_s$ ) varia entre 0,5m e 3,5m, sendo que 92,36% dos estados de mar apresentam ondas inferiores a 2,0m. O período de pico ( $T_p$ ) varia entre 2s e 17s, sendo que 95,52% dos estados de mar apresentam períodos de pico inferiores a 11s. As relações entre a altura de onda significativa  $H_s$  com o período de pico  $T_p$  e direção, verificada na distribuição conjunta  $H_s$ - $T_p$  e  $H_s$ -Dir, indicam que as ondas mais frequentes tem alturas de onda significativa entre 1,0 e 1,5m, e período de pico em torno de 5 e 8s em 30,84% dos casos. Comparando-se estes dados com os apresentados por Oliveira (2003), verificou-se uma boa concordância.

### *7.1.3 Maré Astronômica e Maré Meteorológica*

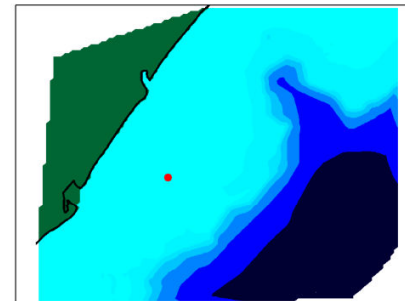
O regime de marés na região é do tipo mesomaré semi-diurna, apresentando duas marés altas e duas marés baixas a cada dia. Para as marés astronômicas foi utilizada a base de dados GOT para o ponto com coordenadas  $-11,236^\circ\text{S}$  e  $-36,77^\circ\text{W}$ , e para as marés meteorológicas o ponto da base de dados GOS com coordenadas  $-10,76^\circ\text{S}$  e  $-36,75^\circ\text{W}$ . Os resultados mostram que o regime de oscilação do nível do mar é principalmente governado pela maré astronômica, com oscilações entre  $\pm 1,4$  m, enquanto que as marés meteorológicas oscilam entre  $\pm 0,1$  m, com influência quase negligenciável (Figuras 21, 22 e 23).

Para se determinar o regime escalar extremo desses parâmetros, foi aplicada a distribuição dos extremos generalizada que superam 99,5% das frequências. Para um período de retorno de 10 anos, a altura de onda seria de 3,2 metros, com um período de aproximadamente 17 segundos (Figura 24), com maré meteorológica de 0,16 metros e maré astronômica de 1,26 metros, em águas profundas, em frente às praias da área de estudo (Figuras 21 e 22).

### Caracterização do Clima de ondas: Ponto DOW



Sector	%	Hs <sub>50%</sub>	Hs <sub>75%</sub>	Hs <sub>95%</sub>	Hs <sub>99%</sub>	Hs <sub>12</sub>
N	0.00	-	-	-	-	-
NNE	0.00	-	-	-	-	-
NE	0.00	-	-	-	-	-
ENE	0.00	-	-	-	-	-
E	0.43	1.20	1.35	1.62	1.82	1.95
ESE	50.01	1.40	1.62	1.97	2.25	2.52
SE	45.93	1.50	1.74	2.14	2.51	2.84
SSE	3.63	1.79	2.12	2.69	2.97	3.31
S	0.00	1.34	1.85	2.12	2.12	2.12
SSW	0.00	-	-	-	-	-
SW	0.00	-	-	-	-	-
WSW	0.00	-	-	-	-	-
W	0.00	-	-	-	-	-
WNW	0.00	-	-	-	-	-
NW	0.00	-	-	-	-	-
NNW	0.00	-	-	-	-	-
Escalar	100.00	1.46	1.70	2.10	2.47	2.85
Calmas	0.00	-	-	-	-	-



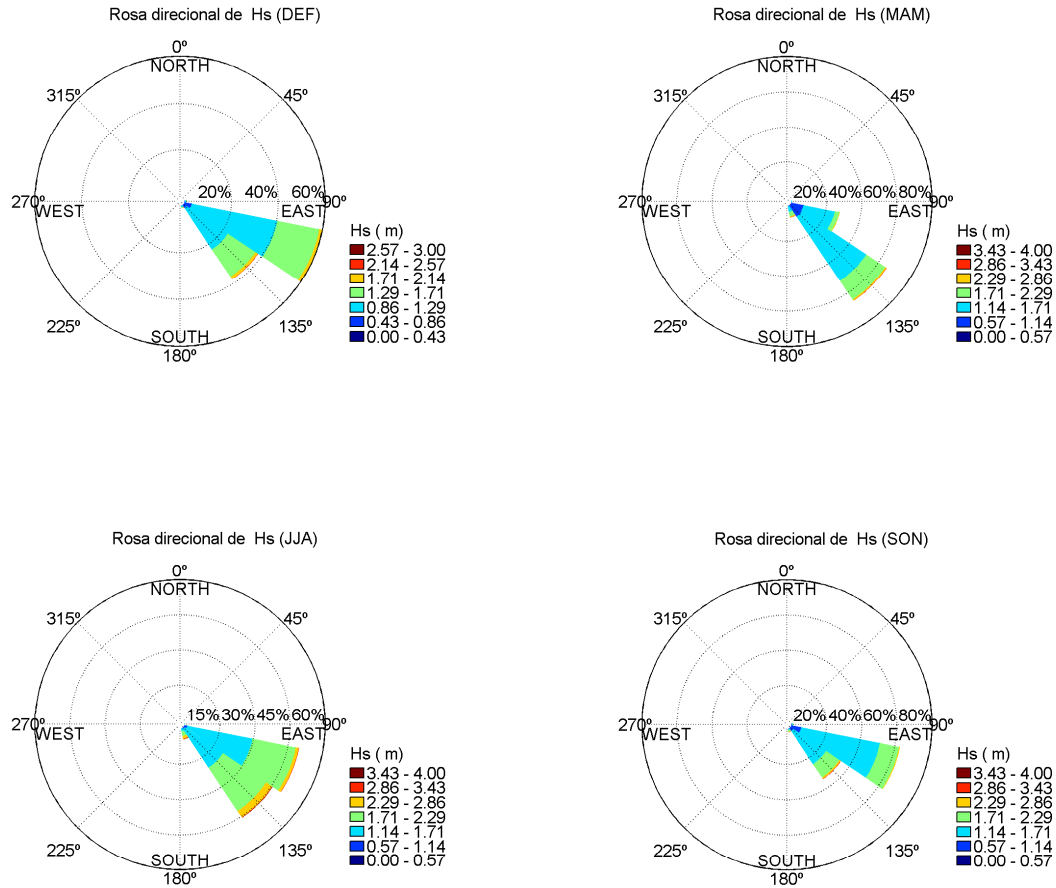
Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	SMC tese2
Alternativa	Alternativa 1



Figura 18: Caracterização do clima de ondas no ponto DOW (P3) com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp).

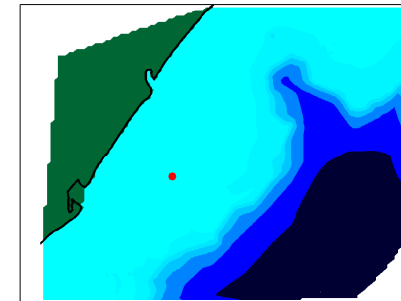


Rosas estacionais de Altura de onda significativa, Hs: Ponto DOW



Períodos compreendido nas estações

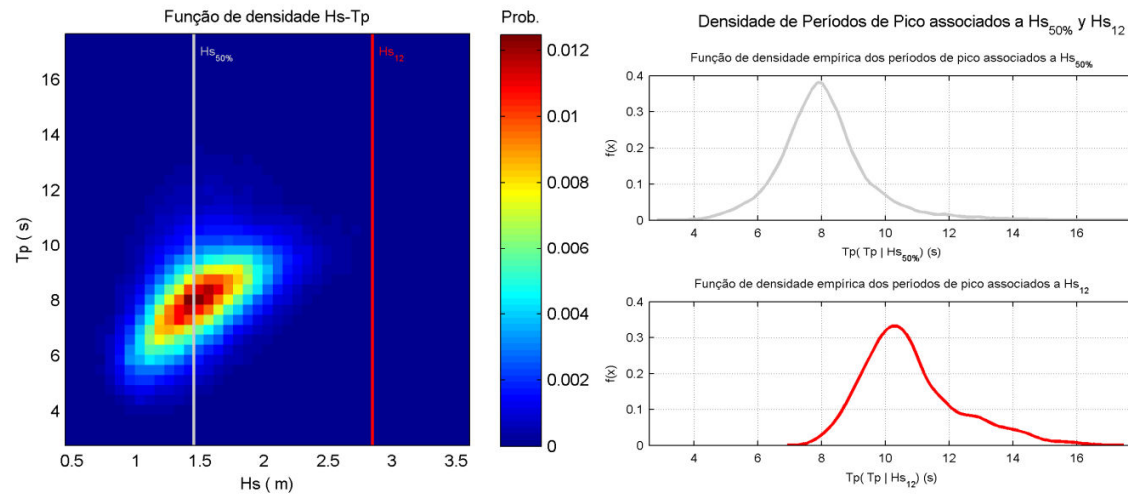
DEF : Dezembro, Janeiro e Fevereiro  
 MAM : Março, Abril e Maio  
 JJA : Junho, Julho e Agosto  
 SON : Setembro, Outubro e Novembro



Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	SMC tese2
Alternativa	Alternativa 1

Figura 19: Rosas de direções de ondas do ponto P3 para cada estação do ano: Verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro); Outono (Março, Abril e Maio); Inverno (Junho, Julho e Agosto) e Primavera (Setembro, Outubro e Novembro).

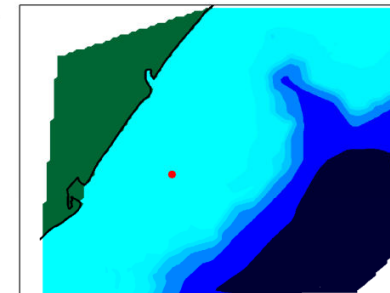
## Função de densidade conjunta da Altura Significativa e Período de Pico, Hs-Tp: Ponto DOW



Pecentis da altura de onda significativa

Hs <sub>50%</sub> (m)	Hs <sub>12</sub> (m)
1.46	2.85

Tp (s) \ Hs (m)	0 - 0.5	0.5 - 1	1 - 1.5	1.5 - 2	2 - 2.5	2.5 - 3	3 - 3.5	3.5 - 4	Total (%)
2 - 5	0.00	0.85	1.44	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	2.43
5 - 8	0.01	4.67	30.84	11.94	0.80	0.01	0.00	0.00	48.26
8 - 11	0.00	0.72	15.15	23.16	5.20	0.58	0.02	0.00	44.83
11 - 14	0.00	0.08	1.29	1.75	0.63	0.20	0.02	0.00	3.98
14 - 17	0.00	0.01	0.12	0.20	0.11	0.04	0.01	0.00	0.50
<b>Total (%)</b>	0.01	6.32	48.84	37.19	6.74	0.84	0.05	0.00	-

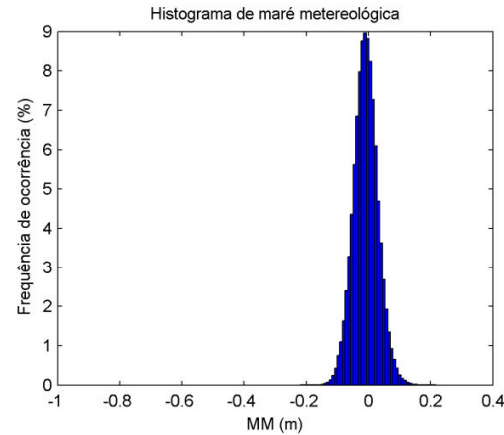
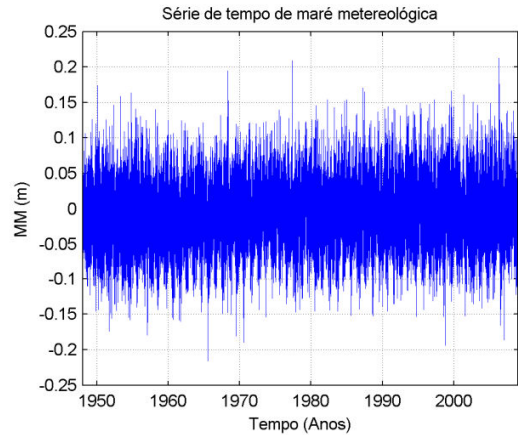


Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	SMC tese2
Alternativa	Alternativa 1



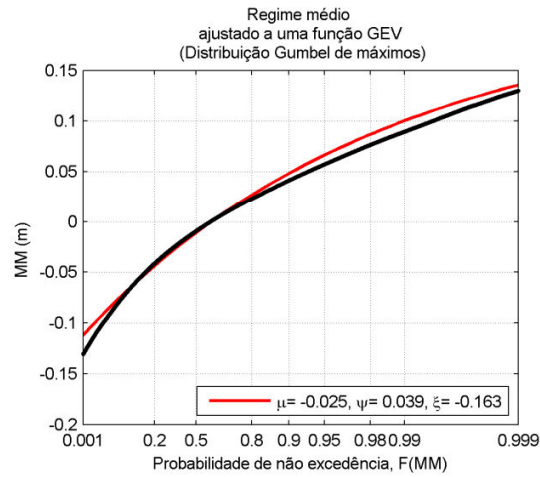
Figura 20: Relação quantitativa (%) entre altura (Hs) e período (Tp) de ondas no ponto DOW (P3).

### Caracterização da Maré Meteorológica, MM (com referência ao NMM local)

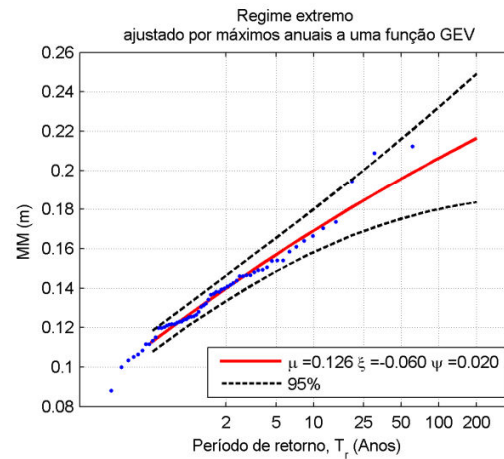


Localização do ponto de maré meteorológica

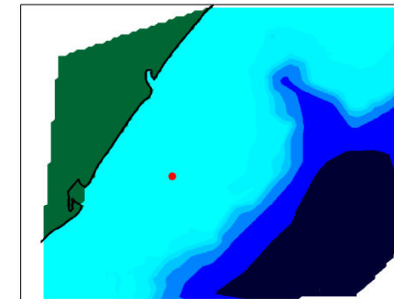
- Latitude: -10.76 °
- Longitude: -36.75 °



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$



$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$

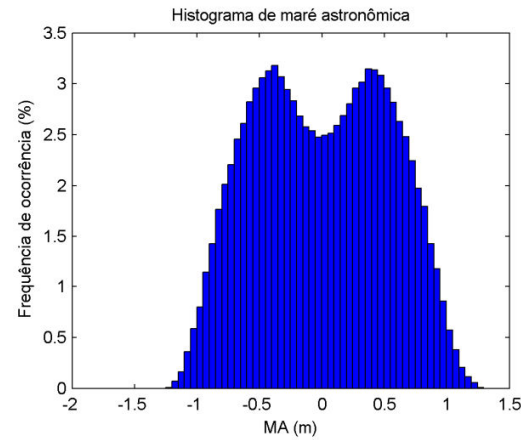
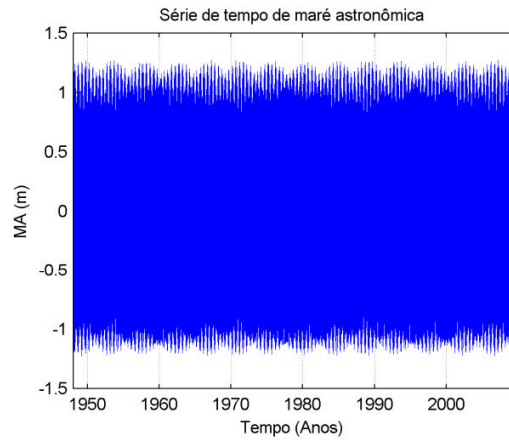


Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	SMC tese2
Alternativa	Alternativa 1



Figura 21: Caracterização da Maré Meteorológica no ponto DOW (P3) com: série temporal (1950-2000), regime médio e regime extremo.

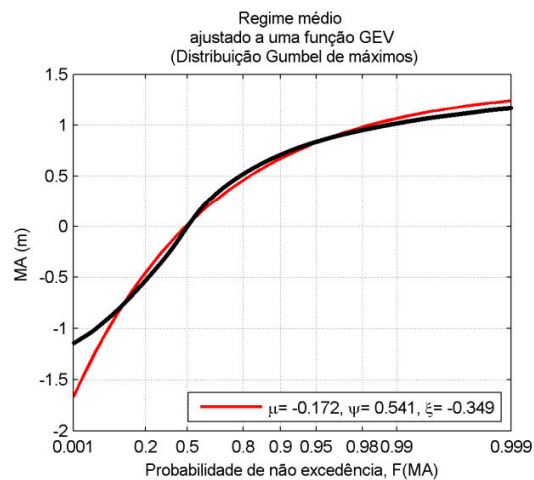
## Caracterização da Maré Astronômica, MA (com referência ao NMM local)



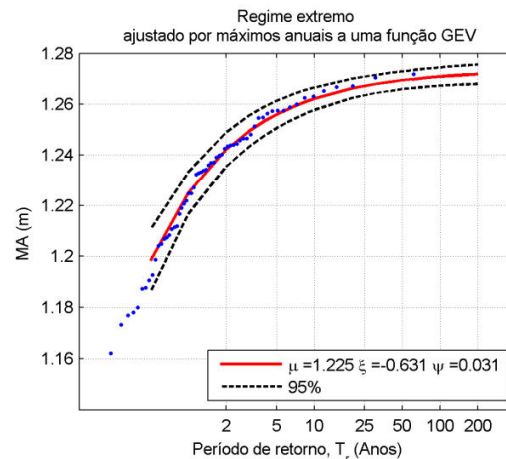
Localização do ponto de maré astronômica

- Latitude: -11.23 °

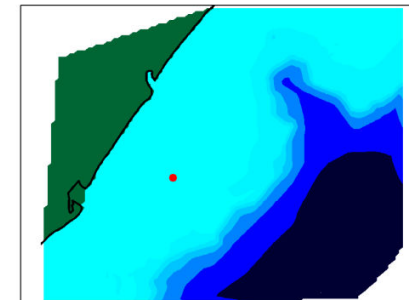
- Longitude: -36.77 °



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$



$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \psi \xi \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$

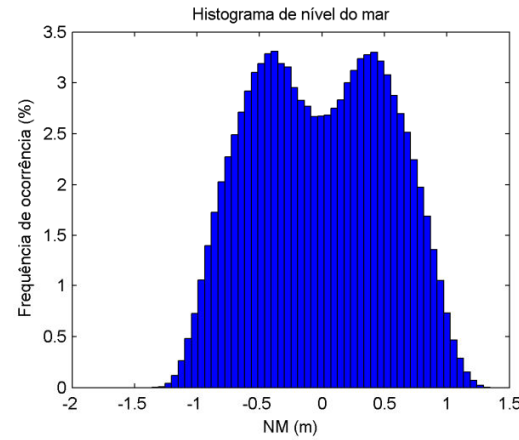
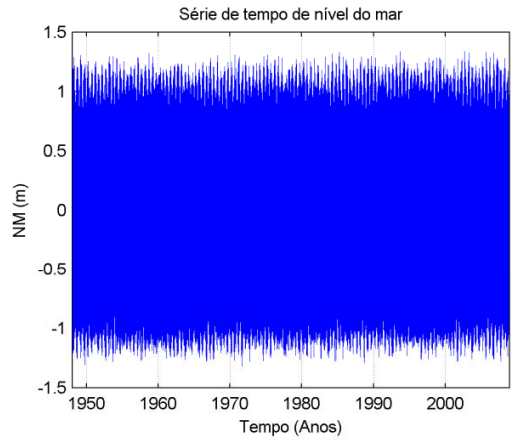


Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	SMC tese2
Alternativa	Alternativa 1



Figura 22: Caracterização da Maré Astronômica no ponto DOW (P3) com: série temporal (1950-2000), regime médio e regime extremo.

### Caracterização do Nível de Maré, NM (com referência ao NMM local)

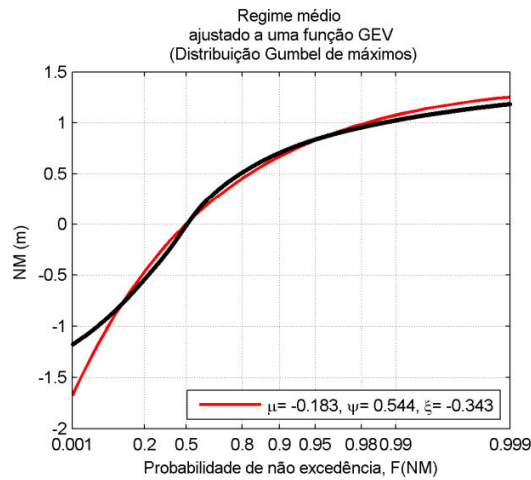


Localização do ponto de maré meteorológica

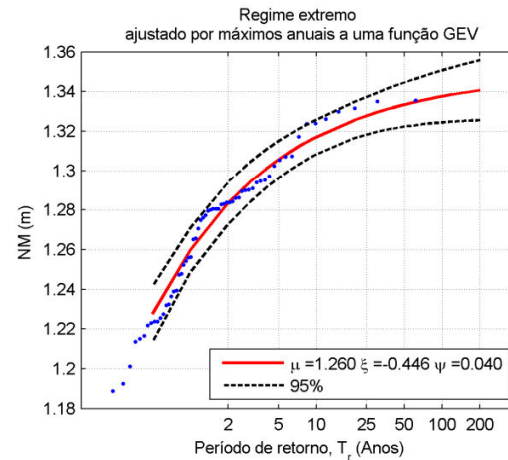
- Latitude: -10.76 °
- Longitude: -36.75 °

Localização do ponto de maré astronômica

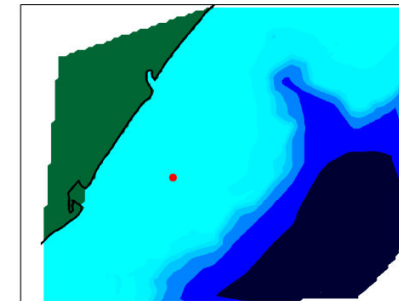
- Latitude: -11.23 °
- Longitude: -36.77 °



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$



$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$

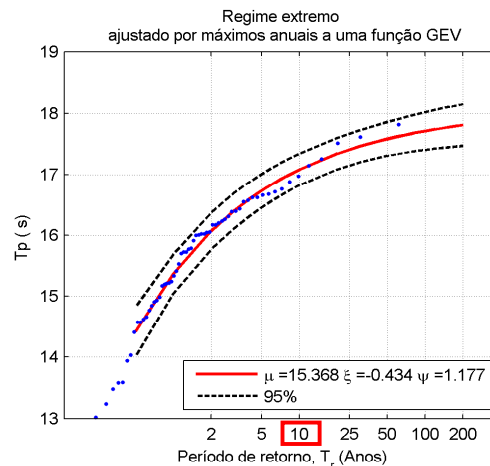
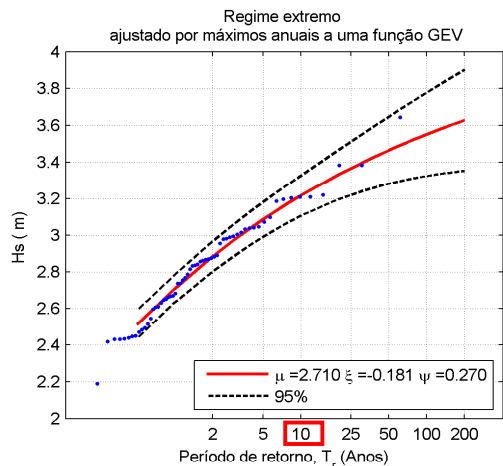


Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	SMC tese2
Alternativa	Alternativa 1



Figura 23: Caracterização do Nível do Mar no ponto DOW (P3) com: série temporal (1950-2000), regime médio e regime extremo.

Regime extremo de Altura de Onda Significativa, Hs e Período de Pico, Tp: Ponto DOW



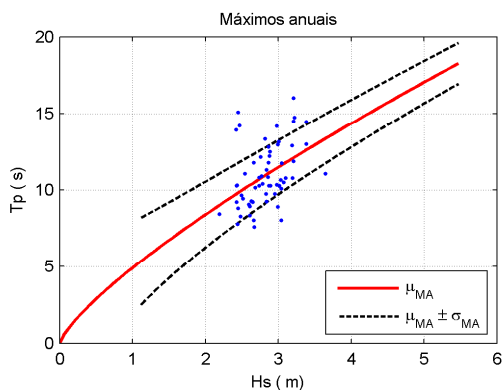
Função de distribuição GEV

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{\xi}\right) x = \{H_s, T_p\}$$

Parâmetros do Regime Extremo

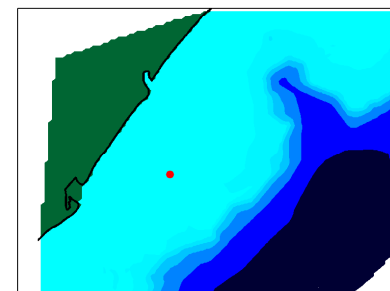
Variable	$\mu$	$\psi$	$\xi$
Hs	2.71	0.27	-0.18
Tp	15.37	1.18	-0.43



$$\mu_{MA}(Tp|Hs) = a(Hs)^b$$

$$\sigma_{MA}(Tp|Hs) = a(Hs)^b$$

Tp	a	b
$\mu(Tp Hs)$	4.89	0.77
$\sigma(Tp Hs)$	3.00	-0.48



Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	SMC tese2
Alternativa	Alternativa 1



Figura 24: Regime extremo de altura de ondas significativas e período, no ponto DOW.

#### 7.1.4 Ondas na área de estudo

As malhas utilizadas na aplicação dos modelos de propagação levaram em consideração as restrições destes modelos, tais como: a resolução espacial adequada ao comprimento de onda, que limita as dimensões das malhas tornando-as aplicáveis apenas a domínios pequenos (menores que 10 km); a propagação principal das ondas restrita à direção X e o giro das ondas circunscrito à  $\pm 55^\circ$ ; e a instabilidade das ondas que viajam em direção aos contornos das malhas e se encontram com batimetria que não decresce.

Diante destas restrições foi necessário dividir a área em estudo em duas, de modo a respeitar os limites de malha, para uma área de aproximadamente 10 km de extensão. Desta forma temos: (i) área 01 que corresponde à porção norte próximo à desembocadura do rio Sergipe, composta pelas praias da Coroa do Meio e Atalaia; e (ii) área 02 que corresponde a porção sul, próxima a desembocadura do rio Vaza-Barris, composta pelas praias do Mosqueiro, Refúgio e Náufrago.

Para cada uma destas áreas foram desenhadas duas malhas, na qual a malha **A** foi utilizada para a propagação de ondas proveniente de E e ESE; a malha **B** empregada na propagação das ondas proveniente de SE e SSE (Figuras 25 e 26). Cada caso representa o comportamento das ondas diante de condições normais e de condições de tempestade para as 04 direções predominantes em águas intermediárias (E, ESE, SE e SSE) em condição de preamar, para verificar o processo de refração das ondas oriundas dessas direções de propagação.

Assim que as ondas alcançam uma profundidade que equivale à metade de seu comprimento, elas passam a sentir o fundo do mar, ocorrendo o fenômeno denominado refração de onda. Esse fenômeno é responsável por alterar a direção de propagação das ondas que chegam obliquamente em relação à direção da linha de costa, fazendo com que as frentes-de-onda sofram uma rotação sempre no sentido de alcançar a linha de costa frontalmente.

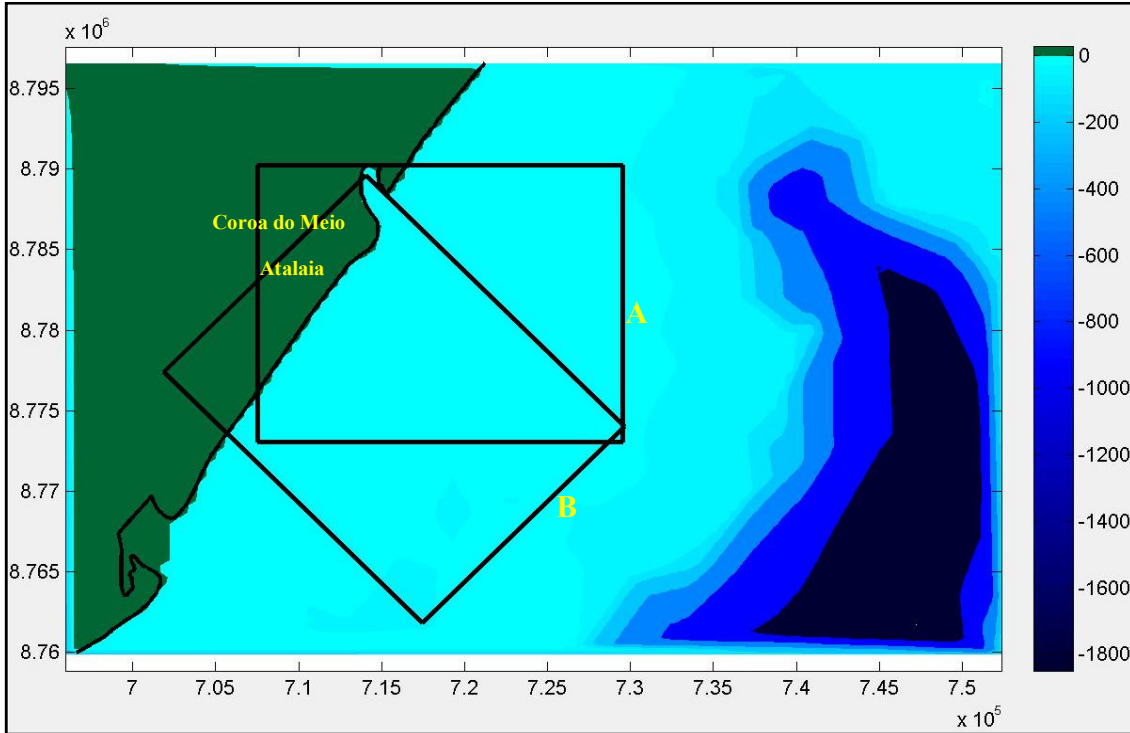


Figura 25: Malhas para área 01, A (E e ESE) e B (SE e SSE).

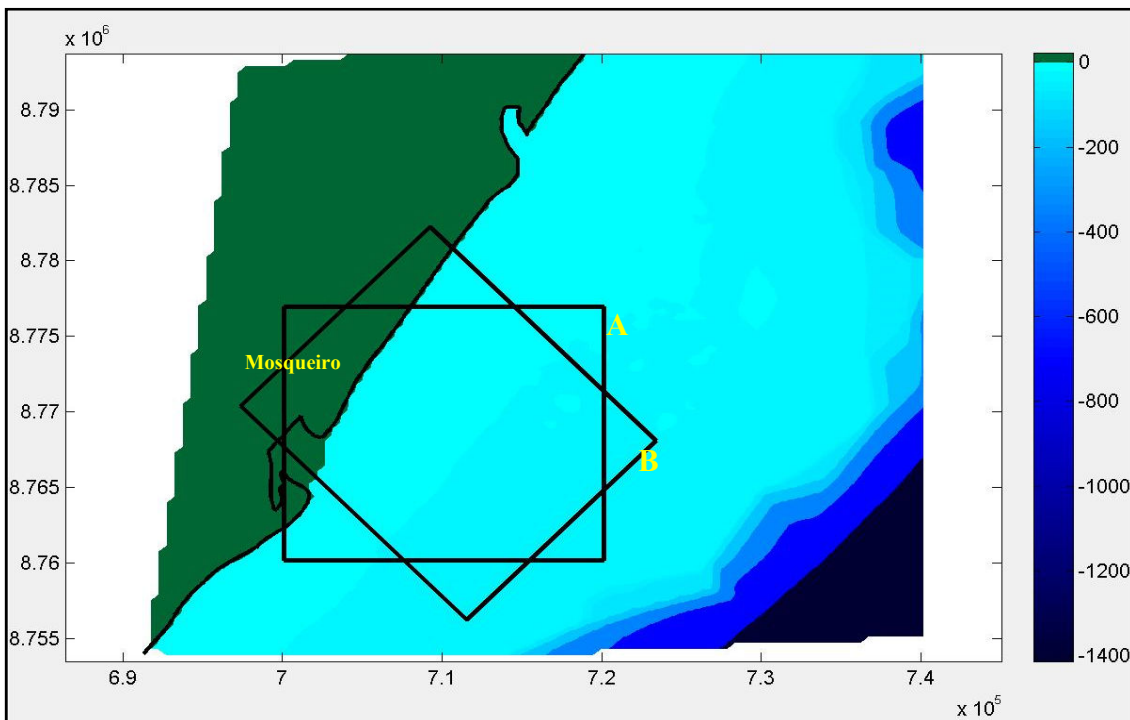


Figura 26: Malhas para área 02, A (E e ESE) e B (SE e SSE).



A batimetria da plataforma continental em frente a área de estudo, na porção norte (Figura 27), mostra a presença de 03 altos topográficos, os quais podem provocar alterações na direção e altura de ondas propagadas até a linha de costa, e um ponto no qual a isóbata de -5,22 chega perto da linha de costa.

