



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANTÔNIA PAMELA YHAOHANNAH DE LIMA

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINA EM LINGUAGEM MATLAB
PARA PROCESSAMENTO DE DADOS DE ONDAS GERADAS
PELO VENTO**

BELÉM - PA
ABRIL - 2016

ANTÔNIA PAMELA YHAOHANNAH DE LIMA

DESENVOLVIMENTO DE ROTINA EM LINGUAGEM MATLAB PARA
PROCESSAMENTO DE DADOS DE ONDAS GERADAS PELO VENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Oceanografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Msc. Thaís Angélica da Costa Borba.

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic.

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Lima, Antônia Pamela Yhaohannah de, 1993 -

Desenvolvimento de rotina em linguagem Matlab para processamento de dados de ondas geradas pelo vento / Antônia Pamela Yhaohannah de Lima. – 2016

86 f : il.; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientadora: Thais Angélica da Costa Borba

Coorientador: Marcelo Rollnic

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2016.

1. Ondas de superfície (Oceanografia). 2. Ondas de superfície (Oceanografia) – Modelos matemáticos. I. Título.

CDD 22 ed. 551.463

ANTÔNIA PAMELA YHAOHANNAH DE LIMA


DESENVOLVIMENTO DE ROTINA EM LINGUAGEM MATLAB PARA
PROCESSAMENTO DE DADOS DE ONDAS GERADAS PELO VENTO


Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Oceanografia
do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Pará – UFPA,
como requisito para a obtenção do grau de
Bacharel em Oceanografia.


Data de aprovação: 25 / 04 / 2016


Conceito: Excelente

Banca examinadora:


Msc. Thais Ângela da Costa Borba - Orientadora
Mestre em Geofísica Marinha
Universidade Federal do Pará


Prof. Dr. Marcelo Rollnic - Coorientador
Doutor em Oceanografia
Universidade Federal do Pará


Msc. Yuri Onça Prestes - Membro
Mestre em Oceanografia
Universidade Federal de Pernambuco


Prof. Dr. Alexandre Melo Casseb do Carmo - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Aqueles a quem este conhecimento venha a ser
construtivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me concedido todas as oportunidades que me permitiram ir em busca do conhecimento. Por guiar meus caminhos e não permitir que eu fraquejasse, mesmo nos momentos de incertezas.

À minha mamãe Rose Lima, que sempre foi o meu pilar. Ela que me ensinou muito mais do que qualquer fórmula ou gramática, que me ensinou que para ser o que queremos ser é preciso perseverar e continuar mesmo diante das dificuldades, que me ensinou a ser humana antes de tudo. Essa conquista é para essa “grande” mulher que foi e para sempre será a minha motivação, àquela a quem quero orgulhar.

Agradeço aos amigos/irmãos que a vida me deu Nerllem Maschmann, Ana Beatriz, Eduardo Teixeira, Layse Holanda e Carina Coutinho. Agradeço pelo abrigo, pelo cuidado, pelo carinho, pela paciência infinita, pelos conselhos, pelos abraços e pela amizade tão grande. Também agradeço pela amizade de Bella Feitosa, Preta, Eva Tolvana e Ary, por me aguentarem com a minha infinita chatice e questionamentos, por estarem sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis, com seus dons de me acalmar e fazer rir diante de situações complicadas.

Aos amigos que a graduação em Oceanografia me proporcionou, que em breve terei o prazer de chamar de oceanógrafos, Heriton Kevin, Lizandra Baía, Thiago Monteiro, Paulo Roberto, Carolina Cidon e Stéfany Matos, agradeço pelo aprendizado e crescimento não só intelectual, mas como pessoa. Em especial agradeço a Gabriela Souza, Leandro Santana, Arthur Romanof e Rafaela Cristiny pelos conselhos, pelo apoio, pelas conversas, pelas brigas quando necessárias e pelo incentivo a continuar e ter forças quando as coisas pareciam difíceis.

Aos integrantes do Laboratório de Oceanografia Física e do de Geofísica Marinha, pela troca de conhecimento, pelas oportunidades de aprendizado e pelos momentos de descontração.

Aos professores que me orientaram Thaís Borba e Marcelo Rollnic, sem os quais a execução desse trabalho seria praticamente impossível. Agradeço pela confiança depositada, pelas instruções pertinentes, pela transmissão de conhecimento e pelo tempo dispensado à minha orientação.

Aos demais professores do curso de Oceanografia pela minha edificação rumo a ser um profissional na área. Em especial a Luiza Nakayama e Suzana Bittencourt, que me proporcionaram o meu primeiro estágio em laboratório e com as quais eu aprendi muito.

A minha família, em especial aos meus avós, ao meu irmão e a minha tia-madrinha, que entenderam os momentos em que precisei estar ausente, agradeço pela paciência.

E a todos que participaram dessa conquista direta ou indiretamente, agradeço pelo incentivo.

“Por vezes são as pessoas de quem ninguém imagina nada,
que realizam as coisas que ninguém imagina.”

Joan Clarke

RESUMO

A determinação dos parâmetros de ondas como altura significativa, altura máxima, período significativo, comprimento e profundidade é relevante na caracterização do estado do mar, pois possibilita identificar a contribuição destes para o clima de ondas de determinada região. As imagens de satélite e a modelagem computacional são ferramentas muito utilizadas na caracterização dos parâmetros de um campo de onda, no entanto, dependem da coleta de dados *in situ* para obter respaldo quanto à precisão dos dados. As amostragens *in situ* podem ser realizadas por boias oceanográficas, ondógrafos ou por equipamento que possuem sensores de pressão, sendo que este último é uma alternativa ao elevado custo da implantação de boias. Contudo, os sensores de pressão, não dispõem de programas ou sistemas para o processamento dos dados. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver rotinas baseadas em linguagem MatLab, com foco de aplicação para a zona costeira amazônica, como uma metodologia alternativa para processamento e análise de dados de ondas. As coletas foram realizadas entre os anos de 2011 e 2015, em 3 ambientes distribuídos ao longo da zona costeira amazônica, que apresentam características distintas, devido ao grau de exposição destes ao contato com o oceano. Os instrumentos equipados com sensores de pressão foram fundeados e programados para executar medições em frequência amostral de 0,1 e de 0,5 s. Foram desenvolvidas duas funções, sendo que, a primeira processou os dados de entrada obtidos pelo equipamento e pré-tratados, resultando nos parâmetros altura significativa, altura máxima, período significativo, comprimento e profundidade, empregados na aplicação da Teoria Linear de Airy, que constitui a segunda função. Estas funções foram submetidas a testes estatísticos para comparação entre os métodos de coleta e validação dos resultados. Os testes estatísticos apresentaram que os registros de onda obtidos em 30 minutos de coleta representam 95% dos dados amostrados em 1 hora de coleta e que os dados coletados a cada 10 minutos representam 90% dos amostrados durante 1 hora. A média dos resultados obtidos para altura significativa e período significativo pelos métodos do zero ascendente e do zero descendente foram semelhantes. Os valores calculados para altura significativa e período significativo da onda, corroboram com aqueles presentes na literatura, validando a eficiência de aplicação da rotina desenvolvida para o tratamento de dados de ondas ocorrentes na região amazônica.

