



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ALYSSON DANIEL RIBEIRO GONÇALVES

**SOBRE A OCORRÊNCIA DE ONDAS EXTREMAS (ROGUE WAVES) NO LITORAL
DO CEARÁ COM BASE NOS DADOS DO ONDÓGRAFO DO PECÉM**

FORTALEZA

2017

ALYSSON DANIEL RIBEIRO GONÇALVES

SOBRE A OCORRÊNCIA DE ONDAS EXTREMAS (ROGUE WAVES) NO LITORAL DO
CEARÁ COM BASE NOS DADOS DO ONDÓGRAFO DO PECÉM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Osny Enéas da Silva.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G624s Gonçalves, Alysson Daniel Ribeiro.
Sobre a ocorrência de ondas extremas (rogue waves) no litoral do Ceará com base nos dados do ondógrafo do pecém / Alysson Daniel Ribeiro Gonçalves. – 2017.
121 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Osny Enéas da Silva.
1. Acidentes na costa cearense. 2. Ondas Extremas. 3. Ondógrafo do Pecém. I. Título.

CDD 627

ALYSSON DANIEL RIBEIRO GONÇALVES

SOBRE A OCORRÊNCIA DE ONDAS EXTREMAS (ROGUE WAVES) NO LITORAL DO
CEARÁ COM BASE NOS DADOS DO ONDÓGRAFO DO PECÉM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 17/03/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Osny Enéas da Silva. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Erasmo da Silva Pitombeira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro, PhD
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Prof. Dr. José Maria Brabo Alves
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

A Deus.

Aos meus pais e meu irmão: José Amaury,
Maria Dalva, Amaury Filho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos.

A meus pais, José Amaury Gomes Gonçalves e Maria Dalva Ribeiro Gonçalves, por apoio, incentivo e amor durante minha jornada. Pelos ensinamentos, com os quais consegui vencer os momentos difíceis e o cansaço.

Ao meu irmão José Amaury Gomes Gonçalves Filho, que sendo um grande amigo e por ter acreditado em meu potencial.

A minha namorada Maria Parente Dias de Azevedo pelo companheirismo durante essa fase.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Osny Enéas da Silva, pelo empenho dedicado à elaboração desse trabalho, e por cobrar-me o meu máximo empenho nas minhas atividades, contribuí para minha evolução como mestre.

Ao Prof. Dr. Erasmo Pitombeira, pela ajuda e motivação durante o curso.

Ao corpo docente e aos colaboradores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental pelo suporte durante o curso.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Erasmo Pitombeira, Prof. Dr. Marco Aurélio e o Prof. Dr. José Maria Brabo Alves pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao CNPq pelo apoio durante o curso.

A minha amiga Maria de Jesus Delmiro pela ajuda durante minha pesquisa.

Aos colegas da turma de mestrado e aos amigos feitos na universidade por me ensinarem, de forma indireta, a importância do trabalho em equipe e pelas críticas e sugestões recebidas.

“Todos os acontecimentos são ótimas
oportunidades para a evolução.”
(Seixos Taniguchi).”

RESUMO

Os oceanos possuem diversos tipos de onda, entre esses tipos existem aquelas que são provocadas pela ação do vento, na interface ar-mar, e que serão abordadas nesse estudo. As ondas podem provocar acidentes com embarcações no mar ou até mesmo a edificações próximas a costa. O litoral cearense sofre com esse tipo de acidentes, próximo à costa cearense. Há a suspeita que os acidentes com as jangadas e o problema de destruição das edificações próximas a costa, como os ocorridos na praia do Icaraí tenham relação com as ondas extremas. A área de estudos foi escolhida em função da disponibilidade de medições de onda, inéditas na região, feitas por um ondógrafo direcional instalado próximo à costa, a partir do estudo dos dados das observações de 1997 a 2001. Visando averiguar a possível causa desses acidentes, esse trabalho pretende investigar sobre a ocorrência de ondas extremas no litoral cearense e possíveis impactos e consequências. Os resultados da investigação comprova a existência das ondas extremas no litoral setentrional do nordeste brasileiro foram obtidos pela comparação das ondas máximas com as significativas.

Palavras-chave: Acidentes na costa cearense. Ondas Extremas. Ondógrafo do Pecém.

ABSTRACT

The oceans have several types of waves, among these types there are those that are caused by the action of the wind, at the air-sea interface, and that will be approached in this study. The waves can cause accidents with boats in the sea or even to buildings near the coast. The coast of Ceará suffers from this type of accident, near the coast of Ceará. It is suspected that the accidents with the rafts and the problem of destruction of the buildings near the coast, as those occurred in the beach of Icaraí are related to the extreme waves. The study area was chosen based on the availability of wave measurements, unprecedented in the region, made by a directional waveguide installed near the coast, from the study of data from observations from 1997 to 2001. In order to investigate the possible cause of these accidents, this work intends to investigate the occurrence of extreme waves in the coast of Ceará and possible impacts and consequences. The results of the investigation proving the existence of the extreme waves in the northern Brazilian coast were obtained by comparing the maximum and significant waves.

Keywords: Accidents on the coast of Ceará. Rogue Waves. Directional Buoy Pecém.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Praia do Pecém	21
Figura 2.1 – Parâmetros das ondas desenvolvidas	24
Figura 2.2 – As partes de uma onda simples e seu desenvolvimento orbital	26
Figura 2.3 – Refração de ondas	30
Figura 2.4 – Conformação das ondas que chegam ao litoral com suas cristas paralelas à linha da costa	31
Figura 2.5 – O ângulo θ da Lei de Snell	32
Figura 2.6 – Mudança de direção da onda	33
Figura 2.7 – Difração de ondas	35
Figura 2.8 – Barraca destruída na Praia do Batoque, no município de Aquiraz	40
Figura 2.9 – Edificação destruída na praia do Icaraí	41
Figura 2.10 – Muro destruído na praia do Icaraí	42
Figura 2.11 – Várias fotos de <i>rogue waves</i>	44
Figura 2.12 – Velocidade diurna do vento – média de 10 estações meteorológicas no Estado do Ceará, 1977-1981	47
Figura 2.13 – Área de Contribuição e Gradientes Térmicos	48
Figura 2.14 – Precipitação média anual e localização da ZCIT	48
Figura 2.15 – Direções predominantes dos ventos no Brasil	49
Figura 2.16 – Direção do vento para cada mês	50
Figura 2.17 – Velocidade do vento	51
Figura 3.1 – Municípios do estado do Ceará	53
Figura 3.2 – Município de São Gonçalo do Amarante	54
Figura 3.3 – Litoral do distrito do Pecém	54
Figura 3.4 – Carta náutica das proximidades do Terminal do Pecém e do Porto de Fortaleza, CE	56

Figura 3.5 – Batimetria do Pecém	57
Figura 3.6 – Esquema da Boia direcional Waverider	58
Figura 3.7 – Localização do ondógrafo e marógrafo do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH)	59
Figura 3.8 – Terminal Portuário do Pecém	60
Figura 3.9 – Registrador tipo Waverider direcional no litoral do Pecém	61
Figura 3.10 – Tempo gravado do surgimento da “Onda de Ano Novo” no mar do Norte	63
Figura 3.11 – Estatística de colisões de grandes navios cargueiros com as <i>rogue waves</i> (1968-1994)	65
Figura 3.12 – Distribuição geográfica dos eventos ocorridos entre 2006-2010	66
Figura 3.13 – Ilustração dos locais de atuação das <i>rogue waves</i>	67
Figura 3.14 – Percentual dos locais das <i>rogue waves</i> na costa	71
Figura 3.15 – Percentual e número da ocorrência das <i>rogue waves</i> em águas profundas e rasas e na costa em 2006-2010	75
Figura 3.16 – Tela do <i>software</i> “W@ves21”	77
Figura 3.17 – Planilha de dados do ondógrafo do Pecém no Microsoft Excel	78
Figura 3.18 – Tabela mensal de registro das <i>rogue waves</i> no Microsoft Excel	78
Figura 3.19 – Elaboração de um gráfico do estudo no Microsoft Excel	79
Figura 4.1 – Frequência mensal da ocorrência das <i>rogue waves</i> de 1997 a 2001	86
Figura 4.2 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 22h 59min de 01/01/1999	88
Figura 4.3 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 14h 51min de 19/01/2000	89
Figura 4.4 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 5h 46min de 28/01/2001	89
Figura 4.5 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 8h 56min de 06/02/1999	91

Figura 4.6 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 8h 50min de 28/02/2000	91
Figura 4.7 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 8h 44min de 17/02/2001	92
Figura 4.8 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 15h 58min de 01/03/1998	93
Figura 4.9 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 13h 49min de 16/03/2000	94
Figura 4.10 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 12h 13min de 04/03/2001	94
Figura 4.11 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 00h 51min de 28/05/1997	96
Figura 4.12 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 20h 58min de 29/06/2000	97
Figura 4.13 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 20h 59min de 14/07/2000	98
Figura 4.14 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 5h 08min de 29/08/1998	100
Figura 4.15 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 3h 19min de 28/08/1999	100
Figura 4.16 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 17h 59min de 31/08/2000	101
Figura 4.17 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 20h 57min de 23/09/2000	102
Figura 4.18 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 1h 03min de 08/10/1998	103
Figura 4.19 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 3h 18min de 08/10/1999	104

Figura 4.20 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 13h 55min de 31/10/2000	104
Figura 4.21 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 23h 15min de 05/11/1999	106
Figura 4.22 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 14h 25min de 20/11/2000	106
Figura 4.23 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 3h 11min de 13/12/1997	108
Figura 4.24 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 6h 05min de 25/12/1998	108
Figura 4.25 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 2h 43min de 14/12/1999	109
Figura 4.26 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de ondas das 8h 47min de 10/12/2000	109
Figura 4.27 – Altura Significativa (H_s) <i>versus</i> Altura Máxima ($H_{m\acute{a}x}$) do ano de 2000	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	– Ocorrência de <i>rogue waves</i> em águas profundas no período de 2006-2010 (H_r é a altura da <i>rogue wave</i> , H_s é a altura significativa da onda)	68
Tabela 3.2	– Ocorrência de <i>rogue waves</i> em águas rasas no período de 2006-2010 (H_r é a altura da <i>rogue wave</i> , H_s é a altura significativa da onda) em 2003	70
Tabela 3.3	– Ocorrência de <i>rogue waves</i> na costa no período de 2006-2010 (H_r é a altura da <i>rogue wave</i> , H_s é a altura significativa da onda)	72
Tabela 4.1	– Dados de Janeiro	81
Tabela 4.2	– Dados de Fevereiro	81
Tabela 4.3	– Dados de Março	82
Tabela 4.4	– Dados de Maio	82
Tabela 4.5	– Dados de Junho	82
Tabela 4.6	– Dados de Julho	83
Tabela 4.7	– Dados de Agosto	83
Tabela 4.8	– Dados de Setembro	84
Tabela 4.9	– Dados de Outubro	84
Tabela 4.10	– Dados de Novembro	84
Tabela 4.11	– Dados de Dezembro	85
Tabela 4.12	– Dados das maiores ondas registradas no mês de janeiro	88
Tabela 4.13	– Dados das maiores ondas registradas no mês de fevereiro	90
Tabela 4.14	– Dados das maiores ondas registradas no mês de março	93
Tabela 4.15	– Dados das maiores ondas registradas no mês de maio	95
Tabela 4.16	– Dados das maiores ondas registradas no mês de junho	97

Tabela 4.17 – Dados das maiores ondas registradas no mês de julho	98
Tabela 4.18 – Dados das maiores ondas registradas no mês de agosto	99
Tabela 4.19 – Dados das maiores ondas registradas no mês de setembro	102
Tabela 4.20 – Dados das maiores ondas registradas no mês de outubro	103
Tabela 4.21 – Dados das maiores ondas registradas no mês de novembro	105
Tabela 4.22 – Dados das maiores ondas registradas no mês de dezembro	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPH	Instituto Nacional de Pesquisas
N	Norte
NE	Nordeste
O	Oeste
SE	Sudeste
S	Sul
U.S.	United States of American
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

b	Distância entre ortogonais
k_r	Coefficiente de refração
C	Celeridade
E	Leste
g	Gravidade
$H_{1/3}$	Média de 3/10 das ondas mais altas para o período de observação (altura significativa da onda) (cm)
$H_{máx}$	Altura máxima das ondas mais altas para o período de observação (cm)
$H_{méd}$	Média das ondas para o período de observação (cm)
H_s	Altura significativa de uma onda (cm)
T	Período
$T_{1/3}$	Período para a $H_{1/3}$ da observação (s)
$T_{máx}$	Período para a $H_{máx}$ da observação (s)
$T_{méd}$	Período para a $H_{méd}$ da observação (s)
$Tanh$	Tangente hiperbólica
α	Ângulo de direção de propagação de onda
δ	Declividade da onda

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	Base Conceitual	22
2.2	Ondas	22
2.2.1	<i>Geração de Ondas</i>	22
2.2.2	<i>Propagação das ondas</i>	24
2.2.2.1	<i>Movimento orbital</i>	25
2.2.3	<i>Deformação das ondas</i>	29
2.2.3.1	<i>Refração</i>	29
2.2.3.2	<i>Shoaling (empilhamento)</i>	32
2.2.3.3	<i>Rebentação</i>	34
2.2.3.4	<i>Difração</i>	34
2.3	Acidentes	36
2.3.1	<i>Manchetes de jornais locais</i>	36
2.3.2	<i>Praia do Ícarai</i>	40
2.4	Rogue Waves	43
2.4.1	<i>Origem das Rogue Waves</i>	45
2.4.2	<i>Estudos realizados</i>	45
2.5	Aspectos Climatológicos Influenciadores das ondas	46
2.5.1	<i>Influência dos ventos alísios e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na região de estudo</i>	46
3	DADOS E METODOLOGIA	53
3.1	Área de estudo	53
3.2	Medições e análises de ondas	61
3.3	Coleta de dados das rogue waves	62
3.4	Eventos ocorridos	62
3.5	Processos estocásticos	75
3.6	Análise dos dados do ondógrafo do Pecém	76
3.6.1	<i>Software de processamento dos dados de output do ondógrafo</i>	76
3.6.2	<i>Desenvolvendo as Planilhas de dados</i>	77
3.6.3	<i>Desenvolvendo os Gráficos</i>	79

4	CARACTERIZAÇÃO DAS ONDAS DO PECÉM	80
4.1	As ondas incidentes na costa	80
4.2	Incidência das rogue waves das séries históricas de 1997 – 2001	80
4.3	Características das máximas ondas registradas	87
5	CONCLUSÃO	113
5.1	Sugestão para Trabalhos Futuros	113
	REFERÊNCIAS	115
	ANEXO A –RECORTE DO JORNAL DIÁRIO DO NORDESTE DE 26	
	DE OUTUBRO DE 1999	119
	ANEXO B – RECORTE DO JORNAL DIÁRIO DO NORDESTE DE 28	
	DE OUTUBRO DE 1999	120
	ANEXO C – RECORTE DO JORNAL DIÁRIO DO NORDESTE DE 20	
	DE DEZEMBRO DE 2000	121

1 INTRODUÇÃO

A magnitude e as condições das ondas na região, como a altura, período e sua orientação de propagação, influenciam os processos naturais de transporte de sedimentos e as mudanças na conformação do fundo batimétrico (VIEIRA, 2007).

Os oceanos possuem diversos tipos de onda, entre esses tipos existem aquelas que são provocadas pela ação do vento, na interface ar-mar, e que serão abordadas nesse estudo. As ondas podem provocar acidentes com embarcações no mar próximo à costa cearense. Os jornais locais relatam mortes devido a acidentes desse tipo.

O avanço do mar na costa cearense é um problema que a praia do Icaraí, no município de Caucaia, vem sofrendo. Edificações são destruídas pela intensidade das ondas do mar nessa região. A construção de um *bagwall* com aproximadamente 1,5 km de extensão foi a solução encontrada. Esse equipamento atua como um dissipador de energia das ondas que incidem na costa.

Há a suspeita que os acidentes com as jangadas e o problema de destruição das edificações na praia do Icaraí tenham relação com as ondas extremas. Essas ondas têm alturas maiores que o dobro das alturas de onda significativa.

As ondas antes de atingir a costa, onde atuam como principal fonte de energia para a dinâmica costeira, elas se propagam sobre a plataforma continental, que sofre transformações resultantes da atuação de diversos processos físicos.

A área de estudos foi escolhida em função da disponibilidade de medições de onda, inéditas na região, feitas por um equipamento instalado próximo à costa. A campanha de medições integra um amplo programa de monitoramento ambiental na região costeira da praia do Pecém, que foi realizada durante a construção do porto do Pecém. O distrito do Pecém está situado na Região Metropolitana de Fortaleza, no município de São Gonçalo do Amarante (Figura 1.1), a 42 km da capital, Fortaleza.

Figura 1.1 - Praia do Pecém



Fonte: <http://pt.surf-forecast.com/breaks/Praia-do-Pecem>.

A partir do estudo dos dados das observações de 1997 a 2001, medidas pelo ondógrafo nas proximidades do Porto do Pecém, através de uma análise estocástica desses dados, que implica num domínio do conhecimento para permitir o dimensionamento de estruturas portuárias e predição dos impactos ambientais na zona costeira com a implantação das obras portuárias.

O objetivo deste estudo é investigar sobre a ocorrência de ondas extremas no litoral cearense e possíveis impactos e consequências.

O objetivo específico deste estudo é contribuir com o conhecimento do clima de ondas no litoral setentrional do nordeste brasileiro a partir de dados da boia direcional Waverider instalada próxima ao Porto do Pecém, no Estado do Ceará.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Base Conceitual

As ações combinadas das ondas, correntes, marés e ventos são estudadas com um maior ardor no campo da engenharia costeira. Essas interações definem o sistema hidrodinâmico e morfológico dos litorais e conseqüentemente, são determinantes nos projetos e construções das obras portuárias e estruturas nessa região em estudo (VIEIRA, 2007).

De maneira natural o sistema litoral se encontra em equilíbrio dinâmico, a intervenção da ação antrópica gera uma perturbação ao meio, que reage de forma a encontrar um novo equilíbrio, que muitas vezes tendem a provocar alterações morfológicas as praias próximas ou distantes.

O grau de interação para os parâmetros marítimos varia dependendo da localização no globo terrestre, quanto mais intensa essa interação maior será sua influência no transporte litorâneo de sedimentos na faixa litorânea (VIEIRA, 2007).

Um entendimento do processo costeiro acarreta em um conhecimento dos possíveis impactos gerados pela a implantação de alguma obra marítima e/ou costeira. O domínio dos impactos é visto como um desafio para a engenharia costeira, que tenta solucionar os problemas referentes a hidrodinâmica costeira (PITOMBEIRA, 2005).

Há ainda alguns entraves naturais que afetam estes fenômenos na costa, e devem ser estudados de forma conjunta com os agentes marítimos, que são: embocaduras fluviais, os exutórios lagunares, os canais de descarga de marés de zonas baixas costeiras, são acidentes naturais que se interpõem a esta tarefa do regime de ondas, de marés e de ventos (PITOMBEIRA,2005).

Assim o conhecimento dos parâmetros físicos atuantes no litoral proporciona condições de analisar e compreender os processos hidrodinâmicos e eólicos atuantes na costa.

2.2 Ondas

2.2.1 Geração das ondas

A geração das ondas pode ser oriunda de vários fenômenos naturais, tais como: movimentação de placas tectônicas do fundo do mar, vento, erupções vulcânicas no oceano,

etc. A costa cearense está situada em uma região sem ocorrências sísmicas e situada em uma região sem falhas geológicas, as ondas que se propagam em nosso oceano e que chega à costa, são geradas pelo vento. (PITOMBEIRA, 2005).

As ondas geradas pela ação do vento são denominadas de ondas superficiais, em águas profundas, fora da zona de geração ou *fetch* (região onde o vento sopra durante horas gerando ondas), essas ondas apresentam normalmente pequena amplitude em relação ao comprimento. Mas a medida que se aproximam da costa, o meio sofre alteração, sua profundidade decresce, chegando na zona das águas rasas, as alterações do meio afetam a propagação dessas ondas (REGO, 1992).

A interação do vento com o oceano gera oscilações na superfície do mar, e estas oscilações continuam a se propagar para regiões mais distantes do oceano longe da influência direta do vento, nesse momento as ondas são chamadas de *swell*. Estas ondas consistem de trens de ondas (um conjunto sucessível de ondas plenamente desenvolvidas) uniformes com períodos de 5 a 30 segundos (VIEIRA, 2007).

As ondas podem ser consideradas como perturbações periódicas da superfície do mar, geradas pela ação do vento e movem-se perante o efeito da inércia e da gravidade. Por determinarem um estado oscilatório ao mar, essas ondas são conhecidas como ondas de oscilação, que tem como característica as variações periódicas da posição das partículas de água e da forma da superfície livre. Cada um desses entes passa por uma sucessão de condições para depois retornar as condições iniciais após um determinado tempo, esse intervalo de tempo é chamado de período (ABECASIS *et. al.*, 1957 *apud* PITOMBEIRA, 2005).

Perante a ação dos ventos, as ondas em fase de geração passam pelas seguintes fases:

Instável: estado de agitação transitório que possui como único fator atuante a duração de atuação do vento;

Estável: estado de agitação, que possui como características máximas dentro uma determinada área de atuação e velocidade do vento a dependência exclusivamente da zona de geração;

Pleno crescimento: à medida que ocorre o afastamento do limite de barlavento (lado de onde sopra o vento), as características da agitação vão se alterando até tornarem definitivas, nesse momento a energia proveniente da ação dos ventos foi totalmente dissipada sob a forma de turbulência.

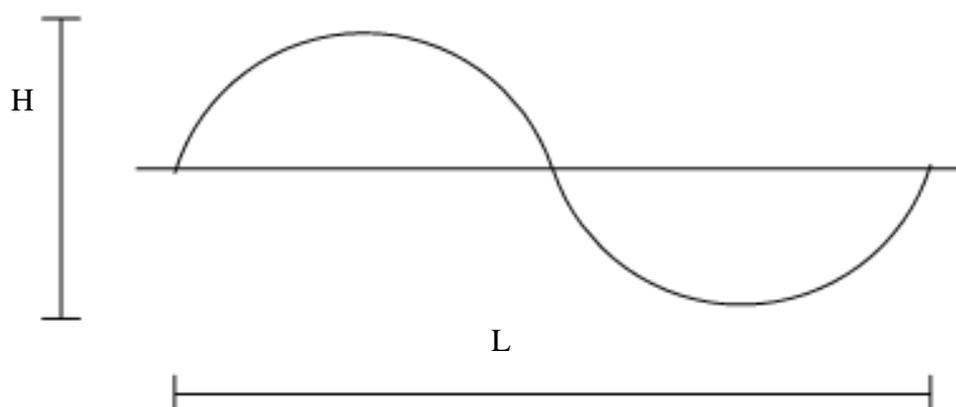
Normalmente, as características do meio de propagação podem sofrer alterações devido a dois fatores: variações de profundidade e presença de correntes.

Por todo o oceano se encontra a presença das correntes superficiais, mas para que elas influenciem as ondas, é necessário que a intensidade dessas correntes seja uma fração significativa da velocidade de propagação das ondas (REGO, 1992).

2.2.2 Propagação das ondas

Com o fim da fase de geração, as ondas atingem o seu pleno desenvolvimento, agora essas ondas possuem atributos de ondulações (*swell*). A Figura 2.8 a seguir, mostra os parâmetros definidos dessas ondas.

Figura 2.1 – Parâmetros das ondas desenvolvidas



Fonte: Próprio autor.

Onde:

H é a altura da onda;

L é o comprimento da onda;

O ponto mais alto da onda é chamado de crista e o mais baixo de cavado;

O tempo decorrente entre a passagem de sucessivas cristas ou cavados por um ponto fixo é denominado período da onda (T);

O máximo deslocamento vertical da onda em relação ao nível de referência, situado na metade da altura da onda - H é chamado de amplitude da onda - a ;

Frequência é o inverso do período ($1/T$), que indica o número de ondas que passam por um determinado ponto fixo num dado intervalo de tempo;

A celeridade de uma onda - C , sua velocidade de propagação, é definida por: $C = \frac{L}{T}$, onde L é o comprimento e T o período da onda;

A declividade da onda - δ , é determinada pela por: $\delta = \frac{H}{L}$, onde H é a altura e L é o comprimento da onda. H .

Um conjunto dessas ondas sucessivas é denominado de trem de onda.

2.2.2.1 Movimento orbital

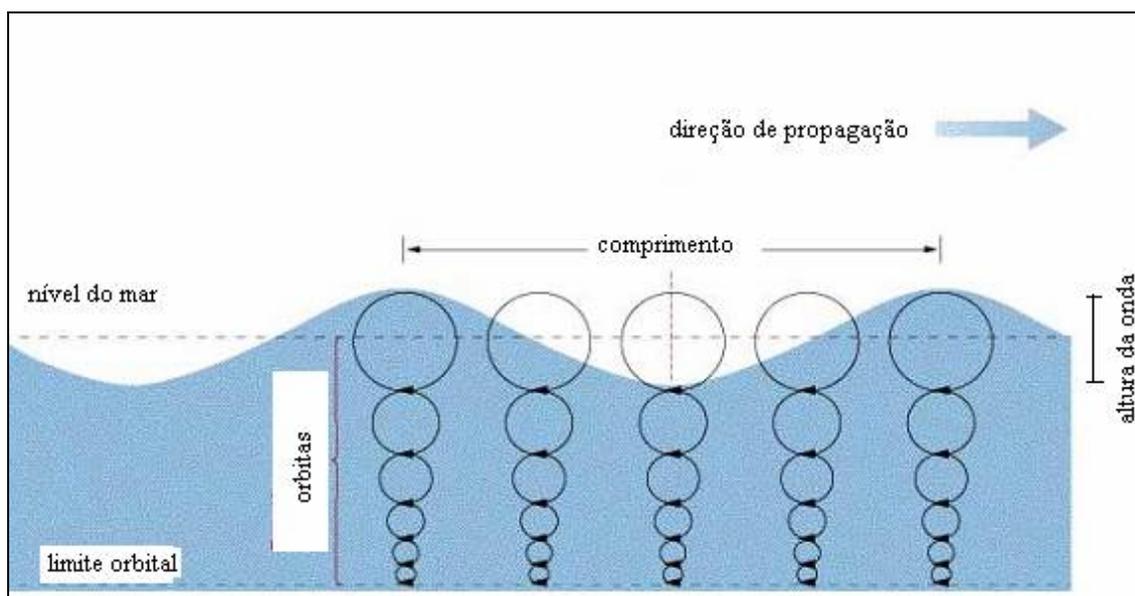
Esse movimento está relacionado com as moléculas de água que estão situadas abaixo de uma onda, pois o movimento dessas moléculas de água é diferente do próprio movimento da onda. Uma onda se desloca de um ponto a outro do oceano, porém as moléculas de água continuam no mesmo local inicial, sofrendo apenas ondulações cíclicas, subindo e indo para frente com a aproximação da crista de onda e descendo e indo para trás após sua passagem (GOMES, 2003).

Desta forma o movimento do fluido é tido como circular, subindo e indo para frente com a aproximação da crista e descendo e indo para trás com a aproximação da cava. Seu movimento orbital é influenciado pela profundidade, ele decresce com a profundidade. É sabido que em uma profundidade maior que a metade do comprimento de onda, o movimento da onda torna-se desprezível, desse modo as ondas têm pouco efeito sobre o fundo do mar e vice-versa. E em águas rasas, a interação entre a água e o fundo freia as ondas provocando o movimento dos sedimentos de fundo (GOMES, 2003).

O movimento orbital da água torna-se mais elíptico que circular próximo ao fundo do mar, devido ao atrito com o fundo, que restringe o movimento de subida e descida (GOMES, 2003).

Para uma melhor compreensão do fenômeno de movimento das moléculas de água considere a Figura 2.2 a seguir, que mostra uma onda simples durante um período de propagação.

Figura 2.2 – As partes de uma onda simples e seu desenvolvimento orbital



Fonte: Pitombeira, 2005.

Para o estudo das ondas vários autores estabeleceram teorias de movimento ondulatórios.

De acordo com Stokes, *in verbis*:

“A onda irrotacional, de princípio foi imaginada para ser aplicada às ondas de pequena amplitude em relação ao comprimento da onda e à profundidade da água em que ela se propagava. Depois se viu que as suas equações continuavam válidas para ondas não só de pequenas amplitudes. O perfil destas ondas é representado pela curva seno, sendo por isto conhecidas também pela designação de ondas sinusoidais. Estas ondas apresentam como parâmetros definidores além daqueles já enumerados, a celeridade, sendo também definidora de suas características a profundidade da água em que ela se propaga.” (PITOMBEIRA, 2005).

Com base nos estudos da onda irrotacional, teorema de Lagrange e da equação de Laplace (CASTANHO, 1966 *apud* PITOMBEIRA, 2005), *in verbis* pode-se definir o comprimento da onda e sua celeridade:

Comprimento de onda

$$L = \sqrt{\frac{g \cdot T^2}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \quad (2.1)$$

Celeridade

$$C = \sqrt{\frac{g \cdot L}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \quad (2.2)$$

Onde:

L é o comprimento de onda;

T é o período da onda;

g é a aceleração da gravidade;

C é a celeridade da onda;

tanh é a tangente hiperbólica.