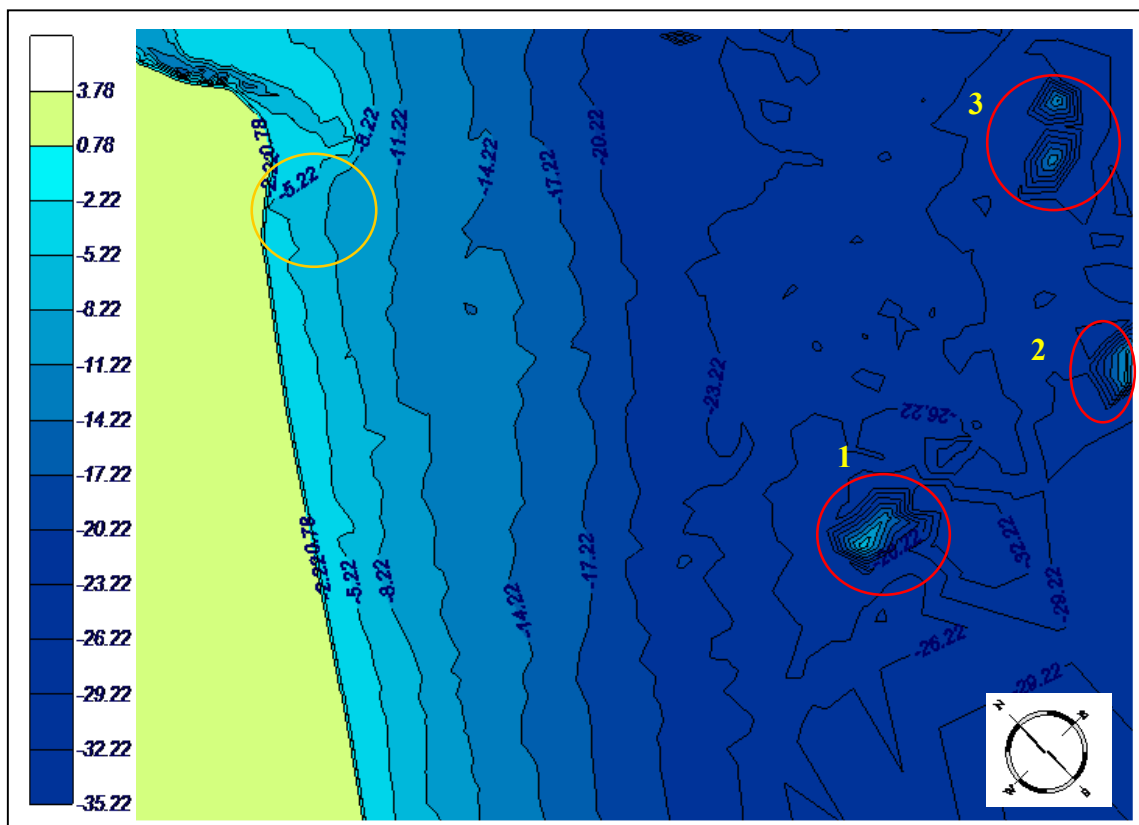


Figura 27: Batimetria da plataforma continental. Os círculos em vermelho (1,2 e 3) representam altos topográficos e os círculos em amarelo trecho onde a isóbata de -5,22m, se aproxima muito da linha de costa.

#### 7.1.4.1 Padrão de Refração de Ondas sob Condições de Tempestade

A modelagem da propagação de ondas de tempestade para as quatro direções principais E (0,43%), ESE (50,01), SE (45,93%) e SSE (3,63%), com espectros de ondas que apresentam valores de altura de onda maiores de 1,9m e períodos maiores de que 9s mostra que os altos topográficos, mostrados na figura 27, produzem efeitos de refração e difração nas ondas.

Em todos os casos observou-se observou-se que as transformações experimentadas pelas ondas dão origem a dois trechos na linha de costa com maior altura de onda. As transformações de onda causadas pelos 3 altos topográficos ficam mais evidentes, na área 1, para ondas de SE e SSE (Figuras 32 e 34).

As ondas de E e ESE apresentam as menores alturas em períodos de tempestade (Figuras 28 a 31), enquanto que as ondas de SE e SSE são as mais energéticas com maiores alturas de onda, e as que experimentam as maiores modificações na direção de propagação em virtude do processo de refração (Figuras 32 a 35).

De modo geral observa-se uma diminuição gradual da altura de ondas em direção à linha de costa de forma homogênea em todo o litoral. Entretanto, na área 01, o trecho onde a isóbata de -5,22m se aproxima da linha de costa conforme apontado anteriormente (Figura 27), cria uma espécie de “corredor” que permite que ondas maiores alcancem a linha de costa, o que fica bem evidente nos mapas de refração das ondas de sudeste e sul-sudeste (Figuras 32 e 34).

Devido à orientação da linha de costa do município de Aracaju ser NE-SW, e retilínea, os principais trens de onda que alcançam a região, após refratados chegam quase paralelos à linha de costa. As convergências dos raios de ondas são perceptíveis nas regiões próximas às desembocaduras fluviais principalmente na do rio Sergipe, na área 1, devido a presença de um amplo delta de maré vazante.

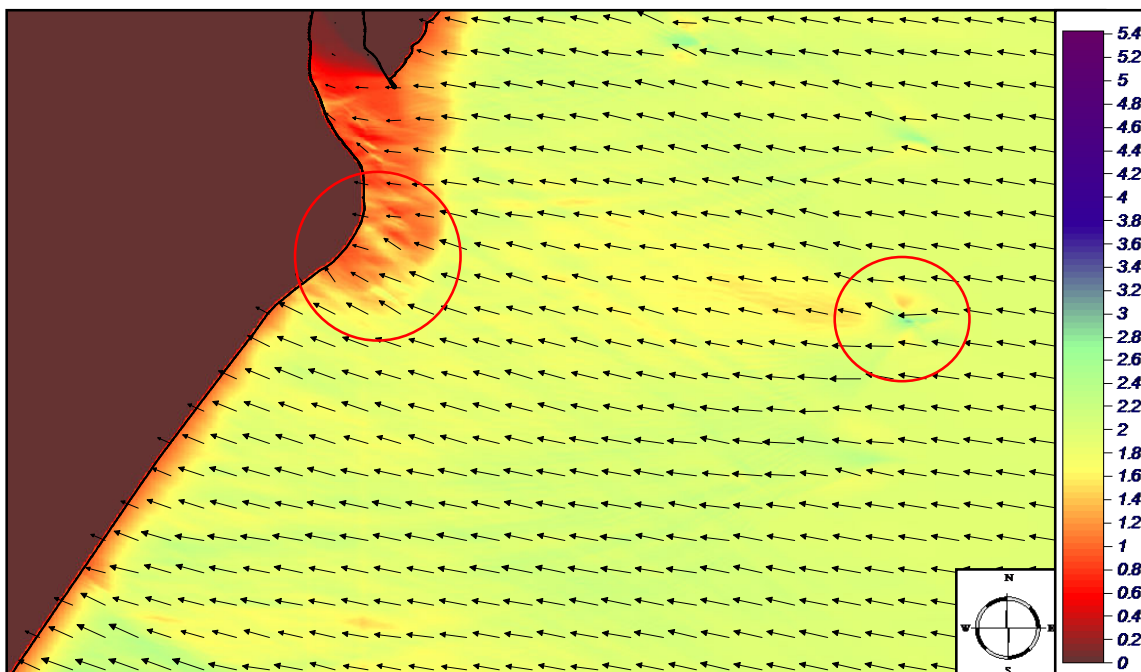


Figura 28: Área 01 - magnitudes de  $H_s$  e direção média de propagação das ondas de Leste (condições de tempestade).

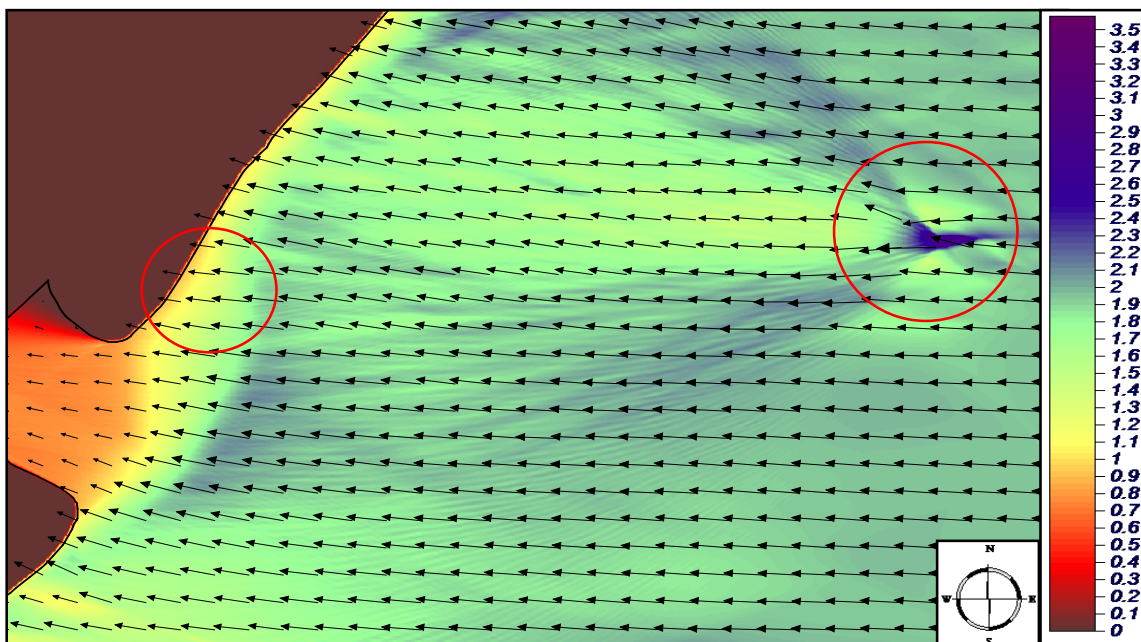


Figura 29: Área 02 - magnitudes de  $H_s$  e direção média de propagação de ondas de Leste (condições de tempestade).

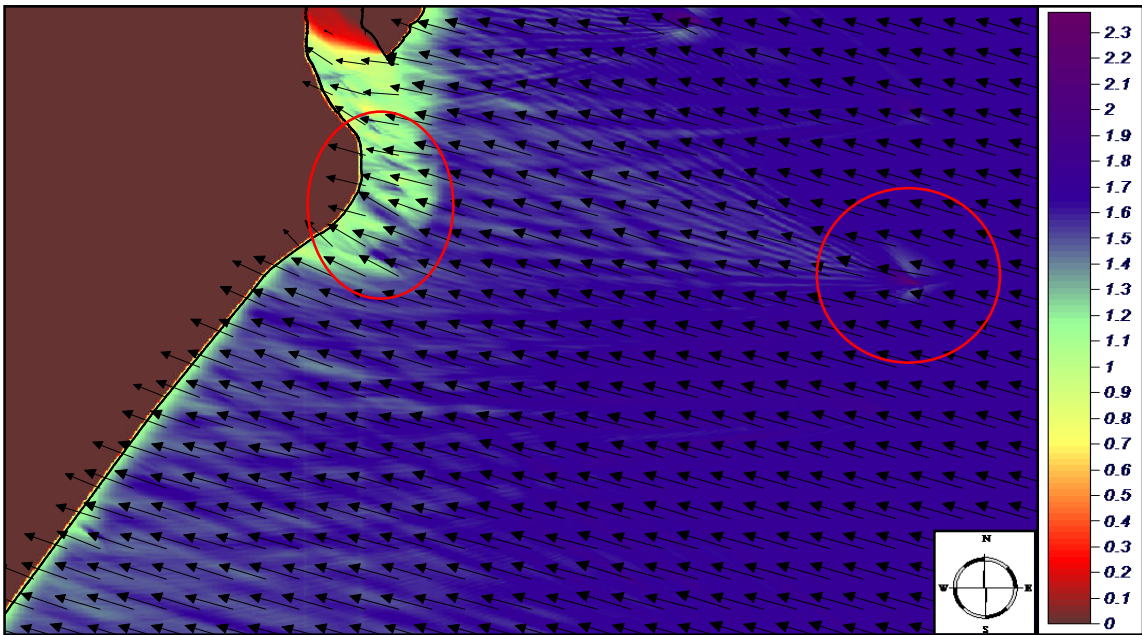


Figura 30: Área 01 - magnitudes de Hs e direção média de propagação das ondas de Leste-Sudeste (condições de tempestade).

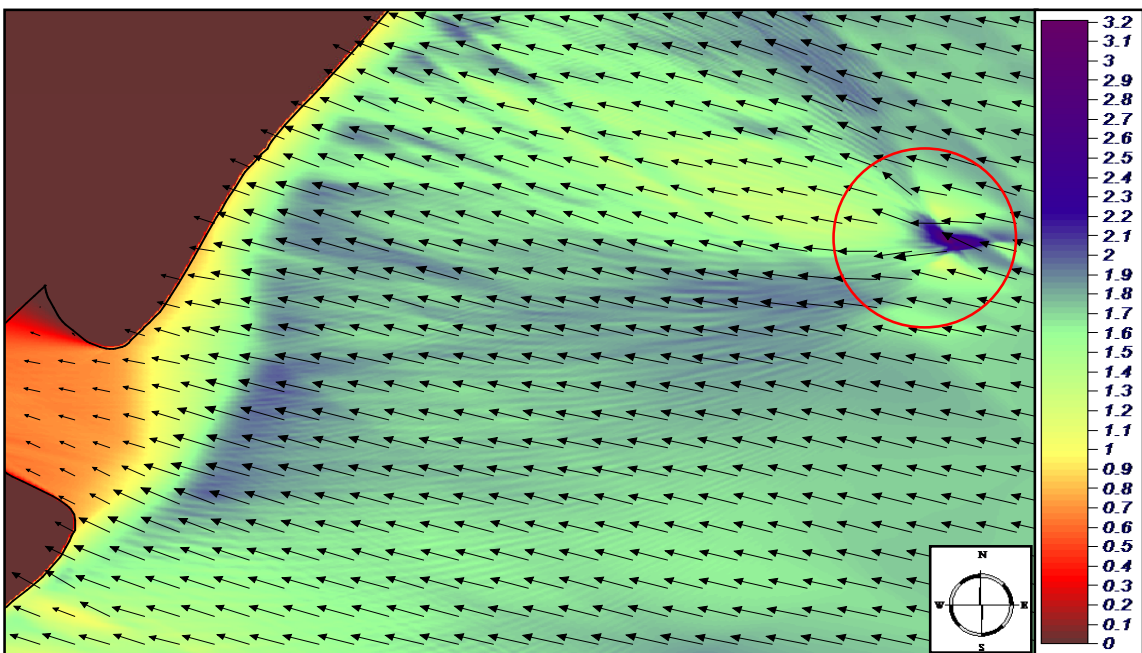


Figura 31: Área 02 - magnitudes de Hs e direção média de propagação das ondas de Leste-Sudeste (condições de tempestade).

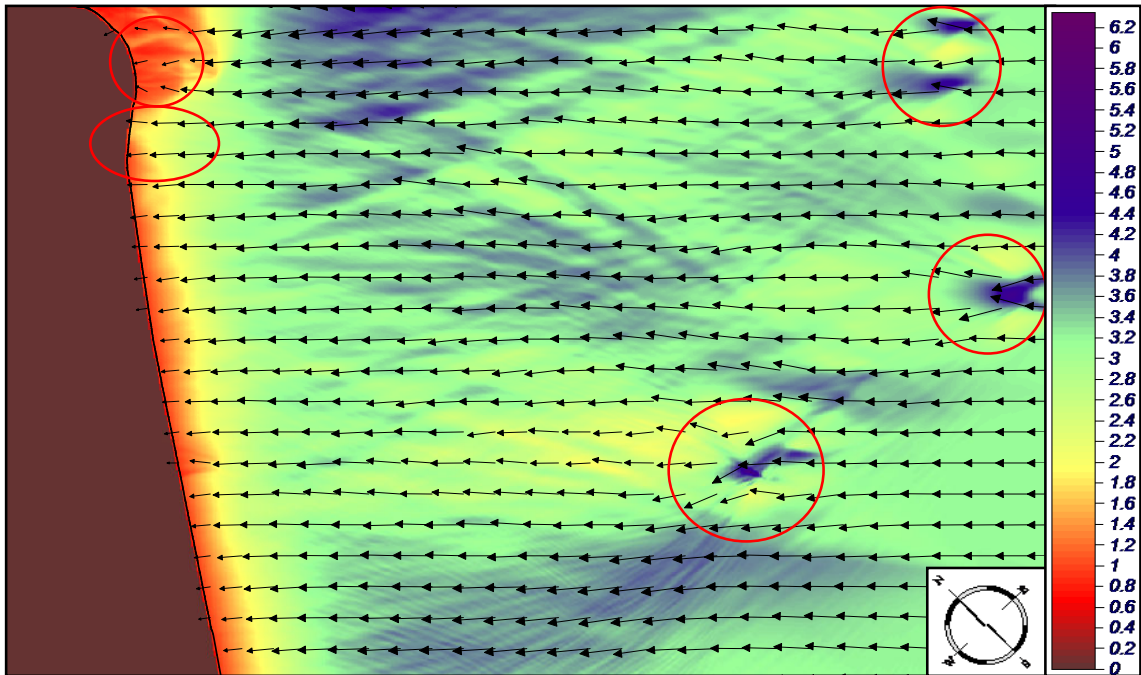


Figura 32: Área 01 - magnitudes de Hs e direção média de propagação das ondas de Sudeste (condições de tempestade).

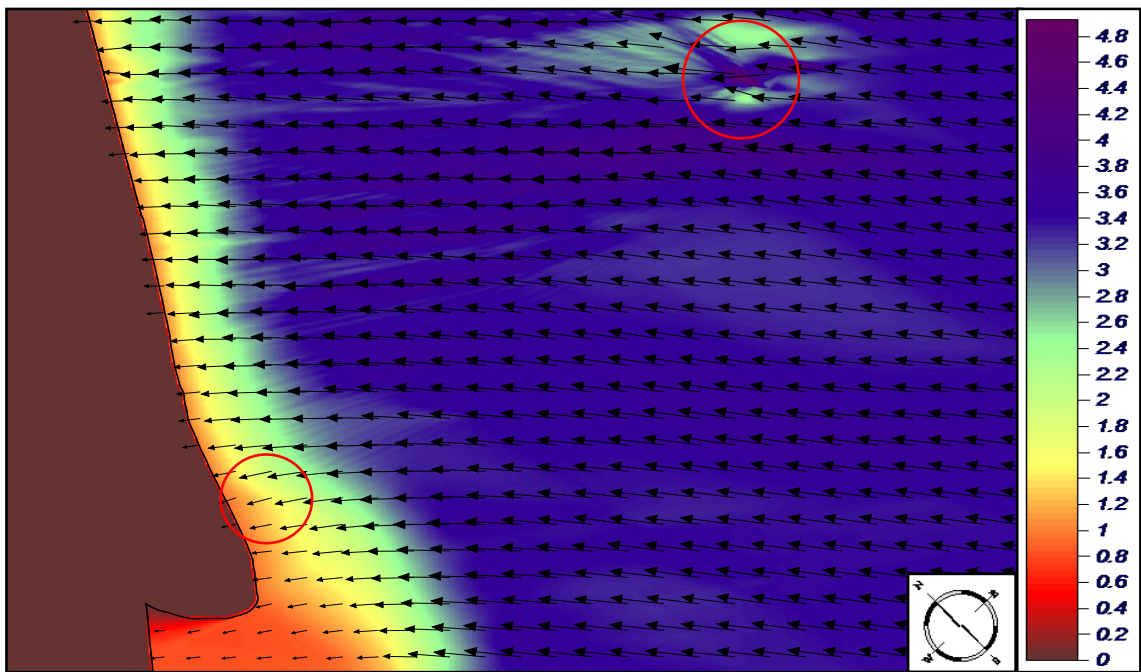


Figura 33: Área 02 - magnitudes de Hs e direção média de propagação de ondas de Sudeste (condições de tempestade).

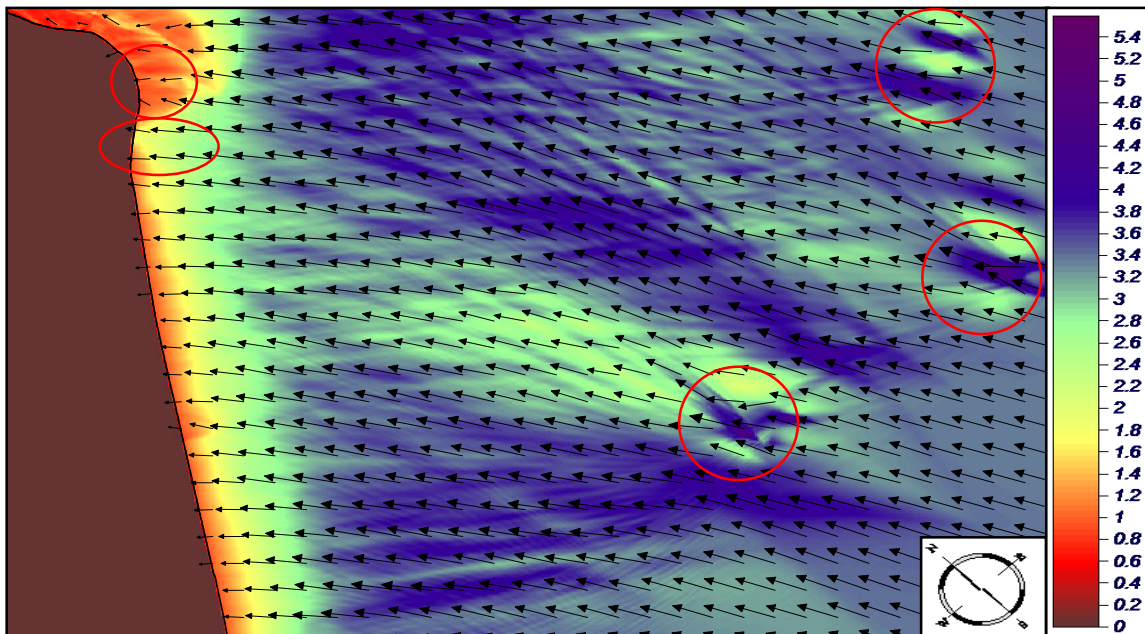


Figura 34: Área 01 - magnitudes de Hs e direção média de propagação das ondas de Sul-Sudeste (condições de tempestade).

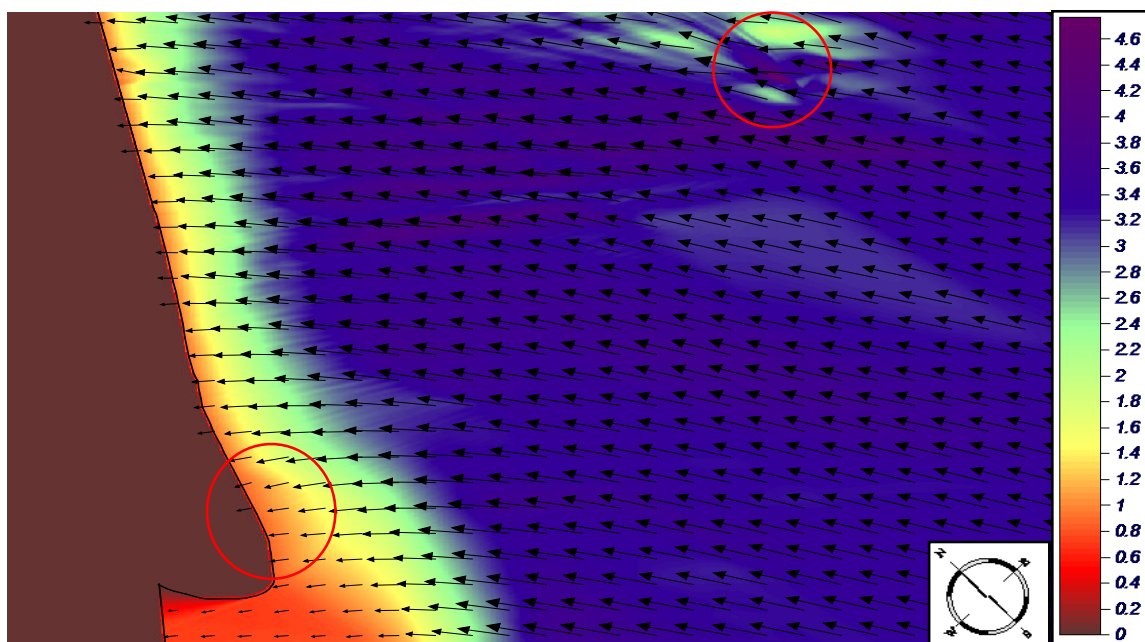


Figura 35: Área 02 - magnitudes de Hs e direção média de propagação das ondas de Sul-Sudeste (condições de tempestade).

#### *7.1.4.2 Padrão de Refração de Ondas sob Condições Médias*

Os espectros de ondas associados às condições médias apresentam valores de altura de ondas significativas baixas (menores que 1,5m). Devido aos efeitos de fricção com o fundo e refração, estas ondulações perdem energia e chegam à linha de costa com valores ainda menores (Figuras 36 a 43).

O efeito dos altos topográficos na transformação das ondas foi reduzido quando comparado à condição de ondas de tempestade (Figura 39). As ondas de SSE são as que experimentam um maior grau de refração antes de chegarem à linha de costa (Figuras 42 e 43).

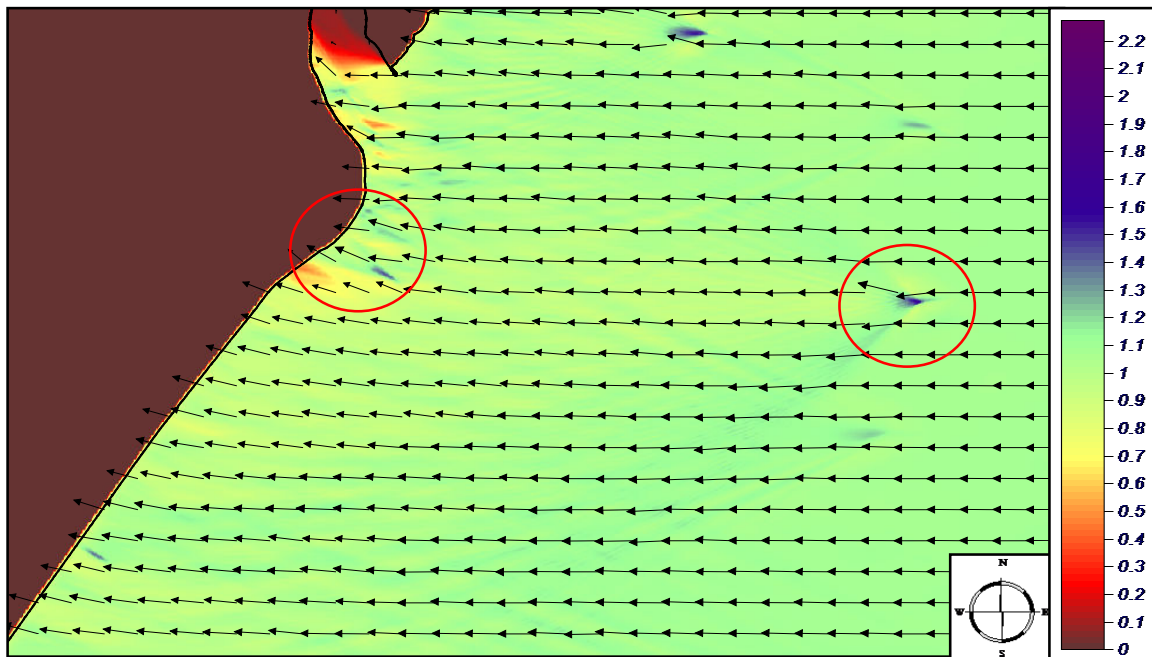


Figura 36: Área 01 - magnitudes de Hs e direção média de propagação das ondas de Leste (condições médias).

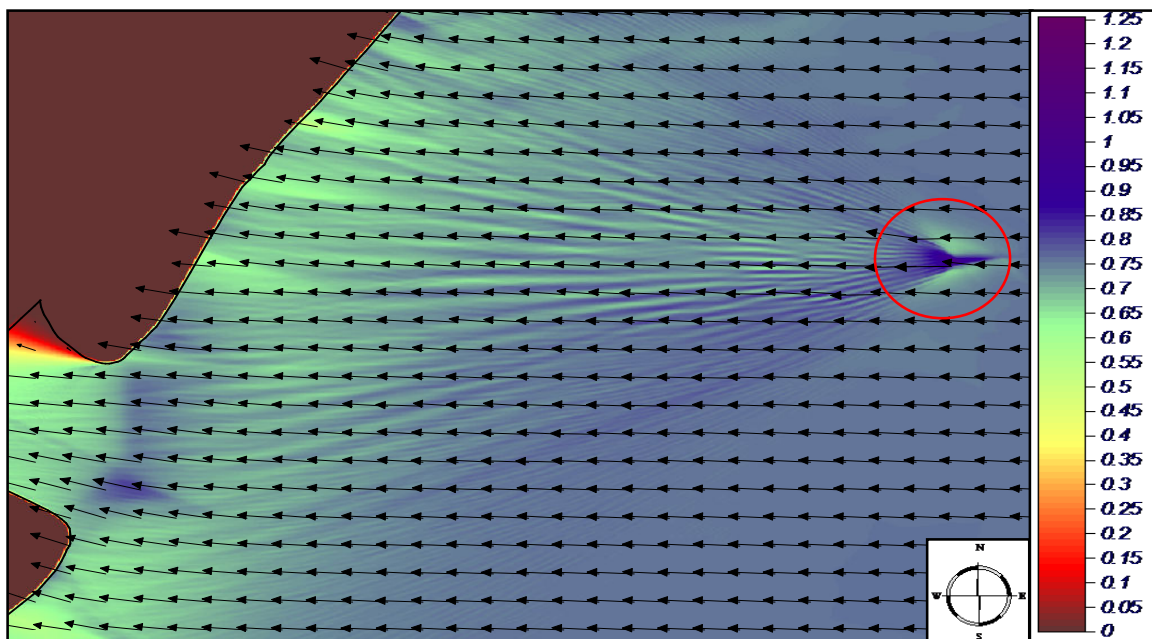


Figura 37: Área 02 - magnitudes de Hs e direção média de propagação das ondas de Leste (condições médias).



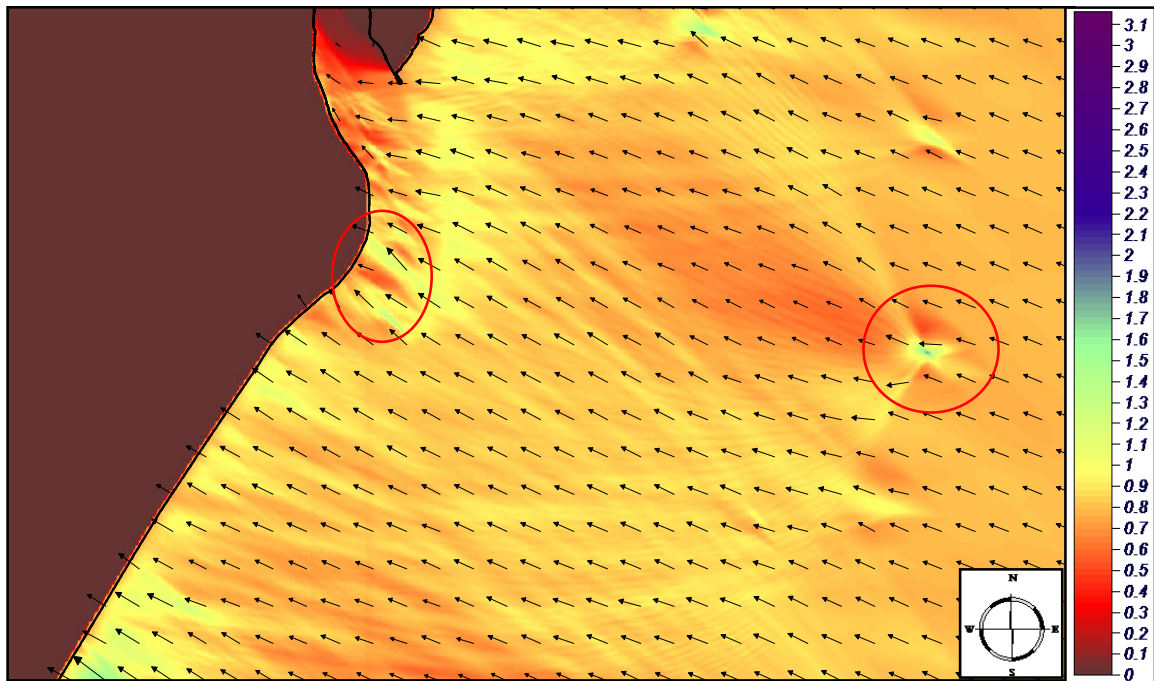


Figura 38: Área 01 - magnitudes de Hs e direção média de propagação de ondas de Leste-Sudeste (condições médias).

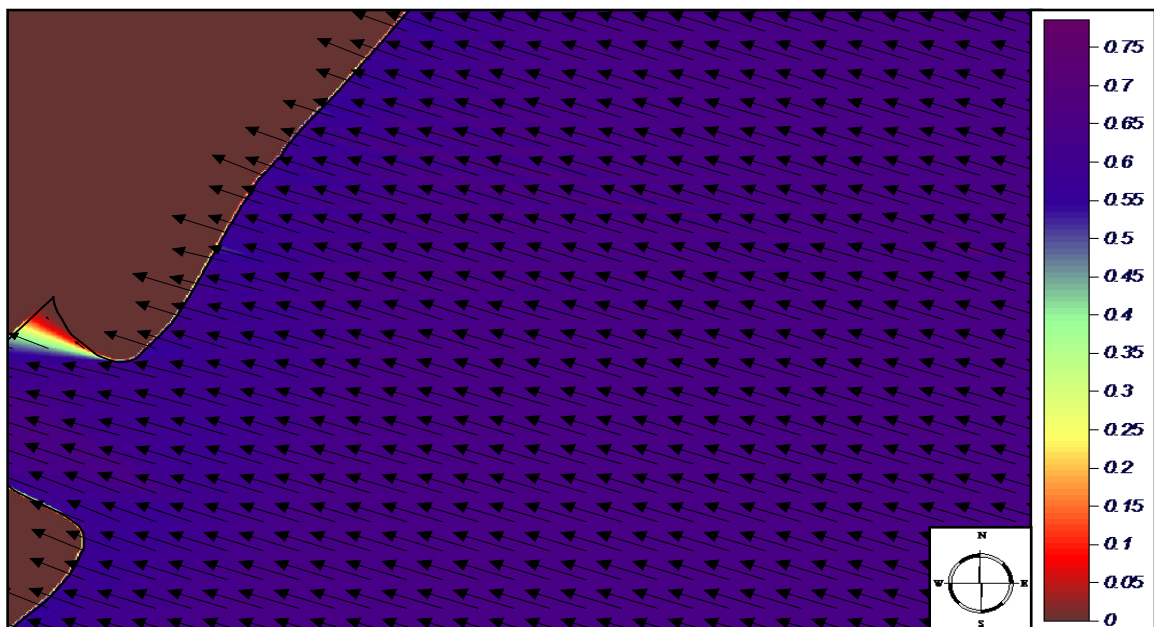


Figura 39: Área 02 - magnitudes de Hs e direção média de propagação das ondas de Leste-Sudeste (condições médias).