Palavras-chave: Teoria Linear de Airy. Parâmetros de onda. Região Amazônica.

ABSTRACT

The determination of the waves' components as significant height, height maximum, significant period, length and depth is relevant to the characterization of the sea state since it gives the possibility of identifying their contribution to the wave climate of a particular region. The satellite images and the computational simulation are very used tools in the characterization of the parameters of a wave field; however, it depends on the data collection *in situ* to obtain a great level of data certainty. The samples *in situ* can be approached by oceanographic buoys, ondographos or by an equipment that has a pressure sensor, the last one is a good alternative to the elevate cost of the implementation of the buoys. However, pressure sensors, it does not presents programs or systems that can work with this procedure. The objective of the present study was to develop routines on MatLab language, focusing on the Amazon coastal area as an alternative methodology to the processing and analysis of this data. The data collection was done between the years 2011 and 2015 in 3 environments distributed throughout the Amazon coastal zone, which have different characteristics due to the degree of exposure of these to contact the ocean. The instruments equipped with pressure sensors were anchored and programmed to execute measurements on sample frequency of 0.1 and 0.5 s. Were developed two different functions, the first one processed the data entry obtained from the equipment and pre-treated, resulting in the parameters significant height, height maximum, significant period, length and depth, based on the Linear Theory of Airy, which is the second function. These functions were submitted to statistical tests to the comparison between the methods of collection and the results' validation. The statistical tests portrayed that the waves' registers obtained in thirty minutes of collection represent 95% of the data sampled in one hour of collection and that the data collected in each ten minutes represent 90% of the data in one hour. In addition, the average of the results obtained to the significance height and significant periods from the methods of the ascended zero and the descended zero were similar. The values of significant height and Significant wave period, are the same at those represented by the literature, thus validating the application of the developed routine for the treatment of waves on the Amazon region.

Keywords: Airy Linear Theory. Wave Parameters. Amazon region.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Classificação das ondas baseada no período	17
Figura 02 - Parâmetros básicos das ondas oceânicas.	19
Figura 03 - Direção de propagação da onda e desrescimento exponencial dos orbitais de acordo com o aumento da profundidade.....	23
Figura 04 - Mapa de localização da área de estudo na costa nordeste do estado do Pará. A) Ilha de Mosqueiro na Baía de Marajó; B) Estuário Mojuim-Mocajuba e C) Ilha de Algodual.	28
Figura 05 - Instrumentos equipados com sensor de pressão, utilizados na coleta de dados de onda.	31
Figura 06 - Mapa de distribuição dos pontos na área de coleta localizada na Ilha de Algodual, PA- Brasil.	33
Figura 07 - Sinal da onda extraído do sinal da maré, a partir dos dados coletados na Praia da Caixa d'água – Ilha de Algodual, PA-Brasil, durante o período seco.	34
Figura 08 - Pontos de cruzamento do zero ascendente, após a aplicação do método de mesmo nome, no perfil de onda da Praia da Caixa d'água – Ilha de Algodual, PA-Brasil, durante o período seco.	36
Figura 09 - Pontos de cruzamento do zero descendente, após a aplicação do método de mesmo nome, no perfil de onda da Praia da Caixa d'água – Ilha de Algodual, PA-Brasil, durante o período seco.	37
Figura 10 - Pontos máximos e mínimos do perfil de onda da Praia da Caixa d'água – Ilha de Algodual, PA-Brasil, durante o período seco	38
Figura 11 - Variação da profundidade dada pelo equipamento em função do tempo de coleta, apresentando o sinal de Maré da Ilha de Mosqueiro, Baía de Marajó, PA-Brasil	53
Figura 12 - Variação da profundidade dada pelo equipamento e da profundidade filtrada em função do tempo de coleta, no sinal de Maré da Ilha de Mosqueiro, Baía de Marajó, PA-Brasil.	54
Figura 13 - Variação da amplitude de onda para a Ilha de Mosqueiro, Baía de Marajó, PA-Brasil, a partir da relação entre o nível da água em função do tempo de coleta.....	55
Figura 14 - Variação da amplitude de onda para a Praia da Princesa, Ilha de Algodual, PA-Brasil, a partir da relação entre o nível da água em função do tempo de coleta.....	56
Figura 15 - Distribuição dos pontos de zero ascendente, no sinal de onda da Ilha de Mosqueiro, Baía de Marajó, PA-Brasil.	57

Figura 16 - Distribuição dos pontos máximos e mínimos do sinal de onda da Ilha de Mosqueiro, Baía de Marajó, PA-Brasil.	58
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 JUSTIFICATIVA	13
3 OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GERAL.....	16
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4 REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1 PROPRIEDADES DAS ONDAS DE SUPERFÍCIE.....	17
4.2 TEORIAS PARA DESCRIÇÃO DO MOVIMENTO DAS ONDAS	20
4.2.1 TEORIA LINEAR DE AIRY.....	22
4.3 AMBIENTES COSTEIROS	24
4.3.1 PRAIAS OCEÂNICAS	24
4.3.2 ESTUÁRIOS	25
4.3.3 PRAIAS ESTUARINAS	26
5 METODOLOGIA	27
5.1 ÁREA DE ESTUDO	27
5.2 COLETA DE DADOS	31
5.3 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO.....	33
5.4 DESENVOLVIMENTO DAS ROTINAS	35
5.4.1 ANÁLISE DE ELEMENTOS DE ONDA	35
5.4.2 TESTES ESTATÍSTICOS	39
5.5 FLUXOGRAMA	40
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1 ROTINAS.....	42
6.2 TABELAS E GRÁFICOS	50
6.2.1 TABELAS	50
6.2.2 GRÁFICOS	52
6.3 TESTES ESTATÍSTICOS	58
6.3.1 RMSE	58
7 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	64

ANEXO A – FUNÇÕES UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DAS ROTINAS	72
ANEXO B – FUNÇÃO WEIM	74
ANEXO C – DESENVOLVIMENTO DA PRIMEIRA ROTINA, CONFORME ESTA FOI ESCRITA NO MATLAB	76
ANEXO D – DESENVOLVIMENTO DA SEGUNDA ROTINA, CONFORME ESTA FOI ESCRITA NO MATLAB	83
ANEXO E – COMO UTILIZAR A METODOLOGIA DESENVOLVIDA	85

1 INTRODUÇÃO

As ondas funcionam como elemento ativo na transferência de energia entre os sistemas terra-oceano e são geradas a partir da transferência de *momentum* entre dois fluidos de densidades diferentes (água e ar), além disso, constituem um dos principais agentes físicos que modelam os ambientes costeiros (PARISE, 2010).