A relação entre a profundidade da água (d) em que a onda se propaga com seu comprimento (L) é importante para o estudo das ondas, por meio dessa relação pode se chegar às seguintes conclusões:

Águas profundas

Se,

$$\frac{d}{L} \geq \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{2\pi d}{L} \geq \pi \Rightarrow \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \approx 1 \quad (2.3)$$

Para $d \geq \frac{L}{2}$, a onda se propaga em águas que definimos ter profundidade infinita.

Calculamos em função do período (que permanece constante ao longo da propagação) o comprimento da onda L e a celeridade da onda C que se propaga nestas condições.

Portanto,

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \quad (2.4)$$

$$C = \sqrt{\frac{g \cdot L}{2\pi}} = \frac{L}{T} \quad (2.5)$$

Águas intermediárias

Quando a onda se propaga em águas intermediárias, sofrendo influência do fundo do mar e exercendo influência sobre esse fundo, tem-se:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \Rightarrow L = f(d, L) \quad (2.6)$$

$$C = \sqrt{\frac{g \cdot L}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \Rightarrow C = \quad (2.7)$$

Águas rasas

Se,

$$\frac{d}{L} < \frac{1}{25} \Rightarrow \frac{2\pi d}{L} < \frac{1}{4} \Rightarrow \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \approx \frac{2\pi d}{L} \quad (2.8)$$

Nesta situação a onda se propaga em águas rasas, então teremos:

$$L = \left(\frac{g \cdot T^2}{2\pi}\right) \cdot \frac{2\pi d}{L} = T \cdot \sqrt{g} \quad (2.9)$$

$$C = \sqrt{gd} \quad (2.10)$$

2.2.3 Deformação das ondas

Durante seu movimento, a onda pode sofrer processos de formação ocasionados pela diminuição da profundidade da água na zona de propagação da onda e pelo encontro de obstáculos no seu percurso de propagação (CASTANHO, 1966 *apud* PITOMBEIRA, 2005,p. 09).

Dependendo dos parâmetros definidores da onda na superfície, as profundidades podem ser definidas, como:

Águas Profundas (profundidade infinita);

Águas Intermediárias;

Águas Rasas.

A profundidade (d) para $d = \frac{L_o}{2}$ é considerada o limite das profundidades infinitas;

Caso $d > \frac{L_o}{2}$, a onda se propaga livremente, sem sofrer influência no fundo do mar e vice-versa;

Para $d < \frac{L_o}{2}$, a onda em sua propagação, passa a sofrer influência de sua proximidade ao fundo mar, aparecendo então deformações nas onda devido à diminuição das profundidades.

Logo a influência da proximidade do fundo do mar pode gerar as seguintes deformações: refração, “shoaling” e rebentação (PITOMBEIRA, 2005).

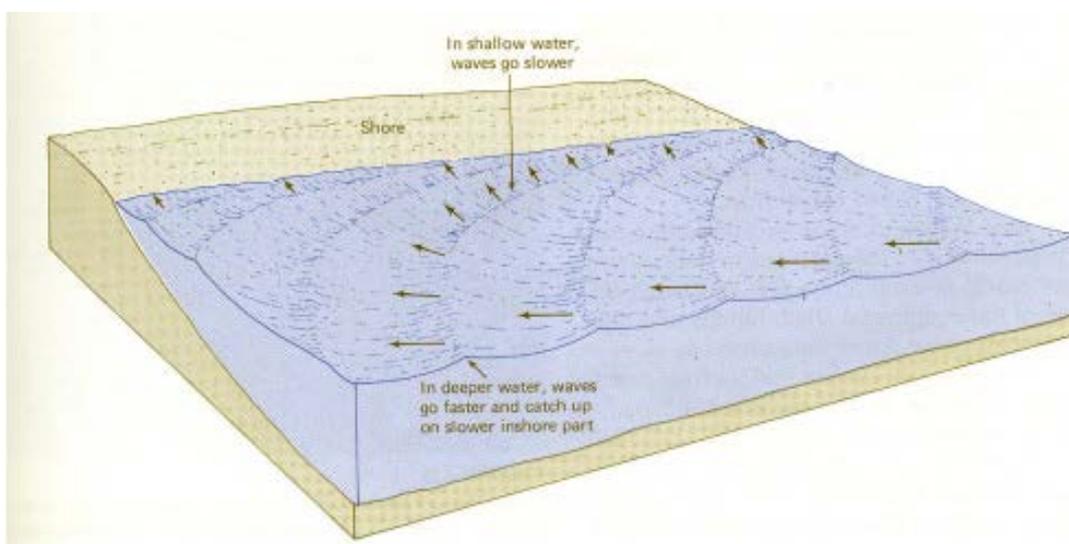
2.2.3.1 Refração

A medida que a onda penetra na região de águas rasas, sua velocidade diminui, o que provoca mudança na direção da onda, pois a porção da onda que chega primeiro tem sua velocidade reduzida, enquanto a porção que ainda está em águas profundas continua com sua velocidade. Em consequência as ondas mudam sua direção, voltando-se para as áreas rasas a medida que diminuem a velocidade. Em virtude desse acontecimento, as ondas parecem vir da mesma direção, frontalmente à praia, independente da direção onde foram originadas. Esta

deflexão das ondas à medida que atingem águas rasas é denominada refração (Figura 2.3) (GOMES, 2003).

O autor Holthuijsen (2007, p.198), também menciona a refração como um fenômeno de mudança da direção da onda devido as variações de profundidade.

Figura 2.3 – Refração de ondas

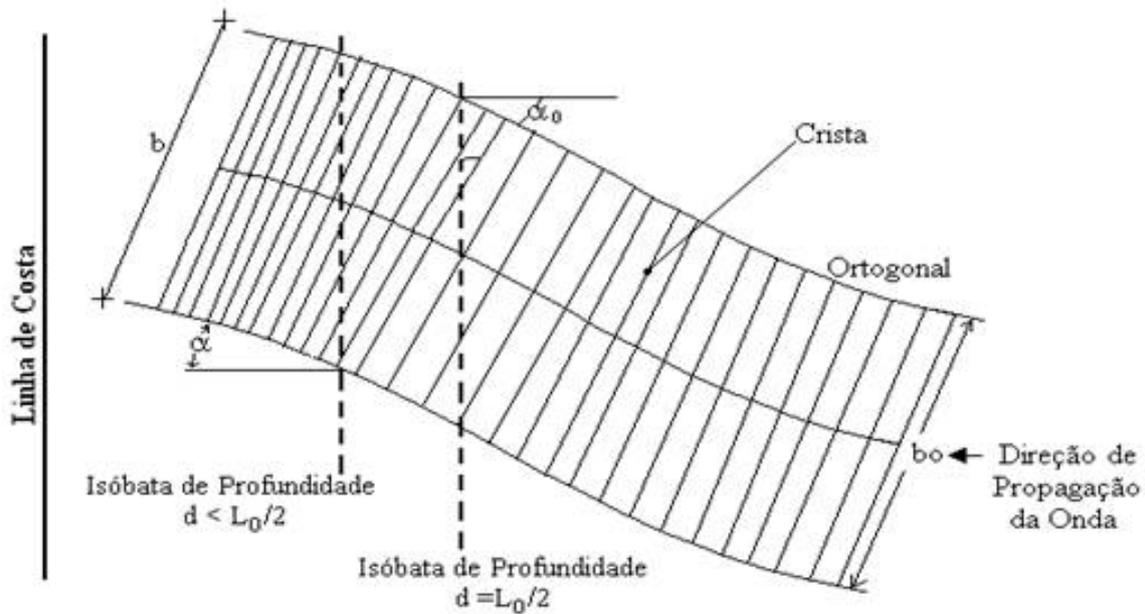


Fonte: Gomes, 2003.

Segundo C. L. Bretschneider, *in Ippen*,

“Devido à diminuição das profundidades, a onda sofre mudanças na sua direção de propagação. A onda, que tem sua crista situada em diferentes profundidades, sofre na parte da crista em que a profundidade é menor uma redução na velocidade de propagação e no comprimento de onda. Esse fato faz com que esta parte da crista com velocidade reduzida desloque-se mais lentamente que a parte que se encontra em águas mais profundas, o que dará como resultado o encurvamento das cristas das ondas e a motivação natural da configuração das cristas ficarem semelhantes ao das isóbatas. Esta semelhança de configuração leva as ondas à tendência de chegarem à praia com suas cristas paralelas à linha de costa” (Figura 2.4). (PITOMBEIRA, 2005).

Figura 2.4 – Conformação das ondas que chegam ao litoral com suas cristas paralelas à linha de costa



Fonte: Pitombeira, 2005.

Onde:

α_0 é o ângulo de direção de propagação de onda à profundidade infinita;

α é o ângulo de direção de propagação de onda à profundidade $d < L_0/2$;

b_0 : distância entre ortogonais em $d > L_0/2$;

b : distância entre ortogonais em $d < L_0/2$;

k_r : coeficiente de refração = $(b_0/b)^{1/2}$.

A refração das ondas pode gerar um espalhamento ou convergência da energia da onda, que pode ser observado ao se examinar os raios das ondas que são perpendiculares às cristas das ondas. Essas alterações na velocidade de grupo normalmente aumentam suas amplitudes quando se propagam em águas rasas (KOMAR, 1998 *apud* NEMES, 2011).

Caso uma onda se propaga em profundidades infinitas com celeridade C_0 e com celeridade C a uma profundidade d , admitindo-se que as isóbatas sejam paralelas e retilíneas, a lei de Snell (Equação 2.11) pode ser utilizada para solucionar problemas referentes a mudança de direção de propagação da crista dessa onda.

$$\frac{C_0}{C} = \frac{\text{sen}(\alpha_0)}{\text{sen}(\alpha)} \quad (2.11)$$

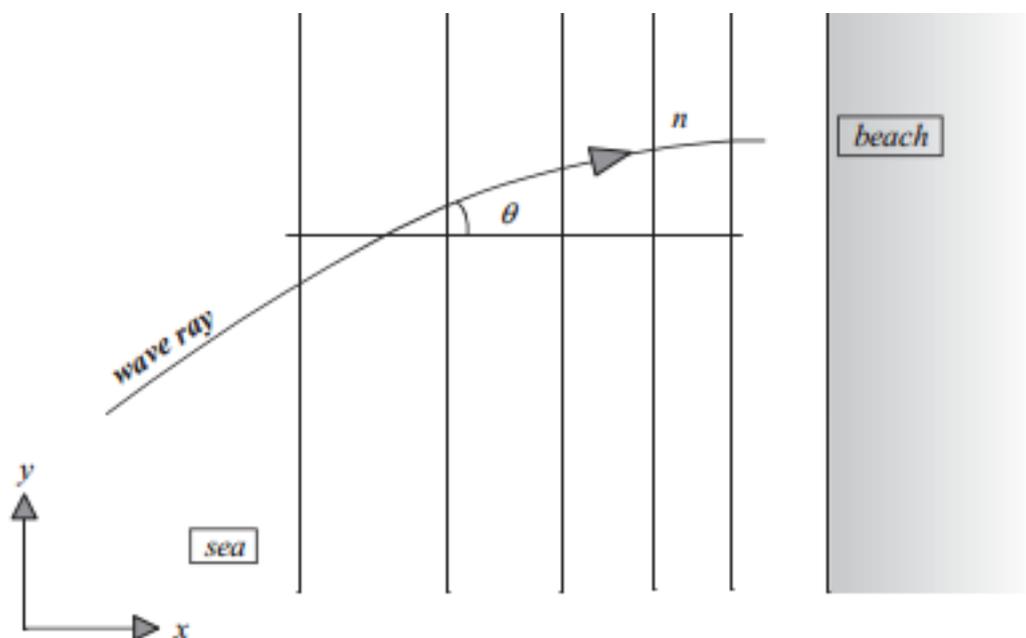
Onde:

C_0 é a celeridade da onda à profundidade infinita;

C é a celeridade da onda em profundidades $d < L_0/2$.

O ângulo θ da Lei de Snell (Figura 2.5) é obtido entre o raio da onda e normal aos contornos de profundidade, retos e paralelos.

Figura 2.5 - O ângulo θ da Lei de Snell



Fonte: Holthuijsen (2007, p.205).

2.2.3.2 Shoaling (empinamento)

Vários autores definem *shoaling*. Entre as definições podemos citar:

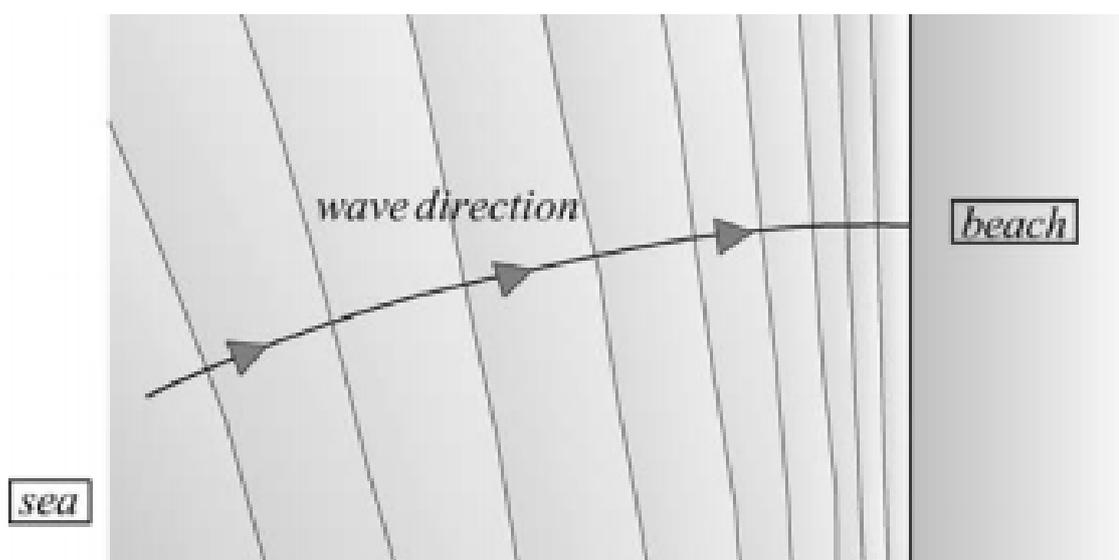
Shoaling é o efeito pelo qual as ondas de superfície ao entrar em águas rasas alteram suas alturas. Causado pelo fato da velocidade de grupo, que é também a velocidade de transporte de energia das ondas, mudar com a profundidade das

águas. Ondas *shoaling* apresentam uma redução do comprimento de onda, enquanto sua frequência permanece constante (FRANCO & FARINA, 2015).

A variação de ondas em sua direção de propagação, devido a alterações induzidas pela profundidade na velocidade de grupo é chamado de *shoaling* (HOLTHUIJSEN, 2007, p.197).

Uma onda sempre muda de direção (Figura 2.6) para uma região com menor velocidade de propagação, sendo assim, uma onda geralmente tende a ir em direção perpendicular à costa (HOLTHUIJSEN, 2007, p.202).

Figura 2.6 – Mudança de direção da onda



Fonte: Holthuijsen (2007, p.202).

Estas mudanças na velocidade de grupo geralmente aumentam as amplitudes das ondas, que se propagam em águas rasas (a propagação da energia das ondas diminui, resultando em agrupamento energia) (HOLTHUIJSEN, 2007, p.197).

O cálculo dos valores de H, modificados pelo *shoaling*, podem ser realizados por meio do coeficiente de *shoaling* (Equação 2.12) (CASTANHO, 1957 *apud* PITOMBEIRA, 2005).

$$K_s = H/H_o = \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \frac{2\pi d/L}{\sinh(2\pi d/L)} \cdot \tanh(2\pi d/L)\right)}} \quad (2.12)$$

Onde:

H é a altura da onda à profundidade d ;

H_o é a altura da onda à profundidade infinita considerando que ocorreu apenas *shoaling*.

2.2.3.3 Rebentação

A rebentação de ondas é estudada por vários autores, especialmente quando se trata de movimentos sedimentares costeiros.

Quando as ondas se propagam na zona de *shoaling*, elas tornam-se instáveis e quebram quando a velocidade da partícula de água sobre a crista torna-se igual ou maior que a velocidade de fase da onda. Nessa quebra, a altura dessa onda é limitada pela profundidade e o comprimento da onda, o limite máximo para a altura da onda, chamado de altura de quebra (FRANCO & FARINA, 2015).

Após a fase de *shoaling*, próximo a praia seu comprimento vai diminuindo, em consequência ocorre uma diminuição de sua velocidade de propagação e um aumento de altura, essa alteração que a onda vai sofrendo gera um aumento de sua declividade, conseqüentemente da instabilidade, pois a parte da crista inicia o processo de desagregação com a formação de espuma. Essa desagregação continua e a energia da onda vai se dissipando no fluido até o momento que a onda desaparece. Todos esses fenômenos citados recebem o nome de rebentação (ABECASIS *et. al.*, 1957 *apud* PITOMBEIRA, 2005).

Já na costa, em praias arenosas de baixa declividade, as ondas incidentes apresentam dois tipos diferentes de rebentação: mergulhante e progressiva, desde que o vento não interfira no fenômeno (ABECASIS *et. al.*, 1957 *apud* PITOMBEIRA, 2005).

2.2.3.4 Difração

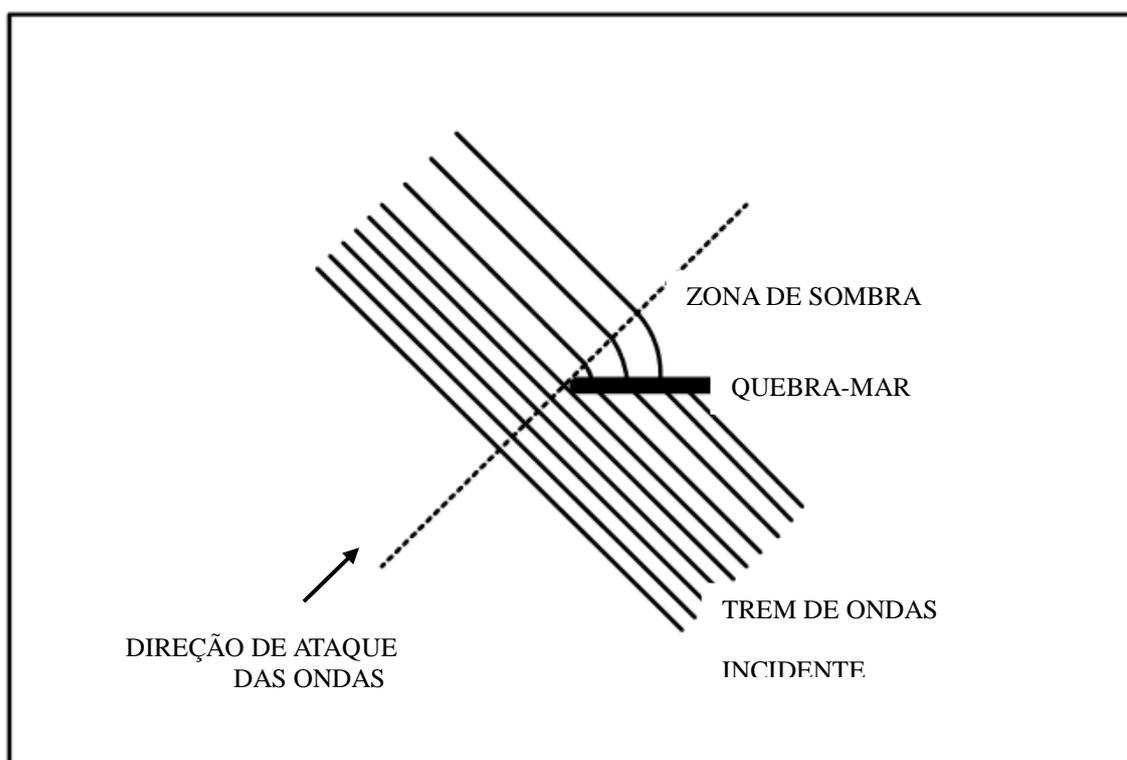
Para introduzir o fenômeno da difração, considere uma onda harmônica, longa com crista, viajando à profundidade constante, em torno de um quebra-mar. Na ausência de refração, as ondas irão viajar para a sombra do obstáculo em um padrão quase circular de cristas com suas amplitudes decrescendo rapidamente. Devido ao efeito de sombreamento do

quebra-mar, grandes variações na amplitude irão ocorrer em toda a linha de sombra geométrica do quebra-mar (HOLTHUIJSEN, 2007, p.210).

A área protegida (zona abrigada) pelo quebra-mar propiciará um mar calmo, teoricamente. Com apenas uma parte da onda incidente no quebra-mar, se destruindo ou se refletindo, a outra parte continua seu regime de propagação, checa-se o fenômeno chamado de difração. Inicia-se um processo de proliferação de energia lateral, que surge na zona abrigada uma extensão das cristas sobreviventes, com períodos e comprimentos de mesma magnitude, apenas com alturas e energias por unidade de crista menores. Essas ondas nessa zona de sombreamento, apresentam cristas curvadas, com direção de propagação angular, entre a direção de ataque da onda incidente e a direção de locação do quebra-mar (U.S. Army Corps of Engineers - Shore Protection Manual,1984).

A Figura 2.7 mostra a esquematização de difração de ondas em um quebra-mar.

Figura 2.7 – Difração de ondas



Fonte: Próprio autor.

2.3 Acidentes

As ondas podem gerar acidentes no mar e/ou na costa. Dependendo da intensidade das ondas pode naufragar embarcações ou destruir edificações no litoral.

2.3.1 Manchetes de jornais locais

O Jornal Diário do Nordeste relata o seguinte texto sobre um acidente ocorrido em 26 de outubro de 1999:

“Ondas de até sete metros estão levando tudo que encontram pela frente na rua Oton de Carvalho, que os moradores chamam de Beira Mar, na Praia do Pecém. Todos foram unânimes em afirmar que sempre houve ressaca naquela praia, mas nunca nas proporções que aconteceu de domingo para segunda-feira. Quase nada restou do bar Portal da Pedra que fica em uma das esquinas movimentadas do que antes era um calçadão.

EXPLICAÇÃO – Aloísio Santos Araújo, estudioso do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, explicou que esse fenômeno é provocado por um tipo de onda (*swell*), que vem do Atlântico Norte e tem um comprimento além do normal. “Em vez de 50 metros ela vem com 300 metros e com uma força descomunal. São ondas intercontinentais que, geralmente nunca chegam antes de dezembro, e que, infelizmente, vieram agora com as marés de lua que são muito grandes”, descreve Aloísio.

Em explanação mais técnica, Aloísio disse que a maré de 3,10 m de amplitude junta-se com ondas de até 3 metros e pode levar a uma onda de até sete metros de altura na zona de arrebentação. Ele acrescentou que o tamanho das ondas, geralmente, de cinco segundos, está chegando agora a 18 segundos. “Outro problema é que as ondas estão batendo de frente, em um ataque frontal devastador”, conclui Aloísio. ” (DIÁRIO DO NORDESTE, 1999).

O Jornal Diário do Nordeste relata o seguinte texto sobre um acidente ocorrido em 28 de outubro de 1999:

“Os transtornos gerados pela maré alta, a partir do último domingo, prosseguindo até à tarde de terça-feira passada, ainda eram visíveis no dia de ontem. No Arpoador, os moradores atingidos pela ressaca apresentavam um semblante de tristeza e desolação. Onze barracos localizados em cima da barreira caíram, mas foram 13 o

total de famílias obrigadas a se retirar do local próximo a praia. Mesmo assim, na área de risco ainda existem cerca de 120 casebres.

Na última terça-feira, as ondas cegaram a subir seis metros, deixando espantados os moradores. Quando a maré bateu de frente à praia, arrastou o que encontrou, inclusive as jangadas que estavam paradas na areia. ” (DIÁRIO DO NORDESTE, 1999).

O Jornal Diário do Nordeste relata o seguinte texto sobre um acidente ocorrido em 20 de dezembro de 2000:

“Trecho da Praia do Pecém está sendo recuperado, mas o mar não dá trégua. Populares dizem que a obra não passava de extravagância do Governo que “deve ter muito dinheiro pra jogar fora. Não vê que não vai segurar?” Já os técnicos afirmam que a obra terá mesmo Êxito de outras executadas na Caponga do Peixe, Mundaú e atrás do Iate Clube.

Há três anos começou a apreensão dos moradores, com o rápido avanço do mar. Há 30 anos, entre as casas e o mar era de 400 metros, onde havia uma lagoa de água doce e um campo de futebol. Em novembro de 1999, a população local viveu dias de horror. A fúria das águas continuou até abril deste ano. O mar chegou na praça da igreja de São Luiz Gonzaga. Ondas muito altas derrubaram casas de veraneio como as de Artamilce (Milcinha) Guedes Lobo e de José Lino da Silveira.

O problema foi gerado por ondas “swell”, vindas do Atlântico Norte, assegura o oceanógrafo Aluizio Santos Araújo. Ele é técnico do Instituto de Pesquisa Hidroviária. Este tipo de onda retira a areia do litoral, dada sua intensidade, diz ele. Tais explicações são insuficientes para o tamanho do desgosto de proprietários como dona “Milcinha” Lobo. ” (DIÁRIO DO NORDESTE, 2000).

O Jornal Diário do Nordeste relata o seguinte texto sobre um acidente ocorrido em setembro de 2006:

“Hoje completa um mês do acidente envolvendo o barco ‘Chiquito II’, no Município de Fortim, Litoral Leste do Estado (a 125 quilômetros de Fortaleza), com 22 pessoas a bordo, que causou a morte de duas delas.

O barco partiu da localidade Canto da Barra, com alunos e instrutores do curso de mergulho avançado do Projeto Netuno, além de tripulantes, no fim da tarde de sábado, com o objetivo de realizar um mergulho noturno. O laudo da perícia técnica do acidente ainda não foi finalizado pela Capitania dos Portos.

ONDA - Apesar de não haver um laudo oficial, o naufrágio do ‘Chiquito II’, segundo testemunhas, teria ocorrido por causa de uma forte onda, que virou a

embarcação, já retornando do mergulho, antes que pudesse alcançar terra firme, no encontro do Rio Jaguaribe com o oceano.” (DIÁRIO DO NORDESTE, 2006).

O Jornal O Povo relata o seguinte acidente ocorrido em outubro de 2013:

“Segundo informações da presidente da Colônia de Pescadores de Fortim, Luzirene Gomes Ribeiro, o acidente ocorreu por volta das 19h, quando o forte vento teria provocado grandes ondas, atingindo o barco, que virou rapidamente.

Dos três pescadores resgatados com vida, nenhum sofreu ferimentos graves e o estado de saúde deles é estável.

Durante toda quarta-feira, mergulhadores e agentes da Marinha realizaram buscas no local. Barcos de pescadores locais também ajudam na busca pelos desaparecidos. ” (O POVO, 2013).

O Blog de notícias Camocim Online relata o seguinte acidente ocorrido em setembro de 2014:

“A embarcação do tipo Bastardo, denominada Fera I, com registro de Camocim, com 6 tripulantes a bordo, estava pescando a 17 milhas (32 km) da costa de Barreirinhas, no Maranhão, por volta das 02:00h da madrugada do último sábado (27), enfrentando um mar agitado, com forte ventania, quando sofreu uma avaria na retranca, conhecida também como verga, uma madeira que fica fixa ao mastro, e na qual se prende a vela.

A quebra súbita desse equipamento teria jogado ao mar um dos tripulantes. Na tentativa de tentar ajudar o companheiro, outro pescador jogou-se ao mar, mas diante das fortes ondas, do vento, e da embarcação que ficou sem controle, os dois homens acabaram sumindo na escuridão do oceano. Para piorar, os dois estavam sem coletes salva-vidas. A embarcação, que não possui nenhum tipo de equipamento de comunicação, permaneceu o sábado inteiro à deriva. ” (CAMOCIM ONLINE, 2014).

Ondas com grandes amplitudes são reladas costa, o sitio do portal G1 relata o seguinte texto em abril de 2016:

“O litoral de Fortaleza passa por elevação da maré e registrou ondas de até três metros. De acordo com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), as ondas tiveram pico de 3,1 metros às 16h desta terça-feira (6). ” (G1.GLOBO, 2016).

O sítio eletrônico do portal G1 também relata o seguinte texto em outubro de 2016:

“De acordo com previsão da Fundação Cearense de Meteorologia (Funceme), até a segunda-feira (17), as ondas continuam altas e podem chegar a 3,2 metros no Porto do Mucuripe, em Fortaleza.” (G1.GLOBO, 2016).

Outro relato do Portal G1 em outubro de 2016:

“A maré forte invadiu a orla dos municípios de Aquiraz e Beberibe neste domingo (16), no Litoral Leste do Ceará. A força da água do mar derrubou coqueiros e barracas de praia. Na Praia do Batoque, em Aquiraz, uma barraca desabou.

Já na Praia de Morro Branco, em Beberibe, a força das águas avança sobre a estrutura de madeira de uma barraca. A frente de uma barraca não resiste a força da água e cai.

Sobre a ressaca do mar, a diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha, disse que a previsão para o final da tarde desta segunda-feira (17) é de que as ondas cheguem a 3,20 metros de altura.” (G1.GLOBO, 2016).