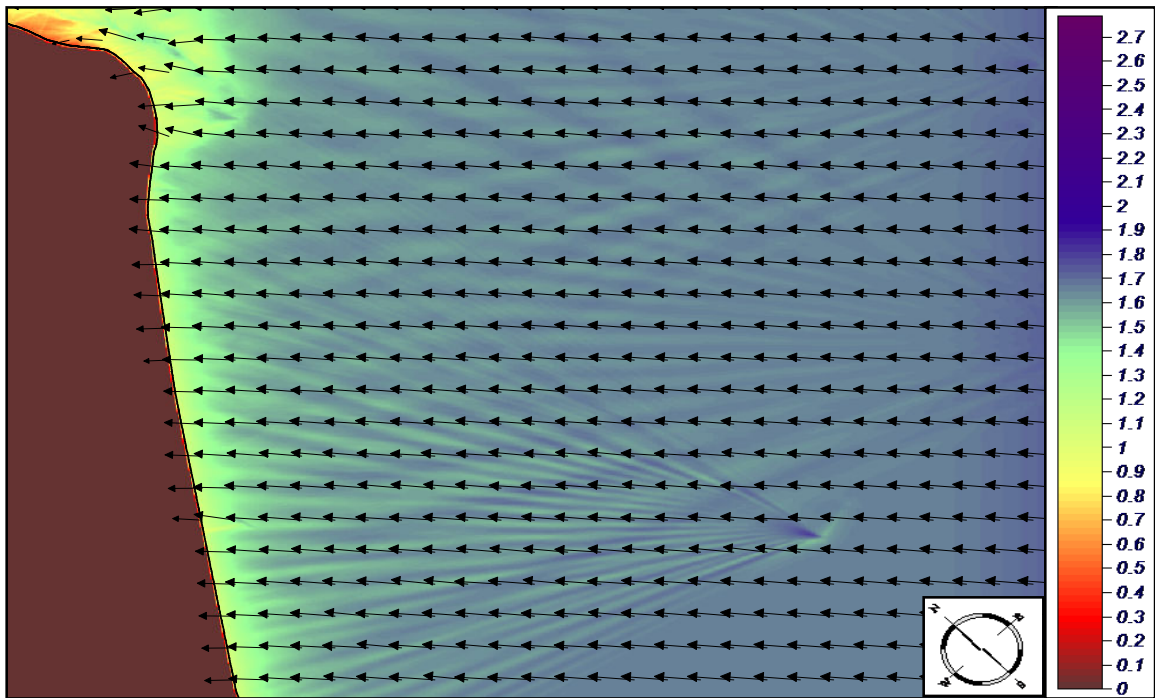


Figura 40: Área 01 - magnitudes de  $H_s$  e direção média de propagação das ondas de Sudeste (condições médias).

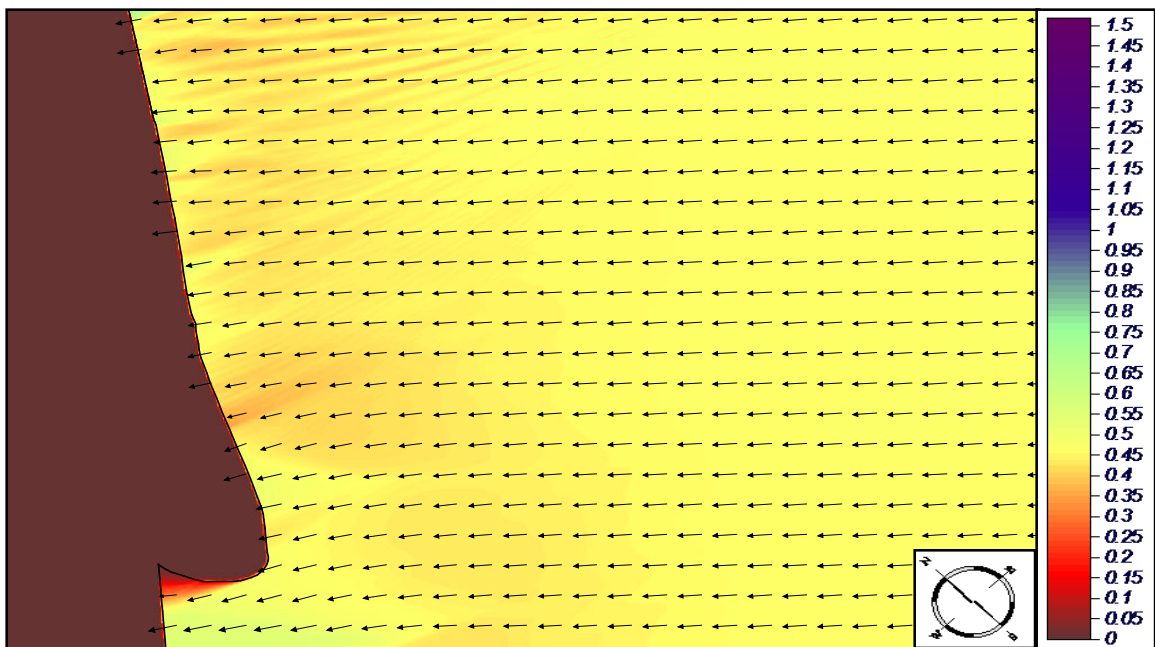


Figura 41: Área 02 - magnitudes de  $H_s$  e direção média de propagação das ondas de Sudeste (condições médias).

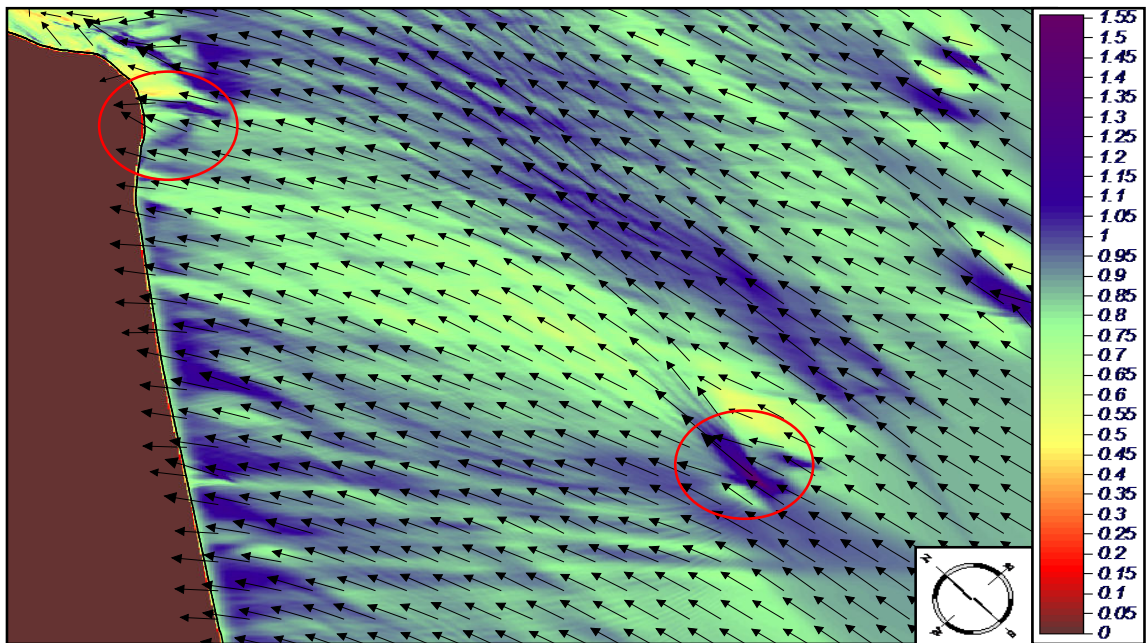


Figura 42: Área 01 - magnitudes de Hs e direção média de propagação das ondas de Sul-Sudeste (condições médias).

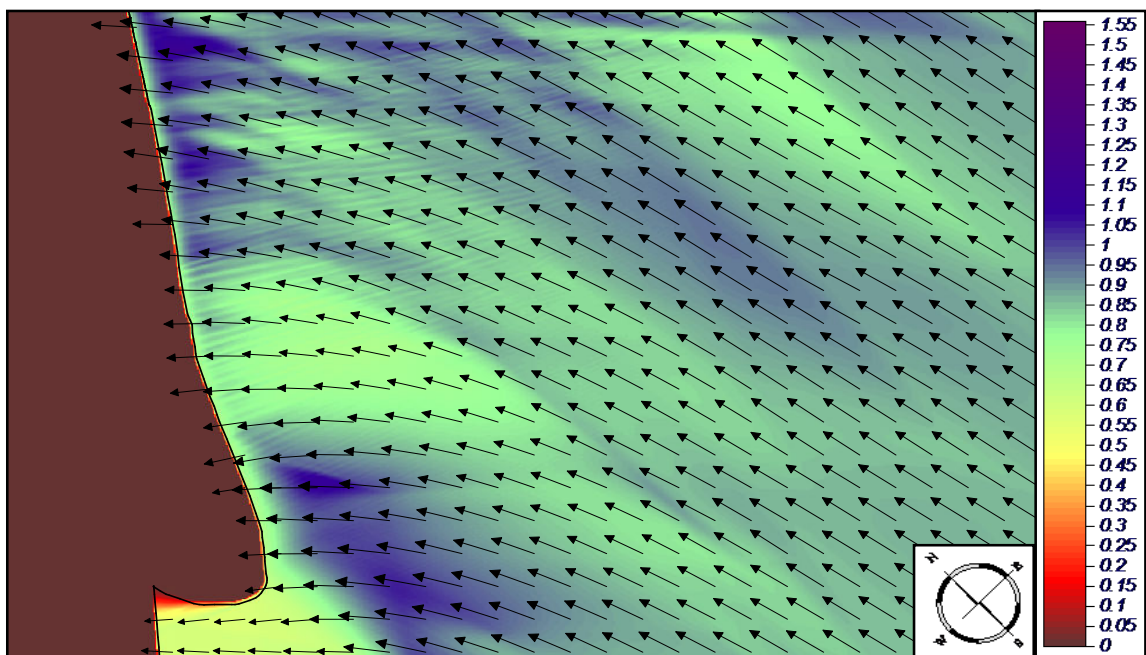


Figura 43: Área 02 - magnitudes de Hs e direção média de propagação das ondas de Sul-Sudeste (condições médias).

### *7.1.5 As correntes na área de estudo*

No momento em que a onda quebra, o perfil da onda deixa de ser estável e rompe, dissipando uma grande quantidade de energia. Essa quebra combinada aos gradientes de altura de onda e pela incidência oblíqua das mesmas produzem correntes costeiras que transportam água e sedimentos na zona de surfe.

Essas correntes são tanto mais fortes quanto maior a energia das ondas. Estas correntes são de especial importância para o equilíbrio de uma praia, devido à sua capacidade de transporte de sedimentos.

Quanto maior a intensidade da corrente, maior o seu poder erosivo e maior o volume e o tamanho do sedimento que ela pode transportar. Por esta razão, as correntes do tipo longitudinais são comumente responsáveis por criar trechos em erosão e em progradação na linha de costa.

A modelagem do sistema circulatório na zona de surfe é necessária para que se possa resolver o transporte de sedimentos e as variações morfológicas na linha de costa.

As correntes nesse estudo foram calculadas utilizando o modelo COPLA-SP, do SMC-Brasil. Este modelo resolve as equações de fluxo dentro da zona de surfe, utilizando como dados de entrada os dados de saída do campo de ondas calculados com o modelo OLUCA-SP.

#### *7.1.5.1 Direção e magnitude das correntes sob condições de ondas médias e de tempestade*

Os resultados da modelagem das correntes longitudinais para a área de estudo serão todos apresentados para a situação de maré alta de sizígia (2,5m), sob regimes de ondas médios e de tempestade.

Sob condições de ondas médias as correntes apresentam menores intensidades quando comparadas às correntes produzidas sob condições de onda de tempestade, para as quatro direções avaliadas (E, ESE, SE e SSE).

As correntes geradas sob condições de tempestade geram, na parte norte da área 01, um vórtice que gira no sentido horário, devido à presença de bancos

arenosos circundados por profundidades maiores. Também observa-se que as maiores velocidades de corrente ocorrem no trecho onde a isóbata de -5,22m se aproxima da linha de costa. Isto resulta também em uma divergência no sentido das correntes neste trecho (Figuras 44, 45, 48, 49, 52, 53, 56 e 57). Essa divergência ocorre para todas as direções de onda propagadas tanto sob condições médias quanto sob condições de tempestade, em todos os quatro casos de ondas propagadas, em condições normais e períodos de tempestades.

Um outro ponto localizado na extremidade sul da área 1, apresentou intensidades de corrente mais elevadas que o restante do litoral. Neste caso, porém não foi detectada inversão no sentido da corrente.

As correntes fluem de modo geral de nordeste para sudoeste para ondas de leste (E) e leste-sudeste (ESE) e no sentido inverso para ondas de sudeste (SE) e sul-sudeste (SSE) (Figuras 44 a 59).

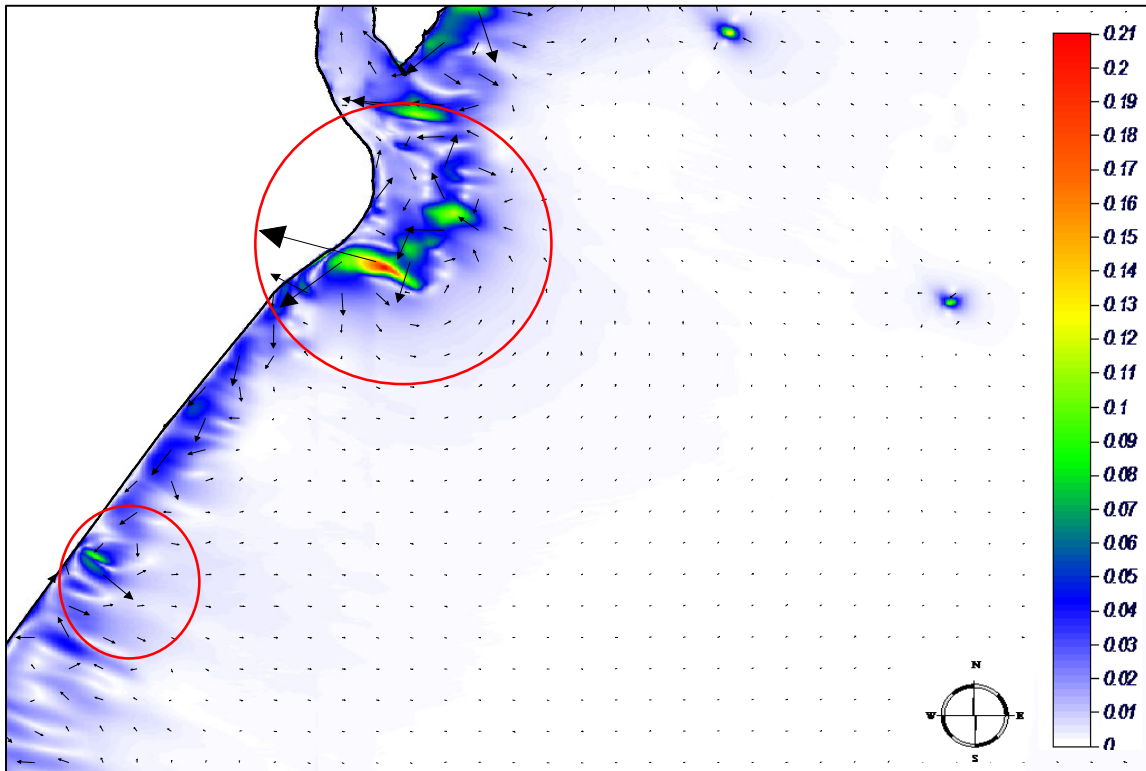


Figura 44: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Leste (condições de tempestade).

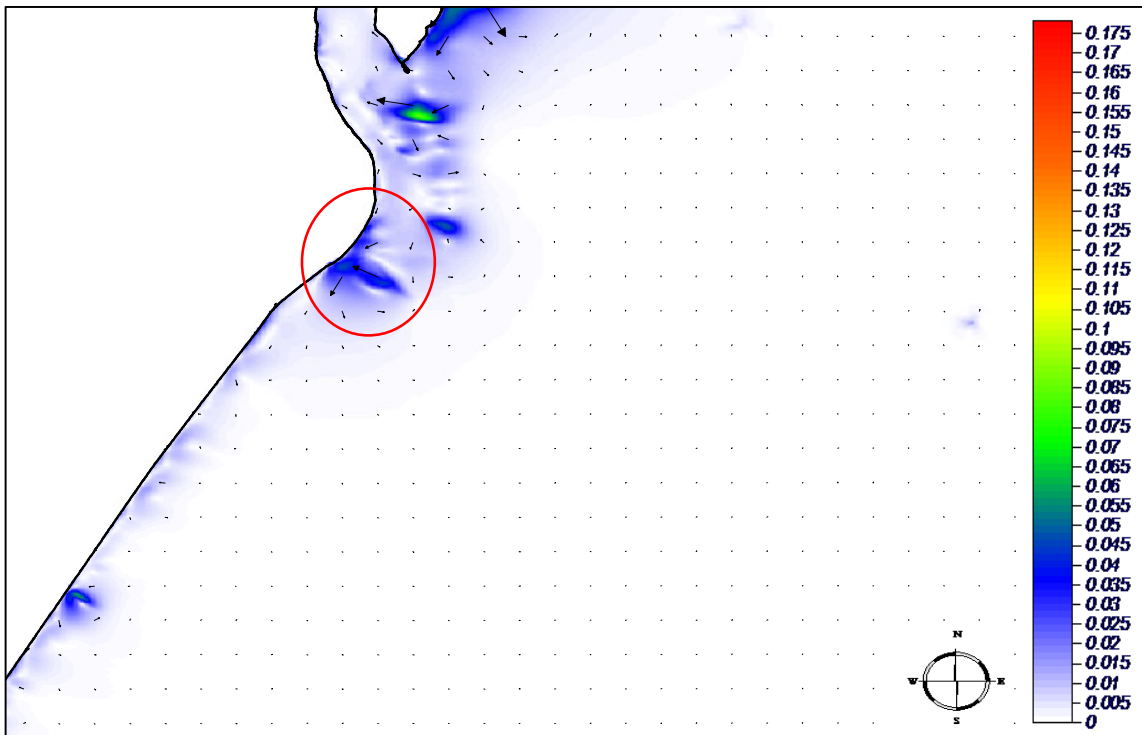


Figura 45: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Leste (condições médias).

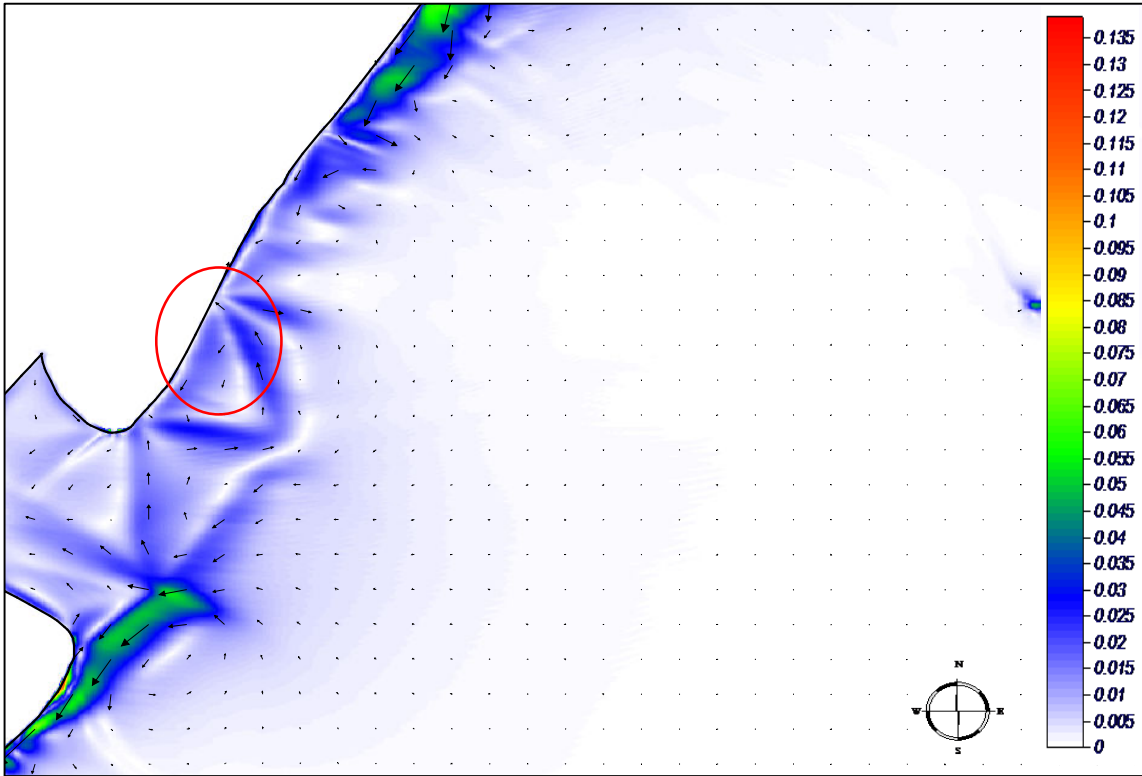


Figura 46: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Leste (condições de tempestade).

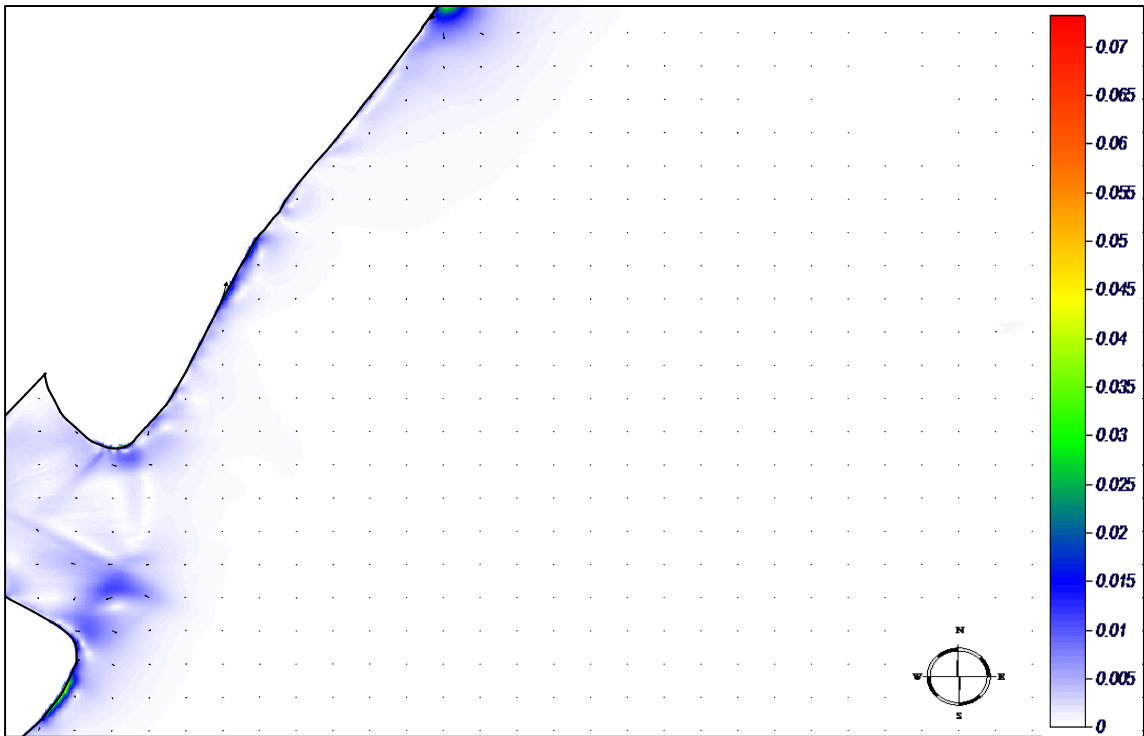


Figura 47: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Leste (condições médias).

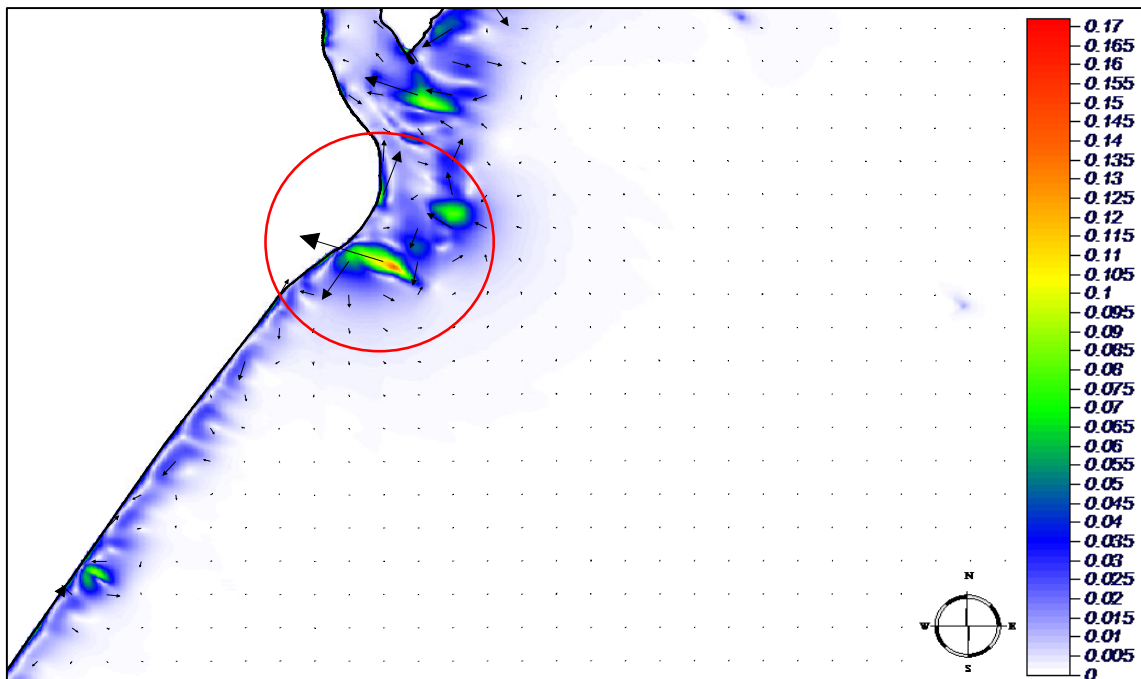


Figura 48: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Leste - Sudeste (condições de tempestade).

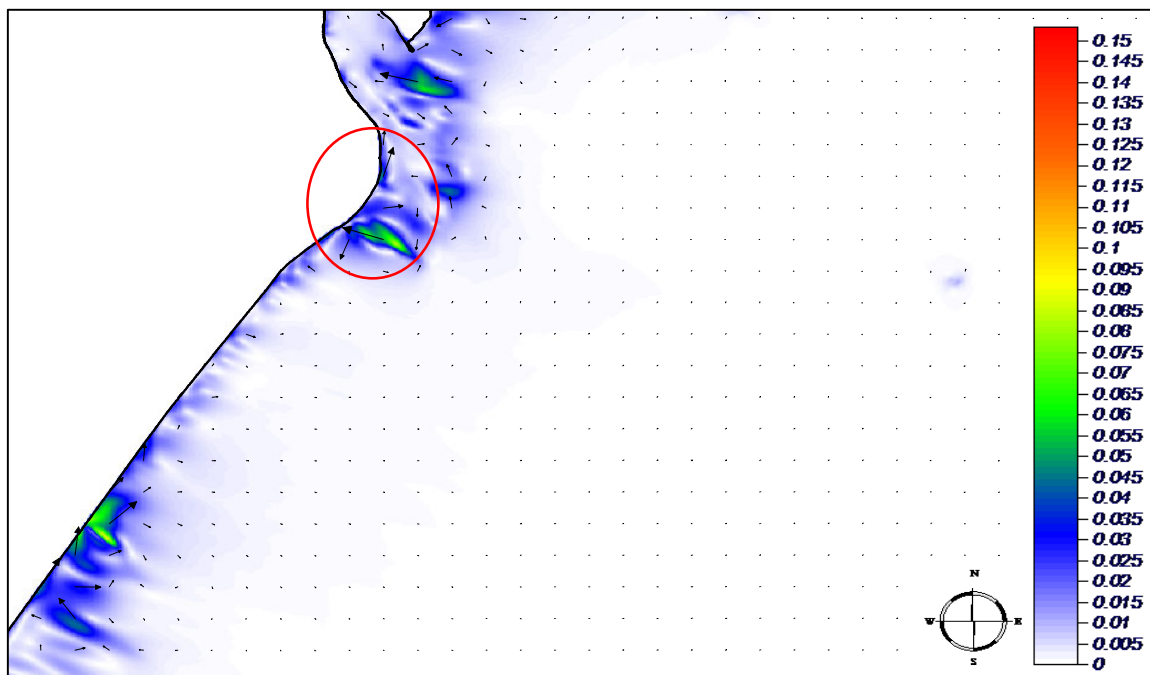


Figura 49: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Leste - Sudeste (condições médias).



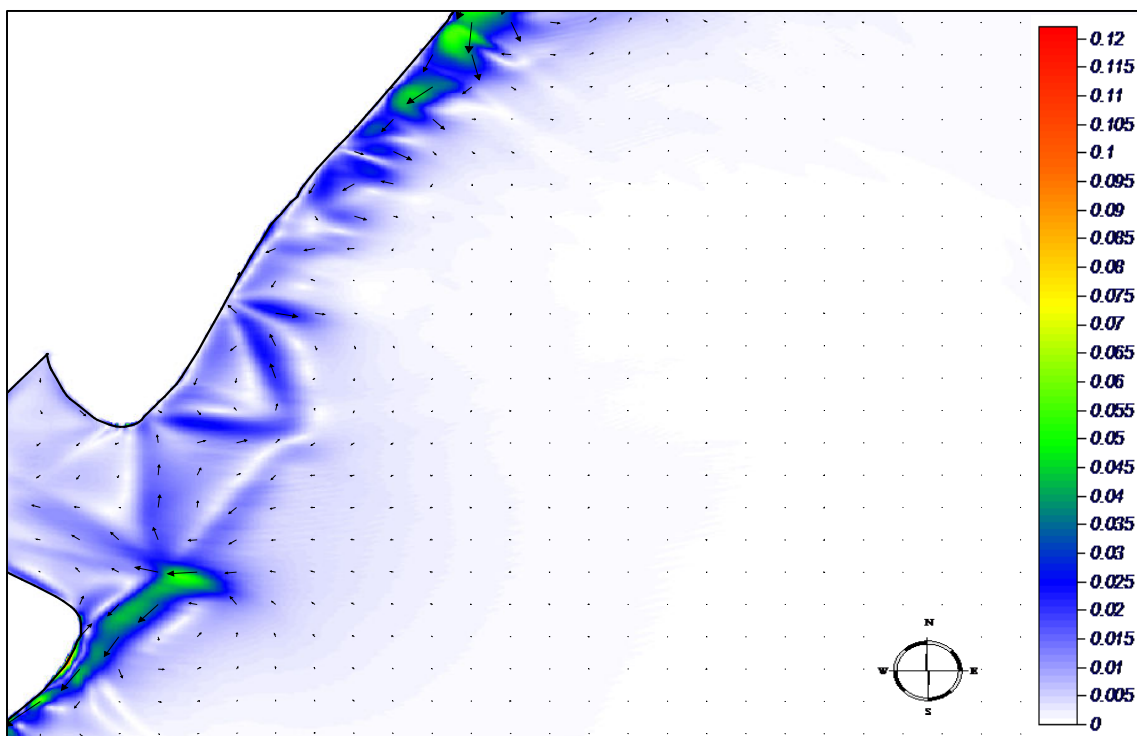


Figura 50: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Leste – Sudeste (condições de tempestade).

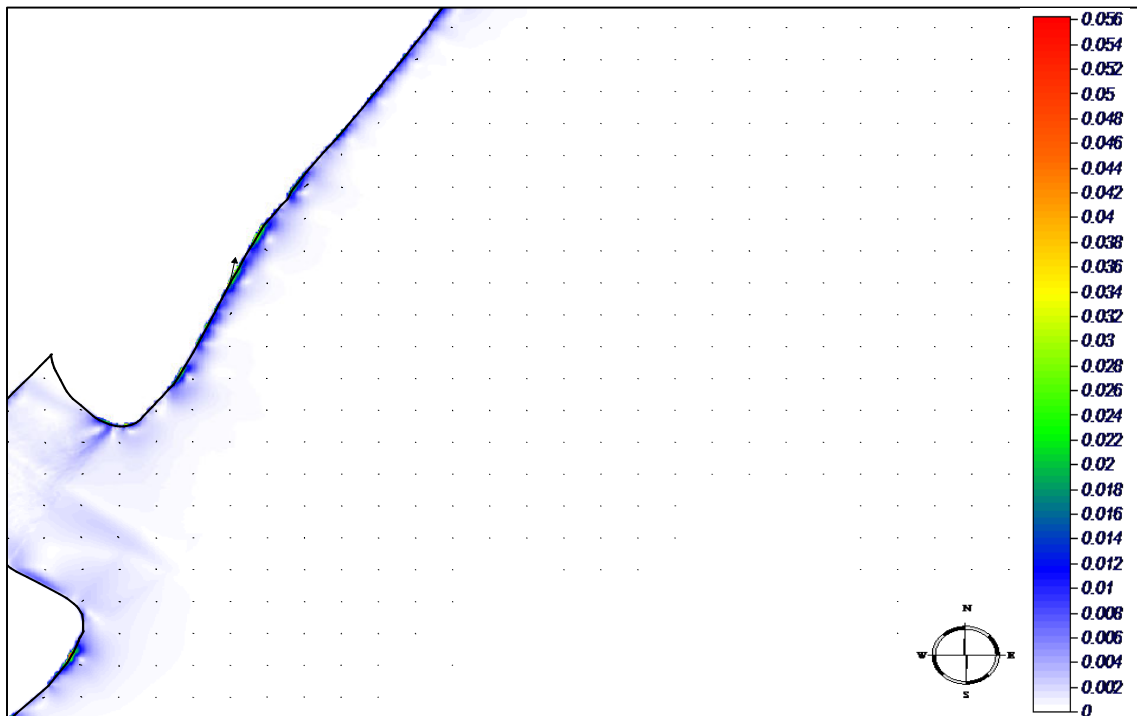


Figura 51: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Leste – Sudeste (condições médias).