A análise do clima de ondas oceânicas e os parâmetros determinantes na composição desses sistemas tais como: altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s), comprimento e profundidade, têm sido fonte de interesse para o desenvolvimento de estudos em diversas áreas da Engenharia e das Ciências do Mar, dada à significativa influência que exercem sobre os processos de sedimentação e erosão e à ampliação na quantidade de projetos implantados nos ambientes litorâneos (BATISTA; SOUZA FILHO; SILVEIRA, 2009).

A importância deste aspecto hidrodinâmico ainda vai além. Os trabalhos de Mendes (2012) e Mendes, Calado e Mariano (2012) demonstram que no cenário atual, os estudos sobre ondas também são aplicados ao desenvolvimento de fontes de energia elétrica alternativas, à navegação, à exploração de hidrocarbonetos em águas profundas e à gestão de ocupação das zonas costeiras.

A determinação dos componentes de ondas é fator relevante para uma caracterização muito mais realística do estado do mar, pois possibilita identificar a contribuição de cada parâmetro para o clima de ondas da região (CARVALHO, 2010). Além disso, este conhecimento pode contribuir para a compreensão dos processos físicos que atuam no ambiente e para a implantação e gerenciamento de projetos associados às atividades que sofrem interferência da ação das ondas.

Desta forma, neste trabalho é apresentada uma ferramenta para processamento de dados baseada em linguagem MatLab, que visa facilitar a caracterização dos principais parâmetros de ondas geradas pelo vento e otimizar o tempo de tratamento desses dados, com centro de aplicação para a zona costeira amazônica. As rotinas desenvolvidas foram aplicadas ao tratamento de dados coletados *in situ* em ambientes amazônicos e os resultados gerados por estas foram submetidos a testes estatísticos.

2 JUSTIFICATIVA

No panorama atual, as ferramentas desenvolvidas para a caracterização dos parâmetros de um campo de onda envolvem, principalmente, o uso de imagens de satélite e da modelagem computacional. No entanto, estes métodos dependem em sua maioria da coleta de dados *in situ*, para obter respaldo quanto à precisão dos dados inferidos (MEIRELLES; VIOLANTE-CARVALHO, 2007; VIOLANTE-CARVALHO et al., 2010; GUIMARÃES; FARINA; TOLDO JUNIOR, 2014).

Diversos estudos como o de Straioto (2006), Strauch e Cuchiara (2009), demonstram que no tratamento dos dados coletados *in situ* as técnicas empregadas podem envolver a utilização de rotinas baseadas em linguagens de programação ou sistemas e programas de boias oceanográficas e ondógrafos, que realizam esse processamento.

No entanto, o alto custo financeiro da instalação e manutenção de boias oceanográficas limita a quantidade de áreas contempladas por esse instrumento. Uma alternativa a essa problemática consiste no uso de equipamentos que apresentam sensores de pressão para a coleta de dados *in situ* (ASSIS; BELUCO; ALMEIDA, 2013; ALMEIDA et al., 2015), todavia, a maioria deles não apresenta sistemas ou programas que realizem o processamento dos dados de onda. Neste caso, se faz necessário o desenvolvimento de metodologias para o tratamento desses registros.

Dentre as ferramentas que utilizam a linguagem de programação como recurso metodológico para análise de dados de ondas do mar, a mais disseminada na literatura e de estrutura bastante completa é o pacote WAFO (*Wave Analysis for Fatigue and Oceanography*), desenvolvido em linguagem MatLab e utilizado nos trabalhos de Campos (2009), Azaïs et al. (2011) e Santos et al. (2015).

No entanto, esse recurso tem como função principal a análise estatística e a simulação de onda e cargas aleatórias (BRODTKORB et al., 2000), sendo necessário a determinação prévia de parâmetros básicos de entrada como: altura significativa, período significativo ou período de pico e direção principal (SANTOS et al., 2015). Além disso, para usuários iniciantes e/ou que não são especialistas em estudos sobre ondas, o manuseio desta ferramenta pode apresentar certo grau de complexidade o que prolonga o tempo de análise dos dados.

A criação de rotinas que apresentam configuração simples ou adaptações de rotinas pré-existentes, que visam facilitar o processamento dos dados após a amostragem e também auxiliar no refinamento dos procedimentos de coleta, são alternativas que vêm sendo utilizadas em diversas análises, como demonstrado nos estudos de Pawlowicz et al. (2002), Pinho (2003), Pecly (2008), Wiberg e Sherwood (2008) e Dillon e Huang (2015).

No entanto, as modificações realizadas nesses *scripts* (rotina), por vezes, devem considerar a área em que os dados foram coletados, pois aspectos meteorológicos e componentes hidrodinâmicos variantes, como: ventos, correntes e marés influenciam nas características do registro.

Neste sentido, a proposta de criação de uma rotina para tratamento de dados de onda na região amazônica deve considerar o que é apresentado nos estudos de Souza Filho e El-Robrini (1996), Sousa (2008), Pereira et al. (2012) e Nascimento et al. (2013), que assinalam essa região como detentora de parâmetros únicos.

Os ambientes altamente modificados pela interação entre o ar, a terra e o mar, a grande descarga dos rios Amazonas e Pará no oceano, a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) nos aspectos meteorológicos e a sazonalidade pluviométrica marcante da área, são as características peculiares à região ressaltadas nas pesquisas desses autores.