A Figura 2.8 mostra um incidente que as ondas destruíram parte de uma edificação na Praia do Batoque, localizada no município de Aquiraz.

Figura 2.8 – Barraca destruída na Praia do Batoque, no município de Aquiraz



Fonte: G1.GLOBO, 2016.

2.3.2 Praia do Ícarai

A praia do Icaraí, no município de Caucaia, a 16 km de Fortaleza, no Estado do Ceará, vem sofrendo com as ondas do mar. Suas edificações próximas a praia são alvos constante dos trens de onda. Entre as edificações pode-se citar casas e barracas de praia. Essa erosão marinha é uma situação de risco que as pessoas dessa área estão expostas.

A Figura 2.9 mostra a destruição feita pelas ondas a uma edificação na praia do Icaraí.

Figura 2.9 – Edificação destruída na praia do Icaraí



Fonte: MARCOLYRA.BLOGSPOT, 2012.

Com o intuito de solucionar esse problema foi construído um *bagwall* de 1,4 km de comprimento. Esse equipamento é construído sobre a linha da costa, em formato de escadaria e enraizado na costa (DE PAULA, 2015).

O *bagwall* é constituído por concreto simples, que é ensacado em formas geotêxteis para sua modelação em formato de bloco. Concluída a primeira fase, eles são empilhados até uma cota determina, sendo limitada por uma viga de coroamento, feita de concreto (DE PAULA, 2015).

O jornal Diário do Nordeste no dia 23 de janeiro de 2015 relata:

“A força da água, além do muro, derrubou um banheiro e um deck e causou erosão na frente da casa. Outros condomínios situados na mesma faixa, a cerca de seis metros do mar, estão com a parte frontal ameaçada.

A intensidade deste avanço é histórica e já destruiu parte da Avenida Litorânea do Município. Entre 2010 e 2012, a Prefeitura de Caucaia fez um muro de contenção

com blocos de concreto e pedras, chamado "Big Bag Wall", que tem 1,4 km de extensão em formato de escadaria. Entretanto, esta estrutura vem cedendo no decorrer dos anos. Em setembro do ano passado, 470 metros da parede de pedra estavam comprometidos e a Prefeitura deu início a uma obra de recuperação da estrutura." (DIÁRIO DO NORDESTE, 2015).

A Figura 2.10 mostra a destruição de um muro na praia do Icaraí.

Figura 2.10 – Muro destruído na praia do Icaraí



Fonte: DIÁRIO DO NORDESTE, 2015.

2.4 Rogue Waves

As *rogue waves* ou ondas turbulentas (também conhecidas como ondas gigantes, ondas extremas, e ondas anormais) são ondas de dimensões bem acima da média.

Essas ondas possuem uma altura duas vezes maior que a altura de onda significativa (H_s) (Kharif & Pelinovsky, 2003), que é definida como altura associada à média das alturas de um terço das ondas de maior amplitude.

São conhecidas por causar danos expressivos a estruturas dos navios no oceano, mesmo para os navios de grande porte como os transatlânticos. São ondas raras e imprevisíveis que podem aparecer de repente e sem aviso (Kharif & Pelinovsky, 2003).

A Figura 2.11 mostra a ocorrência de várias *rogue waves* que foram fotografadas.

Figura 2.11 – Várias fotos de *rogue waves*



Fonte: Kharif, & Pelinovsky, 2003.

2.4.1 Origem das Rogue Waves

Desde o século XV ondas anormais têm sido amplamente relatadas pelo mundo. Por muitos anos elas eram tidas como parte do folclore do mar, mas a partir do surgimento e desenvolvimento dos instrumentos de medição, foi possível evidenciar de forma científica sua existência (Nikolkina & Didenkulova, 2011).

Embora confirmada a existência das ondas anormais, há uma incerteza em sua origem, o que dificulta o seu estudo (BARONIO *et al.*, 2012).

A razão para o fenômeno pode ser atribuída a instabilidade de uma determinada classe de condições iniciais, que tendem a crescer de forma exponencial e, portanto, têm a possibilidade de aumentar as altas amplitudes (Akhmediev *et al.*, 2009).

Existem duas teorias para explicar o surgimento das ondas anormais, a teoria linear e a não-linear. A mais utilizada é a teoria não-linear, pois a linear tem dificuldade em explicar as elevadas amplitudes destas ondas em mar aberto (Akhmediev *et al.*, 2009).

Embora existam centenas de registros das ondas extremas, esses dados são insuficientes para a construção de modelos estatísticos confiáveis e conseguir solucionar a natureza dessas ondas. É importante continuar a coletar e analisar os dados das ondas gigantes, pois esses dados podem levar a novas ideias da natureza e dos mecanismos de formação dessas ondas.

2.4.2 Estudos realizados

Em todo mundo se tem realizado a coleta e estudo dos dados das ondas gigantes por exemplo: Mallory, 1974; Torum e Gudmestad, 1990; Lavrenov, 1998; Olagnon e Athanassoulis, 2001; Mori *et al.*, 2002; MaxWave, 2003; Dysthe *et al.*, 2008; Karif *et al.*, 2009, e recentemente, Liu (2007) propôs uma crônica sobre as ondas turbulentas em todo o mundo entre os anos 1498-2007, com um catálogo que inclui 51 eventos ocorridos nesse período (Nikolkina & Didenkulova, 2011).

O primeiro autor a chamar a atenção da ocorrência das ondas extremas em águas pouco profundas (rasas) foi Chien *et al.* (2002). Ele criou um catálogo de eventos anormais na zona costeira de Taiwan nos últimos 50 anos (1949-1999), que relatou 140 eventos. Após sua publicação, foram realizados vários estudos sobre a ocorrência desse

fenômeno em águas pouco profundas (rasas) por: Cherneva *et al.*, 2005; Didenkulova e Anderson, 2010; Didenkulova, 2011 (Nikolkina & Didenkulova, 2011).

Outro marco importante nos estudos das ondas extremas ocorreu em 2001, quando dois satélites espaciais da Agência Europeia detectaram a ocorrência de mais de 10 ondas gigante com mais de 25 m de altura durante apenas três semanas de monitoramento dos oceanos do mundo (Rosenthal *et al.*, 2003; Lehner *et al.*, 2005, *apud* Nikolkina & Didenkulova, 2011). Essa evidência mostra que os eventos das ondas extremas não são únicos e/ou altamente improváveis, mas podem acontecer de forma regular em um campo de ondas aleatório (Nikolkina & Didenkulova, 2011).

2.5 Aspectos Climatológicos Influenciadores das ondas

A zona da costeira norte-nordeste brasileiro é definida como uma faixa litorânea que se estende desde o extremo norte da costa do Amapá e o Cabo São Roque, no Rio Grande do Norte. Essa região é influenciada pelos ventos alísios do Leste (E) e pelo regime de brisas terrestre e marinhas. A interação desses fenômenos para o litoral cearense proporciona ventos anuais entre 6 e 9 m/s. Nos litorais do Rio Grande do Norte e Ceará, a circulação de brisas atua de forma intensa e alinhada com os ventos de alísios de leste (E) /sudeste (SE). (CEPEL *et al.*, 2001, *apud* FISCH, 2008).

Em conjunto com os fatores mencionados anteriormente, o litoral brasileiro é influenciado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que é o causador da geração dos ventos alísios de SE, que influencia bastante ao longo do ano as condições meteorológicas da região (AMARANTE, 2001, *apud* FISCH, 2008).

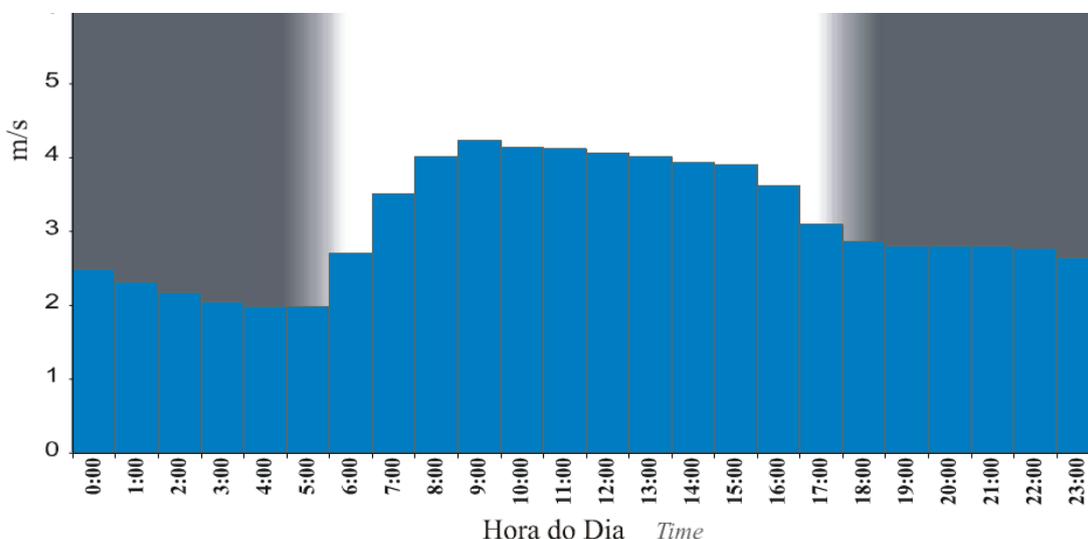
2.5.1 Influência dos ventos alísios e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na região de estudo

O litoral cearense sofre influência dos ventos alísios (AMARANTE, 2001, *apud* FISCH, 2008), que são originados a partir da contribuição de uma vasta área de oceano, sobre superfície plana, livre de obstáculos, o que proporciona uma particularidade em sua intensidade, constância e turbulência relativamente baixa. Também há a contribuição de gradientes térmicos terra-oceano (BESERRA, 2007).

Os ventos alísios são o movimento contínuo das massas de ar de superfície, que obedecem ao sentido das maiores pressões para as menores pressões da faixa equatorial aquecida, em sentido oposto à rotação terrestre (ATLAS EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ, 2001), efeito conseguido pela força de *Coriolis*, através da conservação de movimento angular das massas de ar (APEL, 1995, p.70-80).

Os ventos sobre o Ceará são mais intensos durante o dia, conforme Figura 2.12, que apresenta as médias de velocidade do vento durante o dia, em 10 estações meteorológicas distribuídas pelo Estado do Ceará, entre 1977-1981, disponibilizado no Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará (2001). Esse fato reflete a origem solar dos ventos, pelo aquecimento desigual da superfície da Terra terrestre (ATLAS EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ, 2001).

Figura 2.12 – Velocidade diurna do vento - média de 10 estações meteorológicas no Estado do Ceará, 1977-1981

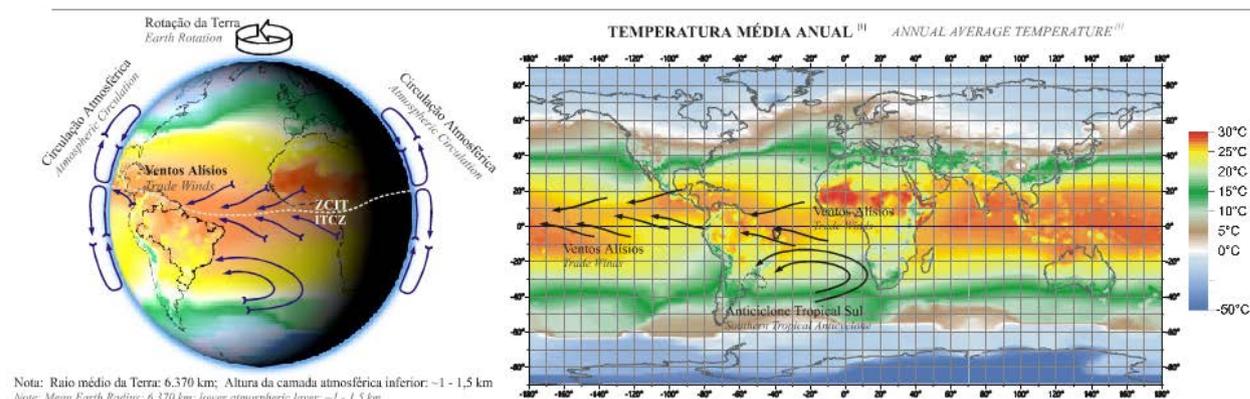


Fonte: Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará, 2001.

Esses ventos são oriundos dos dois hemisférios (Norte e Sul), ambos convergem para Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é uma região de baixa latitude em torno da linha equatorial. No Brasil essa região corresponde a faixa de litoral compreendida entre o litoral do Estado Amapá, latitude 4,4° N, na região norte do país ao litoral nordestino, até o Estado do Rio Grande do Norte. (BESERRA, 2007).

A Figura 2.13 mostra as superfícies oceânicas dos hemisférios norte e sul que contribuem na formação dos ventos na região em estudo e os movimentos circulatorios que afetam as regiões norte e nordeste.

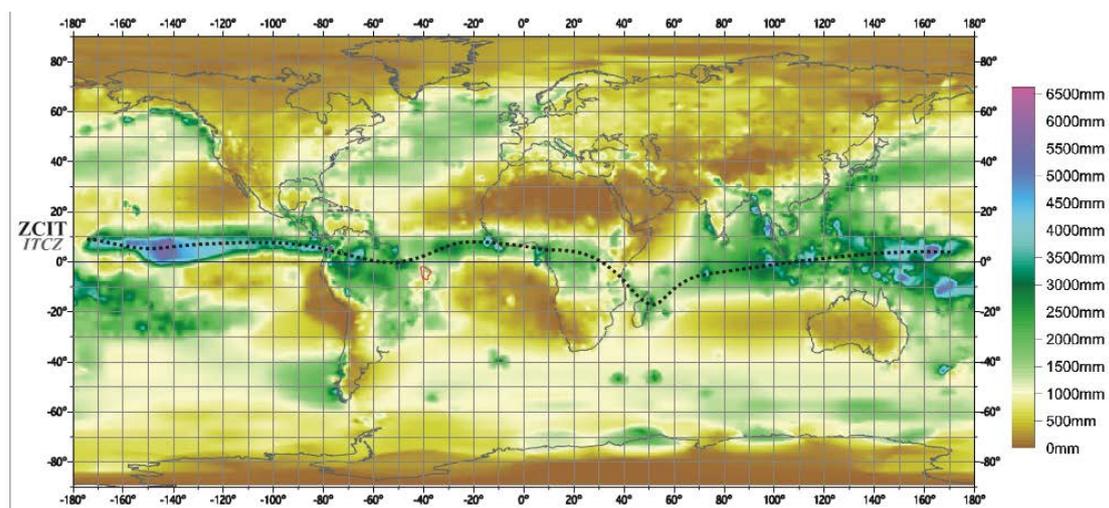
Figura 2.13 – Área de Contribuição e Gradientes Térmicos



Fonte: Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará, 2001.

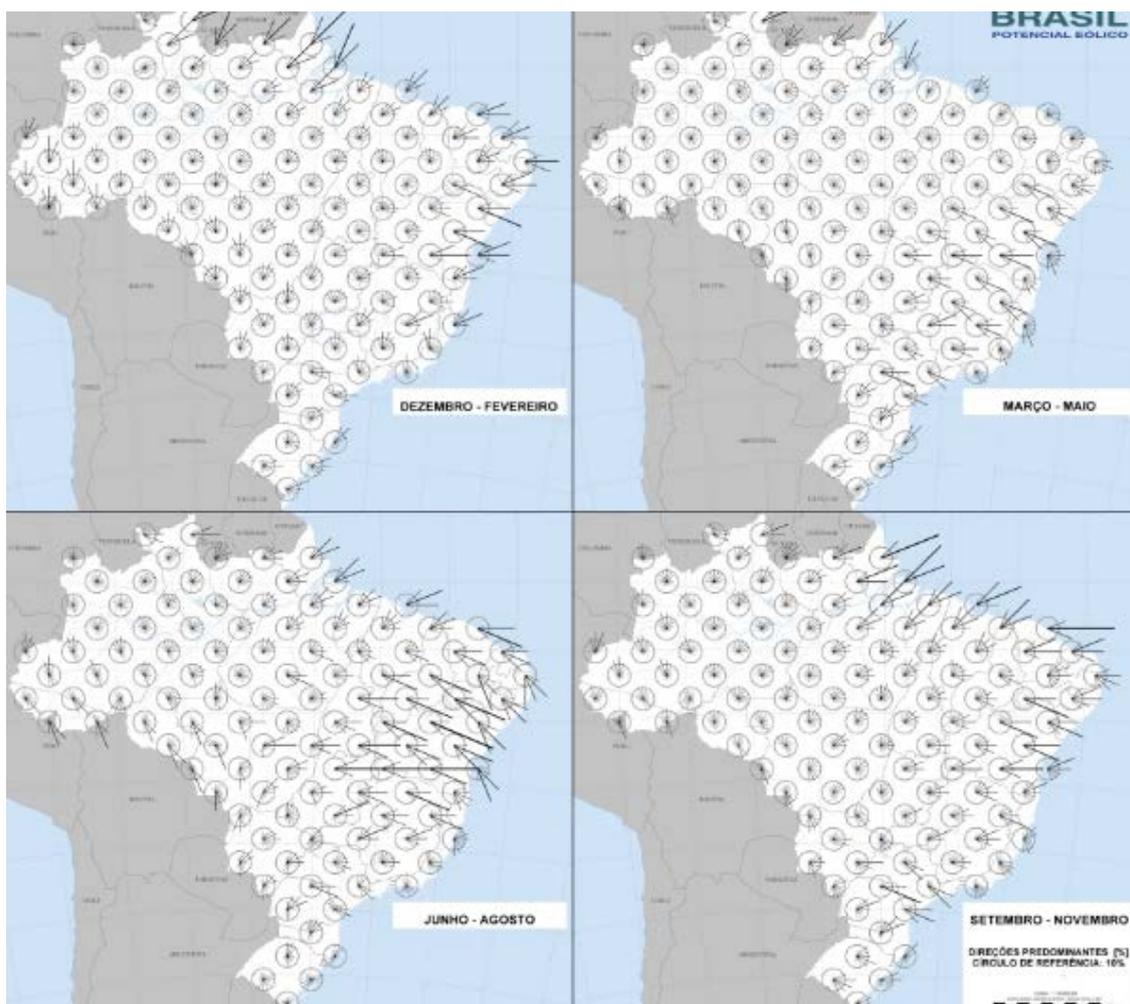
A posição média anual da ZCIT pode ser aproximadamente identificada na Figura 2.14, onde também é possível notar os baixos índices pluviométricos do Estado do Ceará. A posição da ZCIT migra em ciclos anuais, coincidindo sobre o território cearense durante os meses de março a maio, provocando assim, a principal e muitas vezes única estação chuvosa na região, e onde os ventos atingem sua intensidade mínima anual. Nos outros nove meses do ano, a ZCIT retorna às latitudes equatoriais, resultando em predomínio do período seco na região, e a existência de grandes regiões com clima semiárido no território cearense e na região Nordeste do Brasil. É nesse período seco durante os meses de julho a dezembro, que os ventos da região atingem constância e intensidade máxima (ATLAS EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ, 2001). A Figura 2.15 mostra a direção anual dos ventos no território brasileiro.

Figura 2.14 – Precipitação média anual e localização da ZCIT



Fonte: Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará, 2001.

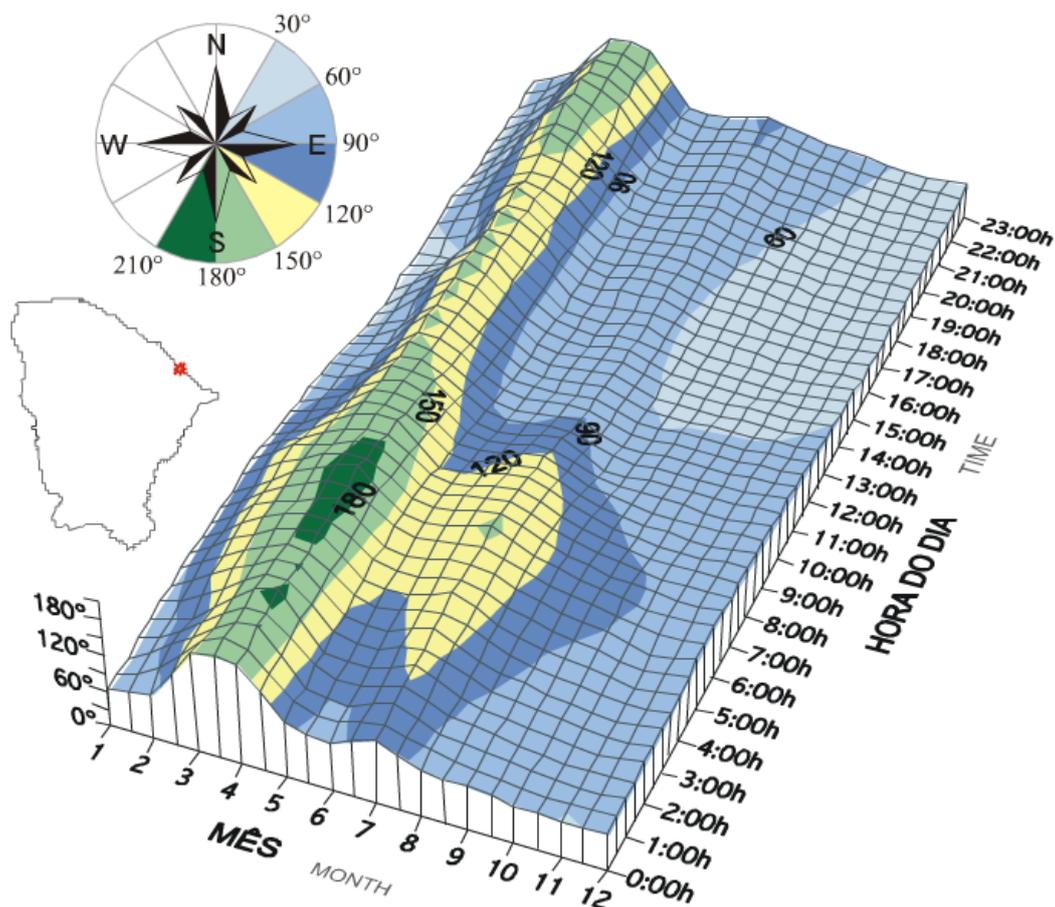
Figura 2.15 – Direções predominantes dos ventos no Brasil



Fonte: Atlas do Potencial Eólico do Brasil, 2001.

Nos meses de março e abril, é o ápice do período chuvoso no Estado, predominam ventos de SE (120° - 150°) ao longo do dia (Figura 2.16), passando a SSE-S (150° - 180°) durante a noite. O posicionamento ZCIT nesse período e as brisas terrestres contribuem significativamente para esse comportamento chuvoso na região (ATLAS EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ, 2001).

Figura 2.16 – Direção do vento para cada mês

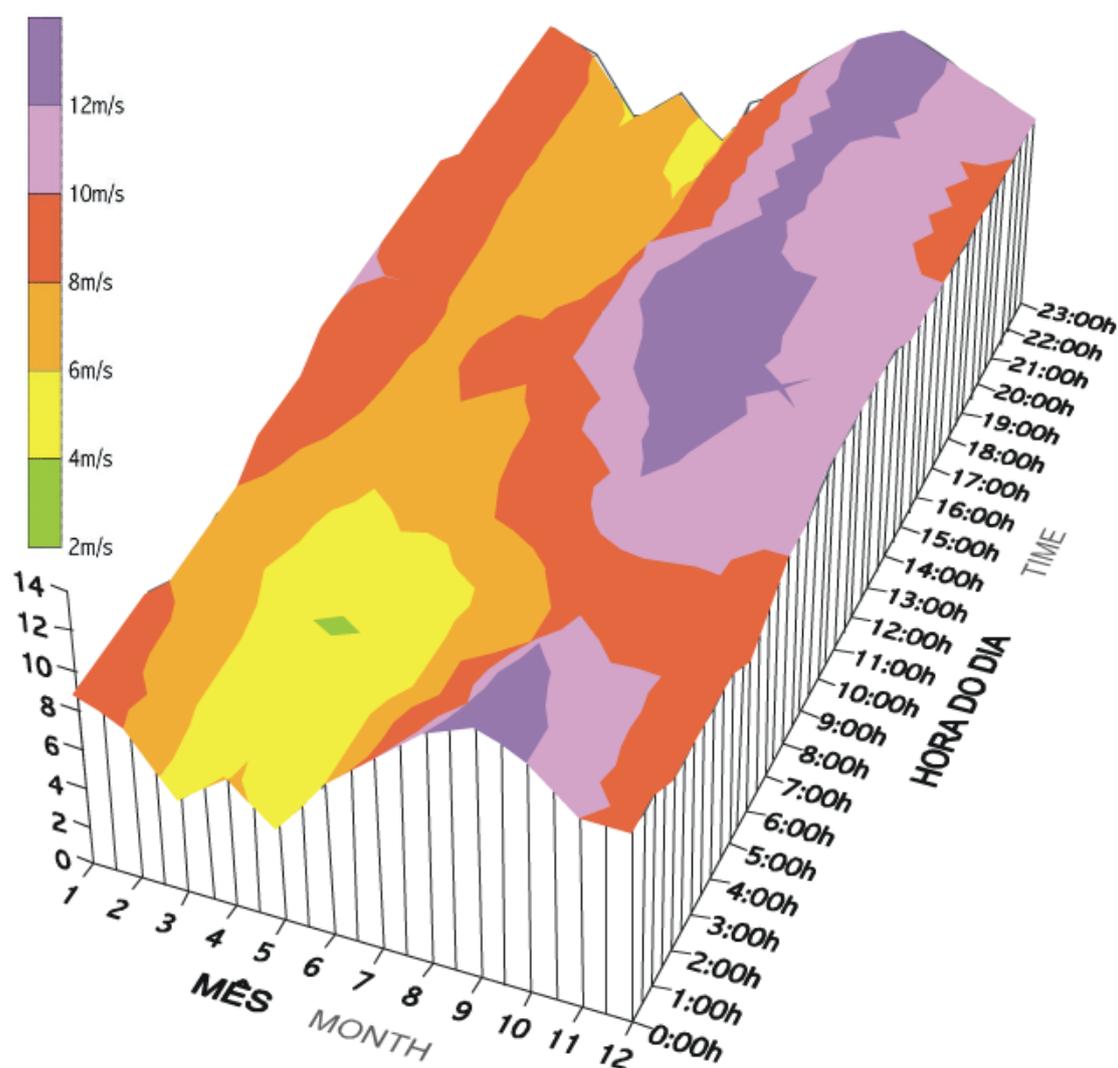


Fonte: Atlas do Potencial Eólico do Brasil, 2001.

Após o período chuvoso vem o de transição (maio-agosto), onde o ciclo térmico diurno terra-oceano passa a alternar brisas marinhas e terrestres, em consequência, os ventos são de ENE-E (60° - 90°) durante o dia, e E-SE (90° - 150°) à noite (Figura 2.16) (ATLAS EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ, 2001).

Há uma estabilidade térmica da atmosfera, pois a ZCIT não atua na região nesse período, e o gradiente vertical de velocidade de vento atinge seus valores mais elevados, especialmente à noite, pelo efeito de rugosidade continental associado à direção SE (brisas terrestres). De forma crescente nos meses seguintes, o vento se torna mais intenso, especialmente ao longo do dia (Figura 2.17) (ATLAS EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ, 2001).

Figura 2.17 – Velocidade do vento



Fonte: Atlas do Potencial Eólico do Brasil, 2001.

No período de setembro-dezembro, os ventos alísios e as brisas marinhas se intensificam, e durante o dia e a noite, sopram ventos quase constantes, com velocidades predominantes acima de 10m/s (a partir de 40m de altura) (ATLAS EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ, 2001).

Com o continente nessa época mais aquecido que o mar, os ventos de quadrante E-NE (Figura 2.16) atingem a costa oriundos da baixa rugosidade marítima e com baixa turbulência. E entre setembro e novembro os ventos mais intensos são atingidos (ATLAS EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ, 2001).

As variações interanuais mais significativas acontecem no período chuvoso (março-maio), sendo atribuído a irregularidade da migração da ZCIT. Esse fato ocorre

em anos em que a ZCIT não está situada sobre o território cearense, gerando secas críticas no interior do Estado, que possui clima semiárido (ATLAS EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ, 2001).

Figura 3.2 – Município de São Gonçalo do Amarante



Fonte: <http://cod.ibge.gov.br/E0R>. Acesso em 10 de outubro de 2016.