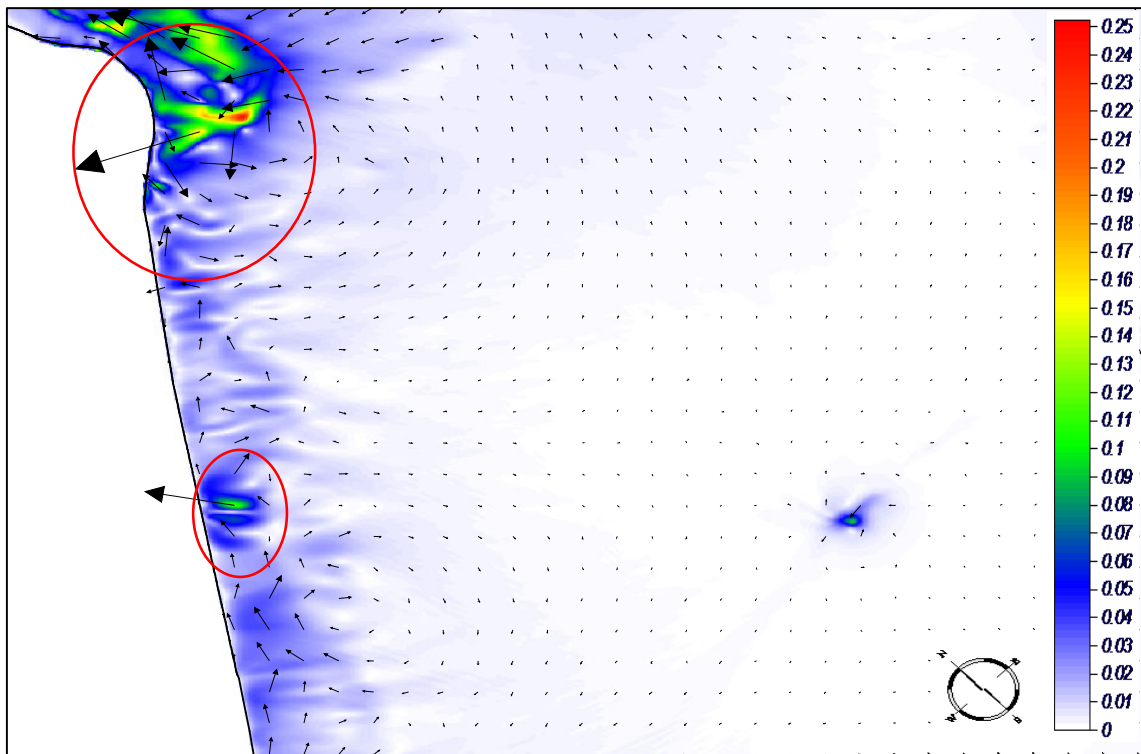


Figura 52: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de direção Sudeste (condições de tempestade).

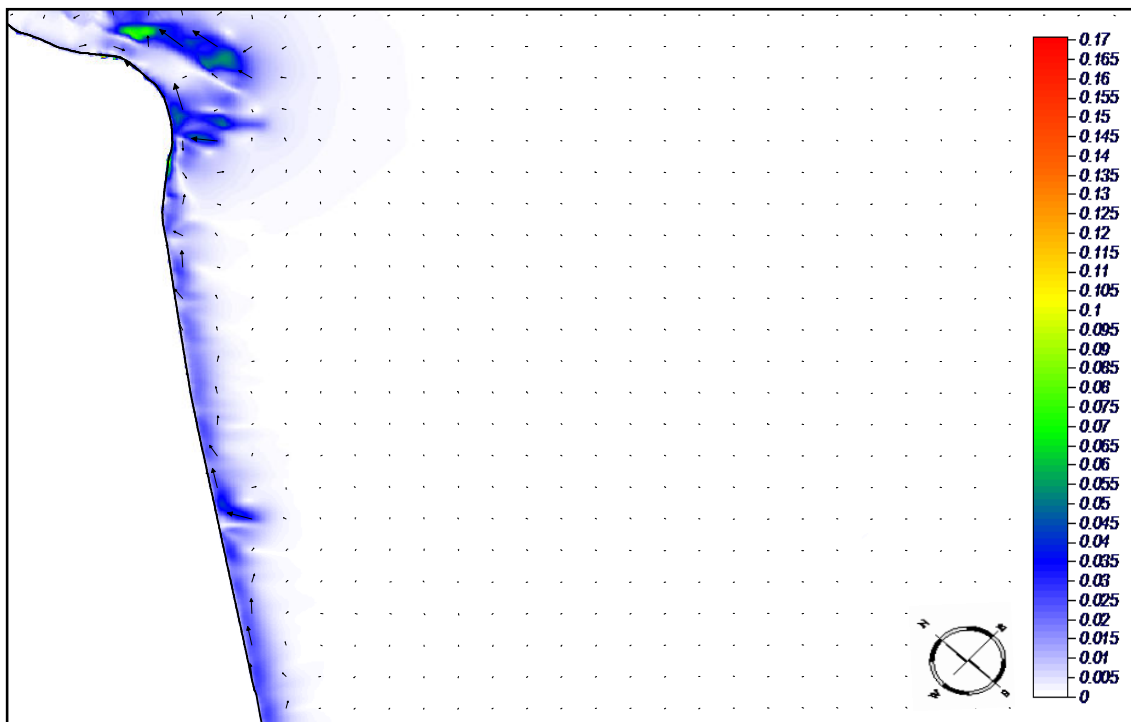


Figura 53: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Sudeste (condições médias).

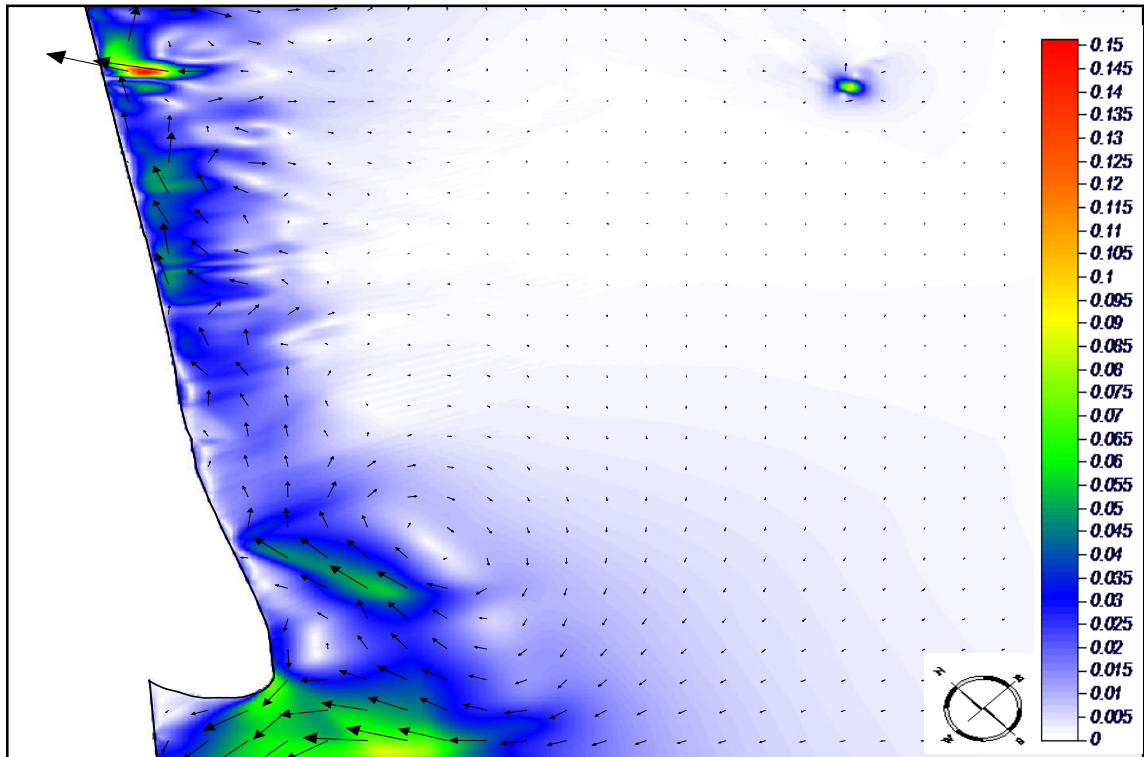


Figura 54: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Sudeste (condições de tempestade).

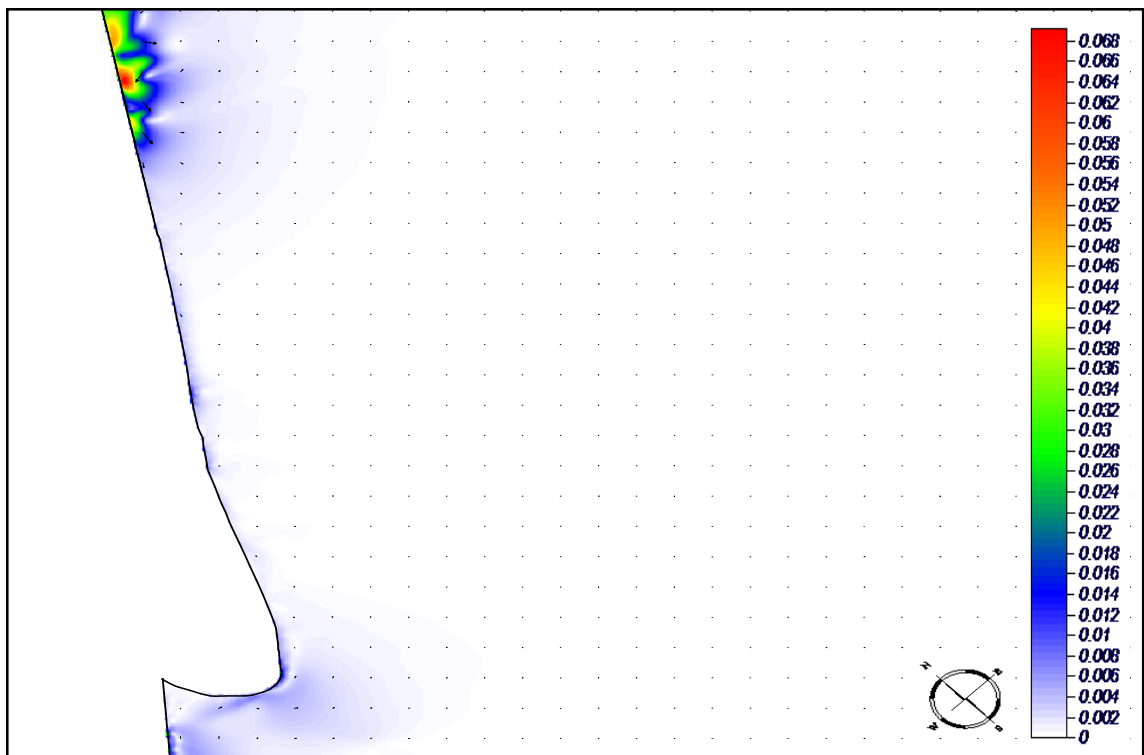


Figura 55: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de Sudeste (condições médias).

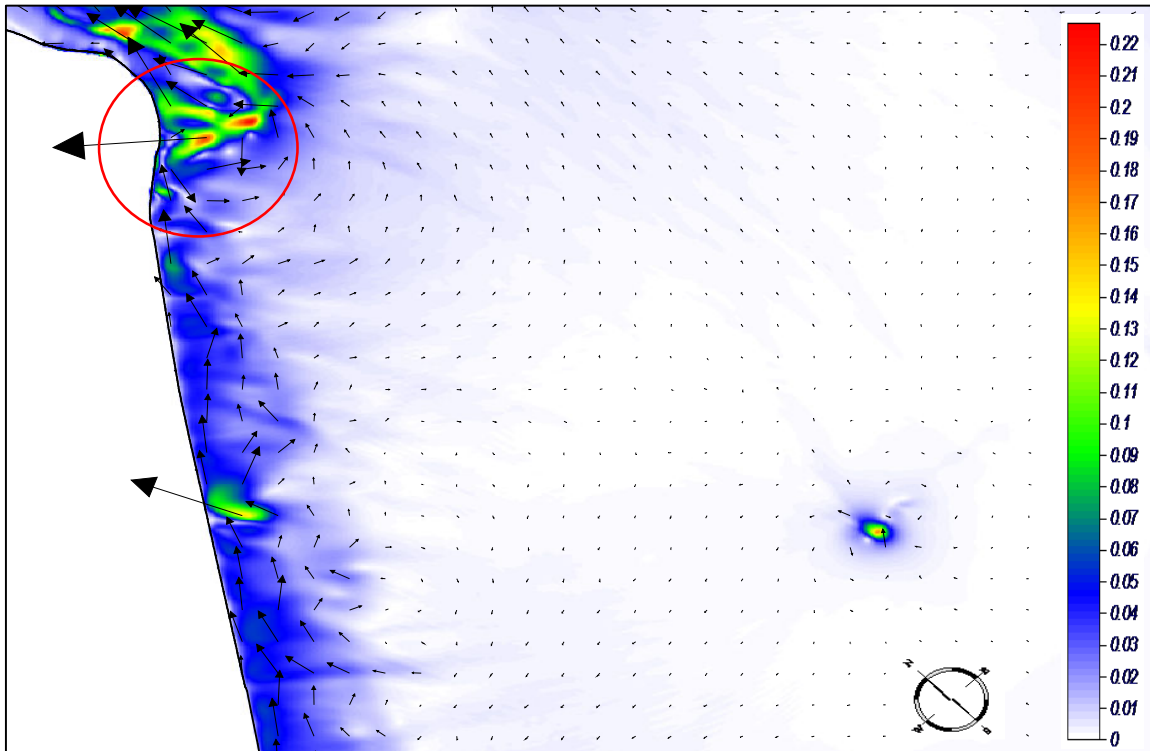


Figura 56: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de direção Sul-Sudeste (condições de tempestade).

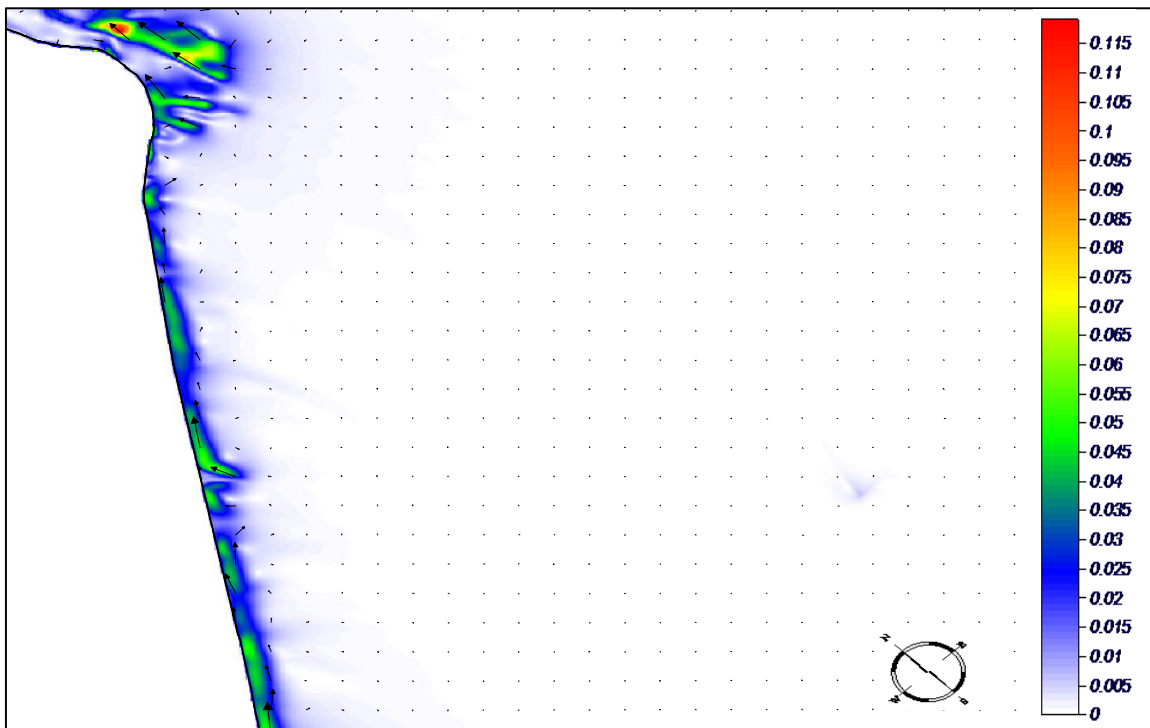


Figura 57: Área 01 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de direção Sul-Sudeste (condições médias).

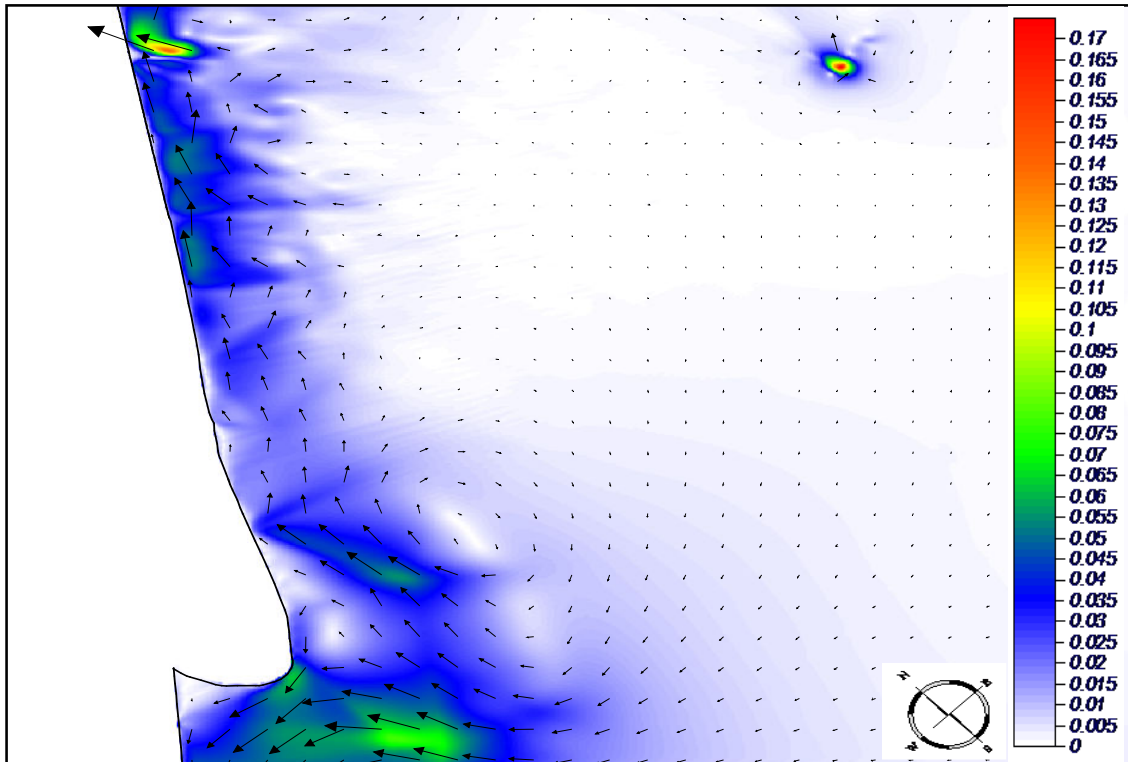


Figura 58: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de direção Sul-Sudeste (condições de tempestade).

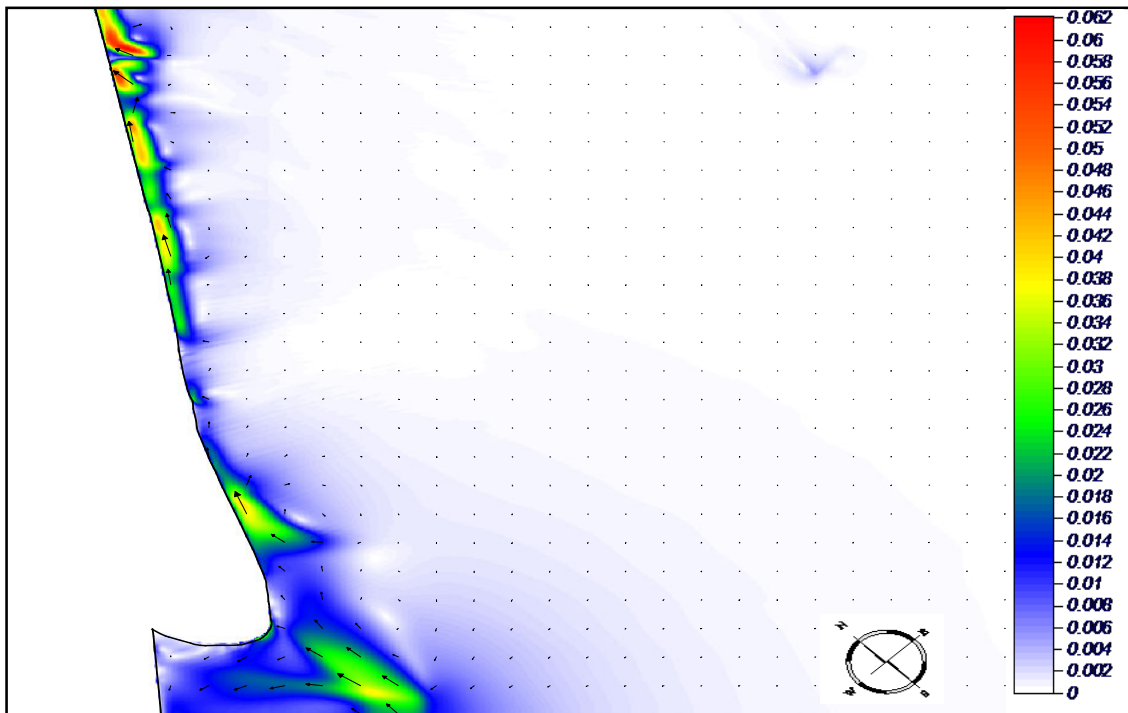


Figura 59: Área 02 - vetores e magnitudes (m/s) de correntes geradas por ondas de direção Sul-Sudeste (condições médias).

## 7.2 Dinâmica do litoral

A dinâmica dos ambientes costeiros é determinada por vários fatores tais como: regime de ondas, marés, correntes litorâneas, variações do nível do mar, balanço sedimentar, arcabouço geológico e geomorfológico. Segundo Short (2000) a interação destes fatores modifica constantemente a morfologia da praia e da linha de costa em diferentes escalas temporais (décadas, séculos e milênios) (Figura 60).

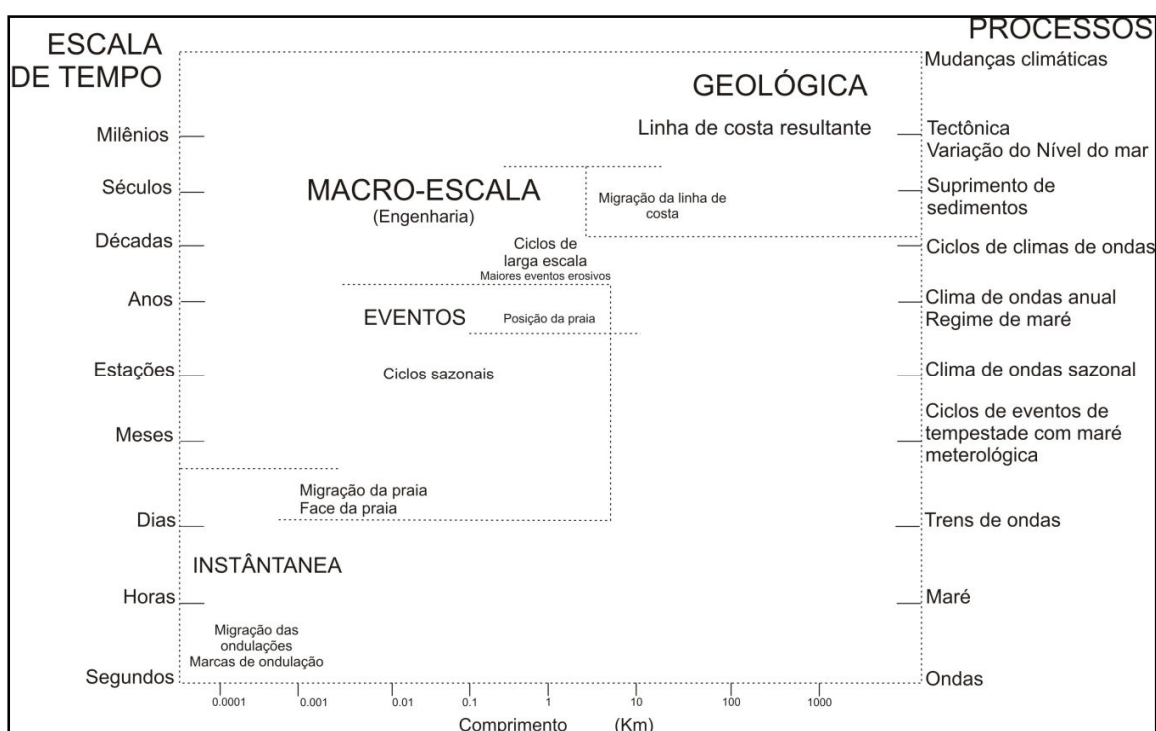


Figura 60 - Escalas espaço-temporais envolvidas nos processos relativos à dinâmica costeira (Fonte: Short, 2000).

As escalas das diferentes dinâmicas e as respostas morfológicas das praias são geralmente classificadas em: microescala, mesoescala e macroescala, de acordo com a dimensão espacial; e em curto prazo, médio prazo e longo prazo, de acordo com a dimensão temporal.

Através de SMC-Brasil é possível fazer uma análise de longo prazo da dinâmica local, considerando-se dados de 60 anos.

### 7.2.1 Clima de Ondas em Pontos de Análise Seleccionados ao Longo da Linha de Costa

Para a reconstrução do clima marítimo na área de estudo (águas rasas) foram seleccionados 6 pontos distribuídos ao longo do arco praial de Aracaju (Figura 61), situados em profundidades entre 3 e 5 m, para os quais foram determinados os parâmetros das ondas em condições médias e de tempestade.

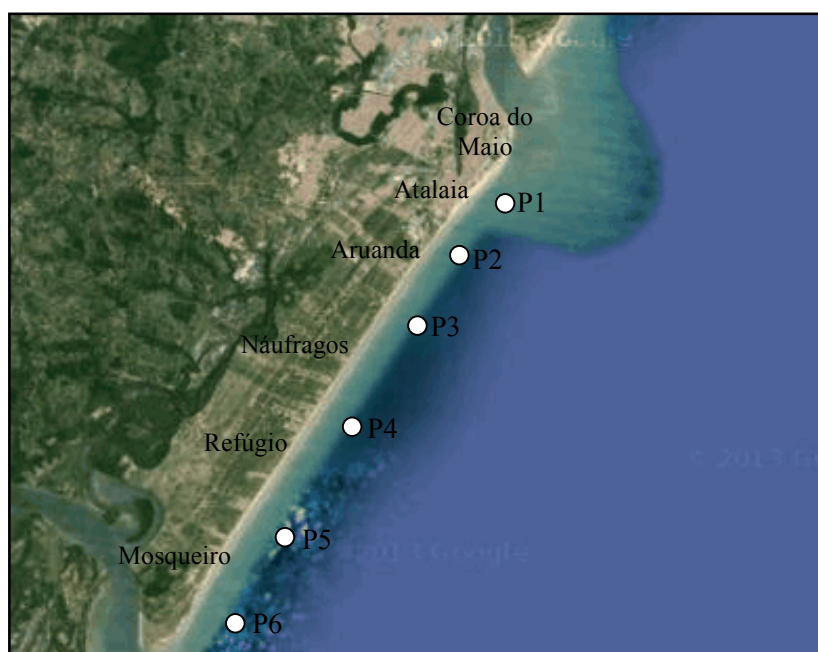


Figura 61: Localização dos pontos de análise.

No ponto 1, cerca de 80% das ondas ao atingirem a costa possuem direção de SE, nos pontos 2, 3 e 4 a direção dominante é de ESE, representando respectivamente 73%, 89% e 91% das ondas que alcançam a linha de costa. No ponto 5, 83% das ondas apresentam direção E. O ponto 6 é o único que apresenta duas direções de onda predominantes, sendo, 54% de ESE e 45% E.

Os pontos 1, 3 e 4 apresentaram resultados similares, com alturas significativas para condições média de ondas inferiores a aproximadamente 1,1 metros em 80 % do tempo total. Já nos pontos 2, 5 e 6, a altura significativa média é maior que 2,3 metros em 70 % dos casos (Figuras 62, 64, 66, 68, 70 e 72).

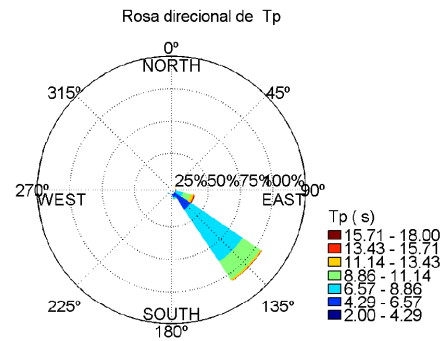
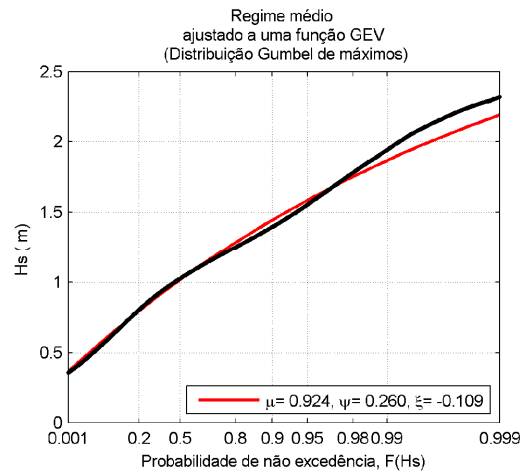
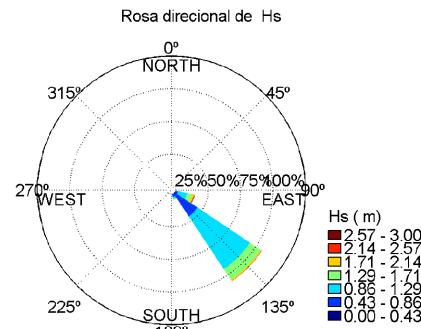
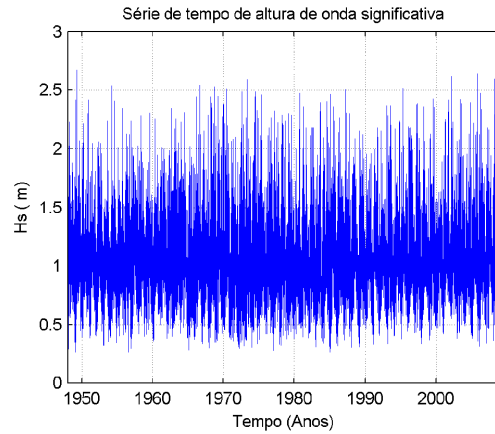
O valor da altura significativa de onda de tempestade que excede apenas 12 horas ao ano ( $H_{s12}$ ), nos 6 pontos também variou. Nos pontos 1, 3 e 4 os valores de  $H_{s12}$  alcançam 2,0m, 1,55m, e 1,77m respectivamente. Nos pontos 2, 5 e 6 estes valores são superiores a 3,4m.

Foram ainda determinados os períodos de retorno, em anos, dos valores de regime extremo, de altura de onda significativa ( $H_s$ ) e período de pico ( $T_p$ ). Conforme mostrado nas figuras 63, 65, 67, 69, 71 e 73 a altura significativa de onda com período de retorno de 25 anos nos pontos 1, 3 e 4 é de aproximadamente 2,6m, 1,9m e 2,0m respectivamente. Nos pontos 2, 5 e 6 a altura significativa de onda para um período de retorno de 25 anos é de 5,8m, 3,6m e 3,7m respectivamente.

Os valores de ondas médias e de tempestade e de valores extremos com tempo de recorrência de 25 anos mostram que os pontos 2, 5 e 6 experimentam a ação de ondas com as alturas mais expressivas. Por este motivo os trechos de linha de costa confrontante a estes pontos apresentam maior vulnerabilidade frente às mudanças climáticas, pois com a elevação do nível do mar, entre 50cm e 1m como previsto pelo IPCC (2013), a capacidade de sobrelevagem destas ondas será também maior. Isto associado ao aumento na frequência de eventos extremos podem implicar em um aumento da erosão, com possível destruição de benfeitorias, perda da faixa recreativa da praia, e maior incidência de alagamentos e inundações.



### Caracterização do Clima de ondas: Ponto Ponto1



Sector	%	Hs <sub>50%</sub>	Hs <sub>75%</sub>	Hs <sub>95%</sub>	Hs <sub>99%</sub>	Hs <sub>12</sub>
N	0.00	-	-	-	-	-
NNE	0.00	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
NE	0.00	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93
ENE	0.00	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88
E	0.00	2.24	2.35	2.41	2.42	2.42
ESE	14.79	1.18	1.45	1.96	2.25	2.46
SE	80.42	1.02	1.18	1.45	1.74	2.06
SSE	4.45	0.88	1.12	1.42	1.59	1.70
S	0.29	0.85	1.09	1.27	1.43	1.47
SSW	0.03	0.76	0.97	1.16	1.23	1.24
SW	0.00	0.76	1.04	1.10	1.12	1.12
WSW	0.00	-	-	-	-	-
W	0.00	-	-	-	-	-
WNW	0.00	-	-	-	-	-
NW	0.00	-	-	-	-	-
NNW	0.00	-	-	-	-	-
Escalar	100.00	1.03	1.21	1.56	1.94	2.28
Calmas	0.00	-	-	-	-	-



Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1

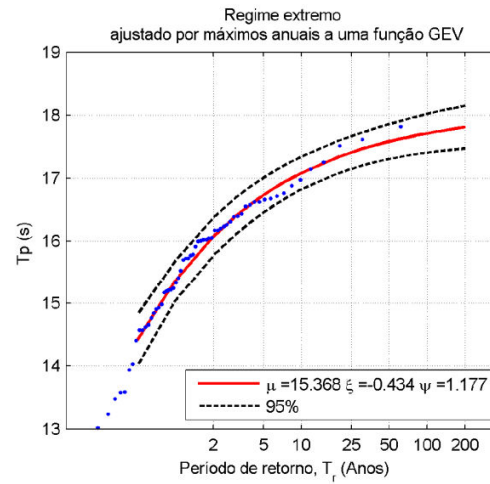
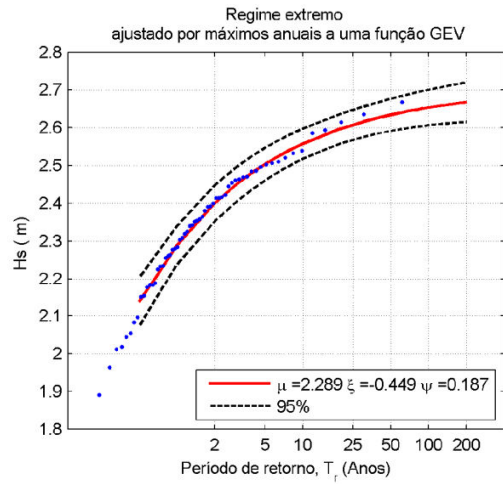


$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi\left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

$$x(F; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi}\left(1 - (-\ln(F))\right)^{-\xi}$$

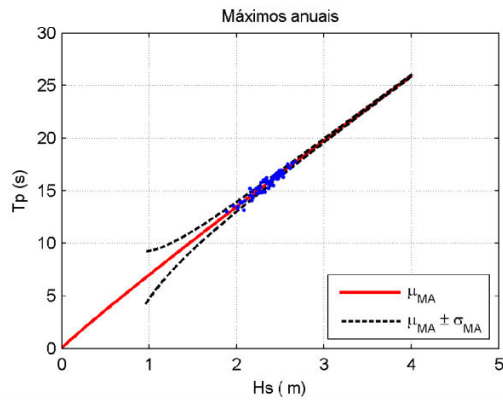
Figura 62: Caracterização do clima de ondas no ponto de análise P1 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp).