As condições meteorológicas e os componentes hidrodinâmicos como: ventos, correntes e marés são relevantes na caracterização da área e do regime de ondas. As correntes alteram a propagação das ondas podendo funcionar como barreiras destrutivas quando ocorrem em direção oposta a estas ou como forçantes construtivas quando ocorrem na mesma direção (TAYLOR, 1955). Segundo Battjes (1981), as correntes de maré também atuam sobre a magnitude das ondas, durante um ciclo de maré a altura significativa mensurada na vazante é diferente da mensurada na enchente, sendo que durante a preamar a altura de onda é maior do que na baixamar, devido à intensidade das correntes de maré.

Os componentes hidrodinâmicos para essa área apresentam regime de meso a macromarés, semidiurnas e assimétricas, com máres de vazante mais longas do que as de enchente (FRANÇA et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2013; PEREIRA et al., 2013) e correntes, com padrões de circulação para noroeste durante a vazante e para sudeste durante a enchente (PEREIRA et al., 2013). Além disso, os ventos participam na formação das ondas

que associadas as condições morfológicas da área, geram as correntes de deriva litorânea e transportam sedimento da plataforma em direção à costa (GEYER, 1991).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente trabalho visou criar um pacote de rotinas em linguagem MatLab, para o tratamento de dados de onda obtidos por instrumentos fundeados e equipados com sensores de pressão, tendo como foco de aplicação a zona costeira amazônica.

3.2 Objetivos específicos

- Criar rotina em linguagem MatLab para determinar parâmetros de ondas geradas pelo vento;
- Realizar testes estatísticos nos resultados obtidos pelo pacote de rotinas e simular diferentes metodologias para a coleta dos dados *in situ*;
- Estabelecer padrões de coleta dos dados de onda, com base nos resultados dos testes estatísticos;

4 REFERENCIAL TEÓRICO

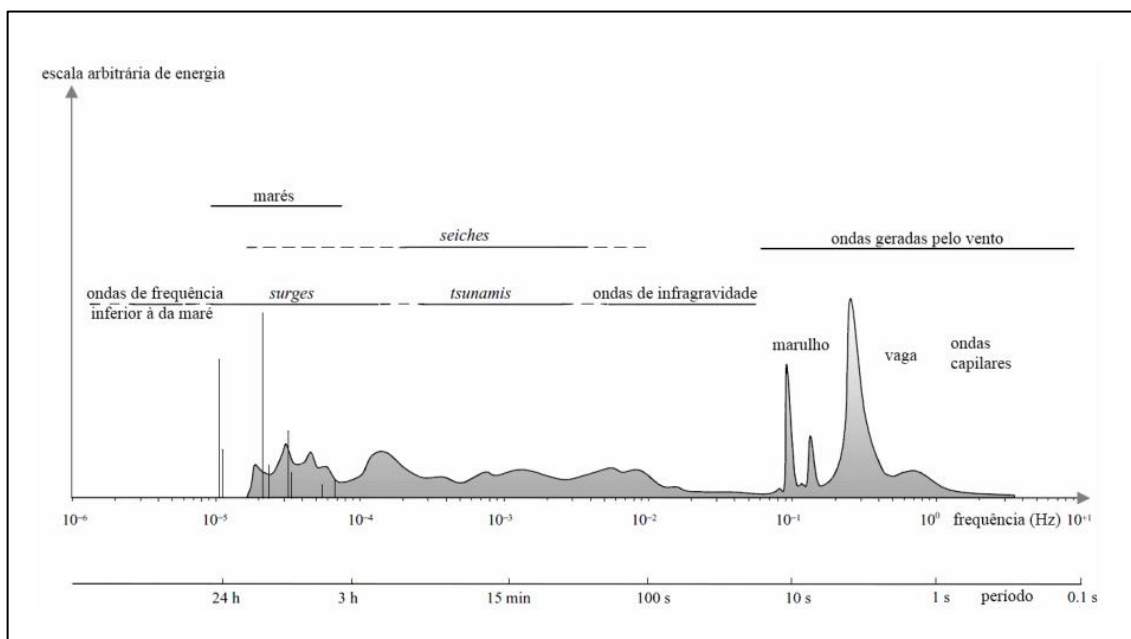
Ao longo deste tópico é apresentado o embasamento teórico sobre ondas oceânicas de superfície, algumas teorias de descrição do movimento da onda e uma caracterização de determinados tipos de ambientes encontrados na região amazônica.

4.1 Propriedades das ondas de superfície

As ondas são perturbações no estado de equilíbrio de um meio e se propagam transportando, basicamente, energia. Estas deformações são controladas por forças que agem de tal modo que o equilíbrio no nível da superfície seja restabelecido (forças restauradoras), ou deturpado (forças perturbadoras); a ação conjunta dessas forças é responsável pela característica oscilatória do movimento das ondas (DEAN; DALRYMPLE, 1991; HOLTHUIJSEN, 2007).

A origem dessas forças está associada a processos naturais que servem como parâmetro para a categorização do tipo de onda formada. Além disso, propriedades características da onda tais como período e comprimento também exercem essa função classificatória (Figura 1) (HOLTHUIJSEN, 2007).

Figura 02 - Classificação das ondas baseada no período.



Fonte: Modificado de Holthuijsen (2007)

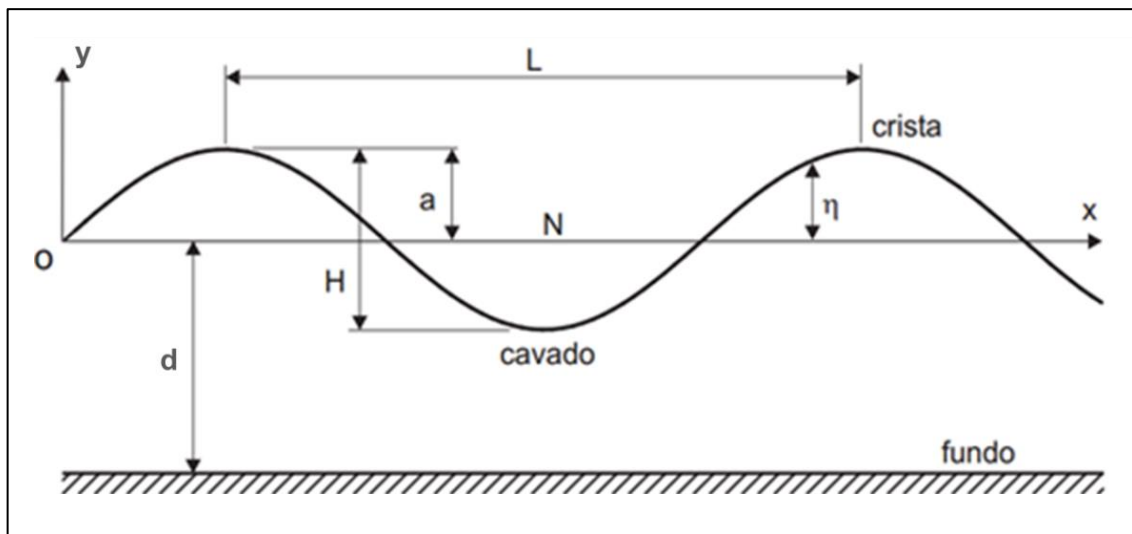
Desta forma, segundo Holthuijsen (2007), as ondas podem ser distribuídas em:

- Ondas capilares: são formadas pela tensão superficial da água, apresentam períodos inferiores a $1/4$ s e comprimento de onda menor que aproximadamente 1,7 cm;
- Ondas geradas pelo vento: apresentam período menor que 30 s, no entanto, quando ocorre predominância da gravidade em sua formação, estas passam a serem chamadas gravitacionais de superfície e seus períodos são maiores do que $1/4$ s. Além do mais, enquanto estas ondas estão sendo geradas pelo vento presente em um local elas são classificadas como vagas ou *wind sea*, a partir do momento em que não estão mais relacionadas ao vento de origem ou deixam a área de sua formação, elas passam a ser denominadas como marulhos ou *swell*;
- Ondas de infragravidade: são formadas por um grupo de ondas geradas pelo vento e apresentam períodos superiores a 1 minuto;
- *Seiches*: são ondas usualmente geradas no mar aberto, a origem das quais não é bem compreendida, embora algumas possam ser identificadas como provenientes de eventos de tempestade. A amplitude dessas ondas pode alcançar 1 m ou mais em algumas regiões;
- *Tsunamis*: são ondas formadas geralmente por tectonismo de placas, no entanto, sua origem também pode estar relacionada a deslizamentos de terra e impactos de meteorito. Os *tsunamis* apresentam períodos de até meia hora e em alto mar possuem comprimento de onda entre 10 e 500 km, sendo que, em águas rasas próximas a região costeira, podem alcançar cerca de 50 m de altura, como ocorreu no Alasca durante o maior *tsunami* já registrado (SILVEIRA; VARRIALE, 2005);
- Ondas de tempestade: apresentam comprimento de onda e período ligeiramente menor do que as marés e são construídas pela baixa pressão atmosférica e pelo vento forte que elevam em grande escala a superfície da água do oceano;
- Marés: são ondas geradas pela interação gravitacional entre a Terra e corpos celestes, Sol e Lua. As quais apresentam períodos que podem variar de algumas horas a pouco mais que um dia e comprimentos de onda entre algumas centenas e alguns milhares de quilômetros;

- Ondas trans-maré: são provocadas por flutuações de baixa frequência na crosta terrestre ou pela ação da Força de Coriolis (devido à rotação da Terra) e possuem períodos superiores àqueles característicos das marés, ou seja, mais que 24 horas.

Assim como as propriedades de onda supracitadas, a amplitude e a altura também são utilizadas na descrição desse componente hidrodinâmico. No modelo clássico de uma onda senoidal o comprimento de onda (L) é a distância entre dois pontos sucessivos e semelhantes, como entre duas cristas (ponto mais alto da onda) e dois cavados (ponto mais baixo); a altura (H) é a distância vertical-linear entre a crista e o cavado de uma onda individual e a amplitude (a) equivale à metade da altura, ou seja, a distância vertical-linear entre o nível médio da oscilação e a sua crista ou entre o nível médio da oscilação e o seu cavado (Figura 2) (TALLEY; PICKARD; EMERY; SWIFT, 2011).

Figura 02 - Parâmetros básicos das ondas oceânicas.



Fonte: Modificado de Carneiro (2007)

A partir desses parâmetros básicos, outros podem ser definidos, tais como o período (T), que corresponde ao intervalo de tempo decorrido entre a passagem sucessiva de dois pontos de mesma característica por um alvo fixo; a frequência (f), representada pelo número de pontos de mesma característica que passam por um alvo fixo em um intervalo de tempo pré-determinado; a velocidade de fase da onda ou celeridade (c), definida como a velocidade em que a crista ou o cavado se propagam eq.(1):

$$c = \frac{L}{T}$$

(1)

o número de onda (k), que corresponde ao número de onda por metro ou em uma distância de 2π eq.(2):

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

(2)

e a frequência angular (ω), que representa o número de ondas (ciclo) por segundo eq.(3):

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

(3)

As ondas de interesse para o presente estudo são as denominadas gravitacionais de superfície ou geradas pelo vento, pois possuem grande interação com a zona costeira e grande quantidade de energia. Os parâmetros destas dependem do tempo de duração, intensidade e tamanho da área em que o vento está atuando, caracterizando a chamada “Pista de vento” (POND; PICKARD, 1983).

A variabilidade destes fatores interfere nos parâmetros básicos da onda e conseqüentemente na descrição de outros elementos, tais como altura significativa, período significativo ou período de pico e direção de propagação da onda (POND; PICKARD, 1983).

De acordo com Holthuijsen (2007) a altura significativa de uma onda é a média das alturas de um terço das maiores ondas registradas em um determinado período de tempo e o período significativo é a média dos períodos de um terço das maiores ondas registradas em um determinado período de tempo.

4.2 Teorias para descrição do movimento das ondas

Dentro do estudo de ondas de superfície geradas pelo vento, foram desenvolvidas diversas teorias que possibilitam a descrição do movimento destas em águas. No entanto, a aplicação da teoria mais adequada para cada caso depende das características ambientais da

região de ocorrência e de parâmetros da onda, como: altura de onda, comprimento de onda e profundidade da coluna d'água (d) (CARNEIRO, 2007).

A teoria apresentada por Airy em 1845, conhecida como Teoria das Ondas de Pequena Amplitude ou Teoria Linear de Airy, é regida pela condição de que a altura de onda seja infinitesimalmente menor do que os demais principais parâmetros considerados na descrição do movimento, sendo aplicada em ondas de pequena amplitude. Essa teoria, posteriormente, passou a ser considerada em 1847 como a aproximação de primeira ordem da teoria de Stokes.

Em casos de não linearidade, como exemplo, o cisalhamento vertical causado pelas marés, a aplicação da Teoria de Stokes de segunda ordem resulta em uma representação mais realística do comportamento das ondas. Segundo Carneiro (2007), o emprego de tal teoria é feito conforme a altura de onda aumenta e a profundidade da coluna d'água diminui, sendo mais comumente usada para ondas de águas intermediárias ou rasas.