Figura 3.3 – Litoral do distrito do Pecém

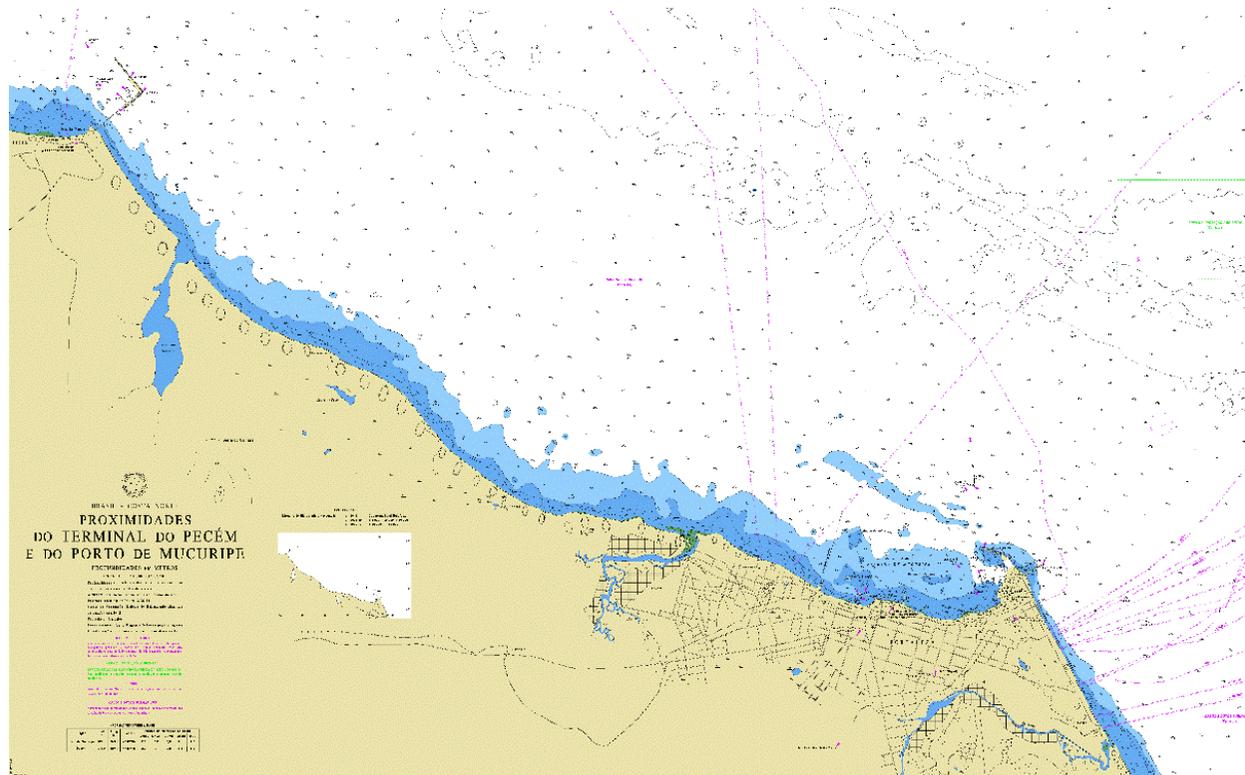


Fonte: <http://cod.ibge.gov.br/E0R>. Acesso em 10 de outubro de 2016.

A medição da profundidade dos oceanos é muito importante no estudo, pois a profundidade altera a velocidade das ondas. Esta medição recebe o nome de batimetria, e é expressa cartograficamente por curvas batimétricas, que unem os pontos que possuem as mesmas profundidades com equidistâncias verticais (curvas isobatimétricas).

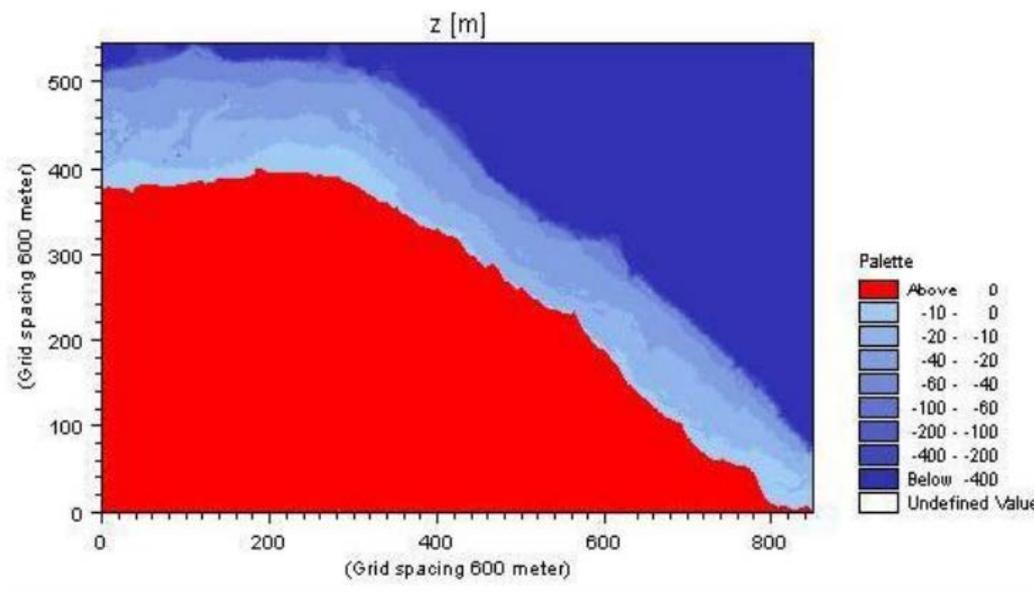
A batimetria cearense apresenta uma suave inclinação, conforme apresentado na Figura 3.4, com ocorrência de água profundas distantes da costa (BESERRA, 2007). Pode-se visualizar a batimetria do Pecém, elaborada com o MIKE 21 (*software*), na Figura 3.5.

Figura 3.4 - Carta náutica das proximidades do Terminal do Pecém e do Porto de Fortaleza, CE, demonstrando a batimetria da região costeira



Fonte: http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html. Acesso em 10 de outubro de 2016.

Figura 3.5 Batimetria do Pecém



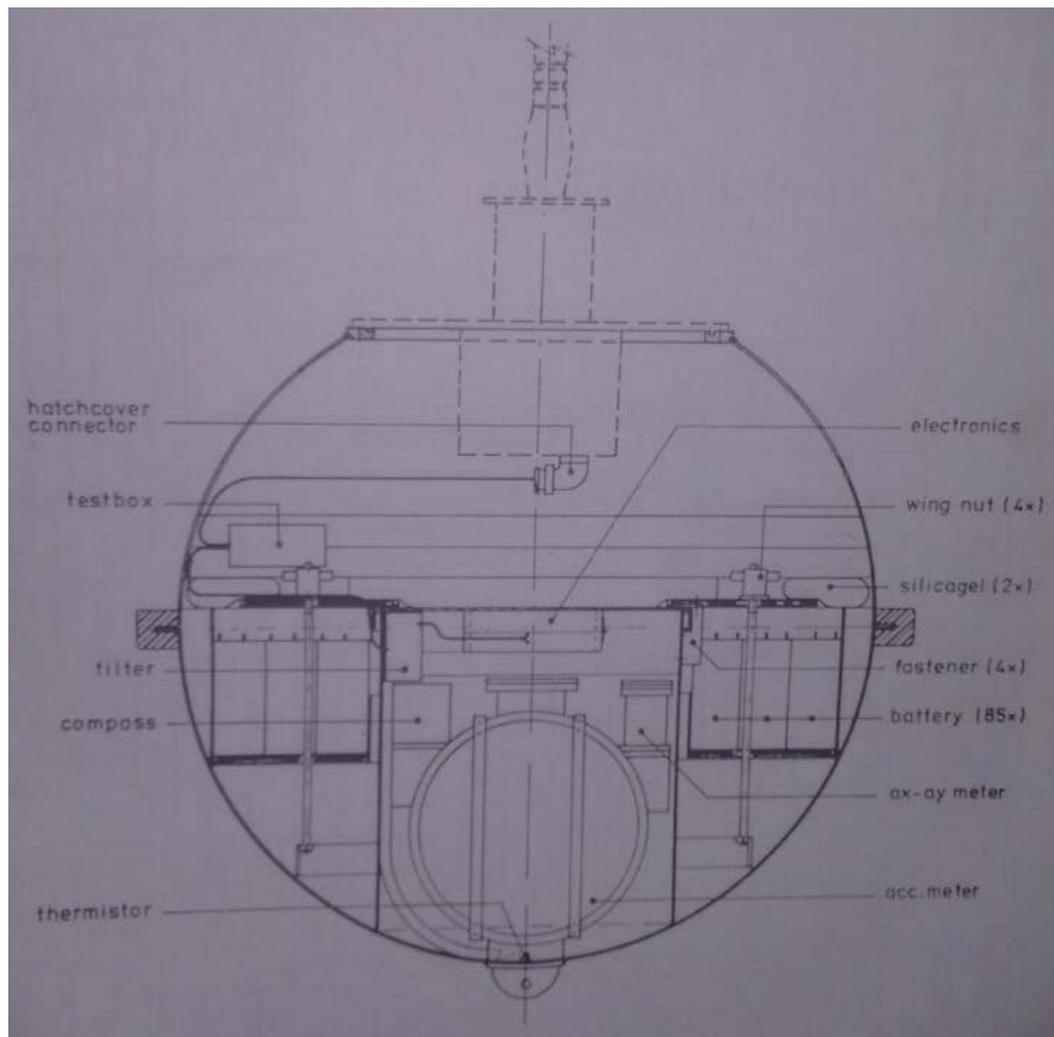
Fonte: Vieira *et al.*, 2007.

A medição dos dados dos regimes de ondas realizados na área de estudo foi realizada com o ondógrafo direcional Waverider, da fabricante holandesa Datawell, e de propriedade do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias – INPH (FISH, 2008).

Esse instrumento de medição consiste em uma esfera de aço com 0,9 m de diâmetro e 250 kg de peso, que possui sensores que medem as acelerações (componentes verticais e horizontais) da superfície do mar. A partir desses dados é possível, após o processamento, definir os atributos do campo de ondas e realizar as observações nos domínios da probabilidade, do tempo e da frequência (FISH, 2008).

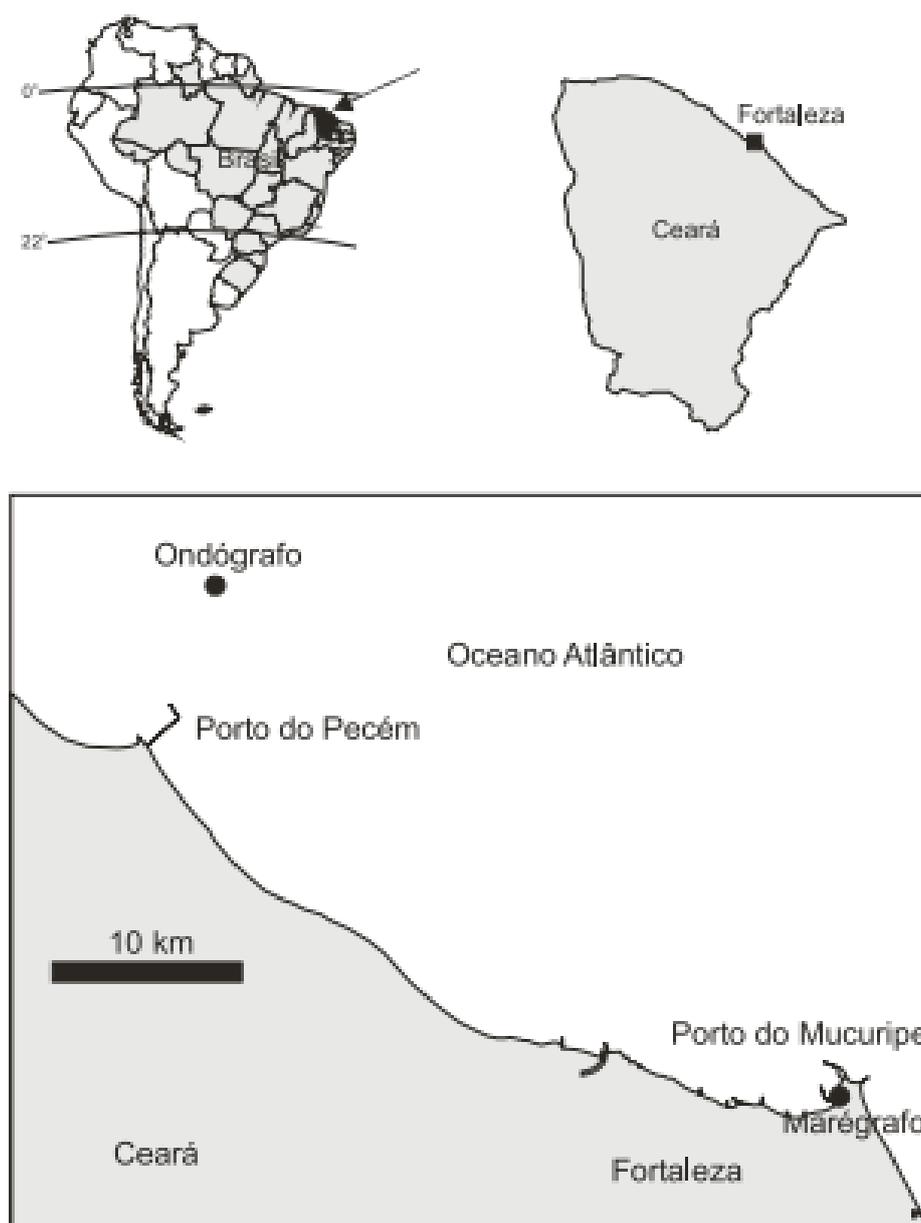
Esse ondógrafo (Figura 3.6) utilizado está situado a uma profundidade de 18 metros em um ponto ao largo da ponta do Pecém, Figura 3.7, nas coordenadas: latitude $03^{\circ} 29' 31''S$; longitude $38^{\circ} 49' 03''O$; vem realizando medições de ondas na região portuária do Pecém desde 1997, permitindo, assim, uma obtenção da caracterização do regime de ondas na região de estudo (VIEIRA, 2007).

Figura 3.6 – Esquema da Boia direcional Waverider



Fonte: MANUAL DIRECTIONAL WAVERIDER, 1996.

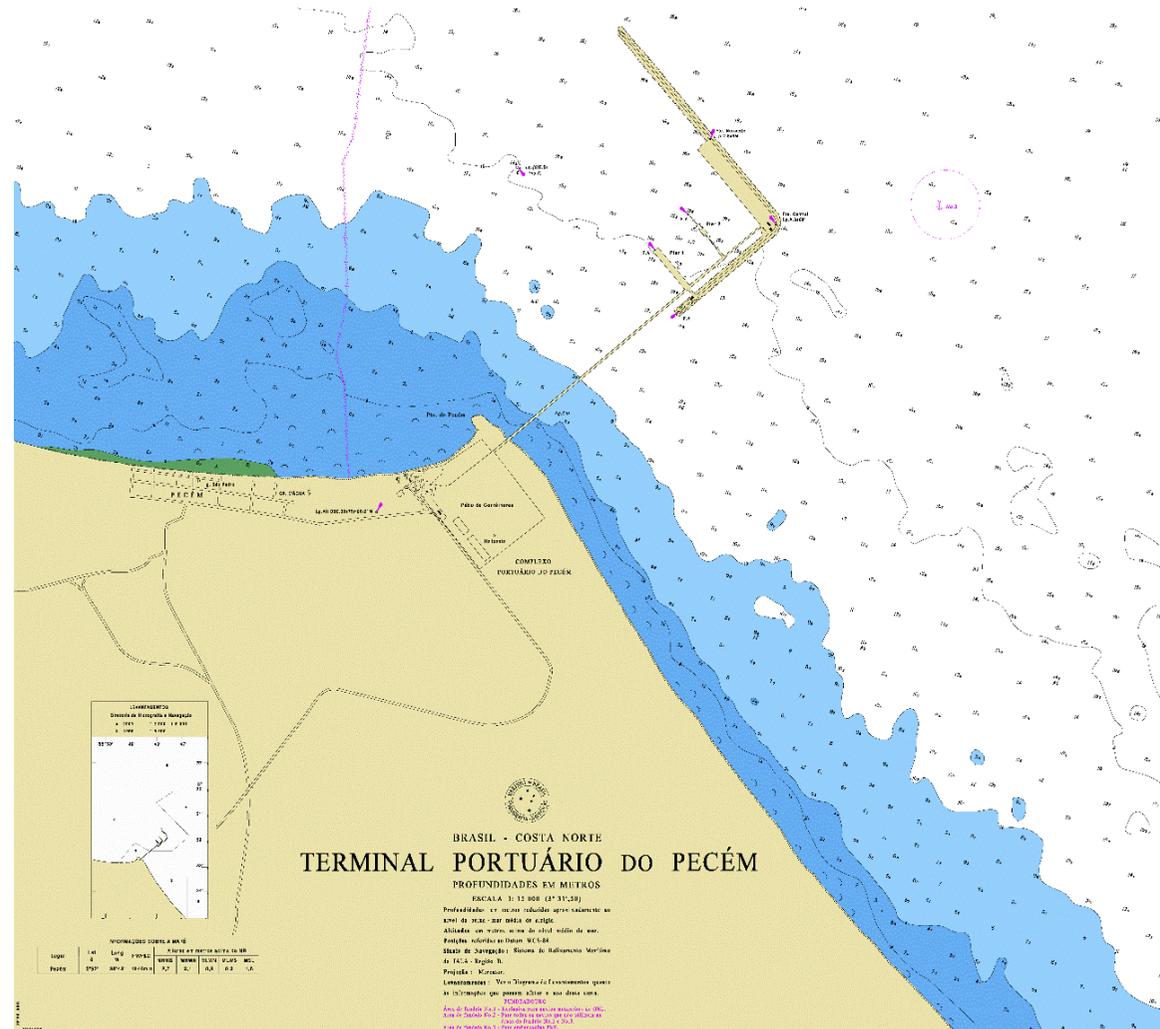
Figura 3.7 – Localização do ondógrafo e marógrafo do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH)



Fonte: Schettini *et al.*, 2011.

O Terminal Portuário do Pecém, CE (Figura 3.8), é um terminal *offshore*, cujos os *piers* de atracação são protegidos da ação de ondas e correntes por um quebra-mar de berma, em forma de “L”, com 1.768 m de extensão.

Figura 3.8 – Terminal Portuário do Pecém



Fonte: http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html. Acesso em 10 de outubro de 2016.

3.2 Medições e análises de ondas

Para se estudar a região costeira se deve analisar o regime de ondas que atuam naquela região, pois as informações que podem ser extraídas dessa análise, irão caracterizar essas ondas incidentes ao longo do tempo em que foram registradas, por um período mínimo de um ano, afim de poder representar a situação ondulatória presente em todas as estações meteorológicas (PITOMBEIRA, 2005).

O INPH informa e disponibiliza dados das ondas incidentes na região costeira do Ceará. Um registrador tipo Waverider direcional (Figura 3.9) – Datawell, fundeado na região marítima fronteira à praia do Pecém, que de modo online informa os dados de altura, período e direção das ondas, durante 24 horas por dia.

De acordo com o INPH, o modo usual de se aplicar os dados registrados das ondas incidentes é o de representar o espectro da onda através de alguns parâmetros estatísticos.

Figura 3.9 – Registrador tipo Waverider direcional no litoral do Pecém



Fonte: Pitombeira, 2005.

3.3 Coleta de dados das *rogue waves*

Nos dias de hoje, as ondas extremas são registradas por equipamentos modernos de medição instalados nas plataformas, boias ancoradas, satélites e etc. Esses equipamentos confirmam a existência das ondas extremas em águas profundas e rasas e nas costas (Nikolkina & Didenkulova, 2011).

Para eventos que acontecem no mar, tanto em águas rasas ou profundas, utiliza-se definição tradicional de ondas gigantes. A definição tradicional considera onda gigante, uma onda que apresente uma altura H que exceda duas vezes a altura de uma onda significativa (H_s). A onda significativa é definida como a média de 1/3 das maiores ondas (Nikolkina & Didenkulova, 2011).

No mar há uma grande dificuldade na coleta de informações destas ondas, pois o risco é alto. E como não se tem a certeza de seu surgimento, a coleta de dados desse fenômeno é escassa, e aquelas pessoas que presenciaram esse tipo de onda, não estavam a observá-las, pois como dito, as ondas anormais surgem “do nada”, e durante seu surgimento, estas pessoas estão ocupadas salvando suas próprias vidas ao invés de realizar as medições desse fenômeno (Akhmediev *et al.*, 2009).

O avanço tecnológico proporciona uma maior segurança para a coleta de dados das ondas gigantes.

Os dados oriundos dos satélites são utilizados para gerar os valores das alturas das ondas significativas (H_s). O cálculo para essas alturas é realizado pela média no espaço, que difere da média de 1/3 das maiores ondas em séries de tempo, que é calculado pelas boias no mar (Piterbarg, 1996; Forristall, 2006, *apud* Nikolkina & Didenkulova, 2011).

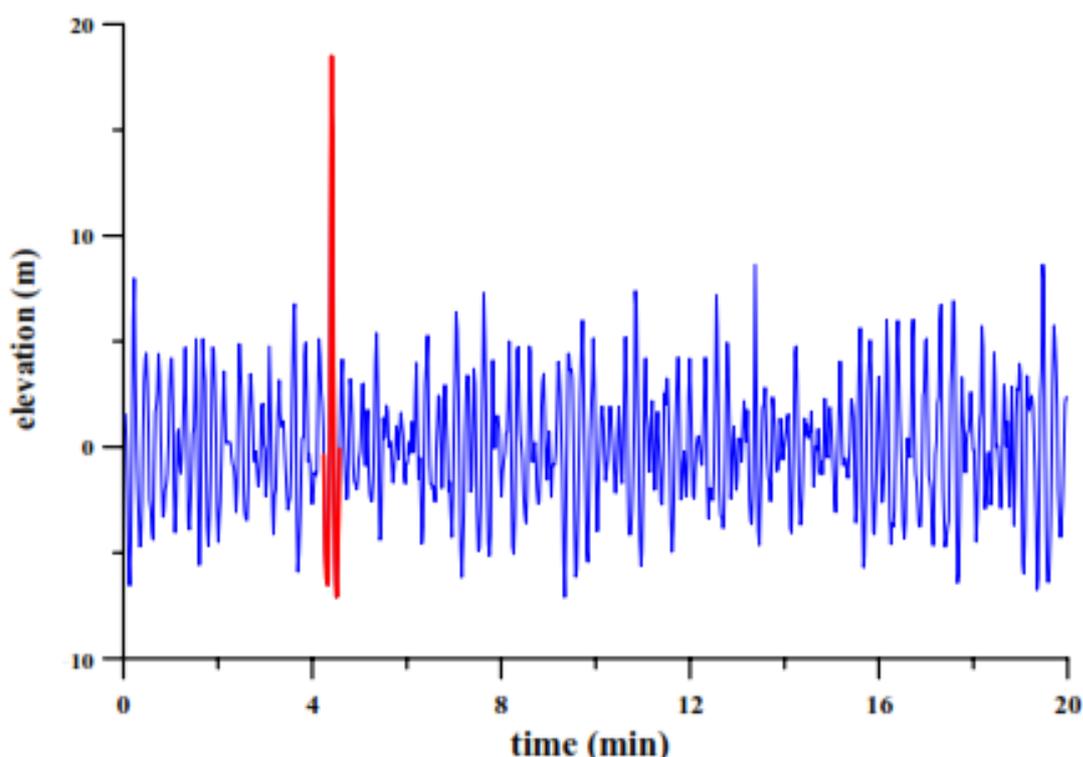
3.4 Eventos ocorridos

Uma nova fase de estudos sobre as ondas gigantes, iniciou-se após o incidente da “Onda de Ano Novo”, essa onda recebeu esse nome em virtude do seu surgimento em 1 de janeiro de 1995, gravada no Mar do Norte na plataforma “Draupner”, uma plataforma petrolífera do tipo jaqueta, operada pela Statoil na Noruega. Esta onda teve uma crista de 18,5 m, felizmente, não gerou danos

consideráveis a plataforma, mas atraiu a atenção dos órgãos públicos e de empresas seguradoras esse fato (Nikolkina & Didenkulova, 2011).

A Figura 3.10 mostra o registro do tempo e da altura da “Onda de Ano Novo”. Após esse registro, vários acidentes de alto custo de plataforma petrolíferas e navios têm sido associados as ondas gigantes. Estima-se que estas ondas têm sido uma das principais causas de mais de 200 acidentes nas últimas duas décadas, entre esses acidentes estão a perda de superpetroleiros e navios *container*, com mais de 200 m de comprimento (ABC Science Online, 2011, *apud* Nikolkina & Didenkulova, 2011).

Figura 3.10 – Tempo gravado do surgimento da “Onda de Ano Novo” no mar Norte



Fonte: Kharif, & Pelinovsky, 2003.

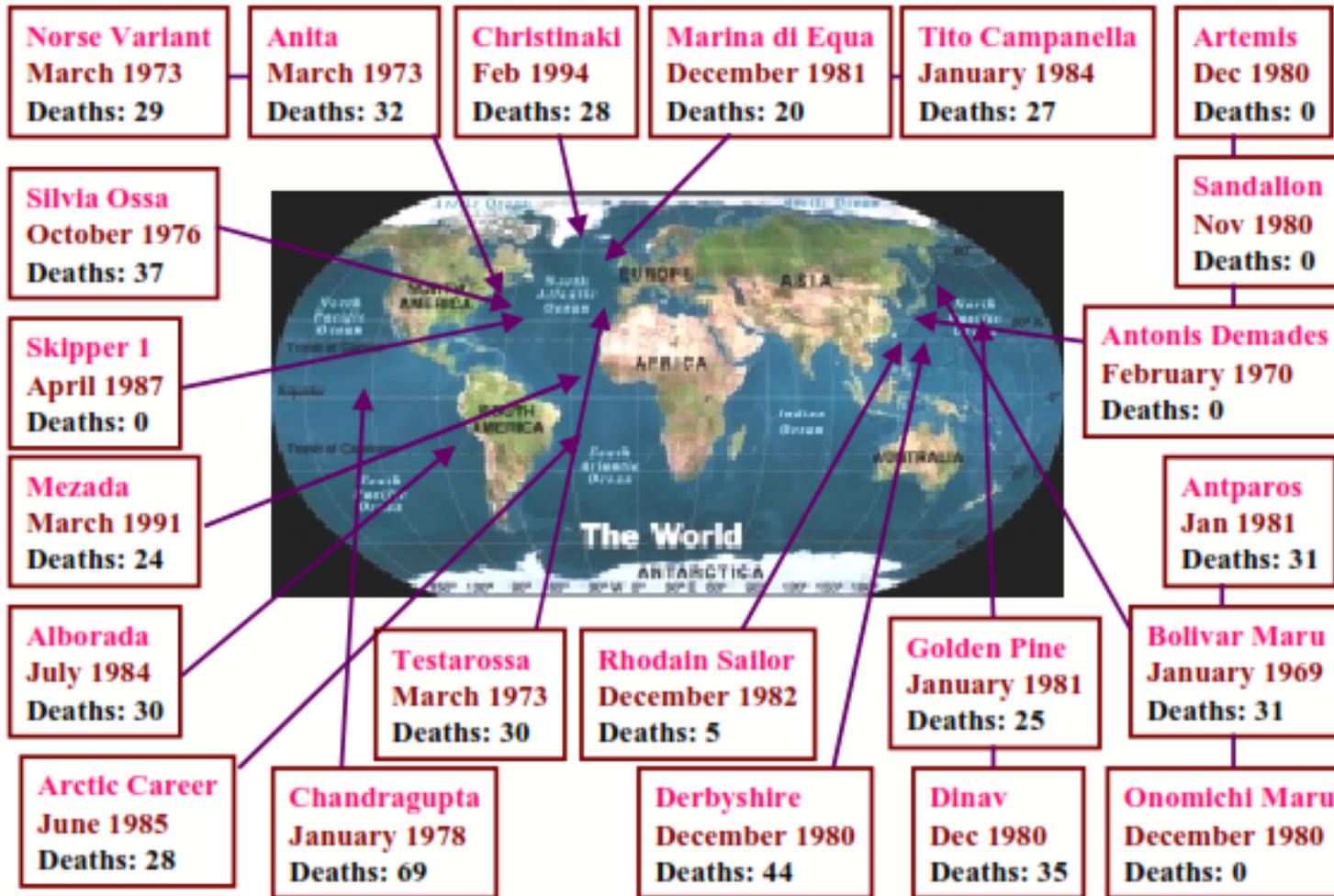
Muitos acidentes com navios foram relatados às ondas anormais, Kharif & Pelinovsky (2003) relatam 22 naufrágios de cargueiros entre 1969-1994, com um total de 525 perdas de vida, sendo dois desses no Oceano Atlântico Sul, em 1985 e 1991. Também é destacado pelos mesmos autores que, pelo menos, 20 choques de navios com ondas anormais foram registrados no Oceano Índico, na área da Corrente das Agulhas, ao largo da costa da África do Sul.

Na zona costeira esses eventos geram inundações por um curto período de tempo da costa, ou forte impacto sobre os barrancos ou estruturas costeiras. Esses

eventos podem ocasionar a perda de vidas humanas e bens materiais (Nikolkina & Didenkulova, 2011). Dean e Dalrymple (2002) descreve alguns eventos das ondas gigantes na zona costeira (Nikolkina & Didenkulova, 2011).

A Figura 3.11 mostra uma estatística de acidentes de navios cargueiros com as *rogue waves*.