### Regime extremo de Altura de Onda Significativa, Hs e Período de Pico, Tp: Ponto Ponto1



Parâmetros do Regime Extremo

Variable	$\mu$	$\psi$	$\xi$
Hs	2.29	0.19	-0.45
Tp	15.37	1.18	-0.43



Tp	a	b
$\mu(Tp Hs)$	7.00	0.94
$\sigma(Tp Hs)$	2.28	-2.30

Função de distribuição GEV

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right) x = \{H_s, T_p\}$$

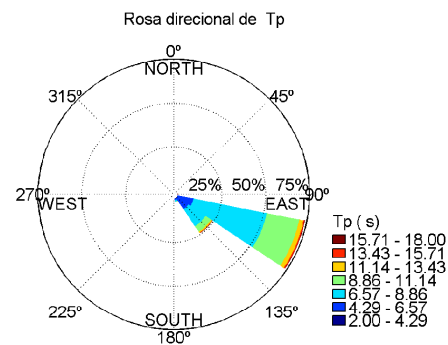
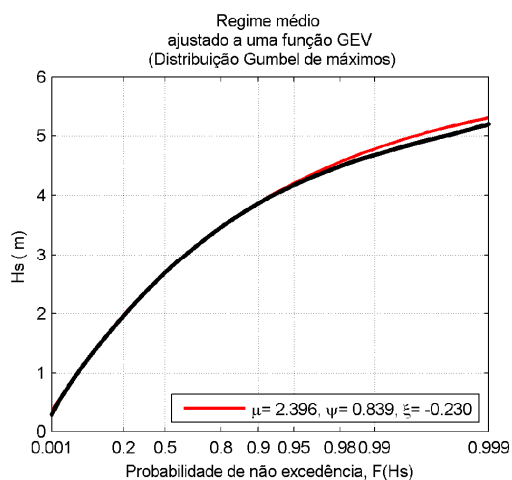
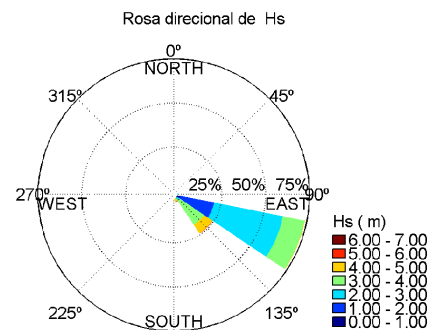
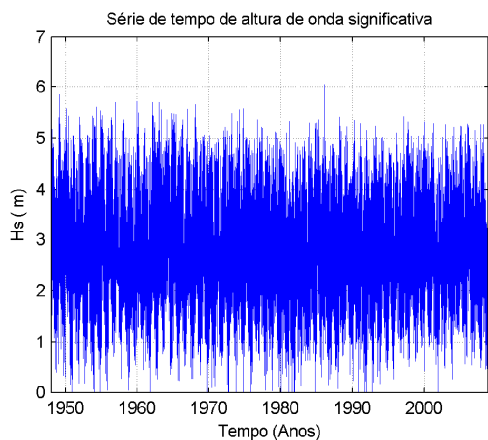


Ondas DOW	Latitude: -11.1° Longitude: -37.0° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1



Figura 63: Regime extremo (tempestades) de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P1.

## Caracterização do Clima de ondas: Ponto Ponto2



Sector	%	Hs <sub>50%</sub>	Hs <sub>75%</sub>	Hs <sub>95%</sub>	Hs <sub>99%</sub>	Hs <sub>12</sub>
N	0.00	-	-	-	-	-
NNE	0.00	-	-	-	-	-
NE	0.00	-	-	-	-	-
ENE	0.00	-	-	-	-	-
E	0.00	1.63	1.70	2.00	2.02	2.02
ESE	73.76	2.40	2.84	3.34	3.62	3.88
SE	24.15	3.67	3.98	4.41	4.66	4.84
SSE	2.05	4.57	4.81	5.14	5.37	5.54
S	0.03	5.34	5.55	5.82	5.98	6.04
SSW	0.00	-	-	-	-	-
SW	0.00	-	-	-	-	-
WSW	0.00	-	-	-	-	-
W	0.00	-	-	-	-	-
WNW	0.00	-	-	-	-	-
NW	0.00	-	-	-	-	-
NNW	0.00	-	-	-	-	-
Escalar	100.00	2.70	3.32	4.18	4.68	5.13
Calmas	0.04	-	-	-	-	-



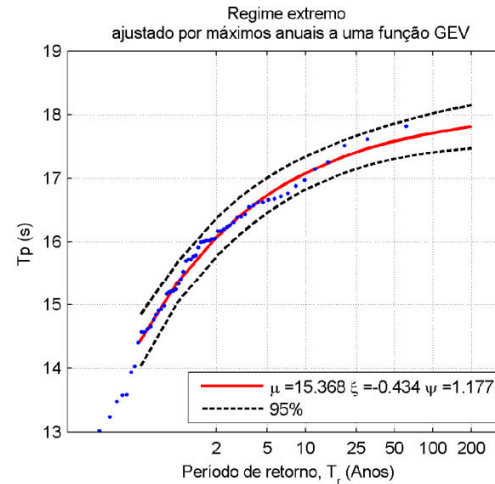
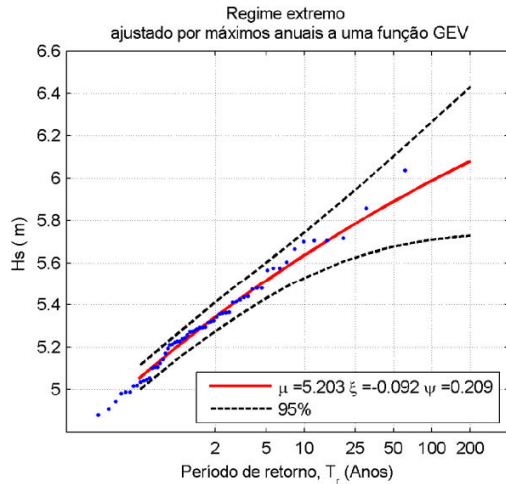
Ondas DOW	Latitude: -11.1° Longitude: -37.0° Profundidade: 26.9 m
Periodo	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi\left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{1/\xi}\right)$$

$$x(F; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - (-\ln(F))\right)^{-\xi}$$

Figura 64: Caracterização do clima de ondas médio no ponto de análise P2 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp).

## Regime extremo de Altura de Onda Significativa, Hs e Período de Pico, Tp: Ponto Ponto2



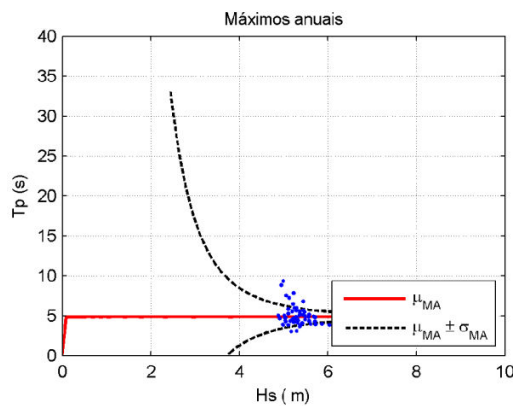
Função de distribuição GEV

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right) \quad x = \{H_s, T_p\}$$

Parâmetros do Regime Extremo

Variable	$\mu$	$\psi$	$\xi$
Hs	5.20	0.21	-0.09
Tp	15.37	1.18	-0.43



$$\mu_{MA}(Tp|Hs) = a(Hs)^b$$

$$\sigma_{MA}(Tp|Hs) = a(Hs)^b$$

Tp	a	b
$\mu(Tp Hs)$	4.84	0.00
$\sigma(Tp Hs)$	1193.15	-4.19

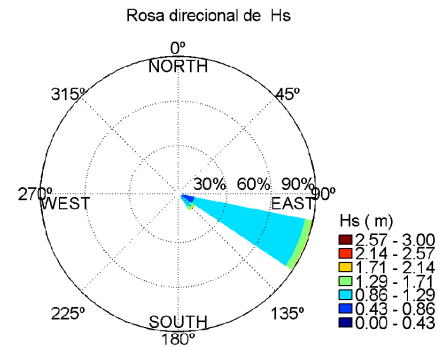
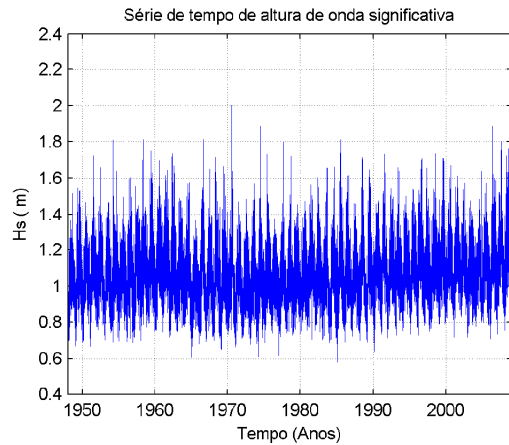


Ondas DOW	Latitude: -11.1° Longitude: -37.0° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1

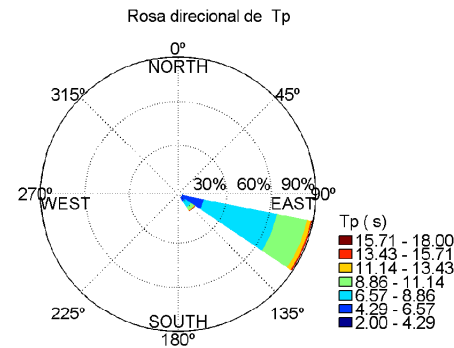
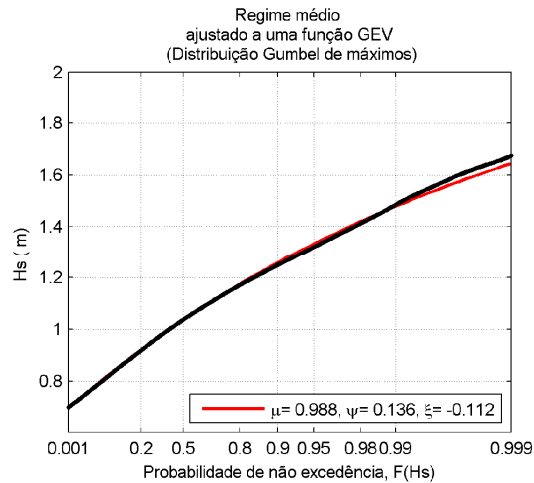


Figura 65: Regime extremo (tempestades) de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P2.

### Caracterização do Clima de ondas: Ponto Ponto3



Sector	%	Hs <sub>50%</sub>	Hs <sub>75%</sub>	Hs <sub>95%</sub>	Hs <sub>99%</sub>	Hs <sub>12</sub>
N	0.00	-	-	-	-	-
NNE	0.00	-	-	-	-	-
NE	0.00	-	-	-	-	-
ENE	0.00	-	-	-	-	-
E	0.01	0.79	0.83	0.87	0.90	0.90
ESE	89.20	1.03	1.13	1.29	1.41	1.55
SE	10.77	1.15	1.28	1.52	1.66	1.81
SSE	0.01	1.03	1.08	1.27	1.40	1.41
S	0.00	-	-	-	-	-
SSW	0.00	-	-	-	-	-
SW	0.00	-	-	-	-	-
WSW	0.00	-	-	-	-	-
W	0.00	-	-	-	-	-
WNW	0.00	-	-	-	-	-
NW	0.00	-	-	-	-	-
NNW	0.00	-	-	-	-	-
Escalar	100.00	1.04	1.15	1.32	1.49	1.65
Calmas	0.00	-	-	-	-	-



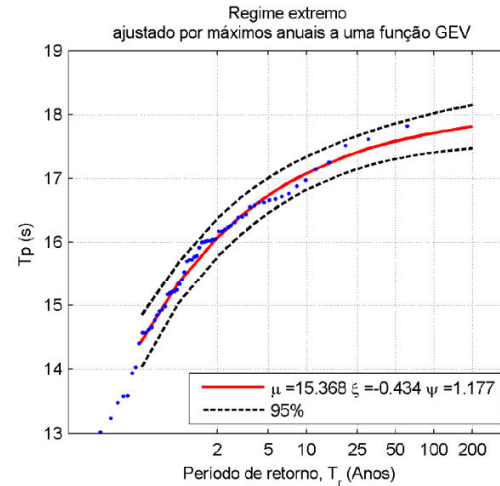
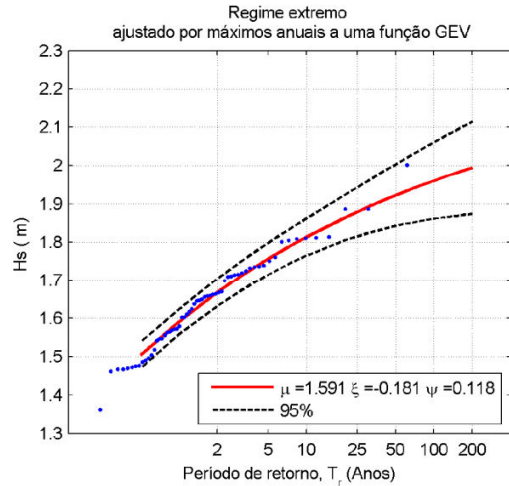
Ondas DOW Latitude: -11.1° Longitude: -37.0° Profundidade: 26.9 m

Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1



Figura 66: Caracterização do clima de ondas médio no ponto de análise P3 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp).

Regime extremo de Altura de Onda Significativa, Hs e Período de Pico, Tp: Ponto Ponto3



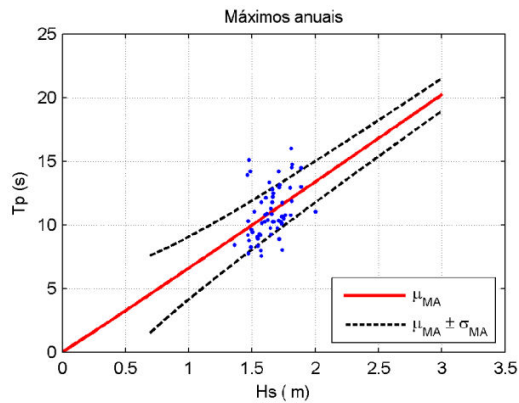
Função de distribuição GEV

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

$$x(T_p; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_p}\right)^{-\xi}\right) \quad x = \{H_s, T_p\}$$

Parâmetros do Regime Extremo

Variable	$\mu$	$\psi$	$\xi$
Hs	1.59	0.12	-0.18
Tp	15.37	1.18	-0.43



$$\mu_{MA}(Tp|Hs) = a(Hs)^b$$

$$\sigma_{MA}(Tp|Hs) = a(Hs)^b$$

Tp	a	b
$\mu(Tp Hs)$	6.60	1.02
$\sigma(Tp Hs)$	2.45	-0.59

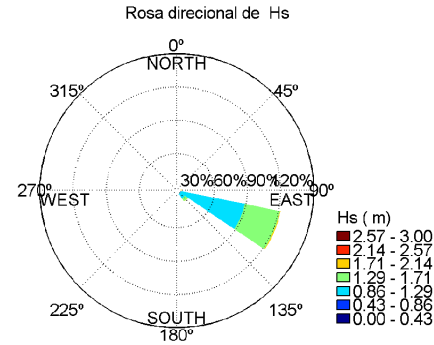
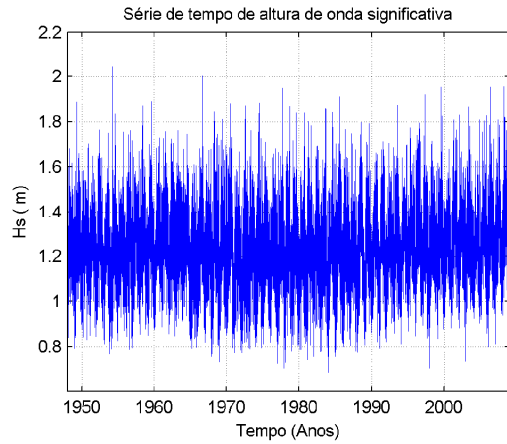


Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1

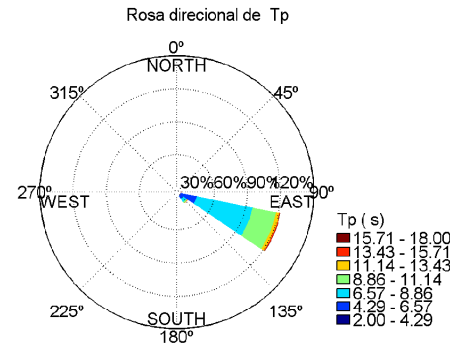
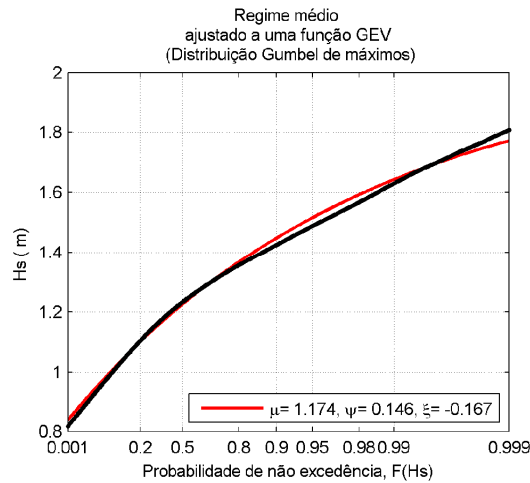


Figura 67: Regime extremo (tempestades) de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P3.

### Caracterização do Clima de ondas: Ponto Ponto4



Sector	%	Hs <sub>50%</sub>	Hs <sub>75%</sub>	Hs <sub>95%</sub>	Hs <sub>99%</sub>	Hs <sub>12</sub>
N	0.00	-	-	-	-	-
NNE	0.00	-	-	-	-	-
NE	0.00	-	-	-	-	-
ENE	0.00	-	-	-	-	-
E	0.19	1.48	1.61	1.72	1.82	1.89
ESE	91.70	1.23	1.33	1.48	1.62	1.77
SE	8.12	1.24	1.36	1.56	1.68	1.86
SSE	0.00	0.95	0.97	1.15	1.15	1.15
S	0.00	-	-	-	-	-
SSW	0.00	-	-	-	-	-
SW	0.00	-	-	-	-	-
WSW	0.00	-	-	-	-	-
W	0.00	-	-	-	-	-
WNW	0.00	-	-	-	-	-
NW	0.00	-	-	-	-	-
NNW	0.00	-	-	-	-	-
Escalar	100.00	1.23	1.33	1.49	1.63	1.79
Calmas	0.00	-	-	-	-	-



Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1

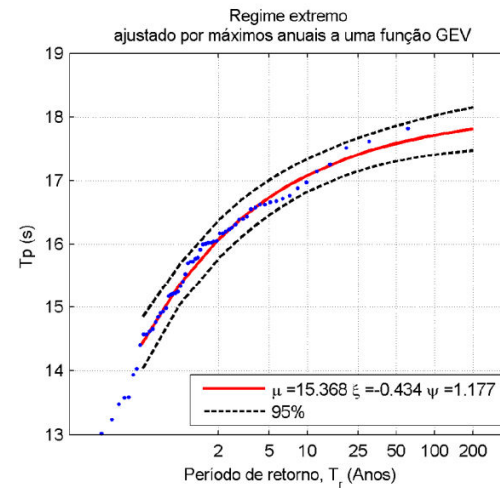
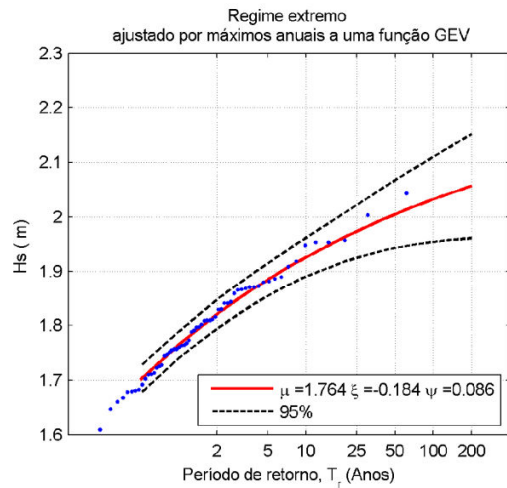


$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi\left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{1/\xi}\right)$$

$$x(F; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - (-\ln(F))^{-\xi}\right)$$

Figura 68: Caracterização do clima de ondas médio no ponto de análise P4 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp).

Regime extremo de Altura de Onda Significativa, Hs e Período de Pico, Tp: Ponto Ponto4



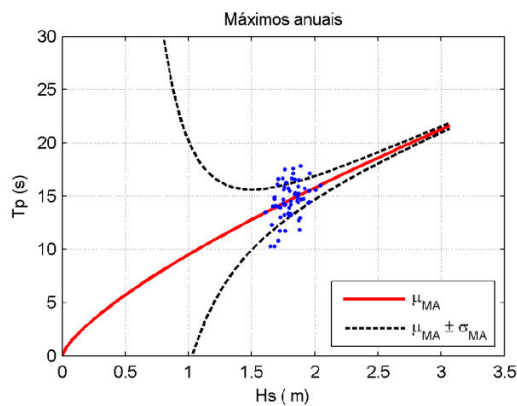
Função de distribuição GEV

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

$$x(T_T; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_T}\right)^{-\xi}\right) \quad x = \{H_s, T_p\}$$

Parâmetros do Regime Extremo

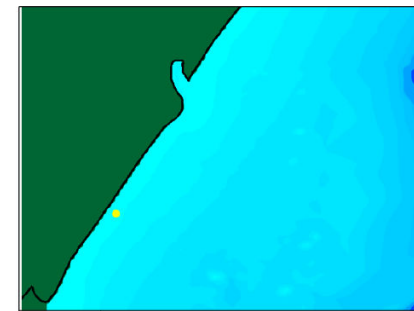
Variable	$\mu$	$\psi$	$\xi$
Hs	1.76	0.09	-0.18
Tp	15.37	1.18	-0.43



$$\mu_{MA}(Tp|Hs) = a(Hs)^b$$

$$\sigma_{MA}(Tp|Hs) = a(Hs)^b$$

Tp	a	b
$\mu(Tp Hs)$	9.49	0.73
$\sigma(Tp Hs)$	10.69	-3.27



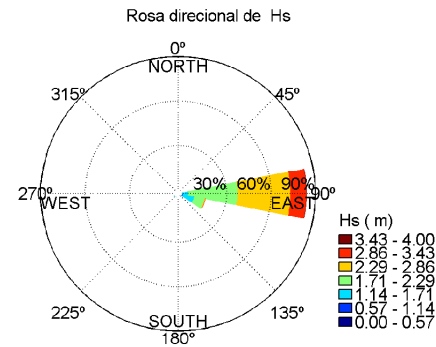
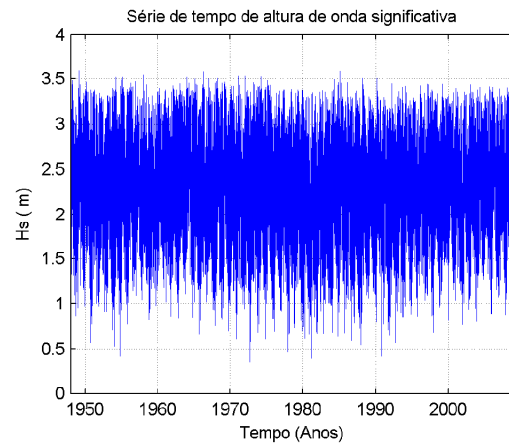
Ondas DOW	Latitude: -11.1° Longitude: -37.0° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1



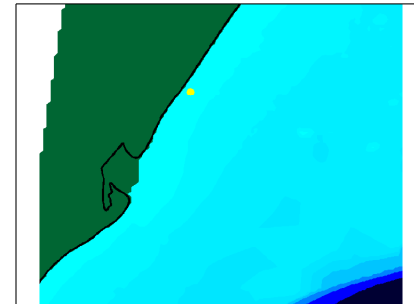
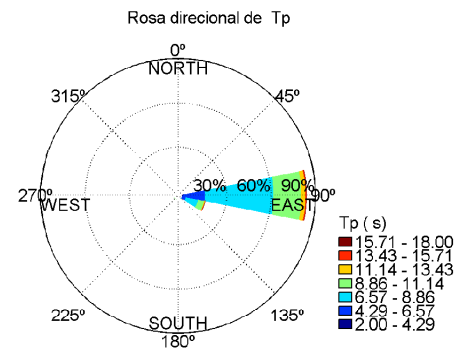
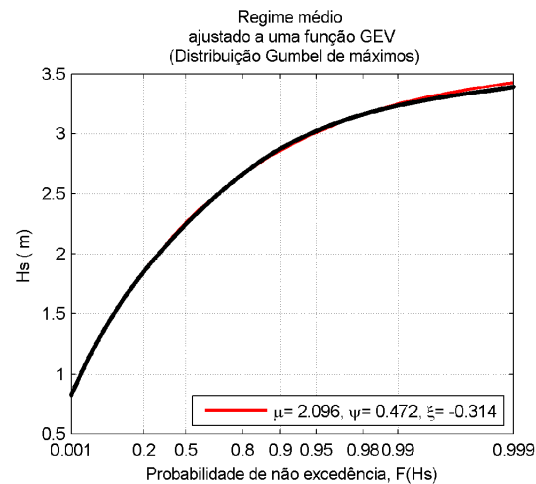
Figura 69: Regime extremo (tempestades) de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P4.



## Caracterização do Clima de ondas: Ponto Ponto5



Sector	%	Hs <sub>90%</sub>	Hs <sub>75%</sub>	Hs <sub>95%</sub>	Hs <sub>99%</sub>	Hs <sub>12</sub>
N	0.00	-	-	-	-	-
NNE	0.00	-	-	-	-	-
NE	0.00	-	-	-	-	-
ENE	0.00	-	-	-	-	-
E	83.91	2.35	2.65	3.05	3.25	3.39
ESE	15.85	1.70	1.88	2.16	2.56	2.80
SE	0.19	1.07	1.35	1.68	1.89	1.94
SSE	0.03	1.02	1.33	1.60	1.65	1.66
S	0.01	0.82	1.02	1.51	1.54	1.54
SSW	0.00	1.06	1.39	1.50	1.51	1.51
SW	0.00	0.55	1.33	1.46	1.46	1.46
WSW	0.00	-	-	-	-	-
W	0.00	-	-	-	-	-
WNW	0.00	-	-	-	-	-
NW	0.00	-	-	-	-	-
NNW	0.00	-	-	-	-	-
Escalar	100.00	2.25	2.58	3.02	3.24	3.38
Calmas	0.00	-	-	-	-	-



Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais 2
Alternativa	Alternativa 1

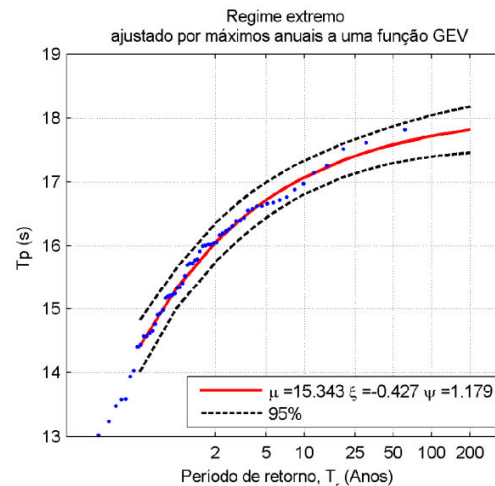
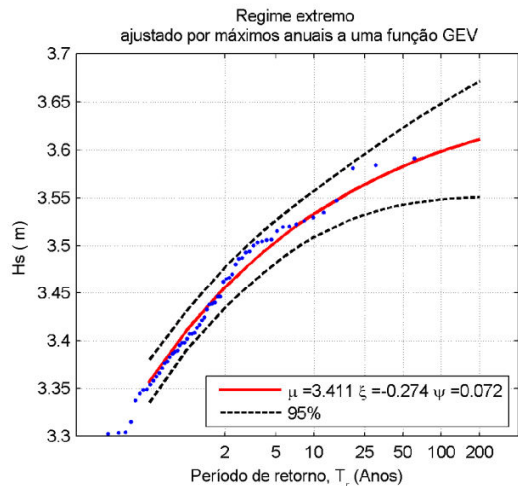


$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi\left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

$$x(F; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - (-\ln(F))\right)^{-\xi}$$

Figura 70: Caracterização do clima de ondas médio no ponto de análise P5 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp).

Regime extremo de Altura de Onda Significativa, Hs e Período de Pico, Tp: Ponto Ponto5



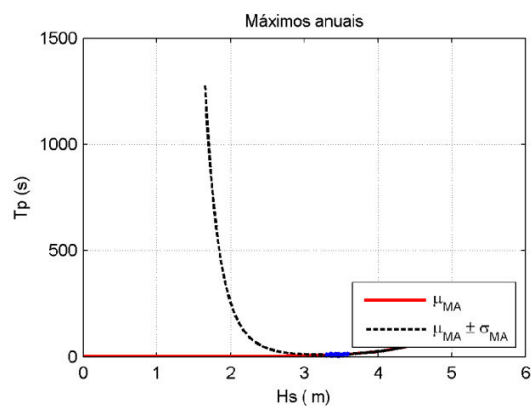
Parâmetros do Regime Extremo

Variable	$\mu$	$\psi$	$\xi$
Hs	3.41	0.07	-0.27
Tp	15.34	1.18	-0.43

Função de distribuição GEV

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

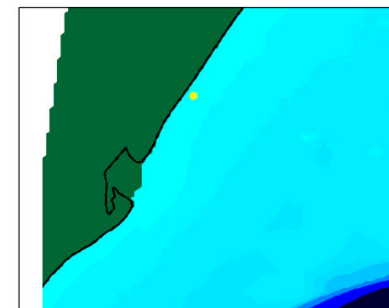
$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right) \quad x = \{H_s, T_p\}$$



$$\mu_{MA}(T_p|H_s) = a(H_s)^b$$

$$\sigma_{MA}(T_p|H_s) = a(H_s)^b$$

Tp	a	b
$\mu(T_p H_s)$	0.00	6.49
$\sigma(T_p H_s)$	89909.39	-8.47

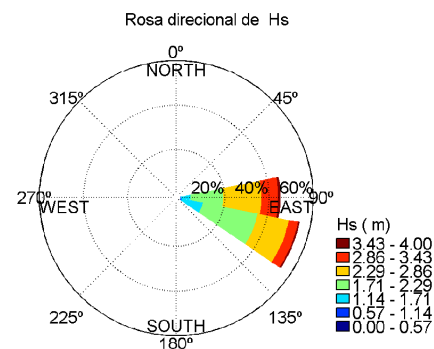
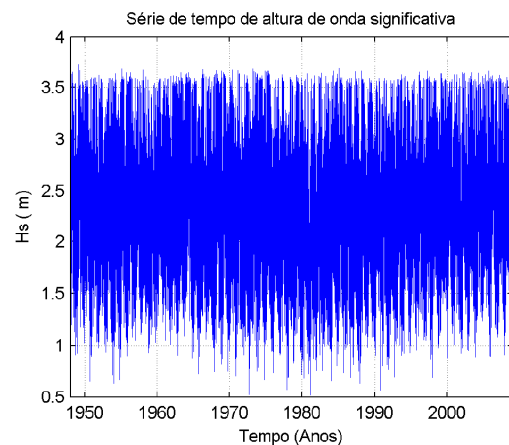


Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais 2
Alternativa	Alternativa 1

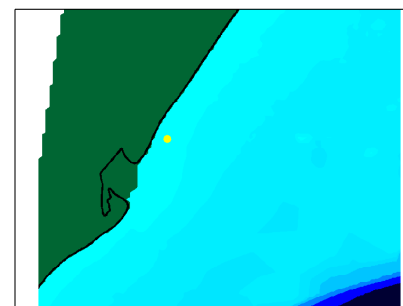
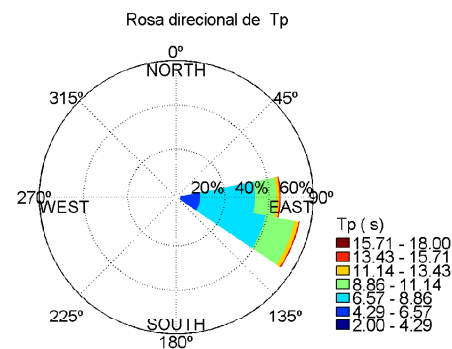
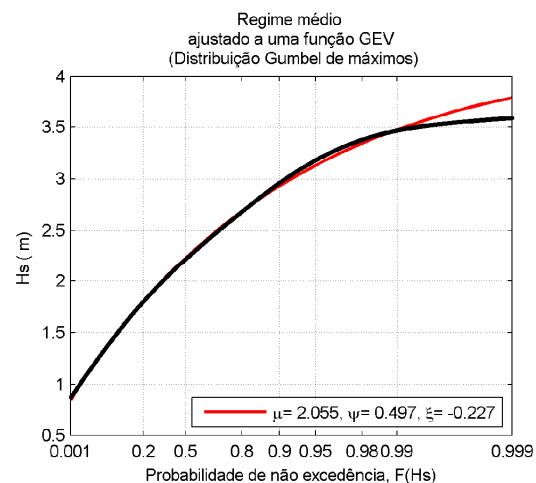


Figura 71: Regime extremo (tempestades) de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P5.

## Caracterização do Clima de ondas: Ponto Ponto6



Sector	%	Hs <sub>50%</sub>	Hs <sub>75%</sub>	Hs <sub>95%</sub>	Hs <sub>99%</sub>	Hs <sub>12</sub>
N	0.00	-	-	-	-	-
NNE	0.00	-	-	-	-	-
NE	0.00	-	-	-	-	-
ENE	0.00	-	-	-	-	-
E	45.17	2.38	2.74	3.26	3.50	3.59
ESE	54.83	2.11	2.43	3.06	3.43	3.56
SE	0.00	-	-	-	-	-
SSE	0.00	-	-	-	-	-
S	0.00	-	-	-	-	-
SSW	0.00	-	-	-	-	-
SW	0.00	-	-	-	-	-
WSW	0.00	-	-	-	-	-
W	0.00	-	-	-	-	-
WNW	0.00	-	-	-	-	-
NW	0.00	-	-	-	-	-
NNW	0.00	-	-	-	-	-
Escalar	100.00	2.22	2.59	3.18	3.47	3.58
Calmas	0.00	-	-	-	-	-



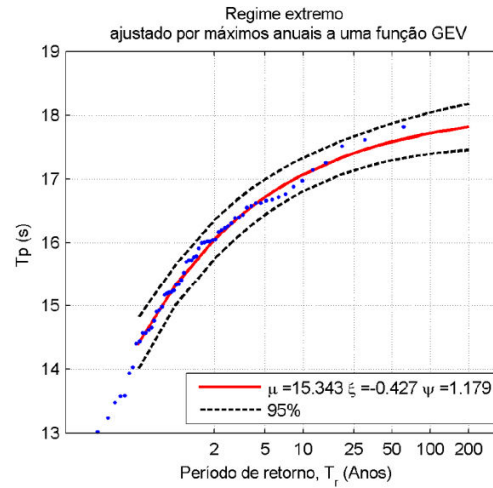
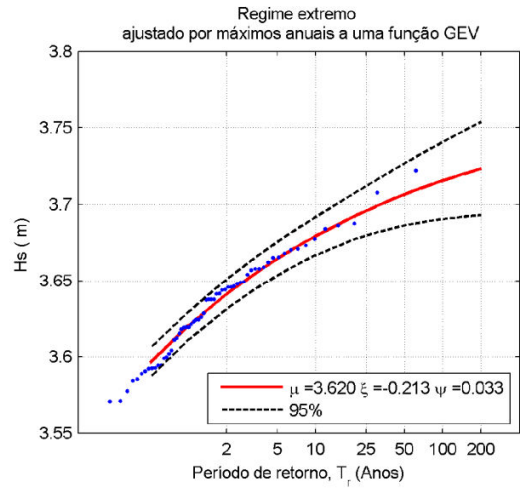
Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais 2
Alternativa	Alternativa 1

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi\left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{1/\xi}\right)$$

$$x(F; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - (-\ln(F))\right)^{-\xi}$$

Figura 72: Caracterização do clima de ondas médio no ponto de análise P6 com: localização e batimetria, série temporal e regime médio (1950-2000) de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período (Tp).