Além disso, o decréscimo de profundidade também é um aspecto que orienta à utilização da Teoria Cnoidal ou da Teoria da Onda Solitária. Os estudos de Svendsen (1974), Korteweg e de Vries (1985), Isobe (1985) apresentam a Teoria Cnoidal, destacando a interação das ondas com o leito. O desenvolvimento da Teoria da Onda Solitária, por sua vez, é exposto nos trabalhos de Boussinesq (1872) e McCowan (1891), que salientaram a não periodicidade e ausência de cavado destas ondas.

Neste contexto, ambas as teorias podem ser adotadas na caracterização do movimento de ondas de águas rasas, no entanto, a Teoria da Onda Solitária é mais apropriada para a descrição do movimento de ondas que estejam no limiar de arrebentação.

Em síntese, a configuração mais simples e a suposição de um fluido ideal (sem atrito) permitem à Teoria Linear de Airy uma extensa gama de aplicabilidade, fazendo dessa uma ferramenta efetiva na compreensão de vários fenômenos e na resolução de problemáticas (MEIRELLES; VIOLANTE-CARVALHO, 2007), sem que necessariamente sejam também aplicadas as demais teorias supracitadas.

4.2.1 Teoria Linear de Airy

A Teoria Linear de Airy admite que o meio de propagação da onda se trata de um fluido homogêneo, incompressível e irrotacional, para o qual a ação da tensão superficial e do Efeito Coriolis é desprezada. A pressão nessa superfície de propagação é uniforme e constante e a onda não interage com os demais movimentos do fluido, considerando ainda o leito como um contorno impermeável, plano, horizontal e fixo.

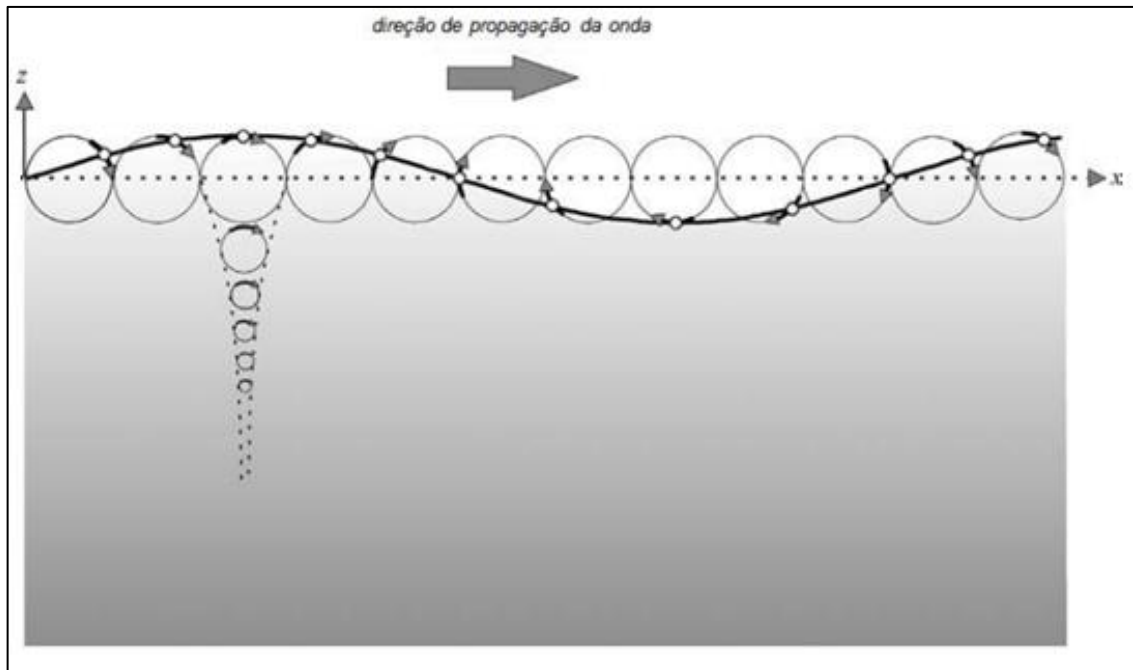
O emprego destas simplificações permite à onda linear de Airy ser descrita como uma única senóide bidimensional que não varia no tempo nem no espaço, gerada pela sobreposição das diversas sinusóides formadas em uma superfície irregular, que possuem características e formas distintas entre si. Assim, pode ser aferido o comportamento similar ao real e as características das ondas no meio marítimo (AFONSO, 2014).

O perfil desta onda é definido pela eq. (4):

$$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \frac{H}{2} \cos \Theta \quad (4)$$

A propagação das ondas ocasiona a formação de orbitais circulares que obedecem a um decréscimo exponencial com o aumento da profundidade (Figura 3). Em zonas de águas profundas a influência do fundo sobre o movimento desses orbitais pode ser desprezado, pois as alterações de fundo são menores do que 4% em relação à propagação de superfície (LAING et al., 1998).

Figura 03 - Direção de propagação da onda e desrescimento exponencial dos orbitais de acordo com o aumento da profundidade.



Fonte: Curbani (2011)

No entanto, como exposto no estudo de Piccoli (2005), em áreas pouco profundas como em zonas próximas à costa, a influência do fundo e o atrito passam a ser considerados, devido às modificações que essa interação ocasiona nas características da onda.

Desta forma, para a descrição do perfil da onda linear de Airy é necessário inicialmente definir a relação entre o comprimento de onda e a profundidade do meio de propagação. No geral, o emprego dos seguintes limites é feito para esta definição:

- Águas profundas: $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$
- Águas intermediárias: $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$
- Águas rasas: $\frac{d}{L} < \frac{1}{20}$

Por conseguinte, as expressões matemáticas que regem a aplicação de tal teoria e caracterizam as ondas de Airy são resumidas na tabela 1.

Tabela 1- Equações que constituem a formulação da Teoria Linear de Airy.