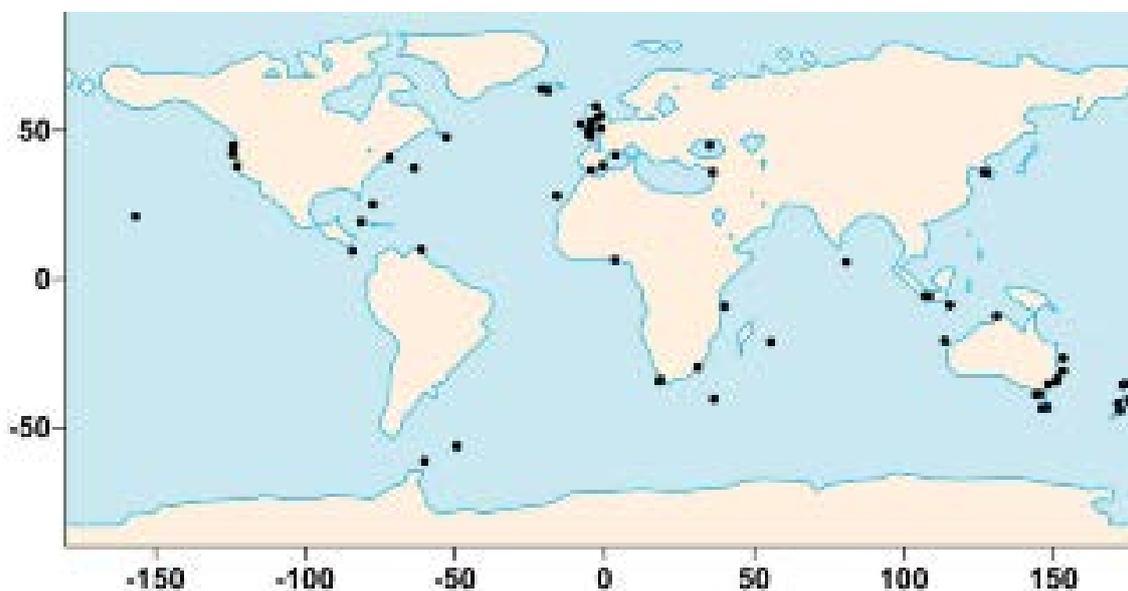
Figura 3.11 – Estatística de colisões de grandes navios cargueiros com as *rogue waves* (1968-1994)



Fonte: Kharif, & Pelinovsky, 2003.

A Figura 3.12 mostra a distribuição de 78 eventos de ondas gigantes ocorridos entre 2006-2010. Observa-se que a ocorrência desses eventos está situada em regiões de maior densidade de tráfego de navios (Toffoli *et al.*, 2005, *apud* Nikolcina & Didenkulova, 2011) e população costeira.

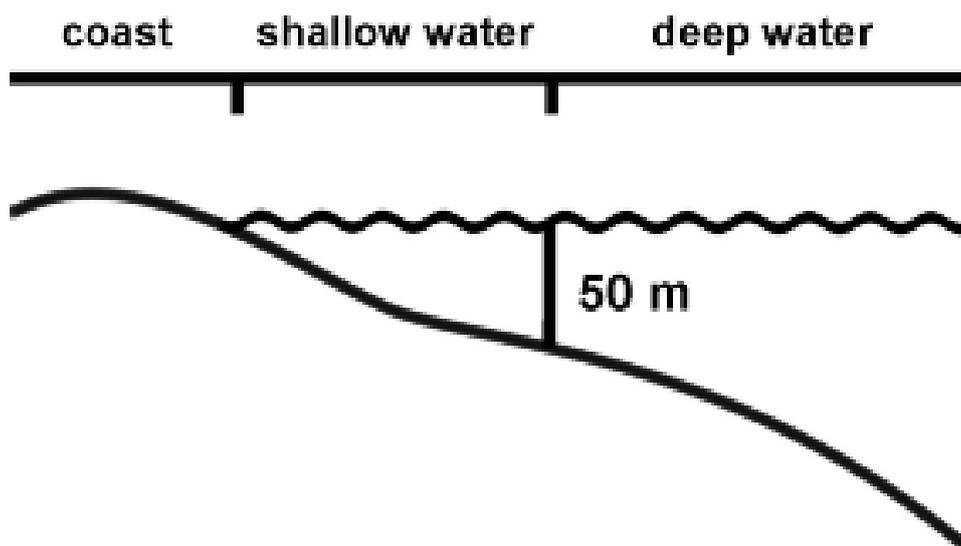
Figura 3.12 – Distribuição geográfica dos eventos ocorridos entre 2006-2010



Fonte: Nikolcina & Didenkulova, 2011.

Eventos ocorridos entre os anos de 2006-2010 são descritos na Tabela 3.1 (em águas profundas), na Tabela 3.2 (águas rasas) e na Tabela 3.3 (na costa) (Figura 3.13).

Figura 3.13 – Ilustração dos locais de atuação das *rogue waves*



Fonte: Nikolkina & Didenkulova, 2011.

Pode-se observar na Tabela 3.1, que em águas profundas foram 9 colisões de navios com as ondas gigantes, e nestas colisões ocasionou 6 mortes e 27 feridos.

A máxima altura registrada das ondas gigantes em águas profundas nesse período (2006-2010), de acordo com a Tabela 3.1, foi de 21 m no dia 12 de novembro de 2006, quando um navio cargueiro "Westwood Pomona" de aproximadamente 130 m colidiu com a onda gigante, causando danos ao navio, forçando-o a se dirigir a um abrigo temporário em Coos Bay, Oregon, EUA (Herald Scotland, 2011, *apud* Nikolkina & Didenkulova, 2011).

Tabela 3.1 – Ocorrência de *rogue waves* em águas profundas no período de 2006-2010 (Hr é altura da *rogue wave*, Hs é a altura significativa da onda)

N	Date	Vessel	Location	H _r (m)	H _s (m)	Number of waves	Damage
1	12 Nov 2006	440-ft forest products/containership M/V "Westwood Pomona"	off Port of Coos Bay, USA (Pacific Ocean)	21	3.9	1	1 injury, ship damage
2	9 Dec 2006	Lunenburg, Nova Scotia-based tall ship "Picton Castle"	760 km from Cape Cod, USA (Atlantic Ocean)		2.6	1	1 fatality
3	30 Apr 2007	17.5 m ketch "Cowrie Dancer"	1000 km south of Port Elizabeth, South Africa (Indian Ocean)	12	4.8	2	1 fatality, 2 injuries
4	19 May 2007	submarine "HMAS Farncomb"	during a deployment in SE Asian waters		<2	1	5 injuries
5	29 Dec 2008	cruise ship "Crystal Symphony"	Drake Passage (Antarctic Ocean)		2.5	1	ship damage
6	3 Mar 2010	cruise ship "Louis Majesty"	24 miles off Spain (Mediterranean Sea)	8	4.0	3	2 fatalities, 14 injuries, ship damage
7	22 Aug 2010	ferry "Seastreak"	on the way from Martha's Vineyard USA to New York City USA (Atlantic ocean)		3.0	1	3 injuries, ship damage
8	7 Dec 2010	cruise ship "The Clelia II"	Drake Passage (Antarctic Ocean)	9	3.5	1	1 injury, ship damage
9	30 Dec 2010	super tanker "Aegean Angel"	NE Bermuda (Atlantic Ocean)		2.3	1	2 fatalities, 1 injury

Fonte: Fonte: Nikolkina & Didenkulova, 2011.

É observado na Tabela 3.2, que em águas rasas foram 30 eventos com as ondas gigantes entre 2006-2010, em 14 desses eventos os navios sofreram danos e em 7 eles foram perdidos. Esses eventos estão associados a 90 pessoas feridas e 79 mortas.

O maior número de mortes, supostamente associado as ondas gigantes, está associada a região da Indonésia, em agosto de 2010 o navio que transportava 60 pessoas (apenas 21 resgatados) emborcou e afundou minutos antes de chegar em Lembata, Tenggara (Lei de Carga, 2011, *apud* Nikolkina & Didenkulova, 2011).

A maior onda foi relatada em 11 de novembro de 2006, quando um petroleiro de 42 000 toneladas "FR8 Venture" foi atingido por uma onda de 100 pés (cerca de 30 m) de altura ao passar pelo "Pentland Firth" na costa nordeste da Escócia, quando dois tripulantes foram mortos e um ficou gravemente ferido durante o acidente. A altura da onda significativa foi cerca de 6 m (Freaque waves, 2011, *apud* Nikolkina &

Didenkulova, 2011). O autor comenta a altura dessa onda é irreal, pois a profundidade da água da região é inferior a 50 m, assim ele acredita que essa onda teria 1 m, o que justificaria o ponto de interrogação na Tabela 3.2 (Nikolkina & Didenkulova, 2011).

Tabela 3.2 - Ocorrência de *rogue waves* em águas rasas no período de 2006-2010 (H_r é altura da *rogue wave*, H_s é a altura significativa da onda)

N	Date	Location	H_r (m)	H_s (m)	Number of waves	Damage
1	18 Jan 2006	600 m offshore Port Campbell (Australia)	3	calm conditions	1	1 injury, ship damage
2	27 Mar 2006	2 miles off Cape Peninsula (South Africa)	6-7	3.1	1	5 fatalities, ship loss
3	19 Apr 2006	Victoria (Australia)		2.1	1	1 fatality, 1 injury, ship damage
4	23 Apr 2006	Cape Pillar (Tasmania)		2.0	several	3 fatality, 2 injuries, ship loss
5	21 May 2006	Bay of Biscay, Ouessant (France)	12-15	3.9	1	>6 injuries, ship damage
6	21 May 2006	UK		2.0	1	1 injury, ship loss
7	6 Jun 2006	Point Reyes (USA)		1.5	1	1 fatality
8	8 Jun 2006	Moruga Seas (Trinidad and Tobago)	4.5	2.2	1	1 fatality, 3 injuries, ship damage
9	30 Jul 2006	Lagos (South Africa)	4-5	1.8	2	1 fatality, 2 injuries, ship damage
10	12 Aug 2006	Malaga (Spain)		3.0	1	1 fatality, 2 injuries
11	24 August 2006	Hoy, Orkney Islands, (UK)		2.6	1	2 fatalities, ship loss
12	23 Sep 2006	Porth Ceiriad (UK)		1.0	1	1 fatality, 2 injuries
13	05 Nov 2006	Rakaia River (New Zealand)		1.5	1	2 injuries
14	11 Nov 2006	NE Scotland (UK)	30 (?)	6.0	1	2 fatalities, 1 injury, ship damage
15	25 Nov 2006	South Korea	up to 6	3.0	3	5 fatalities, 2 injuries, ship loss
16	25 Jan 2007	Oregon (USA)	6.1	3.3	3	1 fatality, 3 injuries, ship damage
17	26 February 2007	Nassau (Bahamas)		2.0	1	1 fatality, 1 injury
18	23 Mar 2007	Point Cartwright (Australia)		1.4	1	3 injuries
19	5 May 2007	Tasmania (Australia)		2.9	1	1 injury, ship damage
20	12 May 2007	Reunion	11 (?)	1.9	1	2 fatalities, ship loss
21	19 May 2007	Muire (Australia)		2.0	1	27 injuries, ship damage
22	19 May 2007	Audierne (France)		2.4	1	2 injuries

Fonte: Fonte: Fonte: Nikolkina & Didenkulova, 2011.

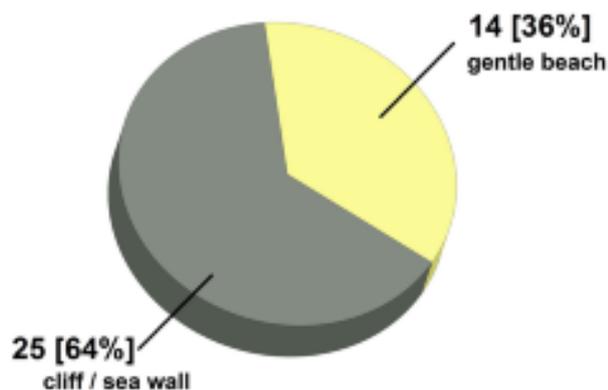
Tabela 3.2 – Continuação

<i>N</i>	Date	Location	H_r (m)	H_s (m)	Number of waves	Damage
23	24 May 2007	Rakit Island (Indonesia)	6	2.0	several	11 fatalities, 2 injuries, ship damage
24	12 Sep 2008	Durban (South Africa)		3.2	1	1 fatality, 2 injuries
25	29 Mar 2009	western tip of Australia		3.3	1	–
26	9 Dec 2009	Brookings Harbor (USA)		1.7	4	ship damage
27	19 Apr 2010	Hokianga Bar (New Zealand)		2.6	1	1 injury, ship damage
28	9 Aug 2010	Tenggara (Indonesia)	3	1.4	1	39 fatalities, 21 injuries, ship loss
29	5 Oct 2010	Porthleven Sands (UK)		3.3	1	2 injuries, ship damage
30	10 Nov 2010	Dikwella (Sri Lanka)		2.0	1	1 fatality, ship damage

Fonte: Fonte: Fonte: Nikolkina & Didenkulova, 2011.

As ondas gigantes nas costas são um perigo real para as pessoas. A Tabela 3.3 relata eventos ocorridos no período de 2006-2010. Durante esse período, foram 39 eventos de ondas gigantes na costa, que gerou 46 mortes e 79 ferimentos.

O interessante reparar que 14 desses eventos (36%) aconteceram em praias levemente inclinadas (36%) e os outros 25 eventos (64%) ocorreram em rochas ou falésias ou paredes do mar (Figura 3.14).

Figura 3.14 – Percentual dos locais das *rogue waves* na costa

Fonte: Nikolkina & Didenkulova, 2011.

Tabela 3.3 - Ocorrência das *rogue waves* na costa no período de 2006-2010 (H_r é altura da *rogue wave*, H_s é a altura significativa da onda)

<i>N</i>	Date	Location	Description	Number of waves	Damage
1	5 Jan 2006	Depoe Bay, Oregon (USA)	large wave struck several people walking on a beach.	1	1 fatality, 2 injuries
2	7 Jan 2006	Grassy Head, Kempsey (Australia)	a man went missing after he and a group of friends were swept off rocks by a freak wave	1	1 fatality
3	6 Feb 2006	Avoca Beach (Australia)	two men were fishing on the rocks when a large wave washed one into the water	1	2 fatalities
4	13 Mar 2006	Central America	a man was standing on rocks when a wall of water hit him	1	1 injury
5	29 Mar 2006	Legian beach (Bali)	three Indonesians swimming in the Legian beach were hit by huge wave	1	1 fatality, 2 injuries
6	31 Mar 2006	Lancashire (UK)	a man was sitting on steps off Blackpool Promenade with two friends when he was hit by the wave and dragged into the sea	1	1 fatality
7	8 Apr 2006	Joyce Bay, Charleston (New Zealand)	a man and his 15-year-old companion were swept off rocks into the water by a big wave	1	1 fatality
8	11 Apr 2006	Sunderland (UK)	a schoolboy was caught off guard on a promenade and carried into deeper water by a freak wave as he played with friends	1	1 fatality
9	17 Apr 2006	New South Wales (Australia)	a man was washed off rocks when a big wave broke over the rock fishing platform	1	1 fatality
10	11 Jun 2006	Costa Rica	11 students on the trip had been spending the afternoon on the beach and swimming in the Pacific Ocean when a wave came in and pulled them under the water	1	4 fatalities
11	1 Jul 2006	Southsea beach (UK)	four people reported injured when 6-m wave struck, leaving amazed swimmers and sunbathers screaming in fear	1	4 injuries
12	22 Jul 2006	Kalk Bay (South Africa)	men swept off the harbour wall at the weekend while fishing	1	3 injuries
13	8 Aug 2006	Sudak (Ukraine)	two children swept off rocks by a huge wave	1	2 fatalities, 1 injury
14	19 Aug 2006	San Remo (Australia)	a freak wave hit three men fishing at a cliff	1	3 injuries
15	beginning of Oct 2006	Canary Island (Spain)	a woman died after being washed into the sea by a freak wave	1	1 fatality
16	8 Oct 2006	Eastern Cape (South Africa)	a woman was washed out to sea while horse riding and drowned after the huge 15 ft wave crashed over her and two companions	1	1 fatality, 2 injuries

Fonte: Nikolkina & Didenkulova, 2011.

Tabela 3.3 – Continuação

N	Date	Location	Description	Number of waves	Damage
17	21 Oct 2006	Lindos, southern Rhodes (Greece)	a couple was caught by a 2-m wave on the Greek tourist island of Rhodes as they paddled in the sea after a meal	1	2 fatalities
18	22 Oct 2006	Arcata (USA)	a woman died in attempt to save a child swept off by a sleeper wave, a child's mother was able to make it back to the beach	1	2 fatalities, 1 injury
19	1 Nov 2006	Lowestoft (UK)	a man was washed out to sea by a freak wave	1	1 fatality
20	5 Nov 2006	mouth of the Rakaia River (New Zealand)	the young couple were in the water, whitebaiting, when a rogue wave swept them off their feet and dragged them out to sea	1	2 injuries
21	17 Nov 2006	Maui (Hawaii)	two visitors drowned after being swept off the rocks	1	2 fatalities
22	2 Dec 2006	Ardglass, Co Down, Ireland (UK)	a man was walking along the pier when a high wave struck him and carried him into the sea	1	1 fatality
23	4 December 2006	Darwin (Australia)	a sudden wave washed a man off the rock	1	1 fatality
24	31 Dec 2006	Cornwall (UK)	a walker was dragged into the sea by a freak wave as he stood on rocks	1	1 fatality
25	1 Jan 2007	Pedro Castle, Cayman Islands (UK)	three were fishing when a large wave appeared to have caught them unawares	1	1 fatality, 2 injuries
26	9 Jan 2007	Bakoven (South Africa)	a freak wave swept a couple off the rocks	1	2 fatalities
27	9 Mar 2007	Kerikeri Inlet (New Zealand)	a freak wave knocked two fishermen off rocks and out to sea	1	2 injuries
28	9 Mar 2007	Cornwall (UK)	a couple died when they were caught by a massive surge of water as they stood on a harbour wall	1	2 fatalities
29	9 Mar 2007	Stokkseyri (Iceland)	a man was washed into the ocean when a tidal wave hit his car at the pier	1	1 injury, damage
30	12 Mar 2007	New Zealand	a freak wave swept two boys off the rocks	1	2 injuries
31	19 Mar 2007	Durban (South Africa)	at least one death and numerous reports of missing people, including two women, were washed off their feet when a freak wave broke over the bollards and crashed into the parking lot	1	1 fatality, >2 injuries
32	18 May 2007	Alicante (Spain)	a couple was swallowed up by a freak wave, sucked out to sea and one of them drowned	1	1 fatality, 1 injury

Fonte: Nikolkina & Didenkulova, 2011.

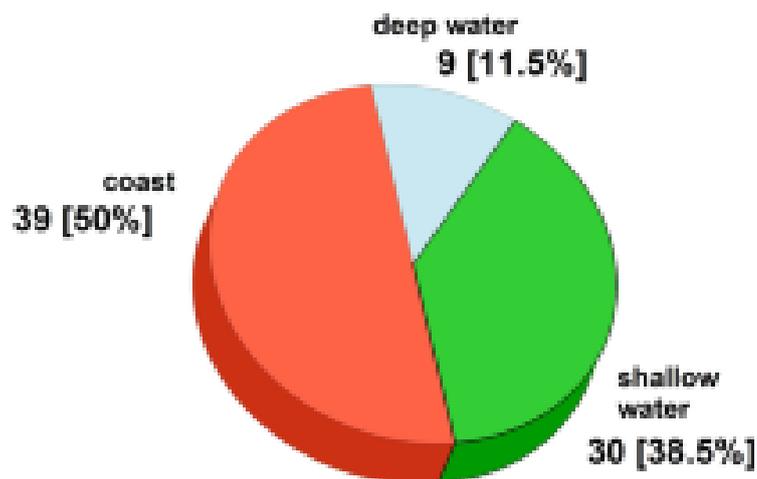
Tabela 3.3 – Continuação

<i>N</i>	Date	Location	Description	Number of waves	Damage
33	19 May 2007	Reynisfjara beach (Iceland)	75 yr-old woman drowned after a large wave crashed into the shore and pulled her out to sea; when the group arrived at the beach the sea seemed relatively calm, with little risk of fatal waves coming in	1	1 fatality
34	4 May 2008	Kunsan (South Korea)	eight people are reported to be killed on the west coast of South Korea after they were swept away by a 5-m high wave	1	8 fatalities 28 injuries
35	16 Jun 2008	Wollongong (Australia)	two men were walking along the coastline on their day off when a freak wave washed them into the water	1	1 fatality, 1 injury
36	31 Aug 2008	Middle Cove Beach, Newfoundland (Canada)	several dozen people were enjoying a bonfire when giant rogue waves out of nowhere blew them over; two large waves struck the waterfront, reaching 20 m inland to the parking lot	2	4 injuries
37	23–27 Dec 2009	Devon, England (UK)	large waves carried a couple and their dog into the water when they were enjoying a trip to the beach	several	2 injuries
38	13 Feb 2010	Maverick's beach, California (USA)	more than three dozen spectators suffered when two 6-m waves crashed over the concrete parapet	2	13 injuries
39	7 Mar 2010	Kristiansund (Norway)	two girls were swept away off the rocks by sudden waves		2 fatalities

Fonte: Nikolkina & Didenkulova, 2011.

A Figura 3.15 mostra o percentual das 3 regiões do mar de atuação das *rogue waves* dos eventos estudado pelos autores Nikolkina & Didenkulova (2011).

Figura 3.15 – Percentual e número da ocorrência das *rogue waves* em águas profundas e rasas e na costa em 2006-2010.



Fonte: Nikolkina & Didenkulova, 2011.

3.5 Processos estocásticos

Esse trabalho apresenta uma análise estocástica da evolução das ondas que foram observadas de 1997 a 2001 no litoral do Pecém e a caracterização geral de seu regime de ondas para o estudo das ondas do Pecém em sua máxima amplitude conceitual.

O Processo estocástico é um conjunto de variáveis aleatórias que, em geral, são utilizadas para estudar a evolução de fenômenos que são observados durante um determinado período (FISCH, 2008).

Assim, ao invés de descrever o sistema através de equações determinísticas, que a partir de uma condição inicial pode-se conhecer toda a evolução do sistema, será utilizado um processo estocástico, em que dado uma condição inicial, tem se diversas trajetórias possíveis para a evolução do sistema.

Os dados foram representativos do regime de ondas da região estudada afim de evitar um entendimento incorreto do resultado e um planejamento dos projetos situados na zona marinha para a região de estudo. A caracterização geral do regime de ondas focando nas amplitudes máximas, direção, período e sua respectiva sazonalidade (Outubro – Dezembro), são dados essenciais para o estudo. Esse conhecimento do regime de ondas do litoral cearense contribui para projetar obras portuária no nordeste setentrional.

As obras de engenharia costeira necessitam de informações sobre agitação marítima, sendo esse um fenômeno de caráter aleatório. Sendo assim só é possível estudá-la com técnicas estatísticas.

Os parâmetros utilizados para a caracterização do estado do mar são a altura de onda significativa e o período de onda significativo. Uma caracterização estatisticamente completa de um processo estocástico é conseguida por meio do conhecimento, dentre outras coisas, do seu espectro de variância ou energia (MELO, 1982).

Um processo estocástico é definido como uma família de variáveis aleatórias, estatisticamente independentes e função do tempo e espaço amostral (OCHI 1998, *apud* MENDES, 2005). Quando as médias de um processo ao longo do tempo e do espaço são iguais, considera-se esse um processo ergódico e fracamente estacionários (MELO, 1982).

Seguindo a abordagem estocástica, as ondas aleatórias em águas profundas são classificadas como um processo randômico Gaussiano, sendo assim, a distribuição de probabilidades das alturas de ondas obedece a lei de distribuição normal (OCHI 1998, *apud* MENDES, 2005).

Assim, ondas de gravidade são consideradas processos ergódicos e fracamente estacionários, de modo que suas propriedades estatísticas sejam avaliadas pela análise de uma única série temporal (OCHI 1998, *apud* MENDES, 2005).

3.6 Análise dos dados do ondógrafo do Pecém

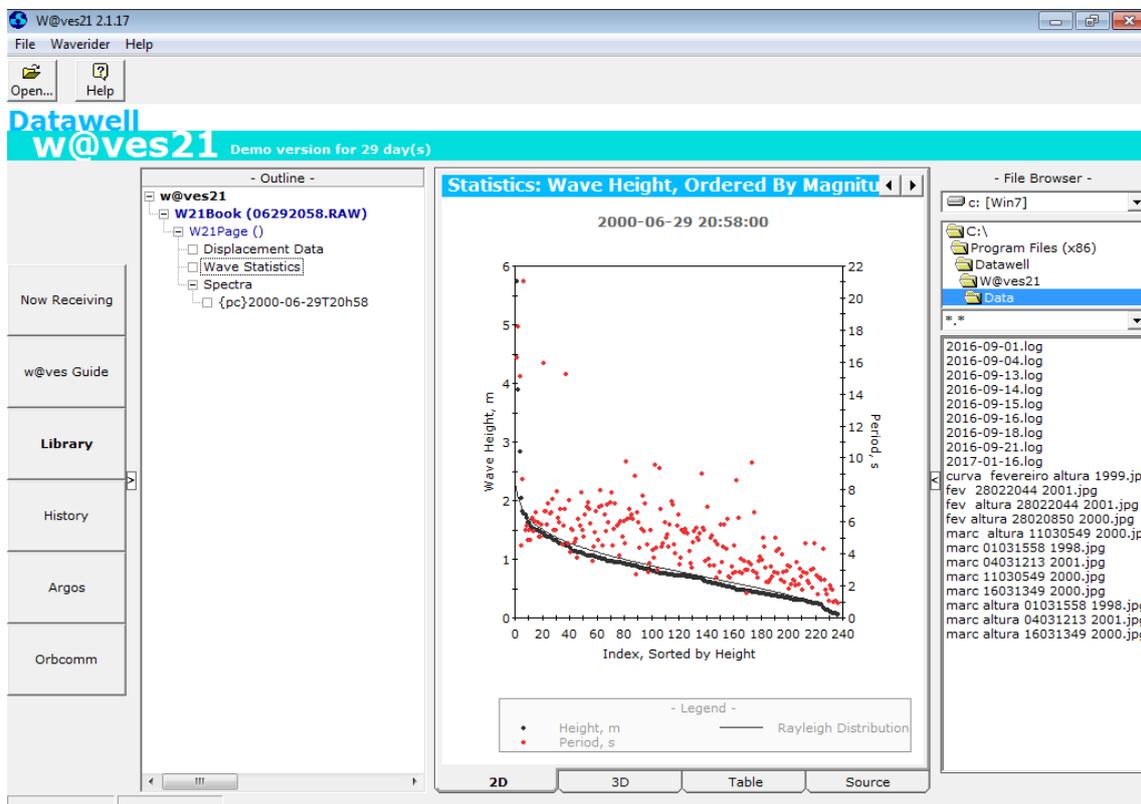
O ondógrafo gera um arquivo de output para cada trem de onda em um determinado tempo de medição.

3.6.1 Software de processamento dos dados de output do ondógrafo

Os dados do ondógrafo foram estudados com o auxílio do software “W@ves21” da empresa holandesa Datawell, que disponibilizou uma licença temporária para a execução do software, tornando viável o trabalho. O *software* é disponível para download nesse sítio <http://datawell.nl/Support/Download.aspx>.

O “W@ves21” (Figura 3.16) é um *software* baseado no ambiente Windows, é um programa que tem como *input* os arquivos *output* da boia direcional Waverider, que realiza o processamento e exibição dos dados.

Figura 3.16 – Tela do software “W@ves21”



Fonte: Próprio autor.

3.6.2 Desenvolvendo as Planilhas de dados

Após a fase de processamento de dados, iniciou-se a fase de seleção com o software Microsoft Excel.

Os dados foram separados por dia, mês e ano de forma a desenvolver tabelas eficientes e comparativas. Nessas tabelas foi realizado os cálculos para identificar as *rogue waves*. O quantitativo das ocorrências das *rogue waves* foi realizado em outra tabela afim de analisar suas frequências. As Figuras 3.17 e 3.18 mostram os dados nas planilhas.

Figura 3.17 – Planilha de dados do ondógrafo do Pecém no Microsoft Excel

	2000	1999	1999	1999	1999	2000	2001	1999	2000	1999	
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	1	9									
3	ano	2000	1999	1999	1999	2000	2001	1999	2000	1999	
4	Symbol	1010013	1010058	1010128	1010158	1010228	1010243	1010246	1010258	1010313	1010328
5	Pct	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
6	Hmax	197	257	333	279	296	307	213	278	345	358
7	Tmax	7,2	6,9	10,4	7,1	6,4	13,3	5,7	10,4	13,7	8,8
8	2Hs	252	342	376	392	378	274	252	346	298	386
9	Hmax-2Hs	-55	-85	-43	-113	-82	33	-39	-68	47	-28
10	H(1/3)	126	171	188	196	189	137	126	173	149	193
11	T(1/3)	5,8	6,5	7,4	7,4	7,4	6,8	6,3	7,8	6,3	7,5
12	Hav	78	110	121	122	120	88	80	112	95	124
13	Tav	4,5	5,1	5,5	5,5	5,5	5	4,8	5,5	5	5,7
14	eps	0,616	0,662	0,721	0,705	0,676	0,687	0,682	0,739	0,673	0,714
15	#Waves	267	233	217	217	218	237	248	217	236	210

Fonte: Próprio autor.