Regime extremo de Altura de Onda Significativa, Hs e Período de Pico, Tp: Ponto Ponto6



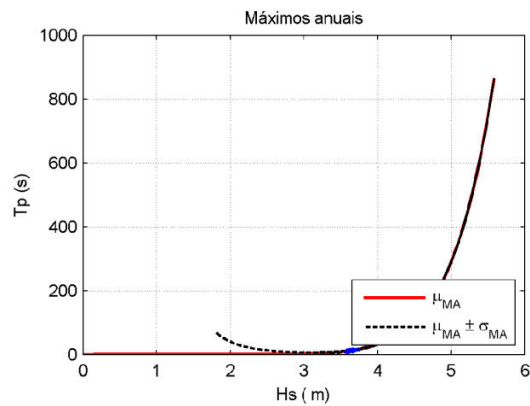
Parâmetros do Regime Extremo

Variable	$\mu$	$\psi$	$\xi$
Hs	3.62	0.03	-0.21
Tp	15.34	1.18	-0.43

Função de distribuição GEV

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

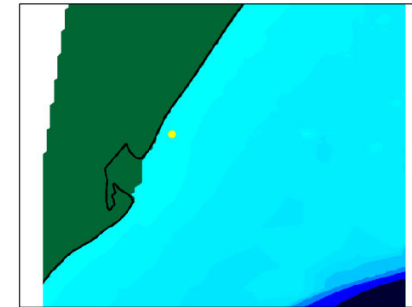
$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right) \quad x = \{H_s, T_p\}$$



$$\mu_{MA}(Tp|Hs) = a(Hs)^b$$

$$\sigma_{MA}(Tp|Hs) = a(Hs)^b$$

Tp	a	b
$\mu(Tp Hs)$	0.00	9.93
$\sigma(Tp Hs)$	1495.27	-5.22



Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais 2
Alternativa	Alternativa 1



Figura 73: Regime extremo (tempestades) de altura de ondas significativas e período, no ponto de análise P6.

### 7.2.2 Transporte litorâneo

Para o cálculo do transporte litorâneo, o SMC – Brasil emprega uma das fórmulas mais utilizadas na prática de engenharia costeira, aquela do CERC (*Coastal Engineering Research Center*) (1984), que se baseia no princípio de que o volume de areia transportado é proporcional à energia das ondas ao longo da costa, por unidade de longitude da praia.

Foram utilizados para o cálculo de transporte de sedimentos o tamanho mediano do grão ( $D_{50}$ ).

Para a área de estudo as taxas de transporte potencial foram calculadas em 11 perfis distribuídos ao longo do trecho de linha de costa estudado sendo, seis perfis na área 01 e cinco perfis na área 02 (Figuras 74 e 75). Para cada um dos perfis foi necessário determinar as características das ondas na zona de arrebentação, assim como as correntes. As ondas em água profunda foram transformadas até a posição do perfil no ponto da rebentação das ondas quando então foram calculadas as taxas de transporte potencial longitudinal hora a hora utilizando a formulação do CERC (1984).

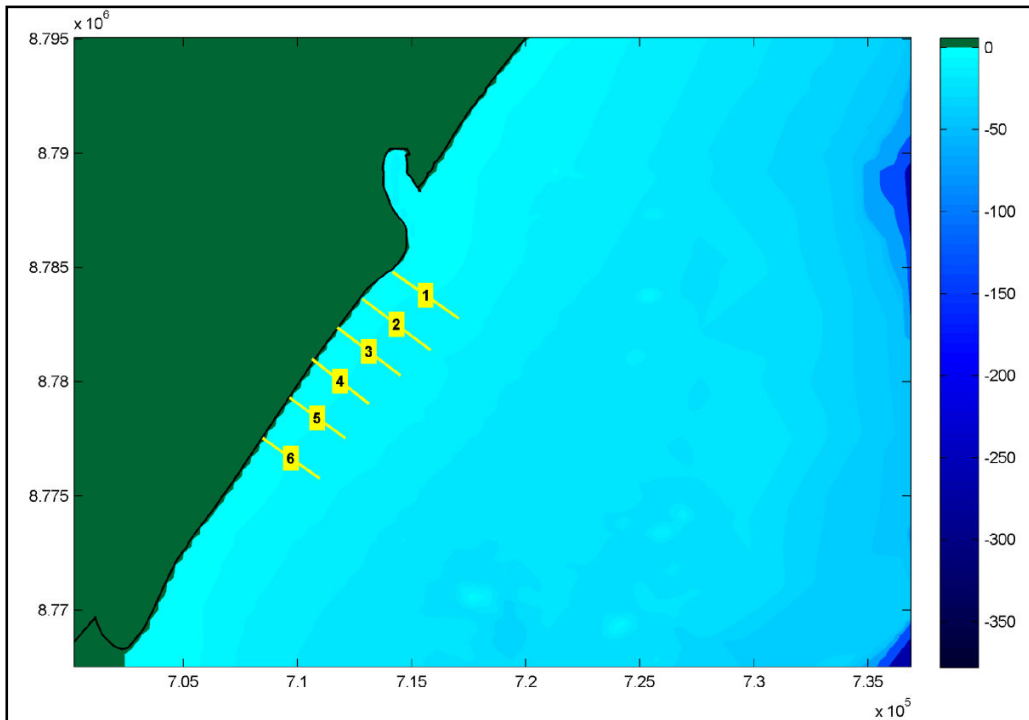


Figura 74: Localização dos perfis de praia para os quais foi calculado o transporte de sedimentos na área 01.

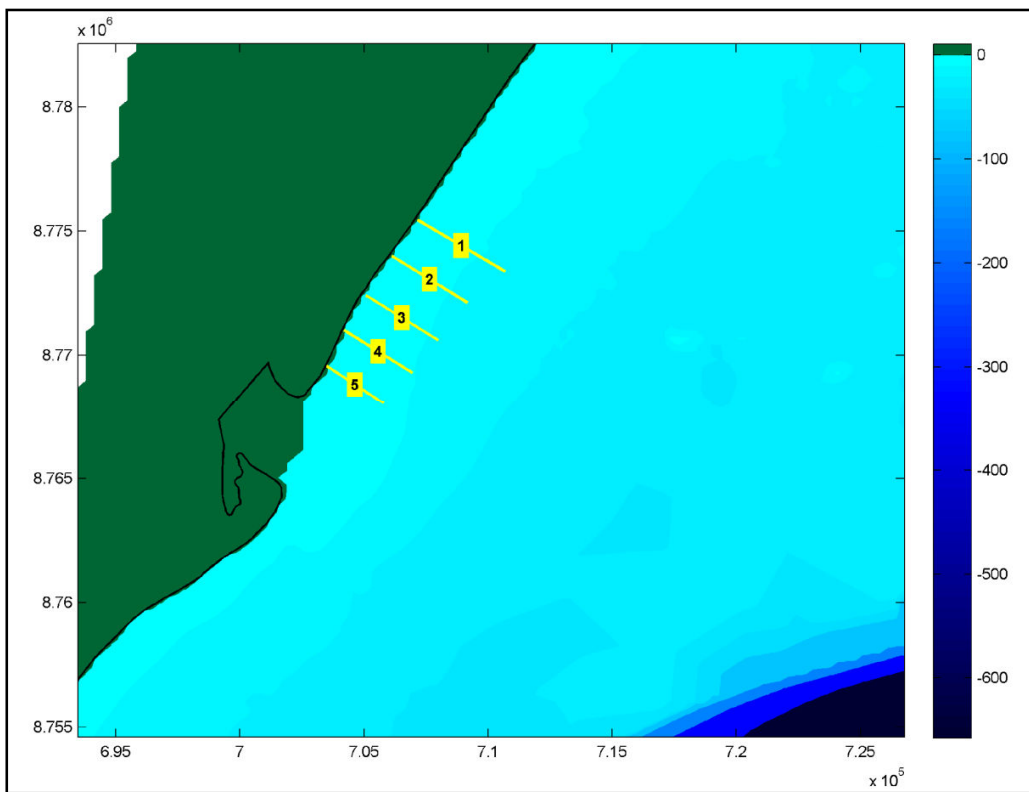


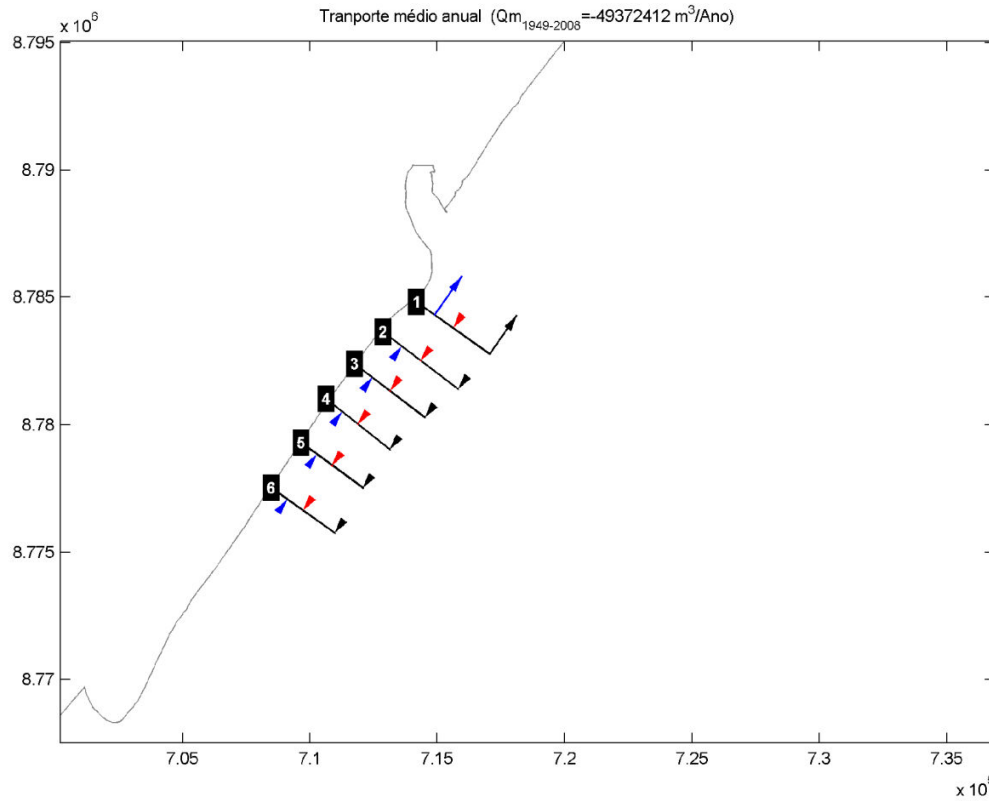
Figura 75: Localização dos perfis de praia para os quais foi calculado o transporte de sedimentos na área 02.

Seguindo a metodologia indicada anteriormente, foram determinadas as taxas médias anuais de transporte potencial longitudinal no período de 1948 a 2008. As Figuras 76 e 77 mostram as taxas médias anuais calculadas para os 11 perfis.

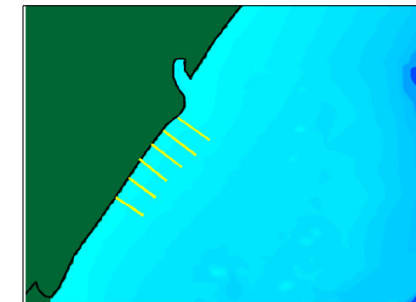
Na maioria dos perfis o transporte médio positivo (NE-SW) e negativo (SW-NE) são da mesma ordem de grandeza, porém com um transporte médio líquido direcionado de NE para SW, com exceção do perfil 1 (na área 01) e do perfil 4 (na área 2). No primeiro caso o transporte líquido é no sentido SW-NE, enquanto no segundo caso é NE-SW.

De modo geral, portanto a linha de costa encontra-se em uma situação quase de equilíbrio com o transporte líquido próximo a zero.

Mapa do Transporte Médio de Sedimentos, Qm %s (%d/%d) \*



Perfil	Id	Q (m <sup>3</sup> )	Q* (m <sup>3</sup> )	Q- (m <sup>3</sup> )
1	profile01	-51435322.58	30.27	-51435352.85
2	profile02	234792.66	345979.53	-1111185.85
3	profile03	136120.16	141463.68	-5343.50
4	profile04	508756.25	535666.63	-26910.38
5	profile05	1049406.87	1075835.01	-26426.15
6	profile06	133834.77	168046.09	-34213.32
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Média	-	-9226735.31	377837.20	-8606672.51



Formulação empregada

$$Q = \frac{k\rho_s g^{1/2}}{16(\rho_s - \rho_w)(1-p)\sqrt{\tau_b}} H_b^{5/2} \sin 2\theta_b \text{ [m}^3/\text{s]} \quad \text{CERC (1984)}$$

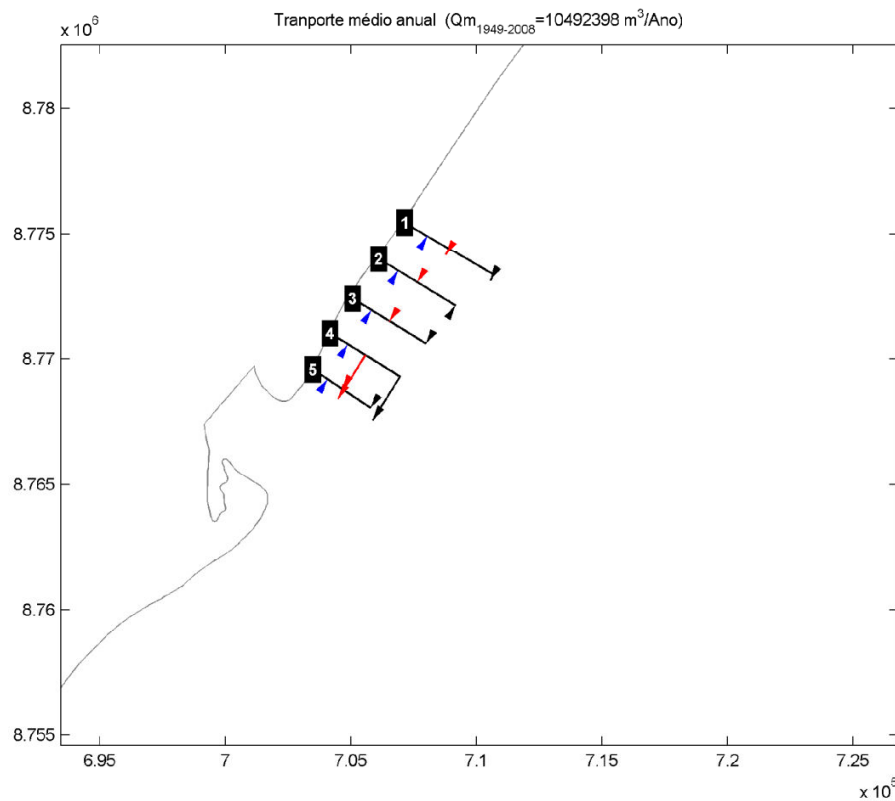
← Q: transporte médio bruto  
← Q\*: transporte médio positivo  
← Q-: transporte médio negativo

Ondas DOW	Latitude: -11.1° Longitude: -37.0° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1

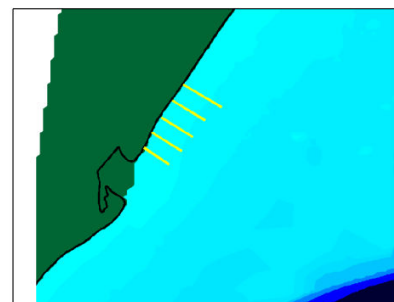
Figura 76: Mapa mostrando o transporte médio de sedimentos nos perfis da área 01.



### Mapa do Transporte Médio de Sedimentos, Qm %s (%d/%d) \*



Perfil	Id	Q (m <sup>3</sup> )	Q* (m <sup>3</sup> )	Q' (m <sup>3</sup> )
1	profile07	1205758.49	1226446.85	-20686.36
2	profile08	-3596.10	6586.32	-10184.42
3	profile09	35410.42	35410.45	-0.03
4	profile10	9248934.56	9253361.96	-4427.40
5	profile11	5882.47	5883.26	-0.79
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Média	-	2068479.57	2105539.77	-7080.20



Formulação empregada

$$Q = \frac{k\rho_w g^{1/2}}{16(\rho_s - \rho_w)(1-p)\sqrt{f_b}} H_b^{3/2} \sin 2\theta_b \text{ [m}^3/\text{s]} \text{ CERC (1984)}$$

← Q: transporte médio bruto  
 ← Q\*: transporte médio positivo  
 ← Q': transporte médio negativo

Ondas DOW Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m

Período: 1948-2008

Projeto: Tese Tais 2

Alternativa: Alternativa 1

Figura 77: Mapa mostrando o transporte médio de sedimentos nos perfis da área 02.

Na figura 78 as setas representam a magnitude e sentido do transporte potencial (em cada perfil) para a área de estudo enquanto os círculos vermelhos destacam os trechos que experimentam erosão. Entre as praias do Mosqueiro e do Refúgio verifica-se uma divergência no transporte seguida de uma intensificação do transporte para SW. Na praia da Coroa do Meio onde também ocorre erosão uma outra zona de divergência está presente. Estas zonas de divergência são aparentemente a causa principal para os processos erosivos verificados.

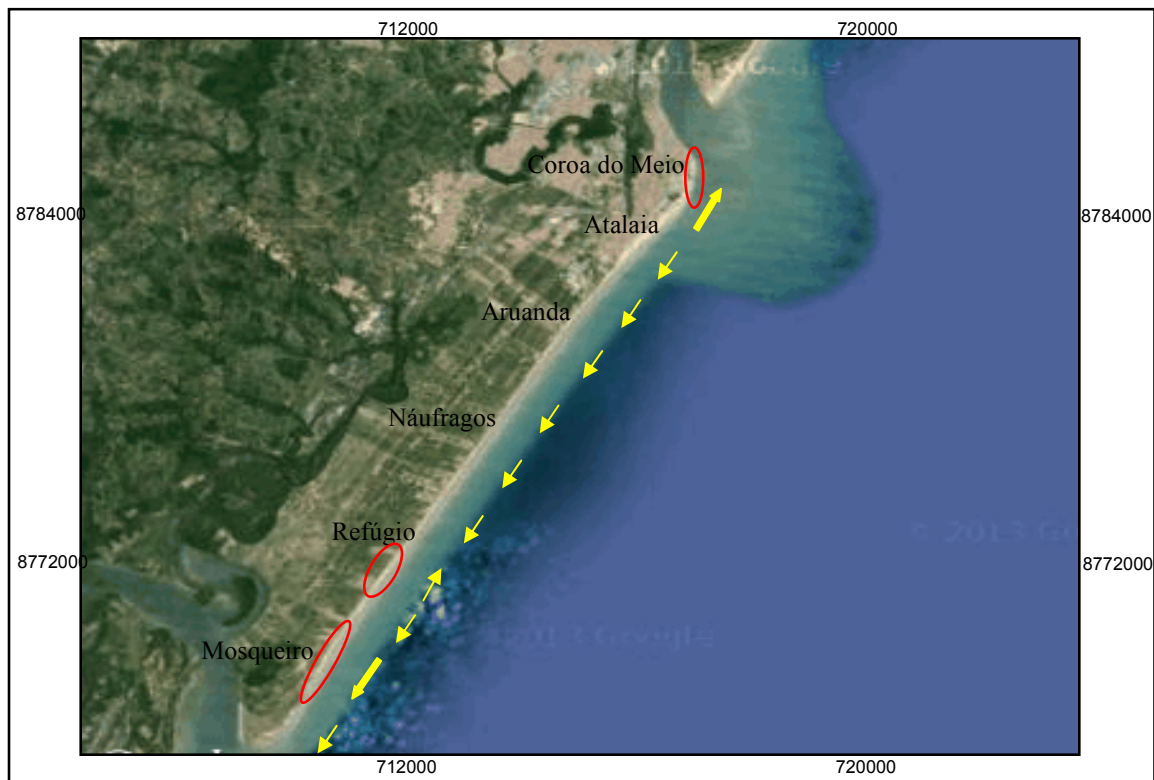


Figura 78: Mapa mostrando o sentido do transporte médio líquido de sedimentos na área de estudos, e as principais zonas de erosão (círculos vermelhos).

### 7.2.3 Cota de Inundação

A cota de inundação em uma praia é determinada pela ação conjunta da maré astronômica, da maré meteorológica e do “run-up” das ondas (nível atingido

pelas ondas quebrando na praia). Estes três elementos variam no espaço e no tempo e também interagem com a morfologia da praia e suas proximidades. O nível alcançado como a combinação desses elementos é chamado de nível de inundação ou cota de inundação (CI) (Figura 79).

Conhecer a cota de inundação em uma praia e determinar a sua probabilidade de ocorrência e período de retorno em anos é um pré-requisito no planejamento de atividades na zona costeira, tais como: a demarcação de domínios público e privado, o desenvolvimento de protocolos contra inundações ou recuperação dos ecossistemas costeiros protegidos.

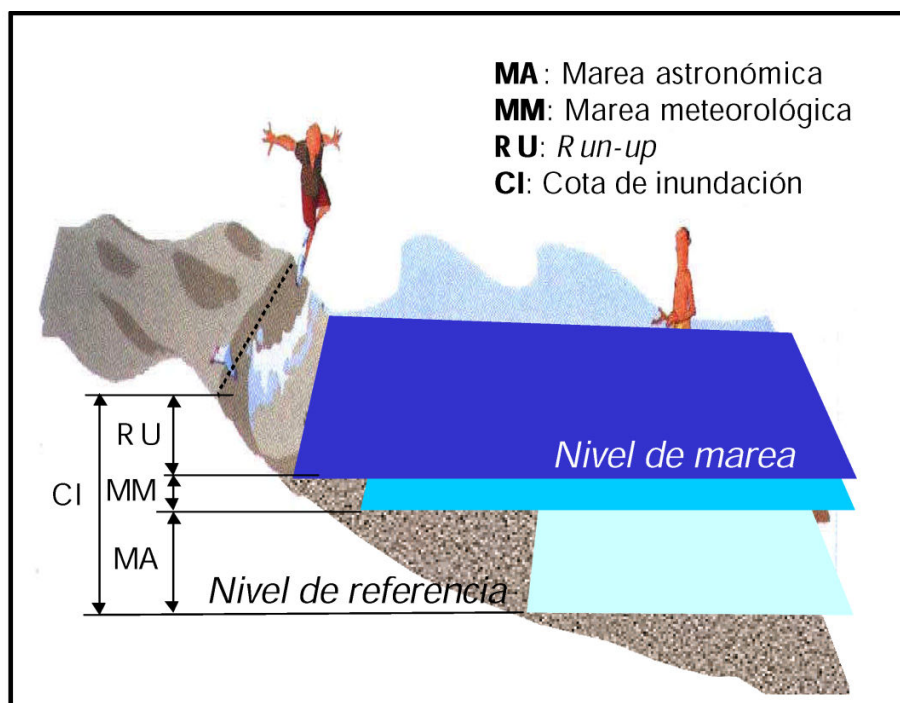


Figura 79: Cota de Inundação (Fonte: GIOC 1997)

As séries de maré astronômica, maré meteorológica e ondas (a partir da qual foi calculado o run-up) foram geradas para o mesmo período (1948 e 2008), apresentando intervalo padrão (horário). Desta maneira, a cota de inundação instantânea (média) foi calculada para cada hora dos 60 anos de dados através da soma dos três componentes (em anexo), bem como por eventos extremos, onde foi calculado o período de retorno da cota de inundação para 25, 50, 100 e 200 anos em cada perfil.

As recorrências dos eventos extremos da cota de inundação, para os perfis, estão apresentadas nas figuras 80 e 81. É possível observar que os valores de cota de inundação calculados, tomando como exemplo o tempo de recorrência de 25 anos, a partir de dados de ondas propagadas até a costa, foram para área 01 de 6,8 m para o perfil 1, de 2,7 m para o perfil 2, de 2,4 m para o perfil 3, de 3,4 m para o perfil 4, de 3,0 m para o perfil 5, e de 3,3 m no perfil 6. Na área 02 foram de 3,2 m no perfil 1, de 2,6 m no perfil 2, de 2,0 m no perfil 3, de 4,1 m no perfil 4 e de 1,9m no perfil 5.

Os maiores valores da cota de inundação ocorreram nos mesmos perfis que apresentaram magnitudes de transporte de sedimentos mais acentuadas, o perfil 1 na área 01 e o perfil 4 da área 02 (ver figuras 76 e 77). Esses dois perfis apresentaram também valores de inundação durante 50% do tempo analisado entre 1948 e 2008, superiores aos demais, sendo de 5 m e 3,4 m respectivamente.

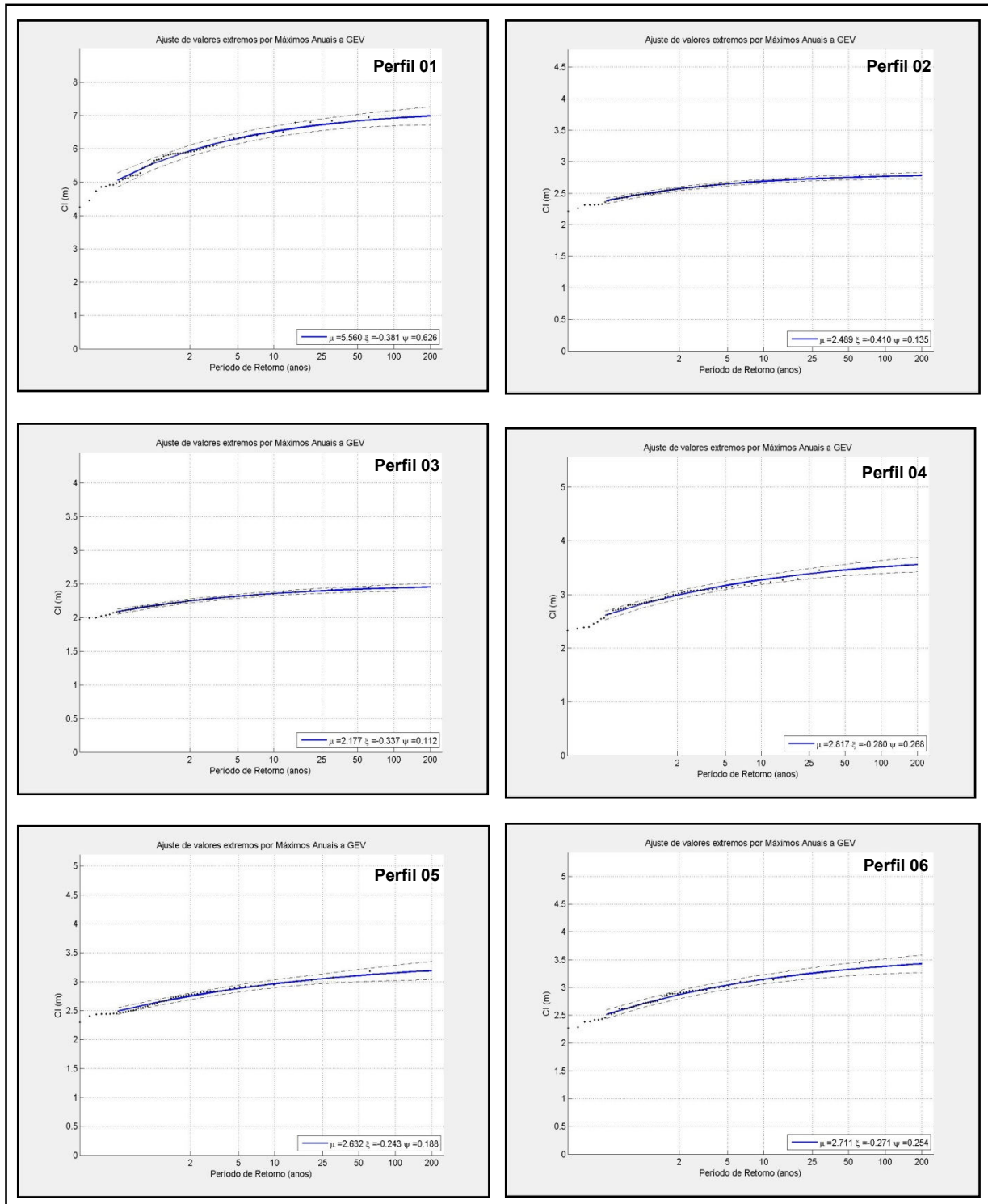


Figura 80: Valores extremos e período de retorno da cota de inundação para cada perfil da área 01.

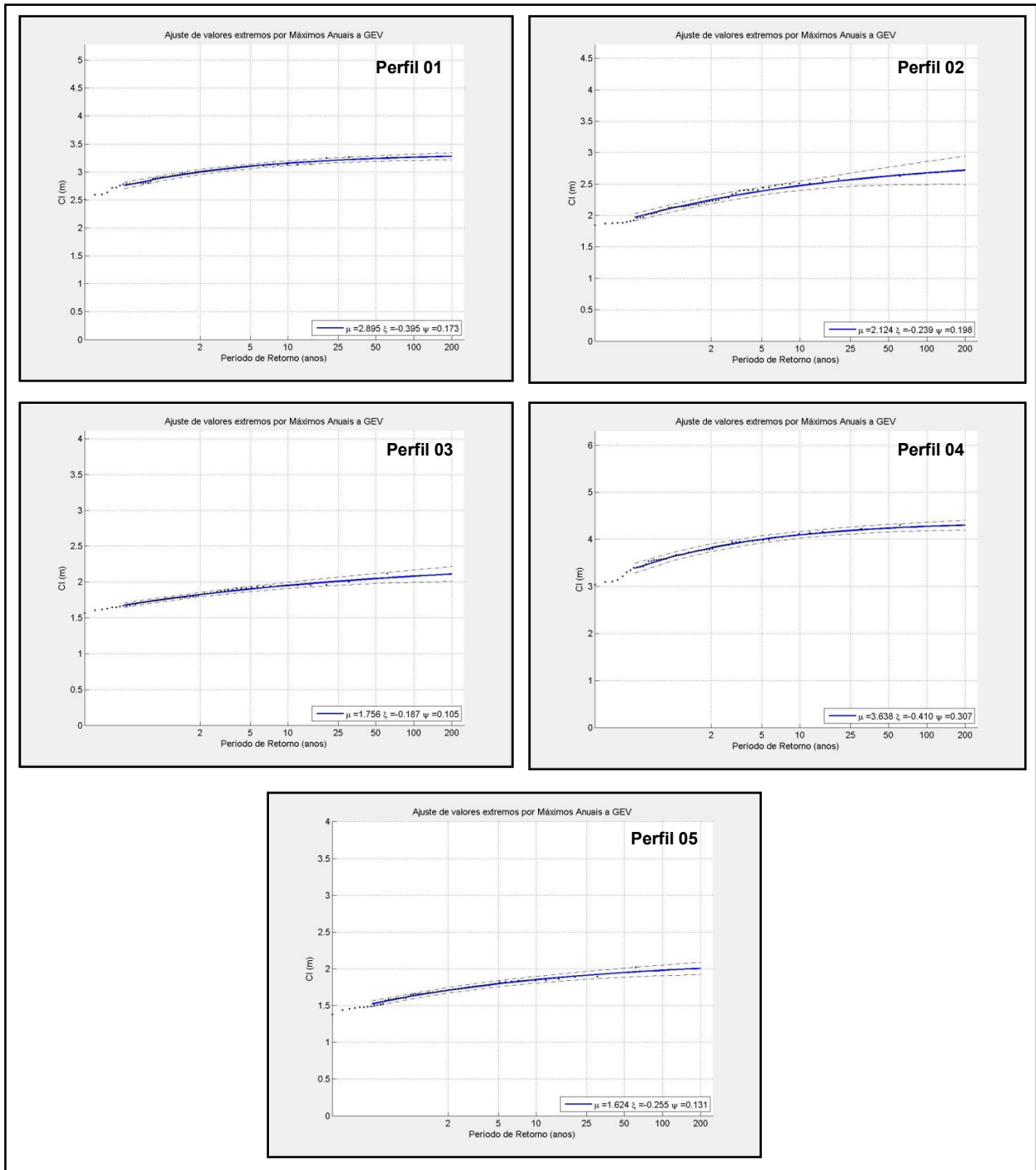


Figura 81: Valores extremos e período de retorno da cota de inundação para cada perfil da área 02.

### **7.3 Áreas vulneráveis à inundação durante ocorrência de tempestades e elevação do nível do mar.**

Segundo os resultados apresentados nos relatórios do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), as mudanças climáticas podem implicar principalmente em uma elevação do nível do mar e em um aumento da frequência dos eventos climáticos extremos. O aumento da frequência de eventos climáticos extremos implicará em um aumento na frequência de ondas com maiores alturas e marés meteorológicas maiores, com incremento concomitante dos processos de erosão costeira.

Durante as condições de alta energia (tempestades), o nível médio da água do mar aumenta como resultado do efeito combinado da maré, vento, pressão atmosférica e ondas. Nessas condições, a praia e as dunas (se existentes) são fortemente atacadas pelas ondas incidentes, e geralmente resultam em processos erosivos. Quando ondas de tempestade chegam à praia, estas quebram com muita intensidade, e como consequência, um grande volume de água é lançado sobre a face da praia (Van Rijn, 2009).

A combinação em um evento de tempestades com maré meteorológica positiva, marés astronômicas de sizígia, e valores extremos de “run-up” de onda, pode resultar em galgamento do cordão duna, obras de defesa costeira, avenidas e estradas. Desta forma, erosão e inundações podem ocorrer em áreas onde normalmente não ocorrem. Se para essa situação for adicionado ainda o valor de elevação do nível do mar previsto pelo IPCC (entre 50 cm e 1 m) teremos uma amplitude ainda maior nos valores da cota de inundação implicando em destruição de benfeitorias, perda da faixa de areia nas praias, e maior incidência de inundações em zonas de baixadas.