Profundidade Relativa	Águas Rasas	Águas Intermediárias	Águas Profundas
Celeridade	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$C = C_0 = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Comprimento de Onda	$L = T \sqrt{gd} = CT$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = C_0 T$
Velocidade de Grupo	$C_g = C = \sqrt{gd}$	$C_g = nC = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right] C$	$C_g = \frac{1}{2} C = \frac{gT}{4\pi}$
Energia	$E = \rho_w * g * \frac{H^2}{8}$	$E = \rho_w * g * \frac{H^2}{8}$	$E = \rho_w * g * \frac{H^2}{8}$
Potência	$P = E * C_g$	$P = E * C_g$	$P = E * C_g$

Fonte: Modificado de Vieira et al. (2007)

4.3 Ambientes costeiros

As condições oceanográficas e meteorológicas alteram as características do regime de ondas para cada área de estudo. Em vista disso, as rotinas desenvolvidas foram aplicadas a 3 ambientes costeiros com aspectos distintos, que são: ambientes de praias oceânicas, estuários e ambientes de praias estuarinas.

4.3.1 Praias oceânicas

As praias oceânicas são sistemas transicionais dinâmicos de alta energia dominados por ondas, que apresentam elevada resiliência quando comparadas aos demais ambientes costeiros, devido à capacidade destas de absorver a energia incidente e em se ajustar as flutuações dos níveis de energia locais e aos processos eólicos, biológicos e hidrodinâmicos (HOEFEL, 1998; MCLACHLAN; BROWN, 2006). Segundo Jackson e Nordstrom (1993) estes ambientes são definidos como sendo:

“[...] um depósito de sedimentos inconsolidados, normalmente areias, cascalhos ou seixos, criado e moldado pela ação de ondas e correntes induzidas por ondas, que se estende a partir da profundidade, medida na maré baixa de sizígia, a qual o fundo começa a sofrer retrabalhamento pelas ondas, até o limite terrestre de atuação das ondas em eventos de alta energia [...]”.

Os processos de erosão e deposição nestes ambientes apresentam comportamento sazonal e são controlados principalmente pela ação intensa das ondas incidentes e das

correntes de deriva litorânea (MARTINS, 2007), sendo que os mecanismos de refração, difração e atenuação das ondas são influenciados pelo grau de exposição destas áreas ao contato direto com o oceano e pela presença de feições costeiras como promontórios, rochas e recifes (SHORT, 1996; KLEIN; MENEZES, 2001).

4.3.2 Estuários

Os estuários, por sua vez, apresentam significativa variação na intensidade dos processos oceanográficos que ocorrem ao longo de sua extensão (SCHETTINI, 2002). Segundo Cameron e Pritchard (1963) estes ambientes são corpos d'água restritos que possuem livre conexão com o oceano, estendendo-se rio acima até o limite da influência das marés, onde em seu interior ocorre a diluição mensurável da água marinha pela água doce proveniente do aporte continental.

Dada à configuração de ambiente transicional, os estuários podem ser divididos em três zonas: a região do alto estuário, onde a influência fluvial é predominante, sendo que o alcance dos processos oceanográficos é verificado somente pela ação das marés; do médio estuário, onde a circulação é controlada pela interação conjunta das forçantes fluviais e oceânicas; e do baixo estuário, na qual os processos oceânicos são mais intensos e dominantes, considerando a intensidade destes ao longo das demais zonas supracitadas (DIONNE, 1963).

A atuação dos componentes hidrodinâmicos (ondas e marés) exerce alto controle nos níveis de energia e na circulação do sistema estuarino, de tal maneira que, essas forçantes foram utilizadas por Dalrymple, Zaitlin e Boyd (1992), para propor modelos de estuários dominados por onda ou por maré.

Os estuários dominados por ondas são caracterizados pela formação de um pontal arenoso transversal à desembocadura; pela alta energia de ondas em sua entrada; pela baixa energia na porção central estuarina e pela alta energia na cabeceira do estuário, produzida pelas correntes fluviais. Enquanto que, os estuários dominados por maré, possuem barras arenosas longitudinais ao fluxo fluvial; aumento progressivo da energia das correntes de maré em direção ao estuário; canais meandantes na porção intermediária, onde são verificados os valores mínimos de energia do sistema; e decréscimo da energia das marés onde há a predominância da energia fluvial (DALRYMPLE; ZAITLIN; BOYD, 1992).

Cabe ressaltar que, o local de menor intensidade de energia não é tão marcante nos estuários dominados por maré, pois a energia de maré avança em direção à cabeceira desses estuários. Os estuários dominados por onda, por sua vez, apresentam configuração oposta, dada a baixa capacidade de penetração da energia das ondas no interior do estuário (DALRYMPLE; ZAITLIN; BOYD, 1992).

4.3.3 Praias Estuarinas

A partir dos cenários apresentados é possível compreender o conceito de praias estuarinas, além de entender os processos de formação e as características desses ambientes, que são elementos comuns a muitos estuários. As praias estuarinas são formadas a partir da deposição de sedimentos inconsolidados em áreas onde a configuração fisiográfica é favorável, prevalecendo à ação sobre o transporte sedimentar de ondas e correntes de maré geradas localmente numa situação de *fetch* (pista de vento) restrito, que apresentam nível energético suficiente para exercer tal controle (NORDSTROM, 1992).

O caráter de baixo grau energético atribuído a estes ambientes é resultante, principalmente, da atuação de ondas que possuem pequena amplitude e curto período se comparadas às geradas em zonas costeiras expostas, tal configuração das ondas é produto da influência de fatores locais, por exemplo, a orientação da linha de costa; as propriedades dos fundos adjacentes e a intensidade do vento atuante (NORDSTROM, 1992; JACKSON; NORDSTROM, 1992).

A evolução a médio e longo prazo nestes ambientes é controlada, sobretudo, pela ocorrência de eventos extremos de baixa frequência que alteram as condições climáticas normais, sendo que, em curto prazo o regime característico de ondas de baixa energia modifica tanto a magnitude quanto a extensão do retrabalhamento do sedimento ao longo do perfil praial (JACKSON et al., 2002), conferindo uma grande variedade morfológica aos sistemas de praia estuarina (HEGGE; ELIOT; HSU, 1996).