Figura 3.18 – Tabela mensal de registro das *rogue waves* no Microsoft Excel

	1997	1998	1999	2000
3	Setembro			
4	01	20	0	14
5	Nº ondas	Observação	Nº ondas	Observação
6	1	20	0	14
7	2	35	0	13
8	3	29	3	19
9	4	20	1	15
10	5	12	1	12
11	6	13	2	8
12	7	12	0	9
13	8	25	3	5
14	9	38	3	7
15	10	14	0	6
16	11	22	3	9
17	12	19	1	8
18	13	10	0	7
19	14	11	0	16
20	15	24	1	12
21	16	10	0	9
22	17	8	1	7
23	18	9	2	7
24	19	8	0	15

Fonte: Próprio autor.

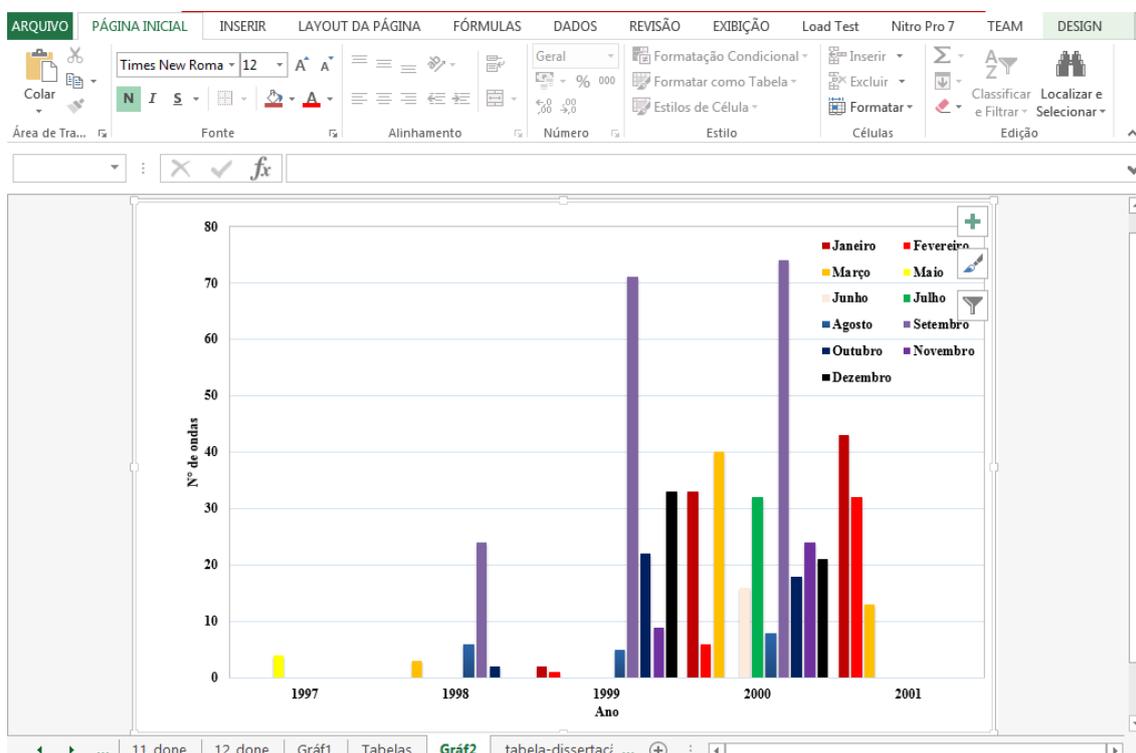
3.6.3 Desenvolvendo os Gráficos

Nessa fase preocupou-se em gerar gráficos das frequências mensais de ocorrência das *rogue waves*, afim de estabelecer uma relação com os acidentes no litoral cearense.

Esses gráficos foram construídos pela extração dos dados do software “W@aves21” para o Microsoft Excel. Onde foi realizado uma análise visual de todos registros, para a realização dos gráficos.

A Figura 3.19 mostra a execução de um gráfico do estudo no Microsoft Excel.

Figura 3.19 – Elaboração de um gráfico do estudo no Microsoft Excel



Fonte: Próprio autor.

4 CARACTERIZAÇÃO DAS ONDAS DO PECÉM

Este capítulo tem como objetivo apresentar as principais características do regime de ondas detectas pelo ondógrafo instalado próximo à costa do Pecém.

4.1 As ondas incidentes na costa

PITOMBEIRA (2005) em seu trabalho relata a importância do conhecimento do regime de ondas incidentes para a realização de um trabalho na costa.

A verificação das características das ondas incidentes, registradas pelo ondógrafo direcional, deverá checar a suspeita, que a destruição das *bagwalls* na praia do Icaraí e os acidentes ocorridos na costa cearense possam ter ligação com as *rogue waves*.

Os pescadores envolvidos nos acidentes relataram que seus acidentes se deram pelo surgimento de ondas com elevadas alturas.

Melo (1993) confirma em seu trabalho que tempestades ocorridas no oceano Atlântico Norte são a fonte geradora das ondulações longínquas (elevados períodos) que chegam no litoral cearense.

4.2 Incidência das *rogue waves* das séries históricas de 1997 - 2001

Com os dados oriundos do software “W@ves21 v2.1.17”, foram geradas tabelas mensais com os dados das *rogue waves*. De acordo com os autores Nikolkina & Didenkulova (2011), uma onda que apresente uma altura duas vezes maior que a altura significativa é considerada uma *rogue wave*.

A Tabela 4.1 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de janeiro da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.1 – Dados de Janeiro

Janeiro			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	0	0	0
1998	0	0	0
1999	2	2	82
2000	33	31	295
2001	43	31	294

Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.1 nota-se que os anos 2000 e 2001 ocorreu o fenômeno das ondas gigantes todos os dias, e o ano com a maior frequência do fenômeno foi o de 2001. Nos anos 1997 e 1998 não tiveram observações.

A Tabela 4.2 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de fevereiro da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.2 – Dados de Fevereiro

Fevereiro			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	0	0	0
1998	0	0	0
1999	1	7	51
2000	6	13	130
2001	32	27	273

Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.2 nota-se que o ano onde aconteceu o fenômeno com maior frequência foi 2001, e nos anos 1997 e 1998 não tiveram observações.

A Tabela 4.3 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de março da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.3 – Dados de Março

Março			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	0	0	0
1998	3	1	27
1999	0	1	0
2000	40	29	279
2001	13	29	250

Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.3 nota-se que a maior frequência do fenômeno foi no ano de 2000, e nos anos 1997 e 1999 não tiveram observações.

A Tabela 4.4 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de maio da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.4 – Dados de Maio

Maio			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	4	26	202
1998	0	0	0
1999	0	0	0
2000	0	0	0
2001	0	0	0

Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.4 nota-se que a maior frequência do fenômeno foi no ano de 1997, e nos anos 1998 ao 2001 não tiveram observações.

A Tabela 4.5 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de junho da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.5 – Dados de Junho

Junho			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	16	30	308
1998	0	0	0
1999	0	0	0
2000	0	0	0
2001	0	0	0

Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.5 nota-se que apenas o ano de 1997 foram realizadas as observações.

A Tabela 4.6 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de julho da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.6 –Dados de Julho

Julho			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	0	0	0
1998	0	0	0
1999	0	0	0
2000	32	18	169
2001	0	0	0

Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.6 nota-se que apenas o ano de 2000 foram realizadas as observações.

A Tabela 4.7 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de agosto da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.7 – Dados de Agosto

Agosto			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	0	0	0
1998	6	8	124
1999	5	8	128
2000	8	11	128
2001	0	0	0

Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.7 nota-se que a maior frequência do fenômeno foi no ano de 2000, e nos anos 1997 e 2001 não tiveram observações.

A Tabela 4.8 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de setembro da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.8 – Dados de Setembro

Setembro			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	0	0	0
1998	24	24	407
1999	71	28	494
2000	74	29	326
2001	0	2	6

Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.8 nota-se que a maior frequência do fenômeno foi no ano de 2000, e no ano de 1997 não tiveram observações.

A Tabela 4.9 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de outubro da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.9 – Dados de Outubro

Outubro			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	0	0	0
1998	2	3	39
1999	22	25	328
2000	18	25	336
2001	0	0	0

Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.9 nota-se que a maior frequência do fenômeno foi no ano de 1999, e no ano de 1997 não tiveram observações.

A Tabela 4.10 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de novembro da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.10 – Dados de Novembro

Novembro			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	0	0	0
1998	0	0	0
1999	9	30	279
2000	24	30	327
2001	0	0	0

Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.10 nota-se que a maior frequência do fenômeno foi no ano de 2000, e nos anos de 1997, 1998 e 2001 não tiveram observações.

A Tabela 4.11 apresenta os dados relacionados as *rogue waves* ocorridas durante o mês de novembro da série histórica de 1997 – 2001.

Tabela 4.11 – Dados de Dezembro

Dezembro			
Ano	N° de <i>rogue waves</i>	N° de dias	N° de observações
1997	0	0	0
1998	0	0	0
1999	33	26	321
2000	21	26	207
2001	0	0	0

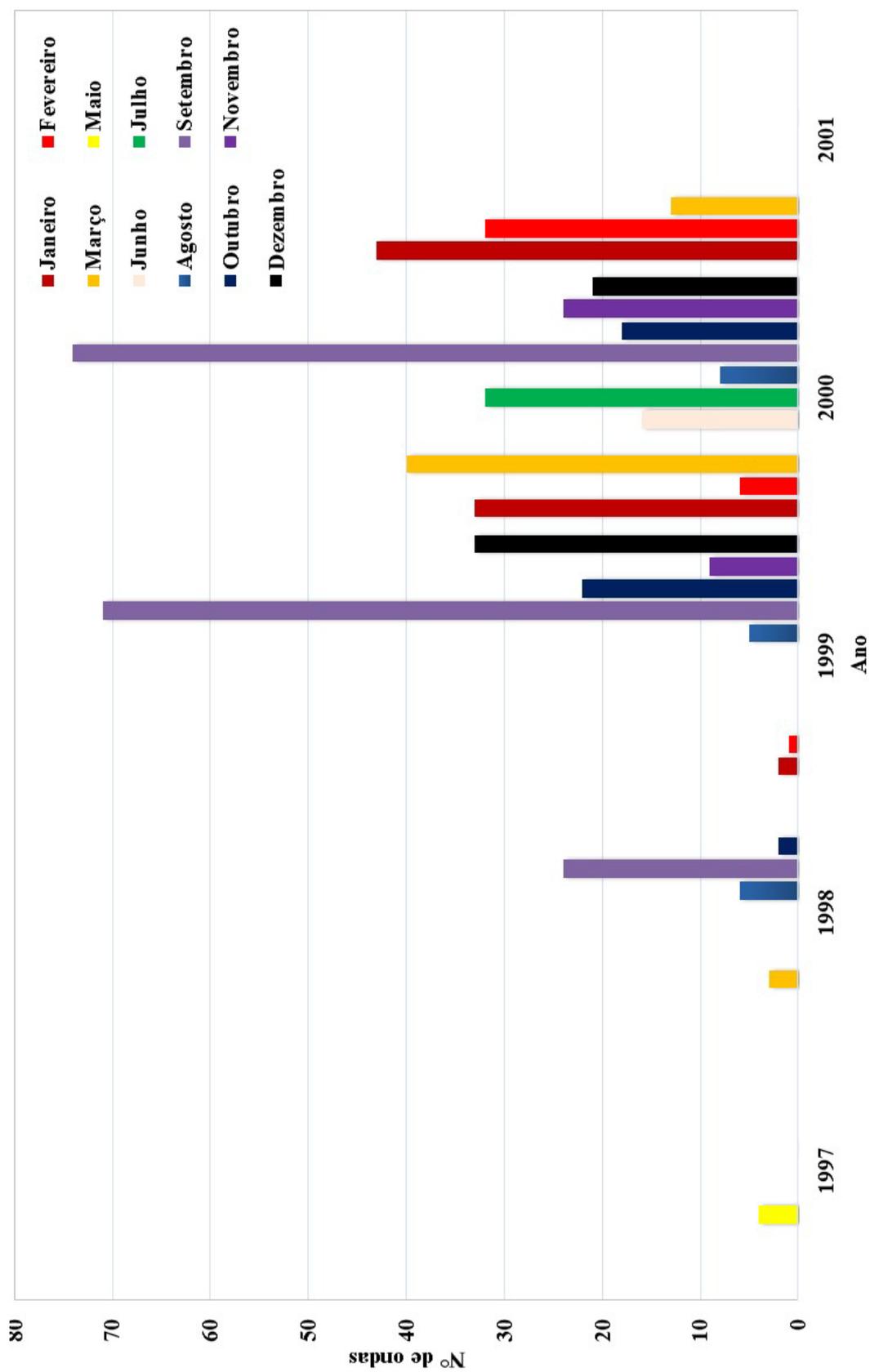
Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Tabela 4.11 nota-se que a maior frequência do fenômeno foi no ano de 1999, e nos anos de 1997, 1998 e 2001 não tiveram observações.

Assim conclui-se que o número de dias com observações foi um fator importante na identificação desse fenômeno.

A Figura 4.1 mostra um gráfico com a frequência das *rogue waves* durante o período das observações de 1997 a 2001 com os dados obtidos.

Figura 4.1 – Frequência mensal da ocorrência das *rogue waves* de 1997 a 2001



Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Figura 4.1 nota-se pelos anos de 1999 e 2000, por serem os anos que apresentam uma série mais completa em relação aos outros anos, que o mês de setembro apresenta uma maior frequência do fenômeno. Assim conclui-se que durante o ano, o mês de setembro apresenta uma maior ocorrência de *rogue waves*.

4.3 Características das máximas ondas registradas

O vento com suas rajadas produz perturbações a superfície do mar, estas oscilações se propagam pelo oceano para longe da influência direta do vento, e é nessas condições as ondas são denominadas de *swell*. Essas ondas consistem de trens de ondas uniformes com períodos de 5 a 30 segundos (VIEIRA, 2007).

De todas as alturas parâmetros, a altura significativa (H_s) é a mais importante, sendo definida como a média de 1/3 das maiores ondas de um trem de ondas (KAMPHUIS, 2010, p.63).

- $H_{máx}(cm)$ é a altura máxima das ondas mais altas para o período de observação;
- $T_{máx}(s)$ é o período para a $H_{máx}(cm)$ da observação;
- $H_{1/3}(cm)$ é a média de 3/10 das ondas mais altas para o período de observação (altura significativa da onda);
- $T_{1/3}(s)$ é o período para a $H_{1/3}(cm)$ da observação;
- $H_{méd}(cm)$ é a média das ondas para o período de observação;
- $T_{méd}(s)$ é o período para a $H_{méd}(cm)$ da observação;
- $2H_{1/3}(cm)$ representa o dobro do valor de $H_{1/3}(cm)$;
- $H_{máx} - 2H_{1/3}(cm)$ representa a diferença entre a altura máxima da onda pelo dobro da altura significativa das ondas.

A Tabela 4.12 mostra os valores dos parâmetros das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de janeiro dos anos 1999, 2000 e 2001.

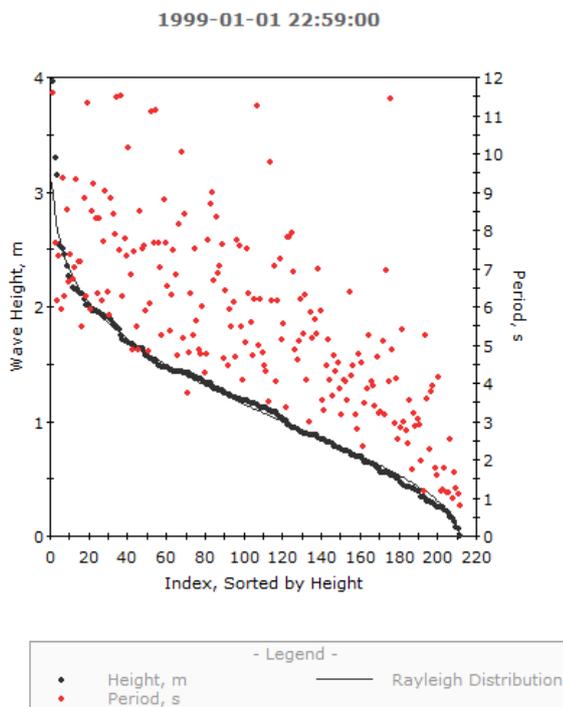
As Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 mostram as distribuições de frequência das alturas das ondas contidas nos respectivos trens de ondas.

Tabela 4.12 – Dados das maiores ondas registradas no mês de janeiro

Janeiro			
Ano	1999	2000	2001
Horário	22:59	14:51	05:46
$H_{m\acute{a}x}$ (cm)	398	1023	900
$T_{m\acute{a}x}$ (s)	11,6	23,8	17,5
$2H_{1/3}$ (cm)	376	254	276
$H_{m\acute{a}x} - 2H_{1/3}$ (cm)	22	769	624
$H_{1/3}$ (cm)	188	127	138
$T_{1/3}$ (s)	7,5	7,5	7,3
$H_{m\acute{e}d}$ (cm)	117	75	81
$T_{m\acute{e}d}$ (s)	5,6	5,2	5,5
Nº de ondas	211	232	218

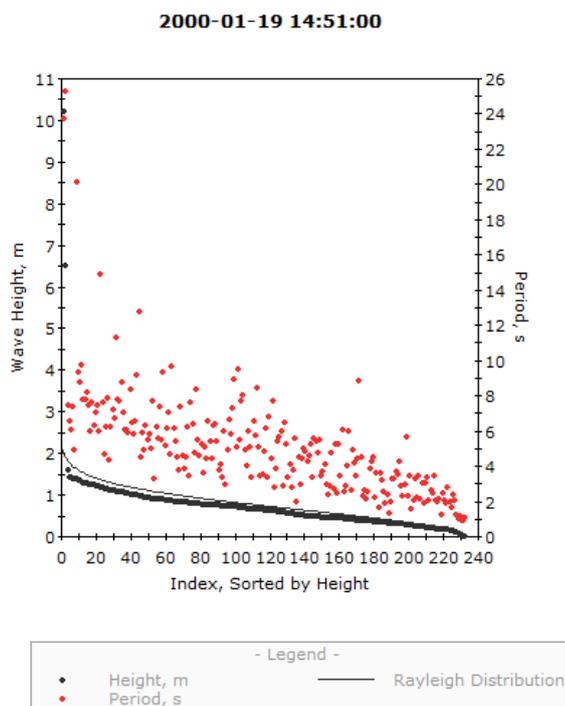
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.2 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 22h 59min de 01/01/1999



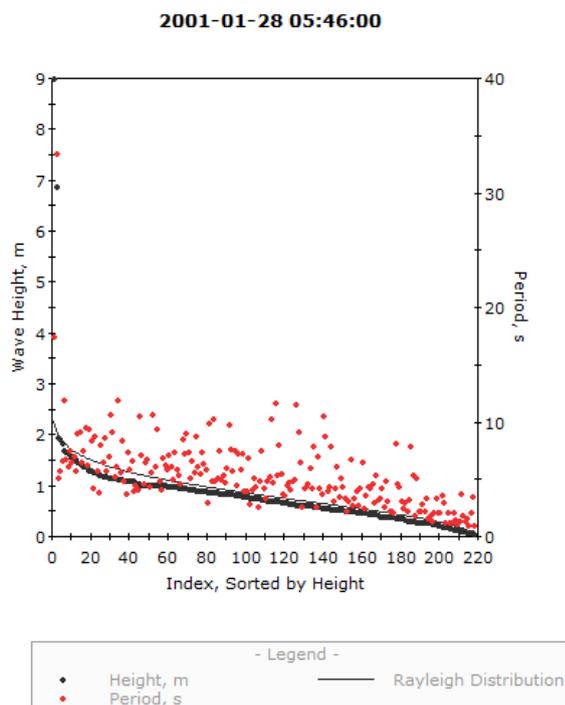
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.3 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 14h 51min de 19/01/2000



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.4 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 5h 46min de 28/01/2001



Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de janeiro foi no ano de 2000, uma onda com 10,23 metros e um período de trem de onda longo, com 23,8 segundos, cujo trem de ondas possuía 232 ondas.

A Tabela 4.13 mostra os valores das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de fevereiro dos anos 1999, 2000 e 2001.

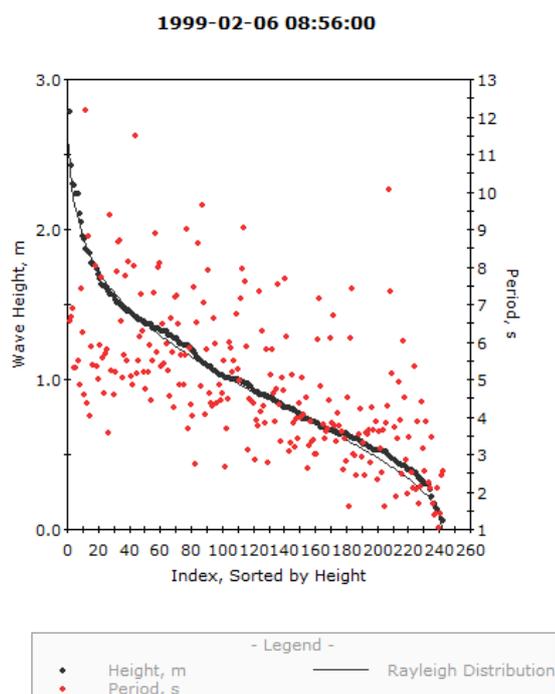
As Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 mostram as distribuições de frequência das alturas das ondas contidas nos respectivos trens de ondas.

Tabela 4.13 – Dados das maiores ondas registradas no mês de fevereiro

Fevereiro			
Ano	1999	2000	2001
Horário	08:56	08:50	08:44
$H_{máx}$ (cm)	279	715	204
$T_{máx}$ (s)	6,6	18	6,3
$2H_{1/3}$ (cm)	310	322	248
$H_{máx} - 2H_{1/3}$ (cm)	-31	393	-44
$H_{1/3}$ (cm)	155	161	124
$T_{1/3}$ (s)	6,2	7,2	7,6
$H_{méd}$ (cm)	99	99	81
$T_{méd}$ (s)	4,9	5,6	5,4
Nº de ondas	242	213	223

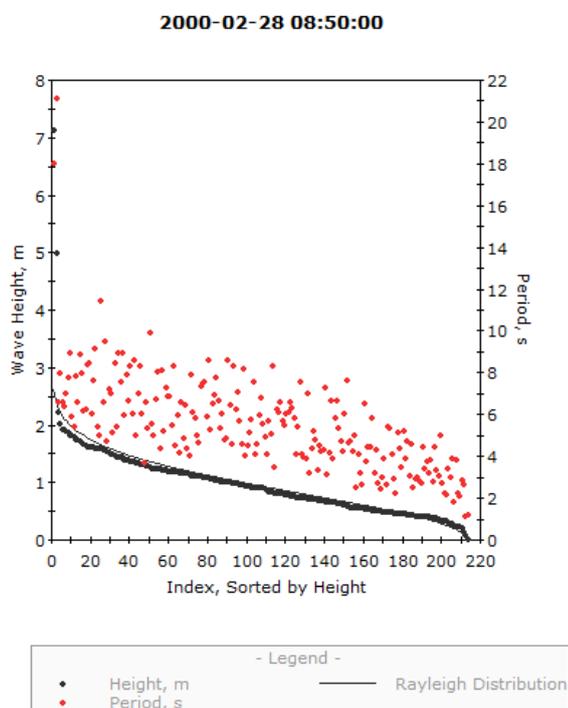
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.5 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 8h 56 min de 06/02/1999



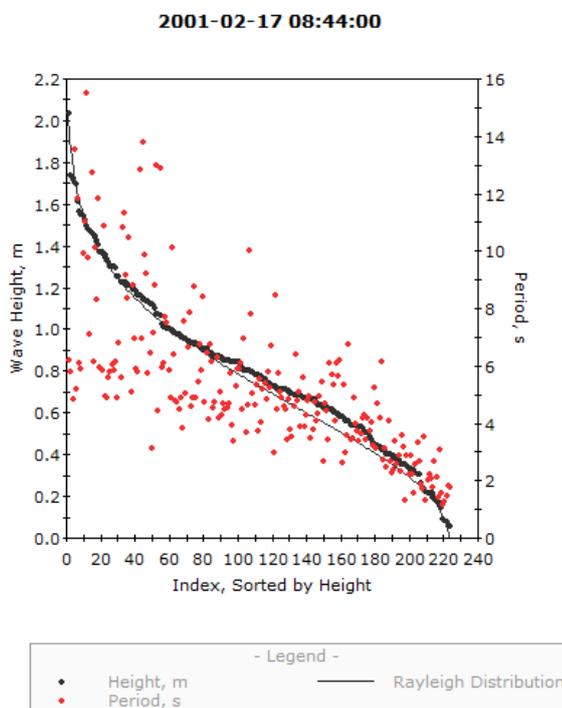
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.6 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 8h 50min de 28/02/2000



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.7 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 8h 44min de 17/02/2001



Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de fevereiro foi no ano de 2000, uma onda com 7,15 metros e um período de trem de onda longo, com 18 segundos, cujo trem de ondas possuía 213 ondas.

Nos anos de 1999 e 2001, as respectivas ondas nesses anos, apesar de serem ondas que apresentaram grandes alturas, não são consideradas *rogue waves*, pois seus valores não superaram o dobro da altura das ondas significativas.

A Tabela 4.14 mostra os valores das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de março dos anos 1998, 2000 e 2001.

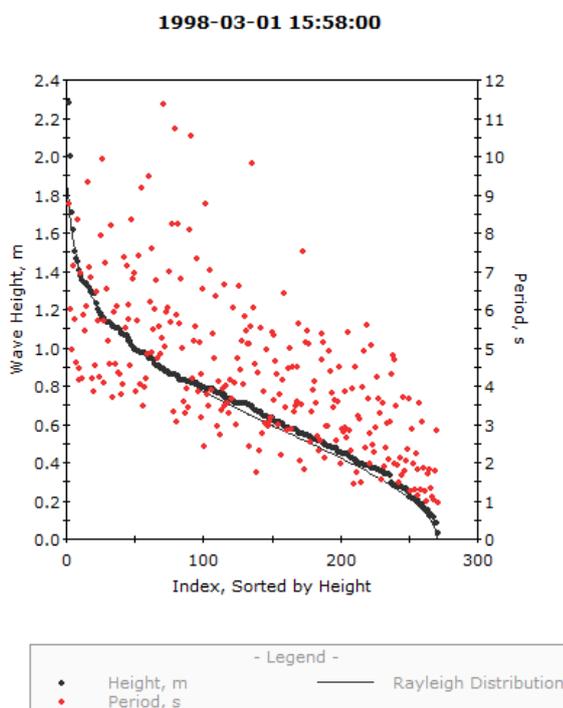
As Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 mostram as distribuições de frequência das alturas das ondas contidas nos respectivos trens de ondas.

Tabela 4.14 – Dados das maiores ondas registradas no mês de março

Março			
Ano	1998	2000	2001
Horário	15:58	13:49	12:13
$H_{m\acute{a}x}$ (cm)	229	1132	441
$T_{m\acute{a}x}$ (s)	8,8	17,3	12,7
$2H_{1/3}$ (cm)	220	318	268
$H_{m\acute{a}x} - 2H_{1/3}$ (cm)	9	814	173
$H_{1/3}$ (cm)	110	159	134
$T_{1/3}$ (s)	6	7,2	6,7
$H_{m\acute{e}d}$ (cm)	71	96	84
$T_{m\acute{e}d}$ (s)	4,4	5,3	5,2
Nº de ondas	270	226	232

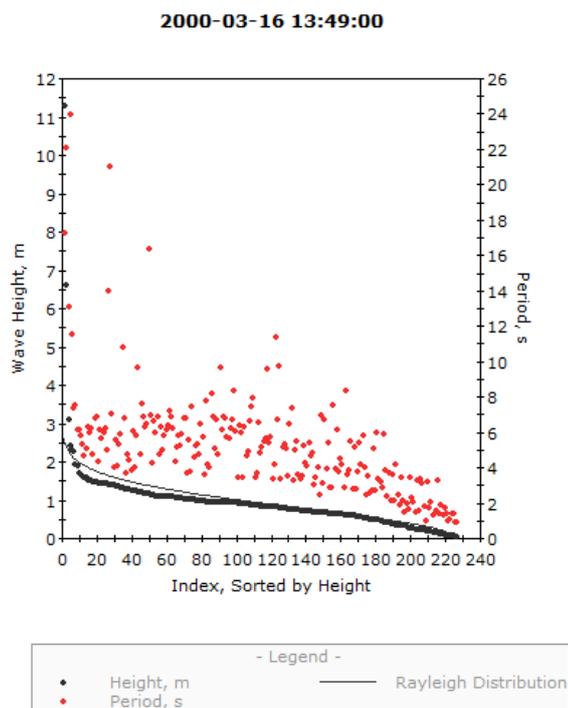
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.8 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 15h 58min de 01/03/1998



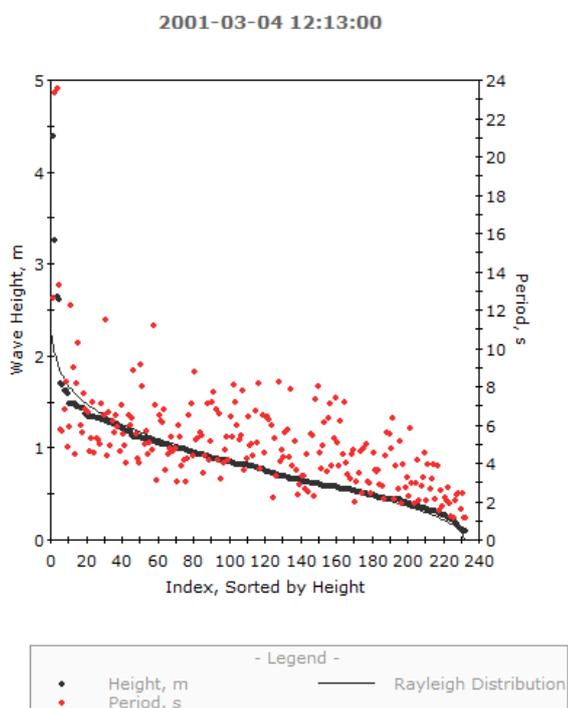
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.9 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 13h 49min de 16/03/2000



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.10 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 12h 13min de 04/03/2001



Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de março foi no ano de 2000, uma onda com 11,32 metros e um período de trem de onda longo, com 17,3 segundos, cujo trem de ondas possuía 226 ondas.