A integração de dados existentes em trabalhos anteriores, àqueles observados em campo, e com os resultados das simulações da dinâmica marinha realizadas com o SMC-Brasil permitiu identificar os trechos da área de estudo mais vulneráveis às mudanças climáticas. Estes dois trechos estão compreendidos entre as praias da Coroa do Meio e de Atalaia e o entre as praias do Refúgio e Mosqueiro. Nestas duas áreas se verificam as maiores alturas de

onda durante tempestades, as maiores amplitudes da cota de inundação sob condições médias e sob tempestades, e os maiores valores de transporte de sedimentos, com fluxos de correntes mais intensos.

Corroborando, os resultados encontrados, durante uma campanha de campo realizada no período de inverno e sob maré de sizígia, foi possível observar que nesses dois trechos ocorre o galgamento do cordão duna e em alguns pontos da rodoviária (Figura 82).

As dunas constituem um dos mais importantes e efetivos protetores naturais na costa, porém a resposta da praia a estes eventos varia notavelmente ao longo da mesma. A praia do Mosqueiro é vulnerável, pois além de ser contígua à desembocadura do rio Vaza-Barris, as dunas frontais apresentam as menores alturas e larguras e em alguns pontos nem existem, visto que a rodovia foi construída em cima do cordão duna e muito próxima da linha de preamar máxima.

Nas praias do Refúgio e da Coroa do Meio, onde se verifica uma divergência no sentido da deriva litorânea, a construção de barracas de praia sobre as dunas frontais, as tornam mais vulneráveis a eventos extremos e inundações, devido à falta de proteção que as mesmas ofereciam.





Figura 82: A e B praia da Coroa do Meio; C e D praia do Refúgio; E e F Praia do Mosqueiro.

## 8. CONCLUSÕES

---

O SMC-Brasil apresenta uma base de dados gerada a partir da metodologia de reanálise e *downscaling*, que integra informações do ano de 1948 até 2008, contribuindo para minimizar o déficit no Brasil de dados *in situ* sistemáticos e de longo prazo, principalmente por ser um pacote de ferramentas e de base de dados livre.

Como parte das praias brasileiras sofre com problemas de erosão, e são densamente ocupadas, o que se configura como um dos principais desafios da Gestão Costeira no país, essa ferramenta vem auxiliar nos estudos dos processos costeiros.

A utilização do SMC-Brasil para se obter uma melhor compreensão da dinâmica marinha e sedimentar no município de Aracaju, mostrou que duas direções de ondas atuam predominantemente na área de estudo: leste-sudeste (ESE), e sudeste (SE) que juntas representam mais de 95% das ondas incidentes. A altura de onda significativa ( $H_s$ ) varia entre 0,5m e 3,5m, sendo que 92,36% dos estados de mar apresentam ondas inferiores a 2,0m, e o período de pico ( $T_p$ ) varia entre 2s e 17s, sendo que 95,52% dos estados de mar apresentam períodos de pico inferiores a 11s. As ondas mais frequentes são as com alturas significativa entre 1,0 e 1,5m, e período de pico em torno de 5 e 8s em 30,84% dos casos. O regime de oscilação do nível do mar é governado pela maré astronômica, com oscilações de  $\pm 1,4$  m, enquanto que as marés meteorológicas oscilam entre  $\pm 0,1$  m, e conseqüentemente são negligenciáveis.

Devido às limitações do programa que não permite a utilização de malhas maiores que 10 km, a área de estudo foi subdividida em duas: (i) área 01 que correspondente à porção norte próximo à desembocadura do rio Sergipe incluindo as praias da Coroa do Meio e de Atalaia; e (ii) área 02 que corresponde a porção sul, próxima a desembocadura do rio Vaza-Barris, integrada pelas praias do Mosqueiro, Refúgio e Náufrago.

Os resultados da modelagem da propagação de ondas mostrou que as ondas de E e ESE apresentam as menores alturas, enquanto que as ondas de SE e SSE são as mais energéticas com maiores amplitudes de ondas, sendo também aquelas que apresentam as maiores modificações na direção de propagação em virtude do processo de refração. A presença de 03 altos topográficos na plataforma continental influencia a refração e difração das ondas, principalmente para ondas de SE e SSE, porém como estão muito afastados seu efeito na linha de costa é reduzido.

O sentido de dispersão dos sedimentos de modo geral é de nordeste (NE) para sudoeste (SW) para ondas de leste (E) e leste-sudeste (ESE) e no sentido inverso para ondas de sudeste (SE) e sul-sudeste (SSE). Na parte norte da área 01, um vórtice no sentido horário desenvolve-se devido à presença de bancos arenosos rasos circundados por profundidades maiores, o que resulta em uma divergência no sentido das correntes neste trecho. Essa divergência ocorre para todos os quatro casos de ondas propagadas, sejam em condições normais médias sejam durante tempestades.

A reconstrução do clima de ondas no litoral (águas rasas) para 6 pontos de análise ao longo do arco praias de Aracaju mostrou que nos pontos 1, 3 e 4 a altura significativa de onda para condições médias foi inferior a 1,1 metro em 80 % do tempo total. Já nos pontos 2, 5 e 6, a altura significativa para condições médias é maior que 2,3 metros em 70 % dos casos. O valor da altura de onda de tempestade, nos pontos 1, 3 e 4 são 2,0m, 1,55m, e 1,77m respectivamente. Nos pontos 2, 5 e 6 esta altura de onda é superior a 3,4m.

Os períodos de retorno, em anos, associado a cada valor do regime extremo, de altura de onda significativa ( $H_s$ ) e período de pico ( $T_p$ ), mostram que os pontos 2, 5 e 6 experimentam a ação de ondas com alturas mais expressivas.

A maioria dos perfis praias são marcados por um transporte médio positivo (NE-SW) e negativo (SW-NE) aproximadamente equivalente, porém com um sentido de transporte líquido de NE para SW. Entre as praias do Refúgio e do Mosqueiro, verifica-se uma divergência no sentido do transporte e um posterior incremento na sua magnitude o que resulta na retirada dos sedimentos da região

central e seu transporte no sentido sul (desembocadura do rio Vaza-Barris). Uma outra divergência no sentido do transporte é verificada na praia da Coroa do Meio.

Os valores extremos da cota de inundação foram verificados para os perfis 1 na área 01 e 4 da área 02, onde também se verificam as maiores intensidades de transporte. Esses dois perfis apresentam também valores de inundação durante 50% do tempo analisado entre 1948 e 2008, superiores aos demais, sendo de 5 m e 3,4 m respectivamente.

É possível concluir que a área em estudo apresenta dois trechos com maior vulnerabilidade à atuação dos processos costeiros, e conseqüentemente maior vulnerabilidade a amplificação dos mesmos pela elevação do nível do mar ou pela intensificação de eventos extremos, resultantes das mudanças climáticas. Estes trechos estão compreendidos entre as praias da Coroa do Meio e de Atalaia e entre as praias do Refúgio e do Mosqueiro.

O SMC-Brasil é uma ferramenta em processo de introdução no país. Sua aplicação na nossa área de estudo (município de Aracaju) produziu resultados satisfatórios e compatíveis com dados apresentados em outras publicações sobre a dinâmica costeira da região.

Trabalhos especializados onde a aplicação de técnicas de modelagem e bases de dados, como as fornecidas pelo SMC-Brasil, viabilizam a melhor avaliação das mudanças morfológicas nas praias induzidas por forçantes naturais (ondas, marés, correntes e ventos).

A partir desse conhecimento, pode-se melhor planejar a ocupação em áreas costeiras diminuindo os riscos de perdas sócio-econômicas e minimizando os impactos decorrentes das mudanças ambientais previstas em decorrência das mudanças no clima.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ALLAN J.C.; KOMAR P.D. 2006. Climate controls on U.S. West Coast erosion processes. *Journal of Coastal Research* v.22(3): p.511-529.

ALMEIDA, L. R. 2013. Estudio de dinámica litoral y evolución de la zona sur de la Playa de Piçarras (Santa Catarina/Brasil). Dissertação de Mestrado, Universidad de Cantabria, Santander, Espanha.

ARAÚJO, M. C. B.; SOUZA, S.T; CHAGAS, A.C.; COSTA, M. 2003. Georreferenciamento dos pontos de ocupação urbana desordenada ao longo do Litoral Norte de Pernambuco-Brasil. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.

ARRHENIUS, S. 1896. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature, *Philosophical Magazine*, v.41, p.237.

ARRHENIUS, S. 1908. *Worlds in the Making*, New York: Harper and Brothers.

BARBOSA L.M.; DOMINGUEZ J.M.L. 2004. Coastal fields at the São Francisco river strandplain, Northeastern Brazil: morphology and environmental controls. *Earth Surface Processes and Landforms*, Leeds, 29(4): 443-456.

BITTENCOURT A.C.S.P.; MARTIN L.; DOMINGUEZ J.M.L.; FERREIRA Y.M.A. 1983. Evolução Paleogeográfica Quaternária da Costa do Estado de Sergipe e da Costa Sul do Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geociências*, p.: 93-97.

BITTENCOURT A.C.S.P., OLIVEIRA M.B. de, DOMINGUEZ J.M.L. 2006. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro – Sergipe. *In: Dieter Muehe (Org). Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. 2 ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.: 213-218.

CALLENDAR, G.S. 1938. The artificial production of carbon dioxide and its influence on climate, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.64, p.223.

CAMUS, P.; MENDEZ, F.J; MEDINA, R.; TOMAS, A.; IZAGUIRRE, C. 2013 - High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coastal Engineering*, 72: 56-68. doi: 10.1016/j.coastaleng.2012.09.002.

CERC (Coastal Engineering Research Center). 1984. *Shore Protection Manual*. U.S. Army Corps of engineers, Washington, D.C., V.I, 597p.

CHRISTOPHERSON, R.W. 2012. *Geossistemas: uma introdução à geografia física*. 7 ed., Porto Alegre, Bookman.

DHN. 2001. *Tábuas de Marés*. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação.

DOMINGUEZ J.M.L.; BITTENCOURT 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. *Sedimentary Geology*, 80: 213-232.

DOMINGUEZ, J. M. L. 2011. Respostas da Zona Costeira brasileira à subida do nível do mar e Mudanças no Clima. II Workshop Brasileiro de Mudanças Climáticas em Zonas Costeiras, Salvador.

ESTEVES, L. S. 2004. Variabilidade espaço-temporal dos deslocamentos da linha de costa no Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, FURGS, 139pp.

GONZÁLEZ, M.; MEDINA, R.; GONZALEZ-ONDINA, J.; OSORIO, A.; MÉNDEZ, F.J.; GARCÍA, E. 2007 - An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, *SMC. Computers & Geosciences*, 33(7): 916–931. doi: 10.1016/j.cageo.2006.12.005

GRUPO DE INGENIERÍA OCEANOGRÁFICA Y DE COSTAS. 1997. Atlas de inundación del litoral peninsular español. Universidad de Cantabria. 59 p.

GRUPO DE INGENIARIA OCEANOGRÁFICA Y DE COSTAS (GIOC). 2003f. Sistema de modelado Costero, SMC. Manual Del usuário SMC. Universidad de Cantabria y Dirección General de Costas, Ministerio de Meio Ambiente, 166f.

IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp., 2001.

KEELING, C.D. 1960. The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere, *Tellus*, v.12, p.200.

KOMAR P.D. 1976. Beach processes and sedimentation. Prentice-Hall. In.: Englewood Cliffs, New Jersey, 429 p.

KOMAR, P.D.; ENFIELD, D.B. 1987. Short-term sea-level changes and coastal erosion. College of Oceanography: Oregon State University. Corvallis, Oregon.

KOMAR, Paul D. The 1997-98 El Niño and Erosion on the Oregon Coast. College of Oceanic & Atmospheric Sciences, Oregon State University Corvallis, 1998.

LINS DE BARROS, F. M. 2005. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do Município de Maricá, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 6, n. 2: p.83 – 90.

LUCA, C.B. 2011. Implementação de ferramentas numéricas e bases de dados no SMC-Brasil e sua aplicação no estudo piloto da praia de Massaguaçu-Brasil. 213p., Dissertação de Mestrado, Universidade de Cantabria, Santander, Espanha.

MARENGO, J. A. 2006. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P., 1998. Climatic control of erosion during a sea-level fall episode. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 70:249-266.

MARONE, E.; CAMARGO, R., 1994. Marés Meteorológicas no estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. *Nerítica*, Curitiba, v-8 (1-2), 55-72. Editora da UFPR.

MUEHE D. 2004. Erosion in the Brazilian Coastal Zone: Na Overview. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 39.

MUEHE, D. 2010. Mudança do clima e efeitos possíveis sobre as praias. In: Anais da 62ª Reunião Anual da SBPC - Natal, RN.

MOHR, M. C. 2003. Coastal Engineering Manual. U. S. Army Corps of Engineers Washington, Chapter V-2, "Site Characterization EM 1110-2-1100 (Part V).

NEVES, C. F.; MUEHE, D. 2008. Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças do clima: a zona costeira. In: Parcerias Estratégicas: Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação. Brasília, DF, v. 27: p.217 – 296. 2008.

OLIVEIRA, M.B. 2003. Caracterização Integrada da Linha de Costa do Estado de Sergipe – Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 102p.

PLASS, G.N. 1956. The carbon dioxide theory of climate, Tellus, v.8, p.140.

PUGH, D. T., 1987. Tides, surges and mean sea level. A handbook for Engineers and Scientists. John Wiley&Sons Ltd, New York, 472pp.

REVELLE, R. AND SUESS, H.E. 1957. Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the equation of an increase of atmospheric CO<sub>2</sub> during the past decades, Tellus, v. 9, p.18.

RODRIGUES, T.K. 2008. Análise das Mudanças da Linha de Costa das Principais Desembocaduras do Estado de Sergipe, com Ênfase no Rio Sergipe. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 80p.

SHORT A. 2000. Beach Systems. Beach and shoreface Morphodynamics Course. Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina, p.:1-10.

TOLMAN, H. L., 1997. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 97 pp.

TOLMAN, H. L., 1999a. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp.



TUCCI, C. E. M. 2002. Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos. Câmara Temática sobre Recursos Hídricos – Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. Brasília, ANA, 150p.

VAN RIJN, L.C., 2009. Prediction of dune erosion due to storms. Coastal Engineering. 56 (2009) 441–457.

VILLWOCK, J.A., et al. 2005. Praias Arenosas e erosão Costeira. In. Souza, C.R.G., Suguio, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E (eds.) Quaternário do Brasil, p.: 94-

ZEE, D. M. W. 2005. Os Graves Riscos Ambientais da Mudança Climática. In: Conferência das Américas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Belo Horizonte. V Encontro Verde das Américas, v. I. p. 148-149.

ZEE, D. M. W.; BROTTTO, D. S.; CORREA, T.; NEHME, D. M. 2012. Subsídios para a Gestão dos Impactos das Mudanças Climáticas nas Áreas Costeiras do Rio de Janeiro - Brasil. In: VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro. Anais do VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2012. p. 1-20.

# **ANEXOS**

## METADADOS

 **SMC<sup>o</sup>-Brasil**

## 1. INTRODUÇÃO

Os metadados de informação geográfica são a descrição textual, de forma padronizada do conteúdo dos dados. A sua documentação é indispensável para a identificação e avaliação técnica (escala, sistema de referência, qualidade, extensão geográfica e temporal) dos conjuntos de dados geográficos, bem como aspectos ligados ao acesso a serviços e dados e contatos dos responsáveis. Tem a finalidade de facilitar a busca dos dados. São elementos fundamentais para a integração, interpretação, organização e localização de informações.

Os metadados são definidos pela ESRI como informação que descrevem o conteúdo, qualidade, condição, origem e outras características de dados ou outros elementos de informação. Eles devem descrever e documentar o seu objeto, como, quando, onde e por quem os dados foram coletados; disponibilidade e distribuição informação, a sua projeção, escala, resolução e precisão; e sua confiabilidade com relação a alguma norma.

Esta especificação tem a finalidade de melhorar a interoperabilidade, providenciando uma especificação comum para descrever, validar e partilhar metadados de informação geográfica. .

## 2. OBJETIVO

Padronização estrutural da organização dos dados coletados pelos grupos responsáveis dos estudos de caso piloto do SMC-Brasil, de forma a propiciar o intercâmbio, controle de qualidade e homogeneidade das informações dos dados. Desta forma, a inserção de metadados nos dados de batimetria, linhas de costa, arquivos de imagem, perfis de praia sedimentologia, ondas e nível do mar, apresentam-se descritas no presente documento.

### BATIMETRIA e TOPOGRAFIA

x	y	z	datum	data inicial	data final	hora inicial	hora final	correção	projeto	local	área	equipe	responsável	simbologia	obs

corr\_met: método de correção utilizado

Simbologia: ano da batimetria (ex. batimetria2009)

### LINHA DE COSTA

x	y	datum	data inicial	data final	hora inicial	hora final	correção	projeto	local	área	equipe	responsável	simbologia	obs

Obs: inserir P (número de pontos do contorno) e Tipo (0=aberto, 1=fechado)

### ARQUIVOS DE IMAGEM

Esquina inferior		Esquina superior		datum	data	hora inicial	correção	projeto	local	área	equipe	responsável	simbologia	obs
x	y	x	y											

### PERFIS DE PRAIA

Perfil	x	y	z	código	datum	data	método	projeto	local	área	equipe	responsável	simbologia	obs

Código: Código representativo sobre qual zona morfológica está situado o ponto.

Simbologia: perfil\_pr

### SEDIMENTOLOGIA

Amostra	Perfil	x	y	z	diâmetro_medio		desvio padrão	assimetria	curtose	projeto	local	área	equipe	responsável	simbologia	obs	
					média	mediana											

Simbologia: Tipo de sedimento (ex. areia grossa)

### DADOS DE ONDAS

Ano	Mês	Dia	Hora	Hs (m)	Tm (m)	Tp(m)	$\theta(^{\circ})$	datum	projeto	Tipo de instrumento	localização	Profundidade	equipe	responsável	simbologia	obs

**DADOS DE MARÉ ASTRONÔMICA E MARÉ METEOROLÓGICA**

Ano	Mês	Dia	Hora	Minuto	Segundo	Nível do mar (m)	datum	projeto	Tipo de instrumento	localização	Profundidade	equipe	responsável	simbologia	obs

### 3. REFERENCIAS

GUEDES, S. Z. 2010. Diretrizes para implantação de uma infraestrutura de dados espaciais com base em tecnologias open source para riscos costeiros. 2010. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 95 p. 2010.



# PLANO DE TRABALHO

## **“ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA BRASILEIRO (SMC/BRASIL) NOS ESTADOS DE BAHIA E SERGIPE”**

### **PROPONENTE:**

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos- SEMARH  
Administração Estadual de Meio Ambiente- ADEMA  
Universidade Federal da Bahia-UFBA

### **1 – JUSTIFICATIVA**

Os governos brasileiro e espanhol firmaram em 2010 o Acordo de Cooperação Técnica, Científica e Tecnológica para executar o Projeto “Transferência de Metodologias e Ferramentas de Apoio à Gestão da Costa Brasileira (SMC-Brasil)”.

O SMC-Brasil constitui uma ferramenta numérica (*software*) no campo da engenharia costeira que permite a realização de uma grande variedade de tarefas e cujo objetivo básico é proporcionar “aos técnicos a elaboração de estudos passo a passo, aplicando as metodologias de trabalho propostas nos Documentos Temáticos do Programa. 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” (SMC-Brasil, Manual do usuário).

Essa ferramenta é direcionada especificamente para profissionais (oceanógrafos, geógrafos, geólogos, engenheiros, entre outros) que desenvolvem pesquisas na área costeira. O usuário deve estar familiarizado com os diferentes aspectos da dinâmica marinha e sua interação com elementos morfológicos, obras e ambientes costeiros. Isso significa que o usuário deve compreender os processos atuantes envolvidos na zona costeira, assim como a metodologia de estudo proposta nos Documentos Temáticos do SMC. Esta metodologia inclui uma base de dados sobre a dinâmica marinha da zona costeira brasileira (ondas e nível do mar), que permite o desenvolvimento de estudos de caso reais. Os documentos temáticos descrevem ainda as diferentes etapas de trabalho

incluindo inventário, diagnóstico, prognóstico, tomada de decisão e formulação de diretrizes.

O projeto SMC-Brasil visa auxiliar os trabalhos desenvolvidos na zona costeira efetuados pelo Ministério do Meio Ambiente e Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Secretaria do Patrimônio da União (MP/SPU), permitindo a avaliação do cenário pretérito, atual e futuro da zona costeira frente aos processos erosivos, que ocorrem em quase 40% da costa brasileira (MMA, 2006), entre outros benefícios.

Dessa forma, esse projeto visa contribuir para uma melhor gestão da costa brasileira através do fornecimento, aos responsáveis pela gestão de zonas costeiras do Brasil, de um sistema de modelagem adequado à realidade do litoral brasileiro. Encontra-se inserido ainda nesse projeto a capacitação de responsáveis em técnicas de gestão do litoral de modo a facilitar a tomada de decisões, diminuindo a dependência de consultorias privadas, e o fortalecimento de grupos locais de pesquisa.

A disponibilização dessa ferramenta a todos os atores envolvidos na gestão costeira brasileira permitirá maior rapidez, precisão e confiabilidade na tomada de decisão dos governos federal, estadual e municipal, auxiliando nos procedimentos de licenciamento, zoneamento, e ordenamento de atividades na zona costeira brasileira.

A presente proposta visa apresentar as ações e atividades para o desenvolvimento de estudos de casos SMC-Brasil nos estados de Sergipe e Bahia com o envolvimento de gestores e universidades. Os resultados dos estudos de caso serão importantes para validar o SMC-Brasil, dando suporte para uma melhor gestão da costa brasileira, no monitoramento de erosão e indicação de alternativas de intervenção. Este projeto terá como meta imediata a produção de um relatório com a avaliação dos resultados da aplicação do SMC-Brasil, envolvendo etapas de coleta e organização de dados do litoral sergipano (como cartas náuticas, batimetrias, fotografias aéreas, relatórios de estudos anteriores, sedimentos, etc.) e inserção dos dados no sistema.

## **2- OBJETIVO**

Desenvolver estudos sobre a dinâmica costeira nos estados da Bahia e Sergipe, utilizando como ferramenta o SMC-Brasil 3.0. Estes estudos permitirão a avaliação do cenário pretérito, atual e futuro da zona costeira frente aos processos erosivos decorrentes da provável subida do nível do mar, de acordo com as previsões do IPCC (2007). Desta forma, o produto gerado proporcionará alternativas de intervenção e medidas de gestão costeira.

### **Objetivos Específicos:**

- Adequar e validar a ferramenta SMC-Brasil 3.0.
- Produzir documentos com os resultados da aplicação de um estudo de caso real utilizando a ferramenta SMC-Brasil conforme ANEXO I;
- Difundir aos responsáveis pelo gerenciamento costeiro uma ferramenta de apoio na gestão costeira.
- Treinar pesquisadores, técnicos e grupos locais de pesquisa.

### **3 – DURAÇÃO**

18 meses.

### **4 – LOCALIZAÇÃO**

Duas áreas estão sendo propostas:

- (i) Desembocadura do rio Sergipe, compreendendo parte da zona costeira dos municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros - Sergipe.
- (ii) Ilha de Itaparica - Bahia

### **5 – ATIVIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS**

1. Estabelecimento de acordo de cooperação técnica entre Ministério do Meio Ambiente, UFBA, ADEMA e SEMARH, para o desenvolvimento do estudo de caso;
2. Capacitação de 02 pesquisadores no programa SMC-Brasil 3.0;
3. Levantamento complementar de dados;
4. Formatação e processamento dos dados a serem incorporados na versão SMC-Brasil 3.0 (conforme ANEXO II);
5. Produção de relatório com a avaliação dos resultados da aplicação do SMC-Brasil 3.0.
6. Treinamento de pesquisadores, técnicos e grupos locais de pesquisa.

### **6 – ARRANJO INSTITUCIONAL**

A cooperação técnica aqui estabelecida será coordenada pelo professor Dr. José Maria Landim Dominguez do Laboratório de Estudos Costeiros-LEC/Instituto de Geociências-UFBA. Será constituída uma Comissão, com a participação de

pesquisadores e representantes da MMA, SEMAHR, ADEMA e UFBA. O projeto contará com o apoio da Universidade Federal de Sergipe e da Universidade Católica da Bahia, as quais entrarão como instituições parceiras.

## 7 – EQUIPE ENVOLVIDA

**UFBA:** Dr. José Maria Landim Dominguez – Coordenador  
MSc. Abílio Carlos da Silva Pinto Bittencourt  
Doutoranda Tais Kalil Rodrigues  
**UFS:** Dra. Ana Claudia da Silva Andrade  
Mestranda Manuela da Silva Gavazza  
**UCSal:** Dra. Junia Kacenenbogen Guimarães

## 8 – CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO FÍSICA

METAS	ETAPAS	Duração	
		Início*	Término
1. Estabelecer o arranjo institucional	1.1. Estabelecimento de Acordo de Cooperação entre os atores institucionais;	1º mês	544 dias
2. Formar técnicos no programa SMC-Brasil	2.1. Participação de técnicos indicados pela Comissão Coordenadora do curso de Formação na ferramenta SMC-Brasil, em Dezembro/2012 (duração de 5 dias)	—	—
3. Levantar e reunir informações e dados necessários	3.1. Levantamento, com as instituições e universidades, dos seguintes dados: batimetria de detalhe, linhas de costa multitemporais, topografia, arquivos de imagens, geomorfológicos e sedimentológicos, de ondas, maré astronômica e meteorológica para as áreas de estudo selecionadas.	1º mês	3º mês
4. Formatar e processar os dados para inserção no SMC-Brasil	4.1. Formatação específica dos dados para ser incorporado ao SMC-Brasil, conforme orientado no Anexo I	2º mês	12º mês
5. Produzir relatório com os resultados do estudo	5.1. Análise e elaboração dos resultados dos estudos de caso.	12º mês	18º mês
6. Capacitar pesquisadores	6.1. Treinar pesquisadores, técnicos e grupos locais de pesquisa.	18º mês	—

\* A partir do início da vigência do Acordo de Cooperação Técnica

## **9 – RESULTADOS ESPERADOS**

Após a validação do SMC-Brasil, os seguintes resultados são esperados:

- 1- Capacitar gestores e pesquisadores públicos a utilizar a ferramenta SMC-Brasil aplicada à gestão costeira.
- 2- Possibilitar o seu usuário formular situações e cenários distintos da dinâmica costeira, gerando possibilidades de alternativas de intervenção e medidas de gestão.
- 3- Produzir publicações referentes aos estudos de caso.

Salvador, BA,        de        de 2013.

---

**GENIVAL NUNES SILVA**

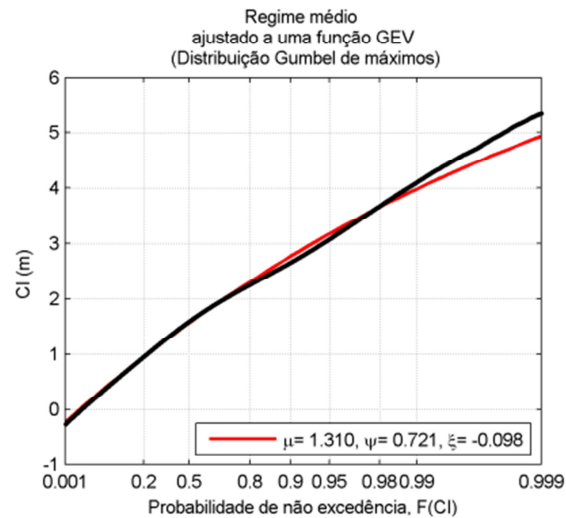
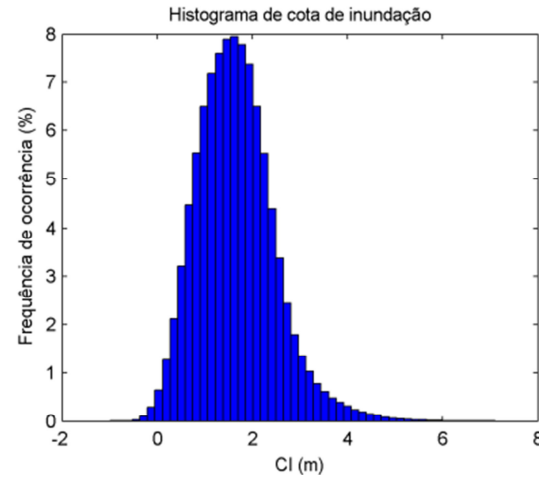
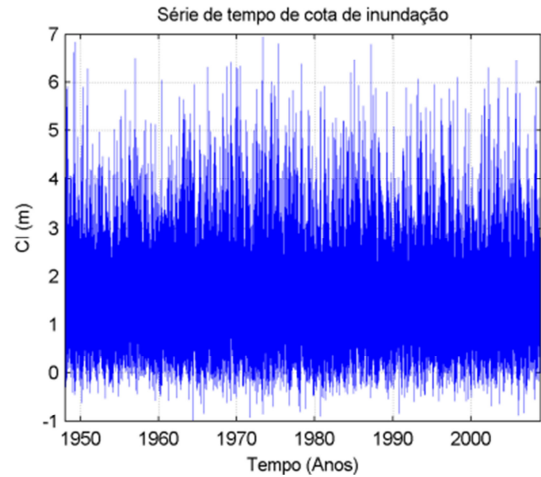
Secretário de Estado do Meio Ambiente e de Recursos Hídricos  
Diretor-Presidente da Administração Estadual de Meio Ambiente

---

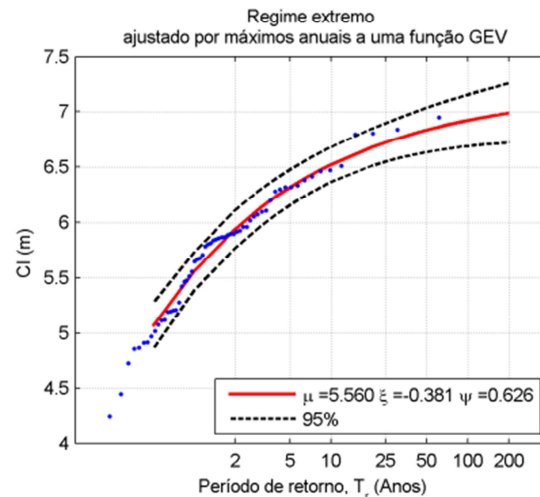
**DORA LEAL ROSA**

Reitora da Universidade Federal da Bahia

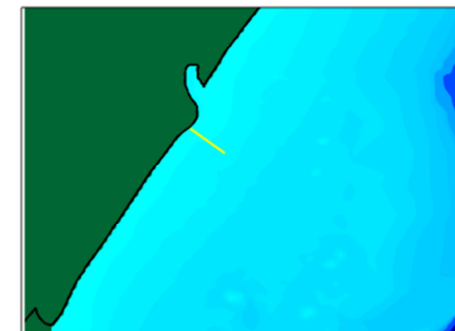
# Caracterização do cota de inundação em profile01 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$



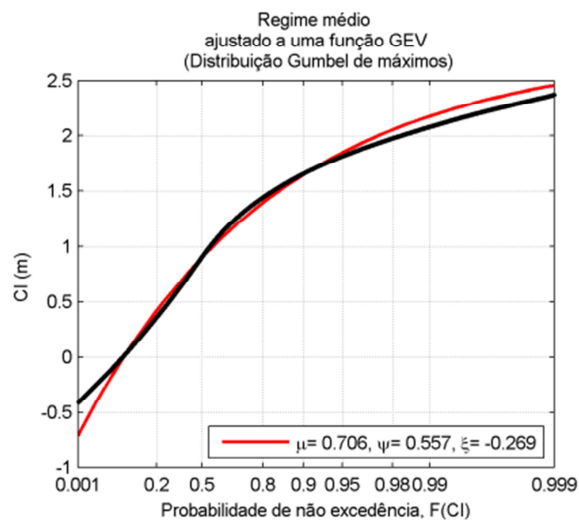
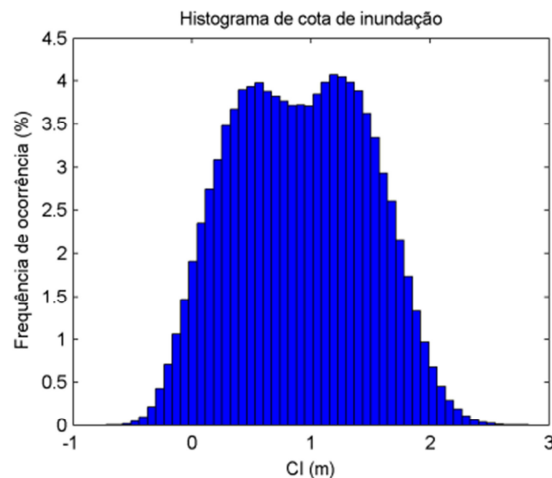
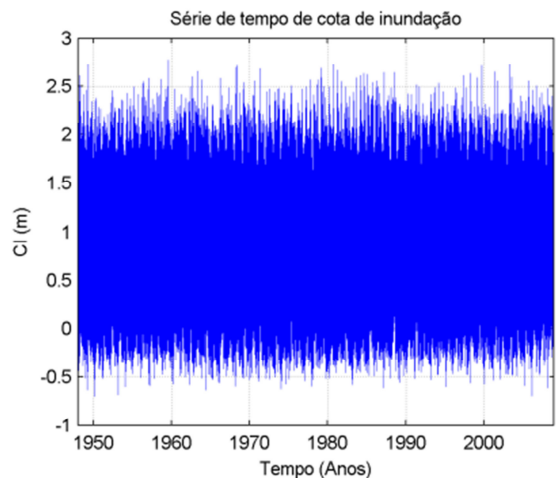
$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$



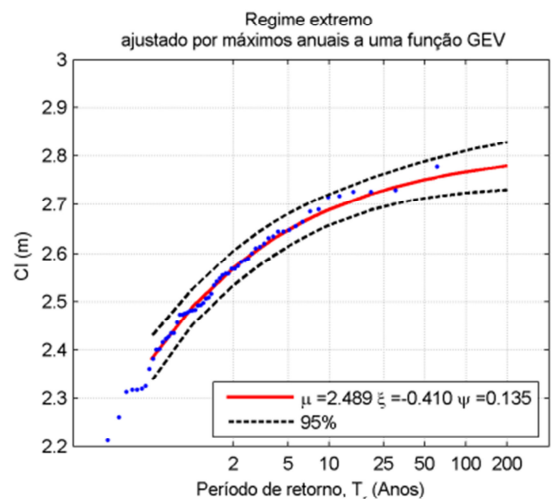
Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1