A Tabela 4.15 mostra os valores das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de maio de 1997.

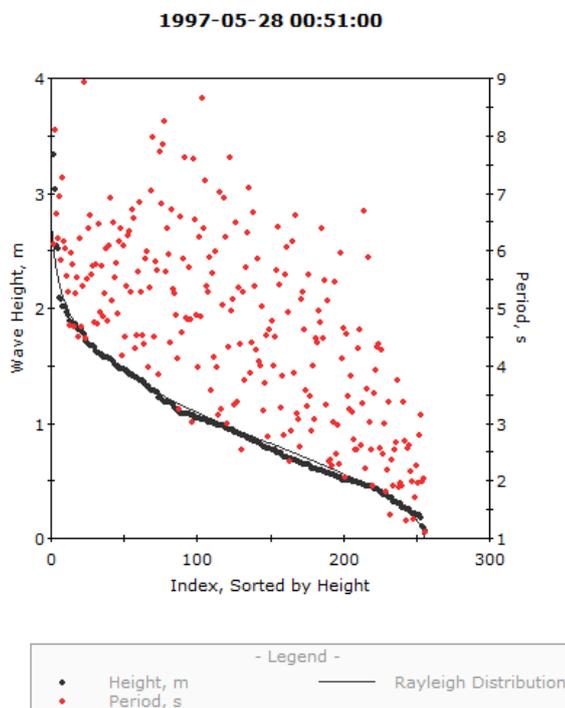
A Figura 4.11 mostra a distribuição de frequência das alturas das ondas contidas em seu trem de onda.

Tabela 4.15 – Dados das maiores ondas registradas no mês de maio

Maio	
Ano	1997
Horário	00:51
$H_{m\acute{a}x}$ (cm)	334
$T_{m\acute{a}x}$ (s)	6,1
$2H_{1/3}$ (cm)	320
$H_{m\acute{a}x} - 2H_{1/3}$ (cm)	14
$H_{1/3}$ (cm)	160
$T_{1/3}$ (s)	5,8
$H_{m\acute{e}d}$ (cm)	99
$T_{m\acute{e}d}$ (s)	4,7
Nº de ondas	255

Fonte: Próprio autor.

Figura 4.11 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 00h 51 min de 28/05/1997



Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de maio foi no ano de 1997, pois foi o ano que teve o registro de dados desse mês. Essa onda tinha 3,34 metros e um período de trem de onda longo, com 6,1 segundos, cujo trem de ondas possuía 255 ondas.

A Tabela 4.16 mostra os valores das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de junho de 1997.

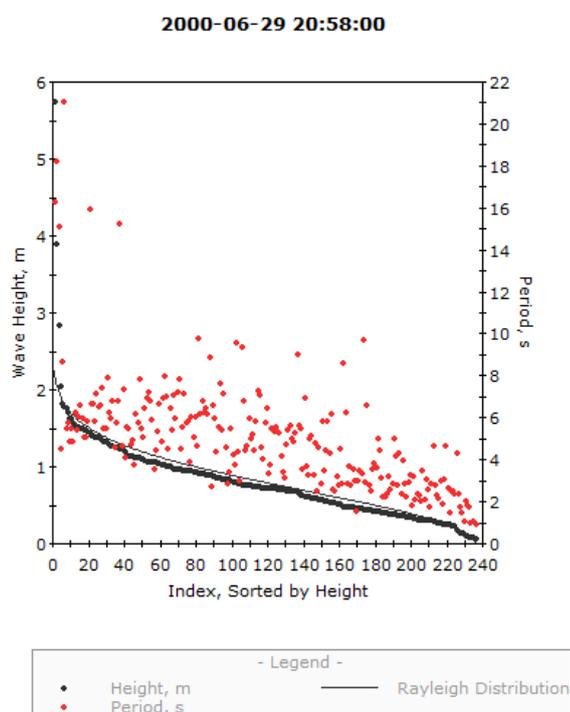
A Figura 4.12 mostra a distribuição de frequência das alturas das ondas contidas em seu trem de onda.

Tabela 4.16 – Dados das maiores ondas registradas no mês de junho

Junho	
Ano	1997
Horário	20:58
$H_{m\acute{a}x}$ (cm)	576
$T_{m\acute{a}x}$ (s)	16,3
$2H_{1/3}$ (cm)	272
$H_{m\acute{a}x} - 2H_{1/3}$ (cm)	304
$H_{1/3}$ (cm)	136
$T_{1/3}$ (s)	6,8
$H_{m\acute{e}d}$ (cm)	81
$T_{m\acute{e}d}$ (s)	5
Nº de ondas	236

Fonte: Próprio autor.

Figura 4.12 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 20h 58 min de 29/06/2000



Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de junho foi no ano de 1997, pois foi o ano que teve o registro de dados desse mês. Essa onda tinha 5,76 metros e um período de trem de onda longo, com 16,3 segundos, cujo trem de ondas possuía 236 ondas.

A Tabela 4.17 mostra os valores das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de julho de 2000.

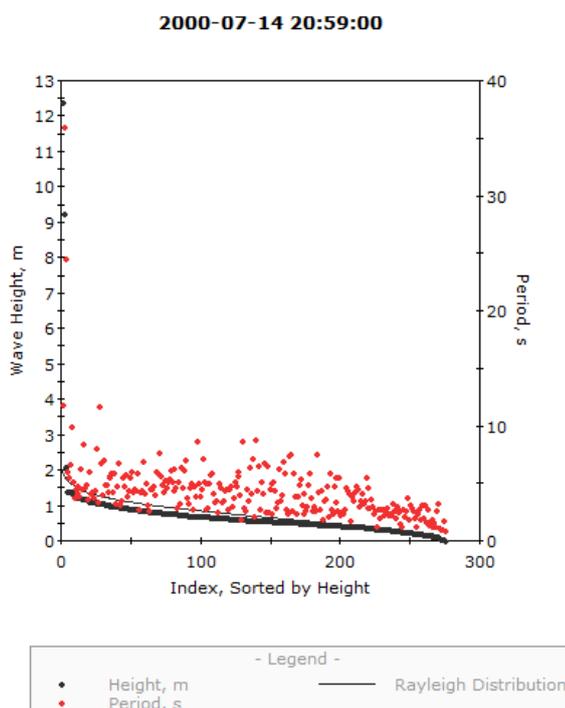
A Figura 4.13 mostra a distribuição de frequência das alturas das ondas contidas em seu trem de onda.

Tabela 4.17 – Dados das maiores ondas registradas no mês de julho

Julho	
Ano	2000
Horário	20:59
$H_{máx}$ (cm)	1239
$T_{máx}$ (s)	11,8
$2H_{1/3}$ (cm)	236
$H_{máx} - 2H_{1/3}$ (cm)	1003
$H_{1/3}$ (cm)	118
$T_{1/3}$ (s)	5,7
$H_{méd}$ (cm)	69
$T_{méd}$ (s)	4,3
Nº de ondas	275

Fonte: Próprio autor.

Figura 4.13 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 20h 59 min de 14/07/2000



Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de junho tinha 12,39 metros e um período de trem de onda longo, com 11,8 segundos, cujo trem de ondas possuía 275 ondas.

A Tabela 4.18 mostra os valores das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de agosto dos anos 1998, 1999 e 2000.

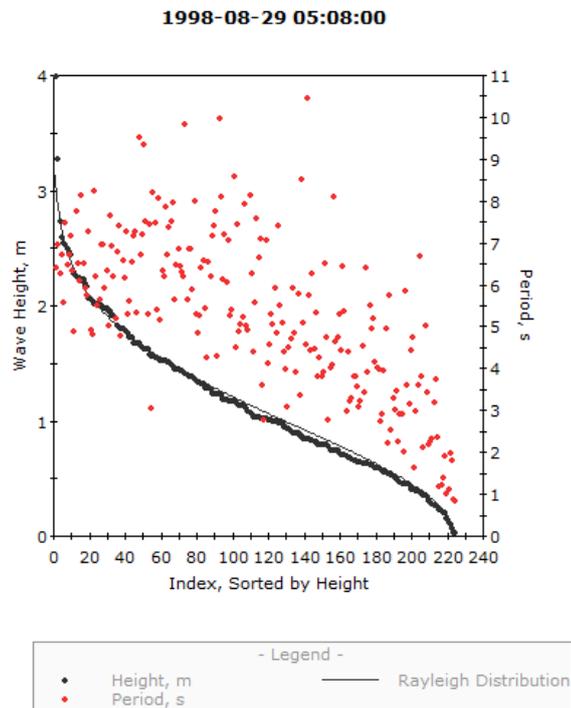
As Figuras 4.14, 4.15 e 4.16 mostram as distribuições de frequência das alturas das ondas contidas nos respectivos trens de ondas.

Tabela 4.18 – Dados das maiores ondas registradas no mês de agosto

Agosto			
Ano	1998	1999	2000
Horário	05:08	03:19	17:59
$H_{máx}$ (cm)	400	414	522
$T_{máx}$ (s)	6,4	5,7	19
$2H_{1/3}$ (cm)	380	444	350
$H_{máx} - 2H_{1/3}$ (cm)	20	-30	172
$H_{1/3}$ (cm)	190	222	175
$T_{1/3}$ (s)	6,6	6,2	6,7
$H_{méd}$ (cm)	116	140	110
$T_{méd}$ (s)	5,3	5,2	5,3
Nº de ondas	224	228	225

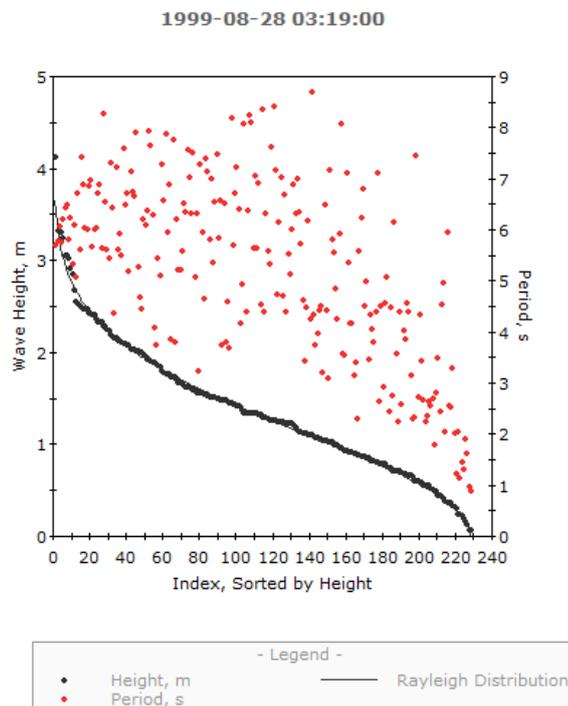
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.14 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 5h 08min de 29/08/1998



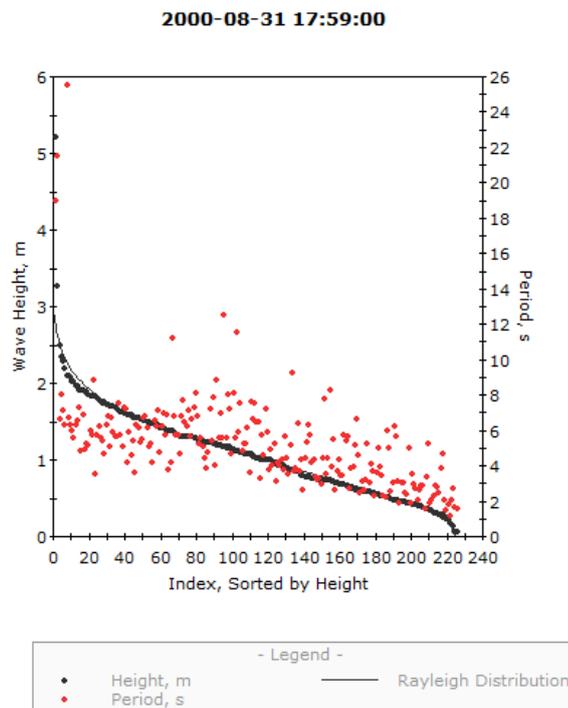
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.15 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 3h 19 min de 28/08/1999



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.16 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 17h 59 min de 31/08/2000



Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de agosto foi no ano de 2000, essa onda tinha 5,22 metros e um período de trem de onda longo, com 19 segundos, cujo trem de ondas possuía 225 ondas.

Em 1999 apesar de ser uma onda que apresentou grande altura, ela não é considerada uma *rogue wave*, pois seu valor não superou o dobro da altura da onda significativa.

A Tabela 4.19 mostra os valores das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de setembro de 2000.

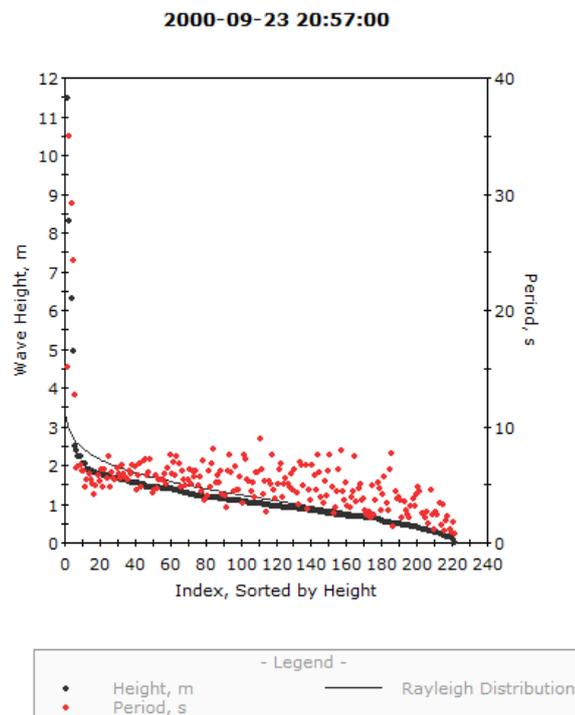
A Figura 4.17 mostra a distribuição de frequência das alturas das ondas contidas em seu trem de onda.

Tabela 4.19 – Dados das maiores ondas registradas no mês de setembro

Setembro	
Ano	2000
Horário	20:57
$H_{máx}$ (cm)	1151
$T_{máx}$ (s)	15,2
$2H_{1/3}$ (cm)	392
$H_{máx} - 2H_{1/3}$ (cm)	759
$H_{1/3}$ (cm)	196
$T_{1/3}$ (s)	7,1
$H_{méd}$ (cm)	118
$T_{méd}$ (s)	5,4
Nº de ondas	221

Fonte: Próprio autor.

Figura 4.17 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 20h 57 min de 23/09/2000



Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de setembro foi no ano de 2000, essa onda tinha 11,51 metros e um período de trem de onda longo, com 15,2 segundos, cujo trem de ondas possuía 221 ondas.

A Tabela 4.20 mostra os valores das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de outubro dos anos 1998, 1999 e 2000.

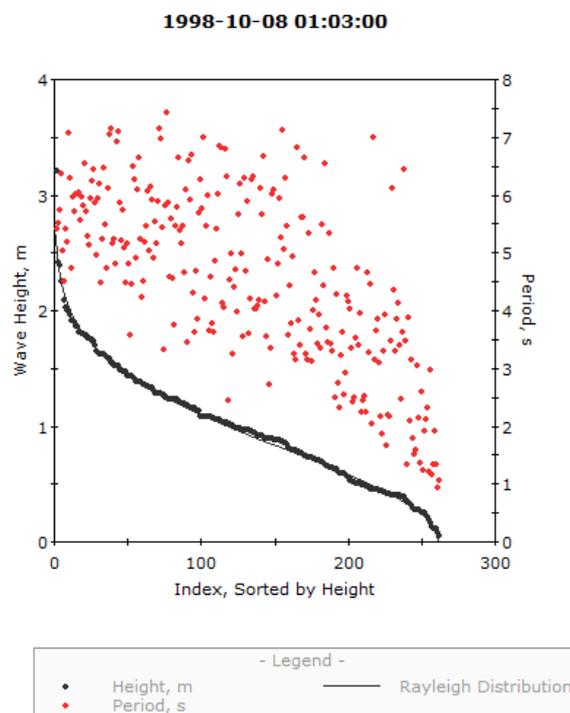
As Figuras 4.18, 4.19 e 4.20 mostram as distribuições de frequência das alturas das ondas contidas nos respectivos trens de ondas.

Tabela 4.20 – Dados das maiores ondas registradas no mês de outubro

Outubro			
Ano	1998	1999	2000
Horário	01:03	03:18	13:55
$H_{m\acute{a}x}$ (cm)	322	466	944
$T_{m\acute{a}x}$ (s)	5,4	6,8	15,5
$2H_{1/3}$ (cm)	318	394	370
$H_{m\acute{a}x} - 2H_{1/3}$ (cm)	4	72	574
$H_{1/3}$ (cm)	159	197	185
$T_{1/3}$ (s)	5,6	6,5	8,9
$H_{m\acute{e}d}$ (cm)	100	122	107
$T_{m\acute{e}d}$ (s)	4,6	5,1	5,8
Nº de ondas	261	233	206

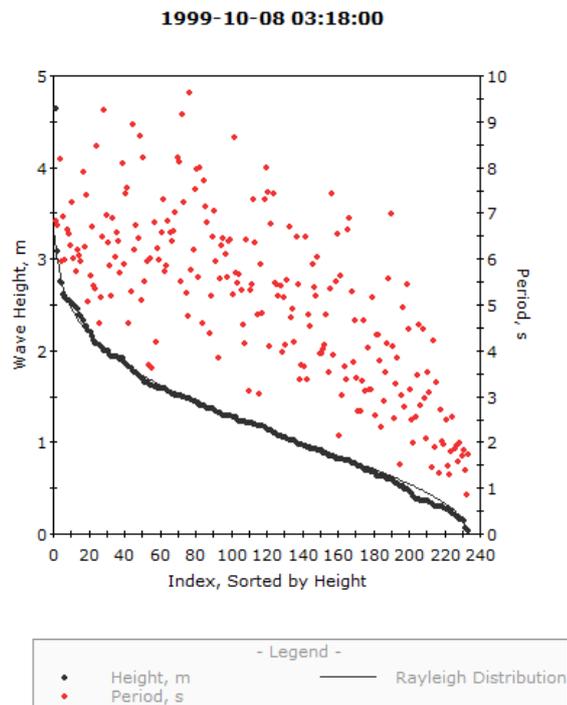
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.18 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 1h 03 min de 08/10/1998



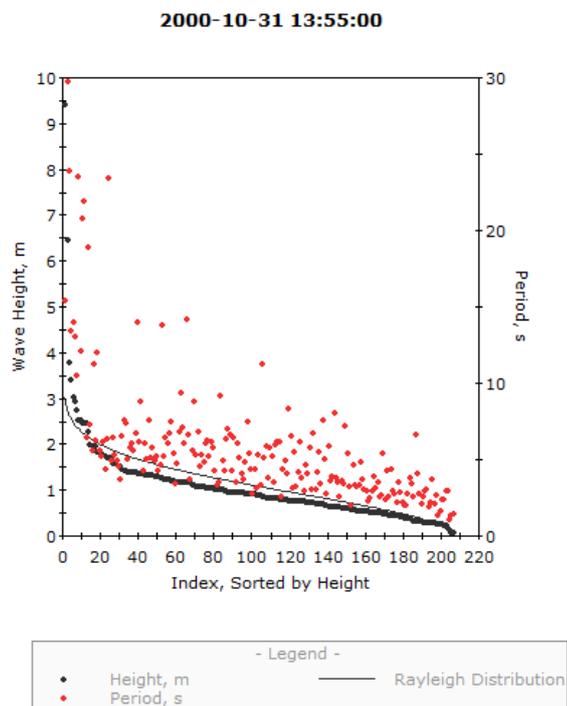
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.19 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 3h 18 min de 08/10/1999



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.20 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 13h 55min de 31/10/2000



Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de outubro foi no ano de 2000, essa onda tinha 9,44 metros e um período de trem de onda longo, com 15,5 segundos, cujo trem de ondas possuía 206 ondas.

A Tabela 4.21 mostra os valores das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de novembro dos anos 1999 e 2000.

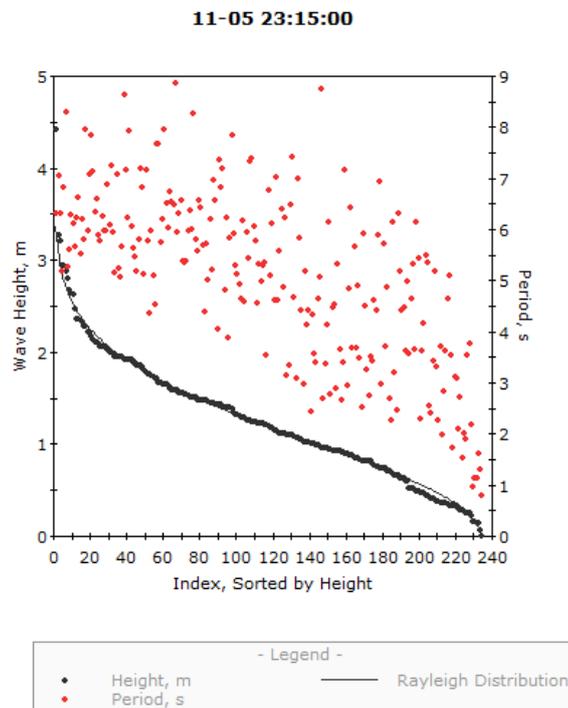
As Figuras 4.21 e 4.22 mostram as distribuições de frequência das alturas das ondas contidas nos respectivos trens de ondas.

Tabela 4.21 – Dados das maiores ondas registradas no mês de novembro

Novembro		
Ano	1999	2000
Horário	23:15	14:25
$H_{máx}$ (cm)	443	948
$T_{máx}$ (s)	6,3	13,4
$2H_{1/3}$ (cm)	406	300
$H_{máx} - 2H_{1/3}$ (cm)	37	648
$H_{1/3}$ (cm)	203	150
$T_{1/3}$ (s)	6,3	6,4
$H_{méd}$ (cm)	127	93
$T_{méd}$ (s)	5,1	4,9
Nº de ondas	234	242

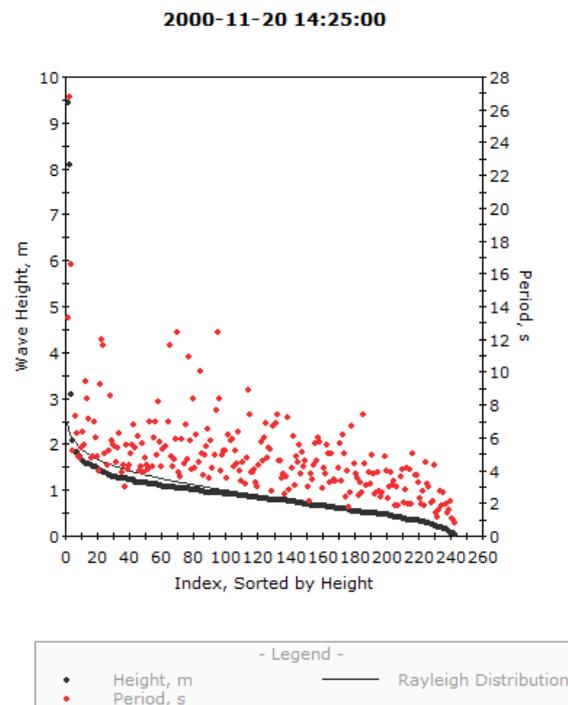
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.21 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 23h 15min de 05/11/1999



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.22 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 14h 25min de 20/11/2000



Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de novembro foi no ano de 2000, essa onda tinha 9,48 metros e um período de trem de onda longo, com 13,4 segundos, cujo trem de ondas possuía 242 ondas.

A Tabela 4.22 mostra os valores das maiores ondas registradas das observações do ondógrafo no mês de dezembro dos anos 1997, 1998, 1999 e 2000.

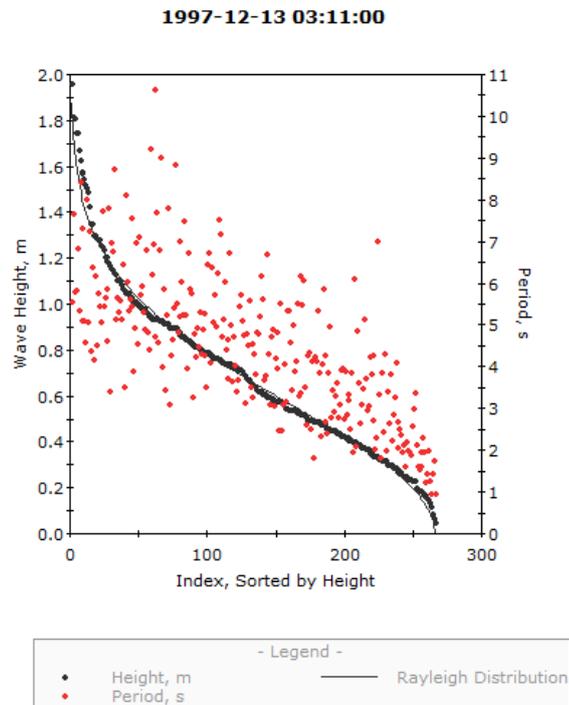
As Figuras 4.23 a 4.26 mostram as distribuições de frequência das alturas das ondas contidas nos respectivos trens de ondas.

Tabela 4.22 – Dados das maiores ondas registradas no mês de dezembro

Dezembro				
Ano	1997	1998	1999	2000
Horário	03:11	06:05	02:43	08:47
$H_{máx}$ (cm)	196	335	1548	1081
$T_{máx}$ (s)	5,6	6,4	15,3	16,3
$2H_{1/3}$ (cm)	224	354	314	304
$H_{máx} - 2H_{1/3}$ (cm)	-28	-19	1234	777
$H_{1/3}$ (cm)	112	177	157	152
$T_{1/3}$ (s)	5,9	6,1	6,1	7,8
$H_{méd}$ (cm)	70	115	90	92
$T_{méd}$ (s)	4,5	5	4,6	5,4
Nº de ondas	266	237	259	220

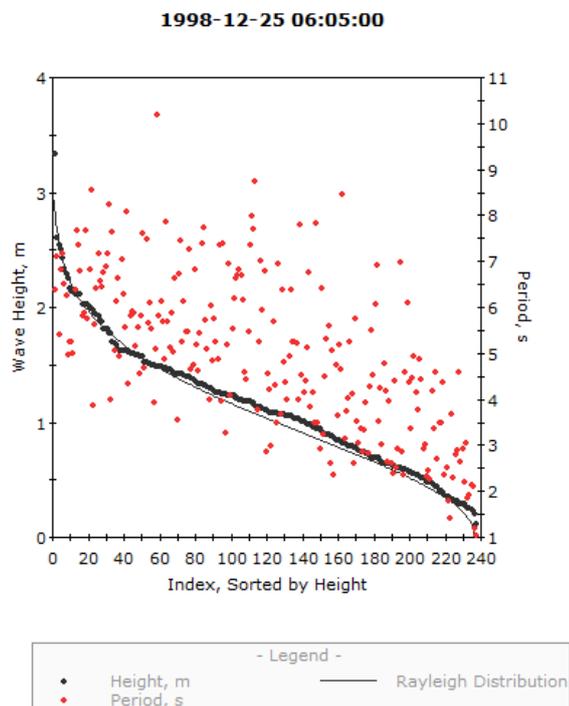
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.23 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 3h 11min de 13/12/1997



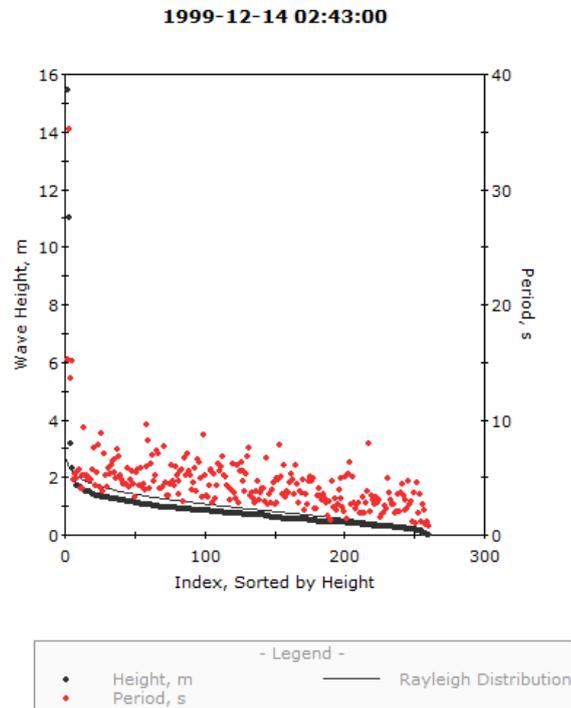
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.24 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 6h 05min de 25/12/1998



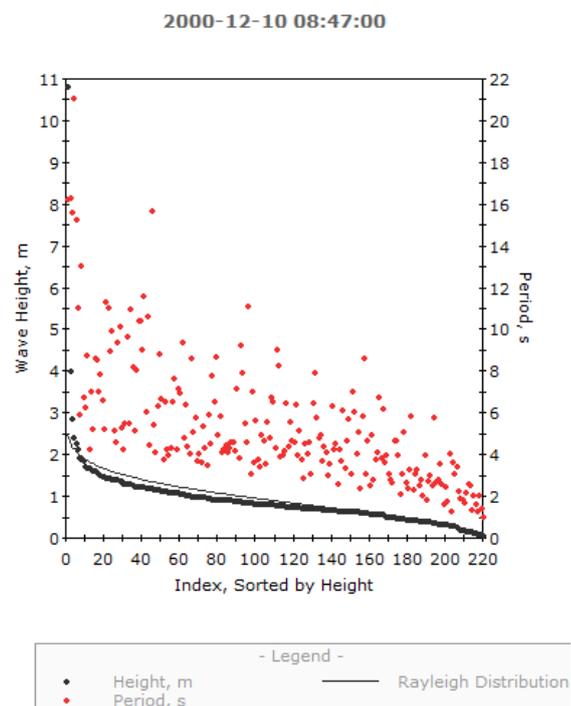
Fonte: Próprio autor.

Figura 4.25 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 2h 43min de 14/12/1999



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.26 – Distribuição de frequência das alturas das ondas do trem de onda das 8h 47min de 10/12/2000



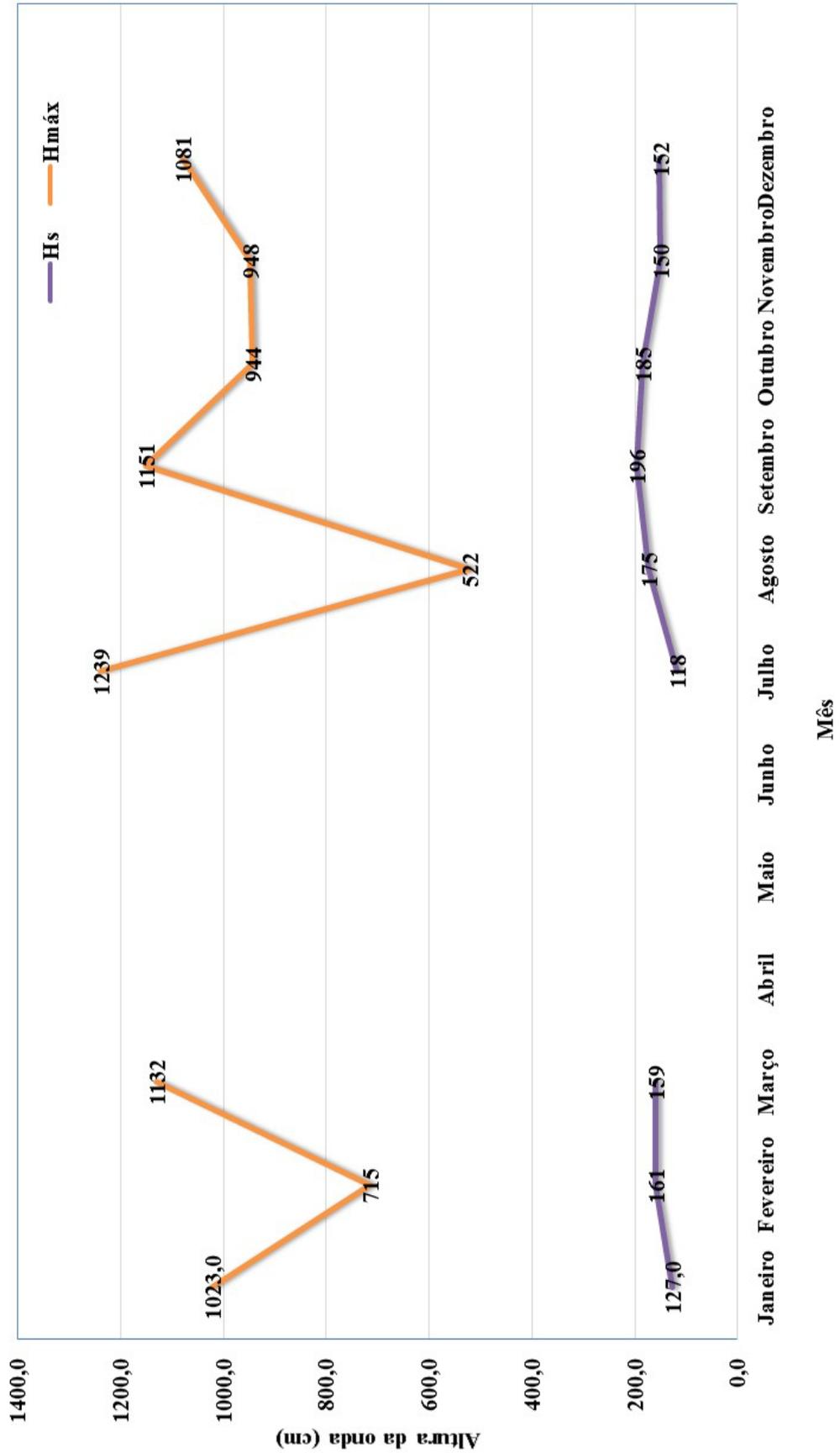
Fonte: Próprio autor.

A maior onda registrada no mês de dezembro foi no ano de 1999, essa onda tinha 15,48 metros e um período de trem de onda longo, com 15,3 segundos, cujo trem de ondas possuía 259 ondas.

Nos anos de 1997 e 1998, as respectivas ondas nesses anos, apesar de apresentarem grandes alturas, não são consideradas *rogue waves*, pois seus valores não superam o dobro da altura das ondas significativas.

Com o intuito de uma análise comparativa entre as alturas de ondas significativas e máximas, foi selecionado o ano que possuía mais dados de observações, o ano 2000, e elaborado um gráfico com essa comparação (Figura 4.27).

Figura 4.27 – Altura Significativa (H_s) versus Altura Máxima ($H_{m\acute{a}x}$) do ano de 2000



Fonte: Próprio autor.

Após analisar a Figura 4.27 nota-se que todas as ondas máximas apresentadas são também *rogue waves*, pois apresentam uma altura superior ao dobro de sua significativa. Assim conclui-se que esse ano apresentou ondas *rogue waves*.

5 CONCLUSÃO

Apesar da pesquisa ter sido realizada com informações sobre acidentes com pequenas embarcações na costa cearense, não foi possível se correlacionar a data de um acidente coberto pela imprensa com a data de possível *rogue wave* registrada no ondógrafo do Pecém, porém, a existência destas ondas na costa cearense pôde ser constatada pelos dados observados e talvez venha a ser a causa de alguns acidentes registrados com pequenas embarcações.

Este trabalho comprova a partir dos resultados, obtidos pela análise dos dados, a existência de *rogue waves* no nordeste setentrional brasileiro. Desta forma esse estudo contribui para um conhecimento mais amplo do regime de ondas do litoral do nordeste setentrional.

Também se conclui que a incidência do fenômeno das *rogue waves* é baixa em relação ao número total de ondas na região. Mas não se pode mencionar nada a respeito das *rogue waves* em águas profundas, pois a região é carente em equipamentos para essas medições e rotas marítimas que passem entorno dessa região.

O estudo mostra que os períodos de maior ocorrência da *rogue waves* é entre setembro a fevereiro, coincide com os acidentes com jangadas e a destruição de edificações na costa cearense, mas necessita-se de um estudo mais aprofundado nesse fenômeno para um melhor embasamento.

Deve se aplicar esse conhecimento como base para outros estudos a respeito desse fenômeno nessa região.

5.1 Sugestão para Trabalhos Futuros

Este trabalho teve a função de analisar dados de uma série de 1997 a 2001, e com isso caracterizar o regime de ondas na região, e paralelamente tentou analisar as suspeitas dos acidentes ocorridos no litoral cearense serem provenientes da *rogue waves*.

Uma análise remissiva com uma série mais longa de dados do ondógrafo, selecionando a partir de uma data conhecida de onda gigante observada por pescadores e jangadeiros na costa cearense traria um maior adensamento a essa pesquisa.

Também poderia tentar correlacionar as datas de grandes ressacas que destruíram barracas na zona costeira com as marés de sizígia e *swells* registrados pelo ondógrafo do Pecém.

De qualquer forma, a dissertação abriu caminho para esta linha de pesquisa sobre efeitos dessas ondas gigantes no litoral do Ceará.

REFERÊNCIAS

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emília. **Obras e Gestão de Portos e Costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2009.

Akhmediev, N.; Ankiewicz, A.; Taki, M. **Waves that appear from nowhere and disappear without a trace**. *Physics Letters A* – 373, v. 373, p. 2137-2145, 2009.

Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375960109004939>>. Acesso em: 6 out. 2017.

APEL, John R. **Principles of Ocean Physics**. 4. ed. Suffolk: St Edmundsbury Press Limited, 1995.

ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ, **Governo do Estado do Ceará – Secretaria de Infraestrutura**, Fortaleza, 2001.

BARONIO, Fábio; DEGASPERIS, Antônio; CONFORTI, Matteo; WABNITZ, Stefan. **Deterministic Vector Freak Waves**. Universidade de Bresci e Universidade de Roma, Bresci e Roma, Itália, 2012.

BESERRA, Eliab Ricarte. **Avaliação de Sítios para o aproveitamento dos Recursos Energéticos das Ondas do Mar**. 2007. 198 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Oceânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

CANDELLA, Rogério Neder; CANDELLA, Mariana Viviani. **Investigações sobre a ocorrência de ondas anormais em Arraial do Cabo, RJ**. *Revista Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro, v. 28, p. 551-561, 2010.

CAMOCIM ONLINE. **Pescadores de Camocim desaparecem**. 2014. Disponível em: <<http://www.camocimonline.com/2014/10/pescadores-de-camocim-desaparecem-apos.html>>. Acesso em: 07/01/2016.

CHM – Centro de Hidrografia da Marinha. **Cartas Raster**. 2016. Disponível em <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html>. Acesso em: 10/10/2016.

DATAWELL – LABORATORY FOR INSTRUMENTATION. **Operation and service manual for Directional Waverider Mark II**. 1996. 28 f. Manual directional waverider, Holanda, 1996.

DE PAULA, Davis Pereira. **Análise dos riscos de erosão costeira no litoral de Fortaleza em função da vulnerabilidade aos processos geogênicos e antropogênicos**. 2012. 328 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências do Mar, especialidade em Gestão Costeira), Universidade do Algarve, Portugal, 2012.

DE PAULA, Davis Pereira; DIAS, João M. Alverinho. **Estudo comparativo de duas praias urbanas afetadas por obras de defesa: Icarai-CE e Pau Amarelo-PE, Brasil.** In: VIII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, Universidade de Aveiro, Lisboa, Portugal, 2015.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Ressaca leva destruição e medo à Praia do Pecém.** 1999. Fortaleza, Ceará, 1999.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Ressaca destrói 13 barracos do Arpoador.** 1999. Fortaleza, Ceará, 1999.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Avanço do mar dificulta recuperação da Praia do Pecém.** 2000. Fortaleza, Ceará, 2000.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Mar destrói muro de casa no Icarai.** 2015. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/cidade/mar-destroi-muro-de-casa-no-icarai-1.1227248>>. Acesso em: 08/01/2016.

DIAS, Nilena Brito Maciel. **Influência do Regime Ondulatório sobre ‘Sea Wall’ de Proteção na Praia de Iparana - Caucaia - Ceará – Brasil.** 2005. 107 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

FIRMO, Bruno Arraes. **Análise do regime de ondas do Porto do Pecém para fins de estruturas hidráulicas.** 2011. 65 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2011.

FISCH, Caroline Izabel. **Caracterização do Clima de Ondas na Costa do Ceará.** 2008. 114 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Oceânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

FRANCO, Sebastião Romero; FARINA Leandro. **Shoaling of Nonlinear Steady Waves: Maximum Height and Angle of Breaking.** In: CONFERENCE APPLICATIONS OF MATHEMATICS, Institute of Mathematics CAS, Prague, 2015.

G1.GLOBO. **Capitania dos Portos do Ceará alerta para ressaca com ondas de até 2,5 m.** 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2016/10/capitania-dos-portos-do-ceara-alerta-para-ressaca-com-ondas-de-ate-25-m.html>>. Acesso em: 07/01/2016.

G1.GLOBO. **Litoral de Fortaleza tem elevação da maré e ondas de mais de três metros.** 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2016/04/litoral-de-fortaleza-tem-elevacao-da-mare-e-ondas-de-mais-de-tres-metros.html>>. Acesso em: 07/01/2016.

G1.GLOBO. **Força da maré derruba barracas e árvores em Aquiraz e Beberibe, no CE.** 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2016/10/forca-da-mare-derruba-barracas-e-arvores-em-aquiraz-e-beberibe-no-ce.html>>. Acesso em: 07/01/2016.

GOMES, Abílio Soares. **Ondas Marinhas.** 2003. 18 f. Notas de Aula do curso Bacharelado em Biologia Marinha, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003.

HOLTHUIJSEN, Leo H. **Waves in Oceanic and Coastal Waters.** 1 ed. New York: Cambridge University Press, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ceará.** 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?coduf=23>>. Acesso em: 10/10/2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ceará » São Gonçalo do Amarante.** 2016. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/e0r>>. Acesso em: 10/10/2016.

I. Nikolkina; I. Didenkulova. **Rogue waves in 2006–2010.** Natural Hazards and Earth System Sciences, v. 11, p. 2913–2924, 2011.

Disponível em: <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/2913/2011/nhess-11-2913-2011.pdf>>. Acesso em: 6 out. 2017.

KHARIF. C.; PELINOVSKY E. **Physical Mechanisms of the Rogue Wave Phenomenon.**

European Journal of Mechanics - B/Fluids, v. 22, p. 603-634, 2003.

Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0997754603000724>>. Acesso em: 6 out. 2017.

MAIA, Luís Parente. **Processos Costeiros e Balanço Sedimentar ao longo de Fortaleza (NE-BRASIL): Implicações para a Gestão adequada a Zona Costeira.** 1998. 257 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Geologia), Universidade de Barcelona, Barcelona, 1998.

Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/40/1/1998_Teselpmaia.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017.

MARCOLYRA.BLOGSPOT. **Avanço do mar: dissipador de energia Bagwall é uma alternativa eficaz.** 2012.

Disponível em: <<http://marcolyra.blogspot.com.br/2012/01/avanco-do-mar-dissipador-de-energia.html>>. Acesso em: 10/01/2017.

MELO, Elói Filho. **Investigações sobre a Análise da Agitação Marítima.** 1982. 133 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Oceânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1982.

Disponível em: <http://www.oceanica.ufrj.br/intranet/teses/1982_mestrado_eloimelo_filho.pdf>. Acesso em: 10/11/2016.

MELO, Elói Filho; ALVES, José Henrique G. de M. **Nota sobre a Chegada de Ondulações Longínquas à Costa Brasileira.** In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v. 5, Gramado. Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Gramado: ABRH, 1993. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313690326_Nota_sobre_a_Chegada_de_Ondulacoes_Longinquas_a_Costa_Brasielira>. Acesso em: 20 out. 2016. p. 362-369.

PITOMBEIRA, Erasmo da Silva. **Processos Litorâneos em Regiões Costeiras do Estado do Ceará.** 2005. 216 f. Trabalho de Livre Docência, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

PITOMBEIRA, Erasmo da Silva. **Relatório/Diagnóstico sobre os fenômenos Hidráulicos e Sedimentológicos ocorrentes na Embocadura do rio Mundaú - Ceará – Brasil.** 1995. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, Fortaleza, 1995.

PITOMBEIRA, Erasmo da Silva; MIRANDA, Paulo de Tarso Castro. **Projeto de Recuperação do Estuário do rio Mundaú, município de Trairi - Ceará – Brasil.** 1995. SEMACE, Fortaleza, 1995.

REGO, Valéria Souza. **Refração – Difração de Ondas Irregulares: Aplicação a Praia de Ipanema – Leblon.** 1982. 100 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Oceânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.

SURF-FORECAST. **Praia do Pecem Location Maps.** 2016. Disponível em: <<http://pt.surf-forecast.com/breaks/Praiado-Pecem>>. Acesso em: 10/01/2017.

VIEIRA, Luiz Alberto de Almeida. **Verificação e Comprovação das Modelagens Hidrodinâmica e de Transporte de sedimentos na área Costeira do porto do Pecém.** 2007. 208 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil – Área de Concentração Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.

VIEIRA, Luiz Alberto de Almeida; PITOMBEIRA, Erasmo da Silva; SOUZA, Raimundo Oliveira de. **Análise Estatística do Regime de Ondas ao longo da Região Marítima do Porto do Pecém.** In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo: ABRH, 2007.

U.S. Army Corps of Engineers. **Shore Protection Manual.** 4 ed. Washington: Department of the Army. CERC, 1984.

ANEXO A – RECORTE DO JORNAL DIÁRIO DO NORDESTE DE 26 DE OUTUBRO DE 1999.

Diário do Nordeste

Página 10

CIDADE

Fortaleza, Ceará - Terça-feira, 26 de outubro de 1999

Ressaca leva destruição e medo à Praia do Pecém

Ondas de até sete metros estão levando tudo que encontram pela frente na rua Otton de Carvalho, que os moradores chamam de Beira Mar, na Praia do Pecém. Todos foram unânimes em afirmar que sempre houve ressaca naquela praia, mas nunca nas proporções que aconteceu de domingo para segunda-feira. Quase nada restou do Bar Portal da Pedra que fica em uma das esquinas movimentadas do que antes era um calçadão. Há 40 anos no local, Geraldo Sampaio está com medo de ficar em casa, pois a água já entrou pelo seu quintal, chegando até a casa do vizinho dos fundos. "Hoje à noite vai ser pior", previu Geraldo. Em frente à sua casa, o que era calçada virou um amontoado de pedras. Segundo ele, até à tarde de ontem, nenhuma autoridade havia comparecido ao local para tomar ciência da situação.

O engenheiro civil Edirardo Santos, dono de um sobrado mais adiante, já estava preparando a festa de 20 anos de sua casa de praia.



Kid Júnior

Ondas derrubam casas na Praia do Arpoador

Se a classe média tentava segurar seus carros na Praia de Iracema, a periferia da cidade vivia o caos de perder suas casas e móveis com a ressaca do mar. Na Praia do Arpoador, no Pirambu, sete famílias ficaram desabrigadas, até o final da tarde de ontem, com o desabamento de suas casas devido às ondas. Por volta de 20 horas, moradores ainda ajudavam na remoção dos móveis dos desabrigados e anunciavam o desabamento de pelo menos mais cinco famílias.

A dona de casa, Silvia Helena Ribeiro morava num quartinho, que foi arrastado pelo mar. Ela vai permanecer por uma semana na casa de uma vizinha, mas se mostra reciosa porque o local também está na iminência de cair. Silvia conta que algumas pessoas estão tirando proveito da situação, cobrando aluguel de quartos e casas. Chegam a pedir até R\$ 30,00. "Não sei o que fazer da vida", desabafa.

Outro atingido com os desabamentos foi o bisca-

ele não queria sair do quartinho que divide com os familiares. "Só sei porque vi que o mar ia matar a mim, minha mulher e meus quatro filhos se continuassem ali".

Entre as famílias que vivem no bairro, 183 pescadores já estão fazendo um mutirão, com apoio da Cohab, para morar na rua Francisco Calago, na Colônia. Outras famílias devem ir para o Conjunto Vila Velha, mas não sabem quando nem como.

A coordenação desses mutirões é da presidente da Associação de Moradores, Ana Luiza de Lima Ribeiro. Mas algumas pessoas da região questionam seu trabalho. Entre elas está o pescador Silvano Matos da Silva. Ele mora há 20 anos na área e sua casa está quase caindo.

Ele está inscrito na Cohab, no entanto diz que seu nome não consta entre os 183 pescadores que vão para o mutirão. Ele afirma que o mutirão está sendo destinado apenas para os que são amigos da líder comunitária.

EXPECTATIVA - Para

Fonte: DIÁRIO DO NORDESTE, 1999.

ANEXO B – RECORTE DO JORNAL DIÁRIO DO NORDESTE DE 28 DE OUTUBRO DE 1999.

Diário do Nordeste

Página 12 CIDADE Fortaleza, Ceará - Quinta-feira, 28 de outubro de 1999

Projeto Costa Oeste vai atingir 3 mil famílias

André Lima



O projeto de construção de uma espécie de Avenida Beira-Mar no lado oeste da Cidade — começando a partir do Kartódromo, e se estendendo até o Pólo de Luzer, Barra do Ceará —, está sendo debatido desde o ano de 1996, mas até hoje o governo estadual insiste em não dar detalhes sobre o assunto. No entanto, as lideranças comunitárias da região, que participam do Movimento em Defesa do Povo da Avenida Costa-Oeste, Leste-Oeste, Barra do Ceará e Pirambu, cobram dos órgãos envolvidos uma resposta para o documento elaborado em 1997, contendo as reivindicações das famílias que serão atingidas pelas obras da Avenida Costa-Oeste.

De acordo com o projeto inicial, cerca de duas mil famílias teriam que deixar suas casas, principalmente às que estão mais próximas da beira da praia. Após uma retopografia recente, feita por técnicos da uma firma contratada pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano (SDU), a coordenadora do movimento, Fátima Maria Alves, acredita que uma média de três mil famílias serão transferidas, já que a medi-

reitos Humanos da Arquidiocese (CDPDH), José Roberto Matos Cabral, resalta que, no documento produzido em 1997, está explícito o desejo da urbanização da área, desde que fique assegurado o direito dos moradores antigos da região. Ele informa que os técnicos que visitam às famílias fazem terrorismo. O medo das pessoas é de serem levadas para longe, distante do lugar onde a maioria tira seu sustento.

Todas essas questões serão discutidas na Ouvidoria Geral do Estado, que promoverá uma audiência para discutir o Projeto Costa Oeste, no próximo dia quatro, às 14h30min, no auditório da sede, no Palácio da Abolição.

O evento contará com a participação do Conselho Estadual de Direitos Humanos, do secretário da Infra-Estrutura, Maia Júnior, representantes da Arquidiocese, Ordem dos Advogados do Brasil (OAB), Ministério Público, moradores, entre outros.

A reportagem do *Diário do Nordeste* procurou a assessoria de imprensa da SDU a fim de ouvir mais detalhes sobre o projeto. Através do

Ressaca destrói 13 barracos no Arpoador

Os transtornos gerados pela maré alta, a partir do último domingo, prosseguindo até à tarde de terça-feira passada, ainda eram visíveis no dia de ontem. No Arpoador, os moradores atingidos pela ressaca apresentavam um semblante de tristeza e desolação. Onze barracos localizados em cima da barreira caíram, mas foram 13 o total de famílias obrigadas a se retirar do local próximo à praia. Mesmo assim, na área de risco ainda existem cerca de 120 casebres.

Na última terça-feira, as ondas chegaram a subir seis metros, deixando espantados os moradores. Quando a maré bateu de frente à praia, arrastou o que encontrou, inclusive as jangadas que estavam paradas na areia.

As fortes ondas apavoraram a vendedora de sapatos, Terezinha Alves Pereira, moradora do Arpoador há 16 anos, mãe de

truição, pelo menos enquanto as casas do mutirão não fiquem prontas", deseja. O mutirão a qual ela se referiu trata-se do localizado na Rua Francisco Chilaça, construído pela Companhia de Habitação do Ceará (Cohab), destinado a 183 famílias.

As famílias que perderam seus barracos transferiram-se para a casa de parentes e amigos nas proximidades. Uma delas foi a de Maria Helena da Silva, 29, mãe de três filhos. Da casa de tijolo, com três cômodos, só restaram o piso e as lembranças.

Ela disse que o marido só construiu a casa no local porque achava ser distante do mar. "Ninguém imaginava que as ondas chegassem por aqui", falou.

Contou ainda que tinha um quintal grande, que também foi engolido pela ressaca de janeiro passado.

O chefe da Divisão de Planejamento e Coordena-

Fonte: DIÁRIO DO NORDESTE, 1999.

ANEXO C – RECORTE DO JORNAL DIÁRIO DO NORDESTE DE 20 DE DEZEMBRO DE 2000.

Página 10

CIDADE Fortaleza, Ceará - Quarta-feira, 20 de dezembro de 2000

Avanço do mar dificulta recuperação da Praia do Pecém

Trecho da Praia do Pecém está sendo recuperado, mas o mar não dá tréguas. Populares dizem que a obra não passa de extravagância do Governo que "deve ter dinheiro pra jogar fora. Não vê que não vai segurar?" Já os técnicos afirmam que a obra terá o mesmo êxito de outras executadas na Caponga do Peixe, Mundauá e atrás do Lote Clube.

Há três anos começou a apreensão dos moradores, com o rápido avanço do mar. Há 30, entre as casas e o mar a distância era de 400 metros, onde havia uma lagoa de água doce e um campo de futebol. Em novembro de 1999, a população local viveu dias de horror.

A fúria das águas continuou até abril deste ano. O mar chegou na praça da igreja de São Luiz Gonzaga. Ondas muito altas derubaram casas de veraneio como as de Artamilke (Milcinha) Guedes Lobo e de José Lino da Silveira.

As obras de recuperação da praia começaram em agosto. Trata-se de projeto da Semace, o órgão ambiental do Estado, e do Dert. A favor da desconfiança de José Brito, para quem aquilo é puro "jogar dinheiro fora",

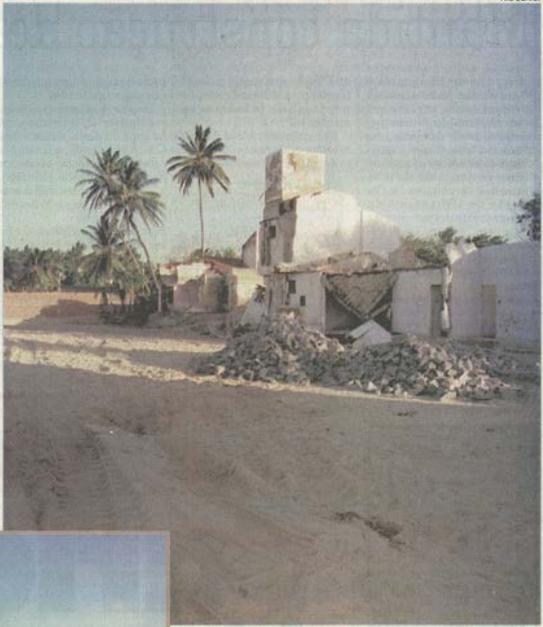
estrago, mas afirma que a experiência de outras praias garante o sucesso no Pecém. Serão 4 espigões, cada um com 30 metros adentrando o mar. Os "colchões" de pedra, para conter o avanço das águas e reter a areia, têm 30 centímetros de altura e 12 metros mar a dentro.

Esta estrutura de pedra e aço é colocada sobre o "bidin", um tecido permeável que ajuda a reter a areia entre as pedras. "Hoje o pessoal praticamente desafia a natureza", diz o encarregado. Ele não sabe precisar o prazo de término das obras.

Flávio Marques de Assis, 50 anos, nove dos quais trabalhando como pescador, atribui a violência do mar "ao tempo". Segundo ele, o avanço do mar começou há muito tempo, mas sua velocidade cresceu há dois anos. Ele não crê que o "quebra-mar" resolva o problema. Concordam com ele Antonio Santos da Silva, 22 anos de pesca, e Fernando Ferreira, nasci-

Aratijo. Ele é técnico do Instituto de Pesquisa Hidroviária. Este tipo de onda retira a areia do litoral, dada sua intensidade, diz ele.

Tais explicações são insuficientes para o tamanho do desgosto de proprietários como dona "Milcinha" Lobo. Sua casa em formato do Pantoon romano, cercada de colunas, foi construída aos poucos. Abrigou três gerações. Relata que não foi fácil ver destruí-la rapidamente a edificação feita por seu marido Glaucio Lobo, hoje falecido. "A praia ficava ao longe", diz ela, lembrando os fins de semana em que para lá se dirigia com o marido e os filhos, amigos e parentes.




O avanço do mar começou há três anos. Em novembro de 1999 o mar chegou à praça da igreja de São Luiz Gonzaga e ondas muito altas dançificaram e até derubaram várias casas de veraneio (acima). Em agosto último foram iniciadas as obras de recuperação. Serão 4 espigões, cada um com 30 metros adentrando o mar, além de "colchões" de pedra, para conter o avanço das águas e reter a areia (ao lado).

Fonte: DIÁRIO DO NORDESTE, 2000.