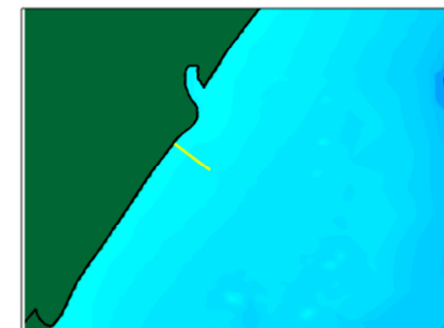
# Caracterização do cota de inundação em profile02 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

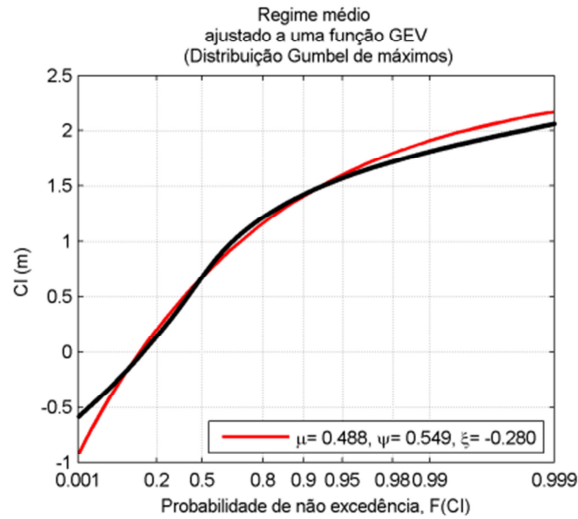
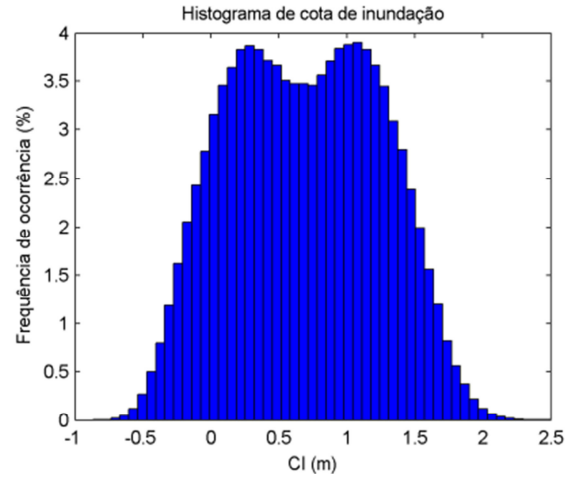
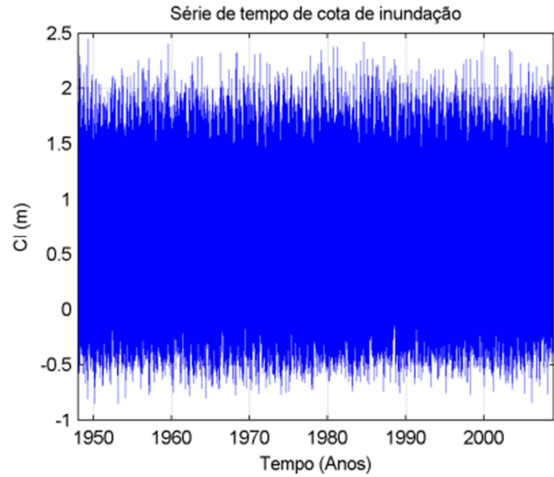


$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$

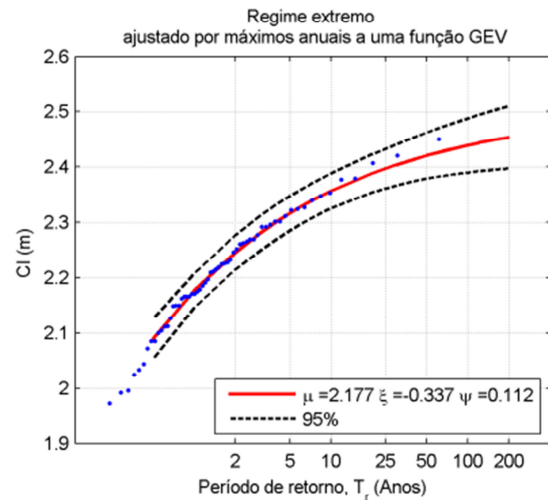


Ondas DOW	Latitude: -11.1 * Longitude: -37.0 * Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2006
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1

# Caracterização do cota de inundação em profile03 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$



$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$

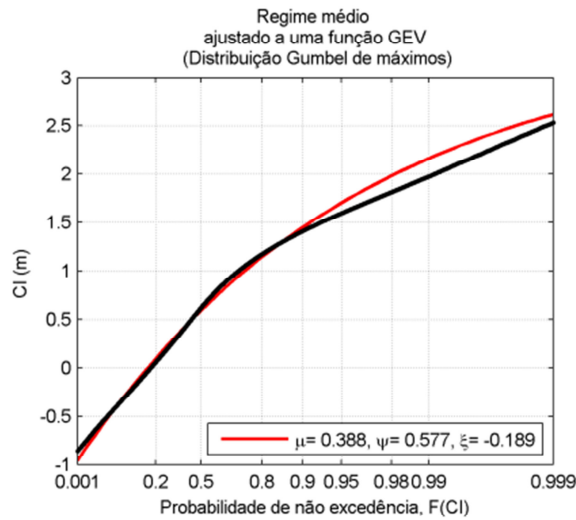
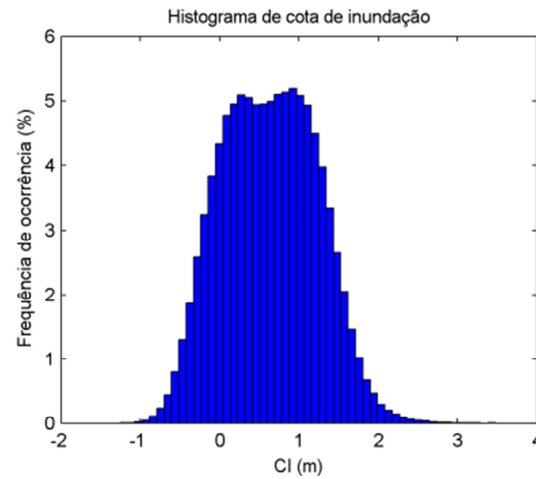
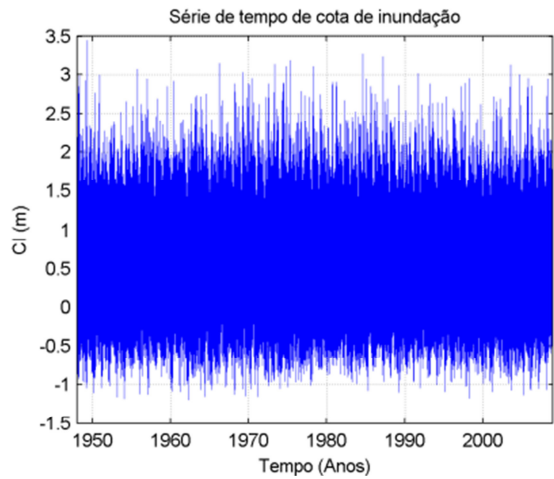


Ondas DOW	Latitude: -11.1° Longitude: -37.0° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1

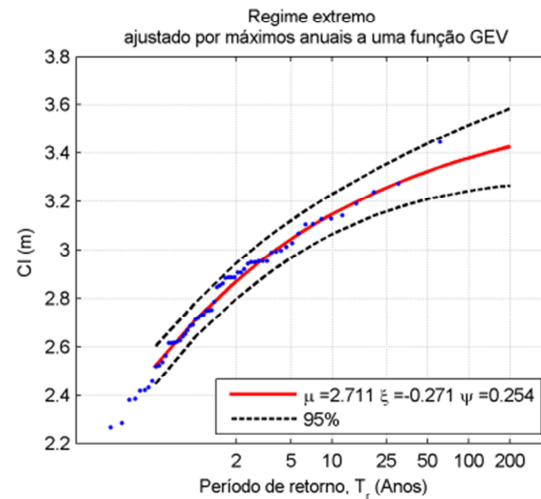




# Caracterização do cota de inundação em profile04 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$



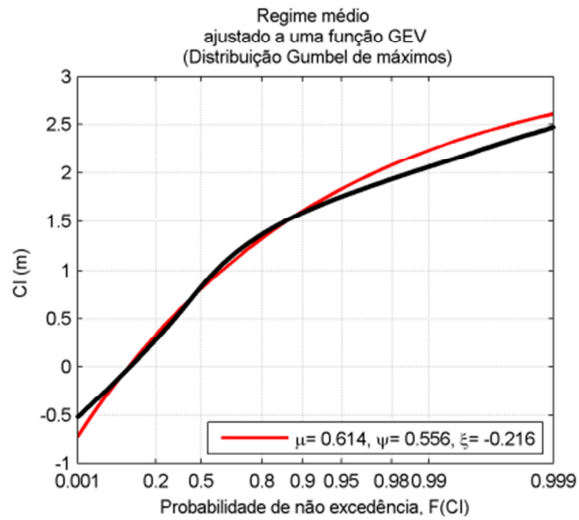
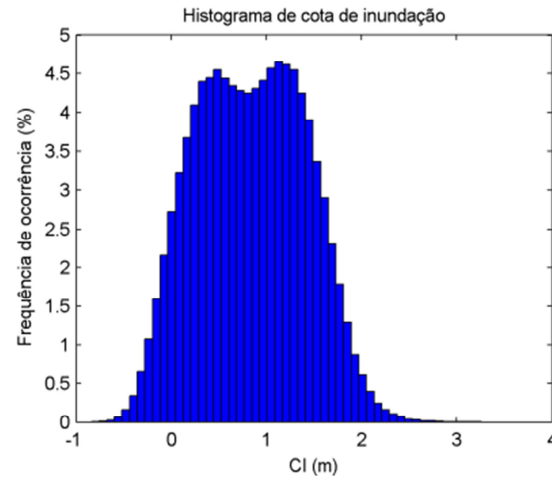
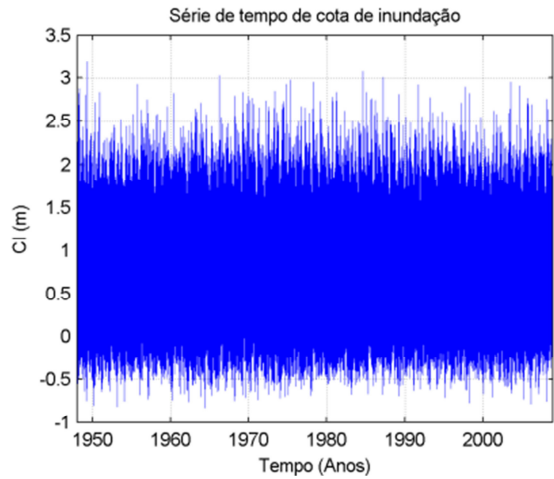
$$x(T; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T}\right)^{-\xi}\right)$$



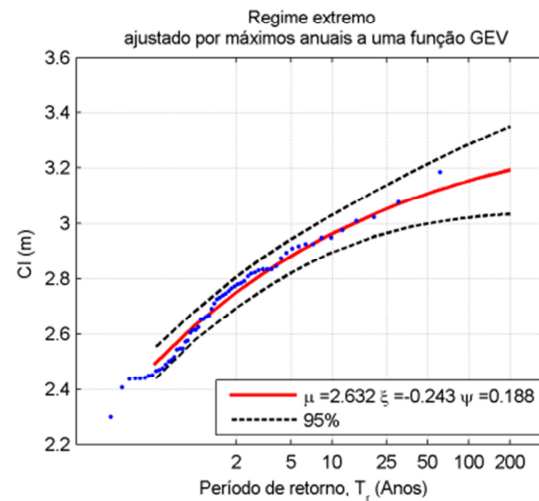
Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1



# Caracterização do cota de inundação em profile05 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

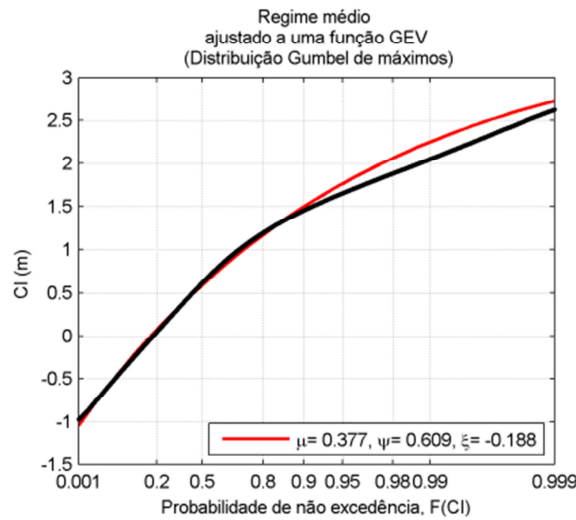
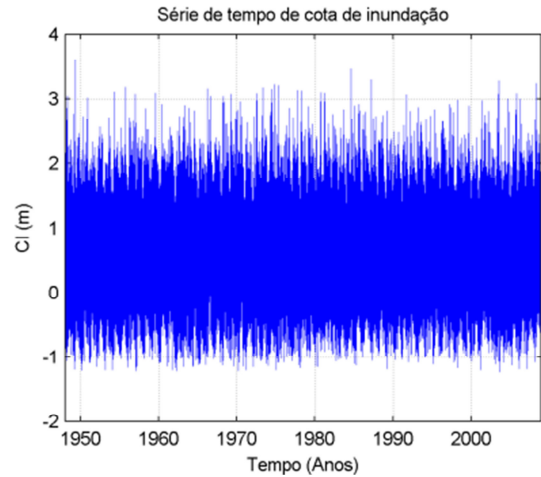


$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$

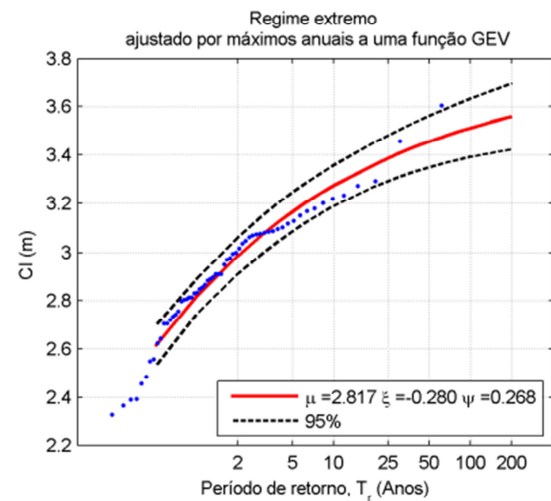


Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1

# Caracterização do cota de inundação em profile06 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

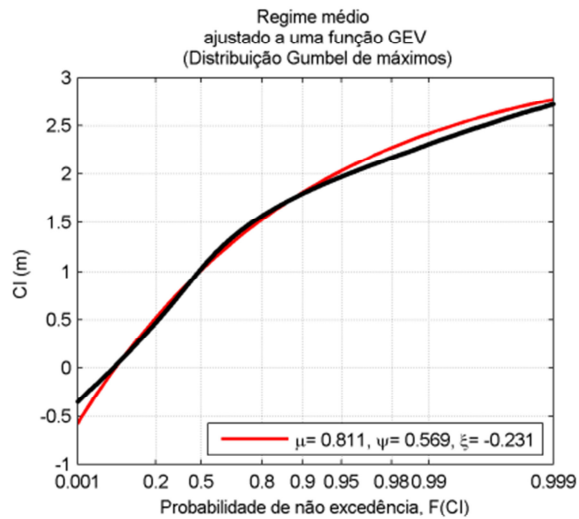
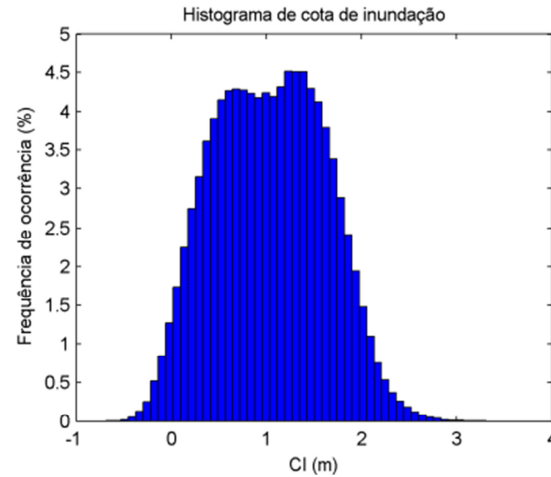
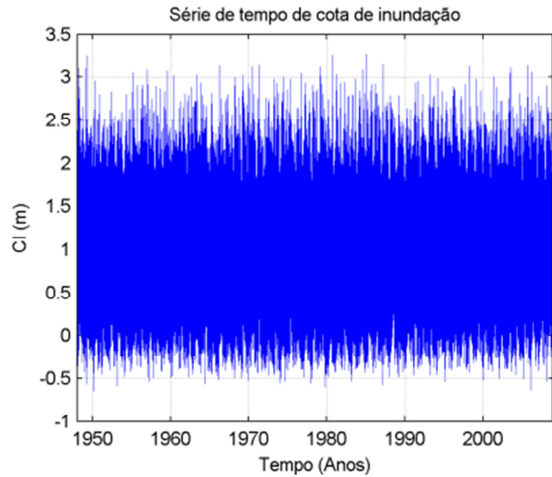


$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$

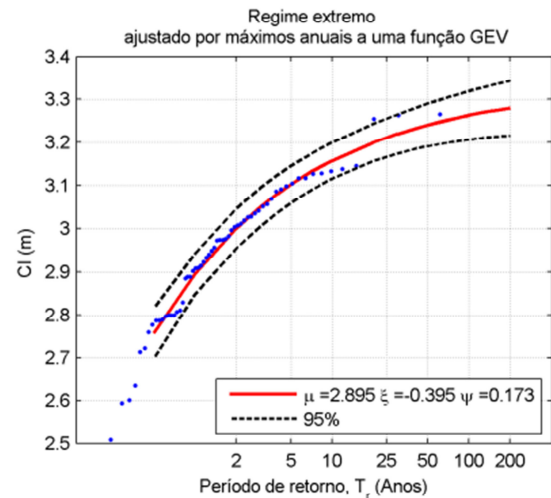


Ondas DOW	Latitude: -11.1° Longitude: -37.0° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais
Alternativa	Alternativa 1

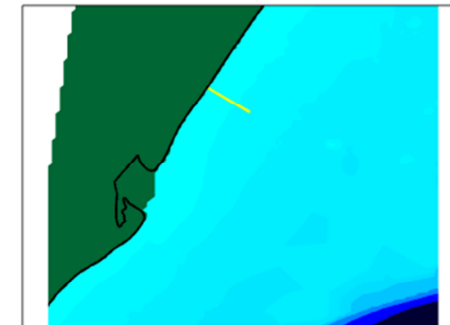
# Caracterização do cota de inundação em profile07 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

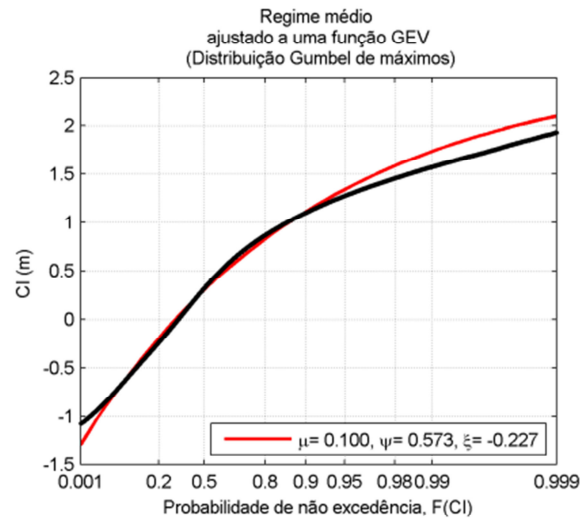
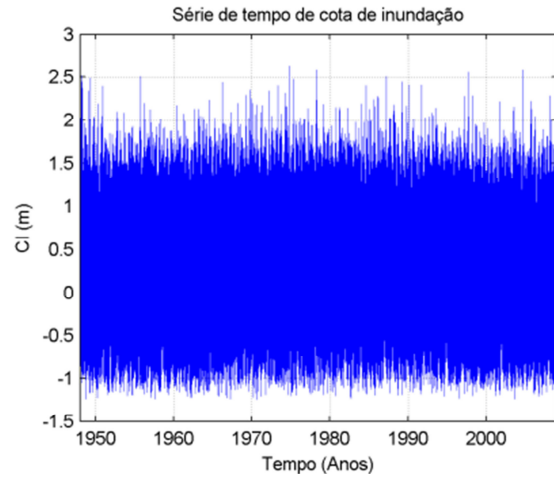


$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$

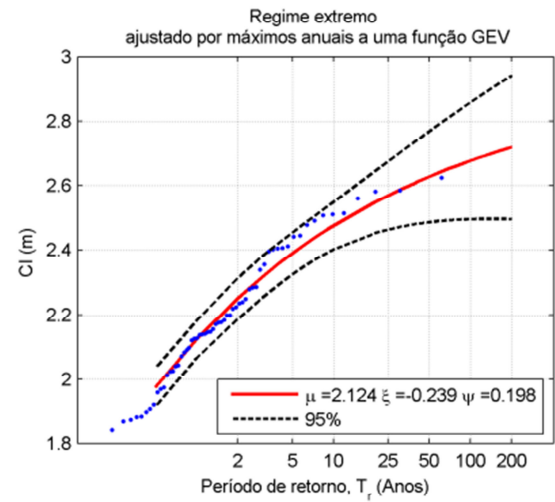


Ondas DOW	Latitude: -11.1° Longitude: -37.0° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais 2
Alternativa	Alternativa 1

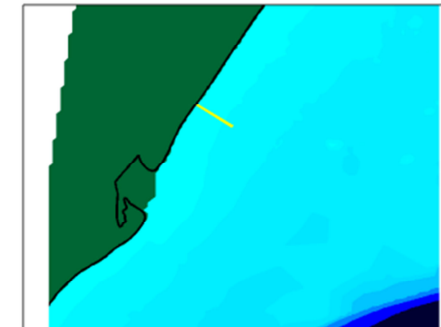
# Caracterização do cota de inundação em profile08 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$



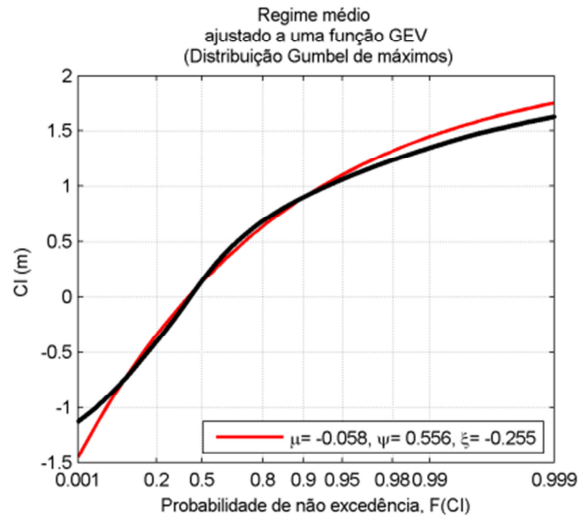
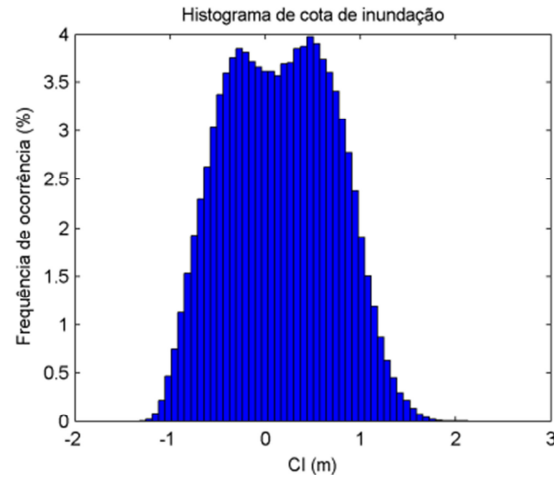
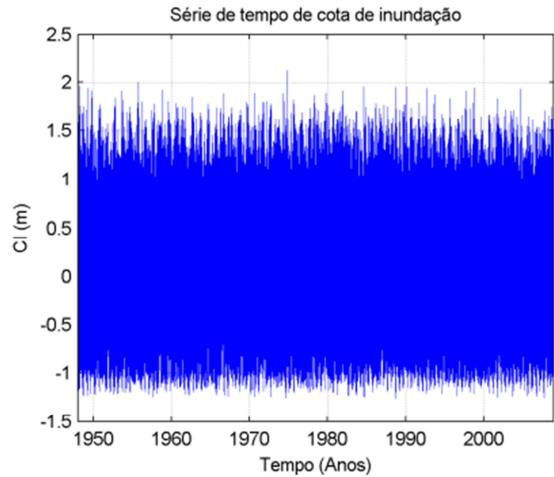
$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \psi \xi \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$



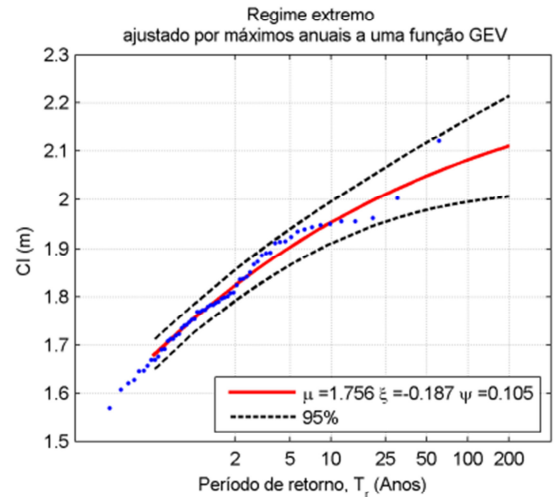
Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais 2
Alternativa	Alternativa 1



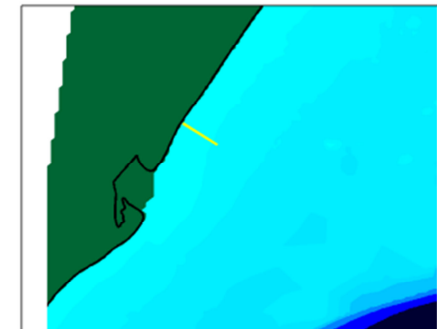
# Caracterização do cota de inundação em profile09 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$



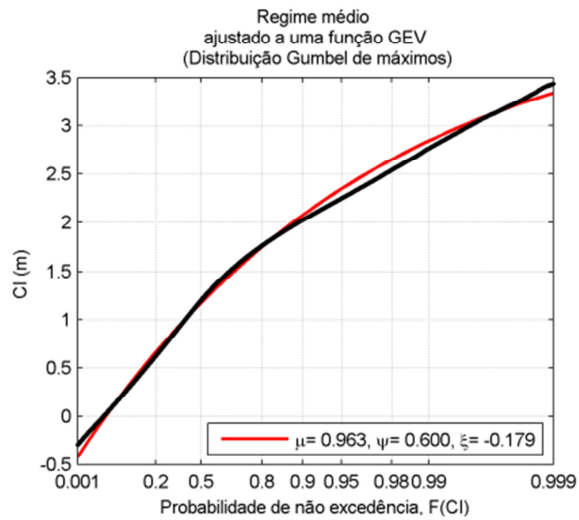
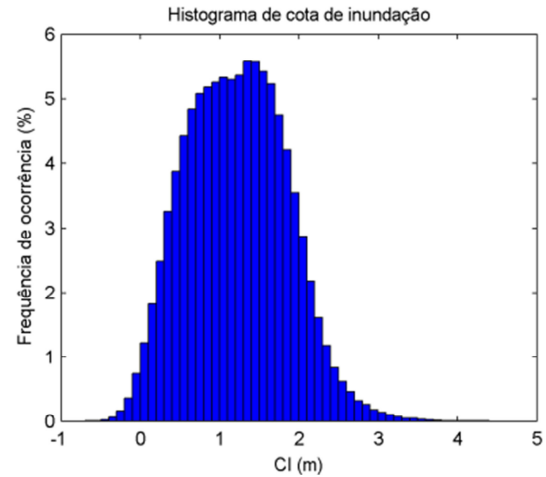
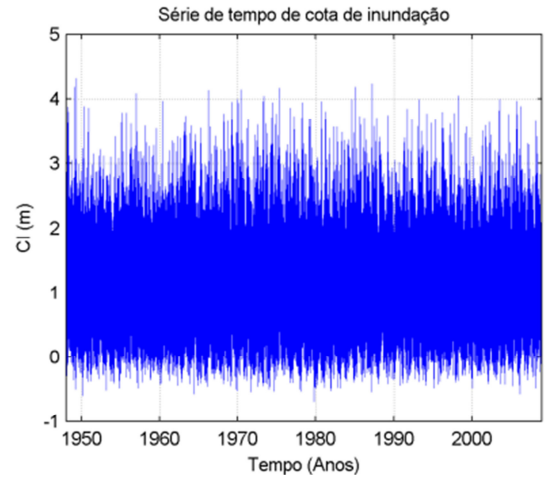
$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$



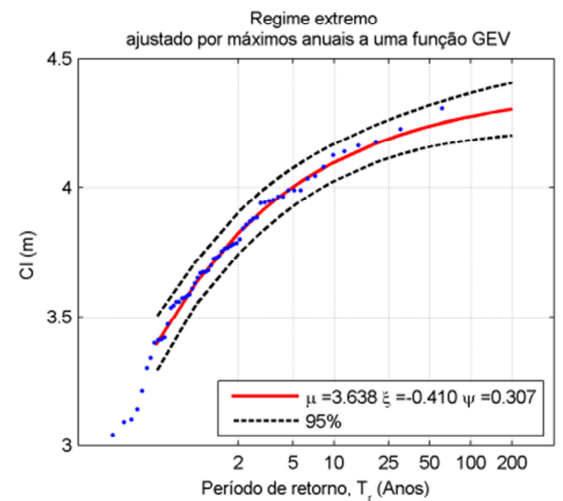
Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais 2
Alternativa	Alternativa 1



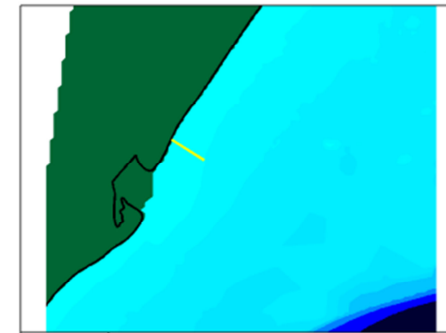
# Caracterização do cota de inundação em profile10 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

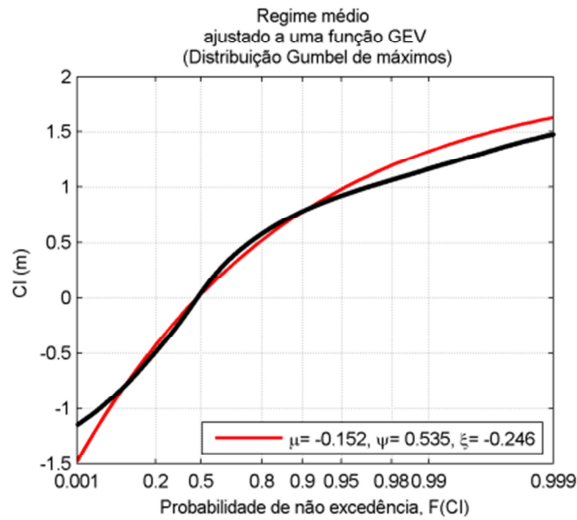
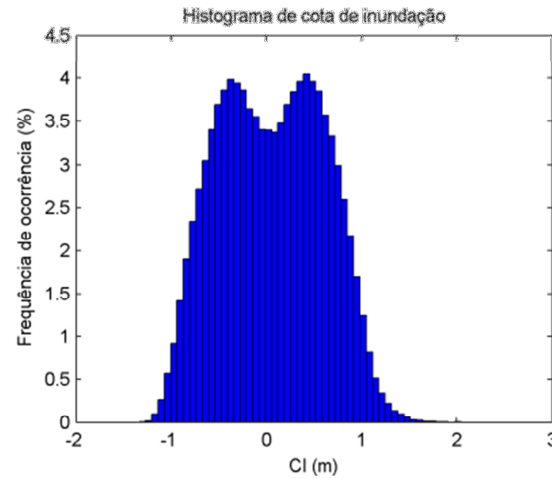
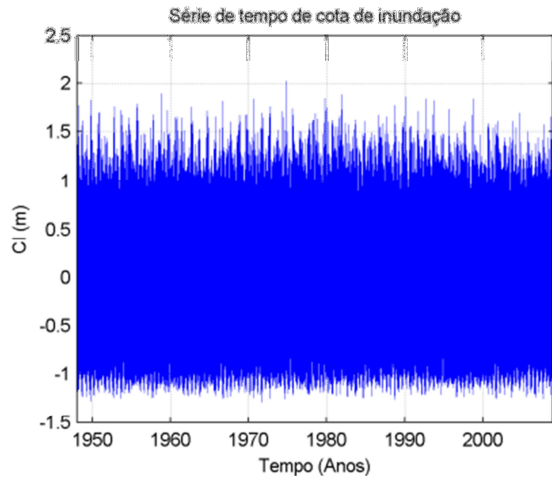


$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$

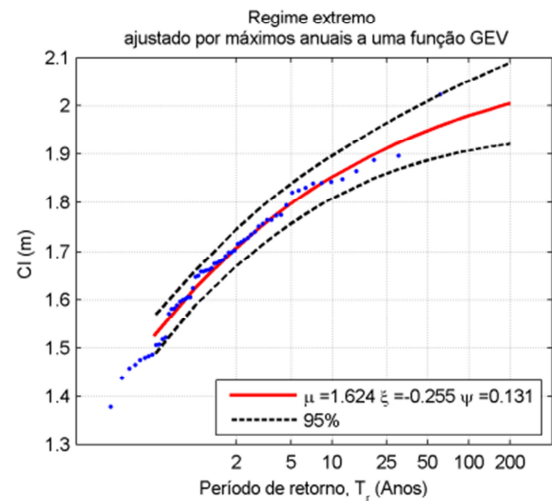


Ondas DOW	Latitude: -11.1° Longitude: -37.0° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais 2
Alternativa	Alternativa 1

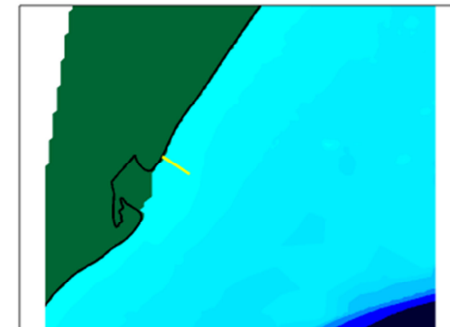
# Caracterização do cota de inundação em profile11 (com referência ao NMM local) \*



$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi\left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$



$$x(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$



Ondas DOW	Latitude: -11.1 ° Longitude: -37.0 ° Profundidade: 26.9 m
Período	1948-2008
Projeto	Tese Tais 2
Alternativa	Alternativa 1