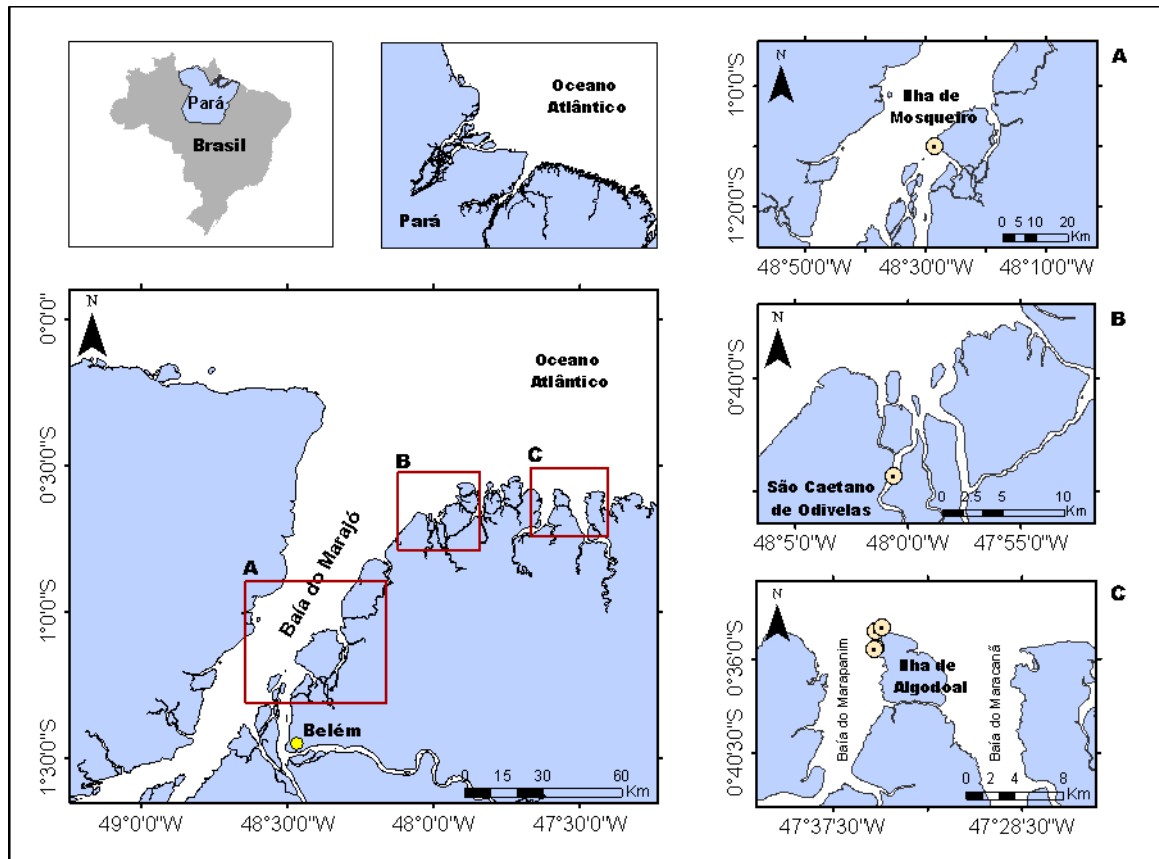
5 METODOLOGIA

Neste tópico segue uma breve caracterização dos ambientes estudados, além da apresentação de como foi elaborada a ferramenta para processamento de dados de ondas. A apresentação desses métodos engloba a descrição da área de estudo, a metodologia de coleta de dados *in situ*, a linguagem de programação utilizada, a análise de elementos da onda e os testes estatísticos realizados nas rotinas. Por fim, também é apresentado um fluxograma com a descrição da metodologia aplicada.

5.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na zona costeira paraense, litoral norte do Brasil, entre as latitudes $0^{\circ} 49'$ e $1^{\circ} 4'$ e longitudes $50^{\circ} 10'$ e $45^{\circ} 59'$. Como pode ser visto na figura 4, as coletas para esse estudo foram realizadas na Ilha de Mosqueiro pertencente à Baía de Marajó; no estuário do rio Mojuim em São Caetano de Odivelas e na Ilha de Maiandeuá, também conhecida como Ilha de Algodal.

Figura 04 - Mapa de localização da área de estudo na costa nordeste do estado do Pará. A) Ilha de Mosqueiro na Baía de Marajó; B) Estuário Mojuim-Mocajuba e C) Ilha de Algodal.



Fonte: O autor.

A distribuição dos locais de amostragem foi feita de modo que abrangesse ambientes com características distintas, para que o pacote de rotinas desenvolvido fosse submetido a múltiplas condições hidrodinâmicas. Dentre as forçantes que controlam esses aspectos, é ressaltada a influência do grau de exposição da área estudada ao contato com o oceano.

Neste contexto, o ponto de coleta da Ilha de Mosqueiro está localizado na Baía do Marajó, formada pela drenagem conjunta do estuário dos rios Pará-Tocantins e do rio Guamá. As grandes proporções espaciais desta baía influenciam de forma significativa nas características hidrodinâmicas do local, além disso, também há significativa contribuição das ondas formadas em *offshore* (longe da linha de costa).

O ponto localizado no estuário do rio Mojuim, por sua vez, está em uma área abrigada da ação dessas ondas *offshore*, com a influência principal de ondas formadas dentro do estuário, o que pode ser observado *in situ*, no momento em que foi realizada a coleta de dados, sendo que as características deste segundo Baía (2016) o classificam como um estuário

dominado por marés. Enquanto que, os pontos de coleta situados na Ilha de Algodal estão contidos tanto em ambientes de praias expostas ao contato frontal com o oceano, quanto em ambientes de praias mais abrigadas a este contato, sendo que estas sofrem influência do fluxo fluvial e do contato com o oceano, simultaneamente.

Assim, os ambientes de coleta podem ser analisados de maneira particular, uma vez que possuem propriedades distintas, além de possibilitar a realização de testes no pacote de rotinas desenvolvido, dadas as diferentes condições no regime de onda verificado em cada local.

A Ilha de Maiandeuá pertence ao município de Maracanã, que está localizado a nordeste do estado do Pará. Esta ilha é também conhecida como Ilha de Algodal e possui o título de APA – Área de Proteção Ambiental – desde 1990 (BASTOS; ROSÁRIO; LOBATO, 1995).

É uma ilha localizada em linha reta à 137 km de Belém, capital do estado do Pará. Esta ilha é limitada a leste pela Baía de Maracanã, formada principalmente pela bacia de drenagem do rio Maracanã, e a oeste pela Baía de Marapanim, com o principal tributário sendo o rio Marapanim.

O rio Maracanã possui curso meandrante com baixa declividade, compartimentado em setor interno; transicional e estuarino, sendo que, a extensão de sua bacia varia de acordo com a sazonalidade dos níveis de precipitação. Os valores de profundidade variam entre 15 a 20 m, com maiores profundidades na porção estuarina, durante o período chuvoso, de fevereiro a abril (SOARES, 1991; COSTA; LIMA, 2004; OLIVEIRA, 2010), com valores de vazão na ordem de 103 a 104 m³s⁻¹ (COSTA; LIMA; DIAS, 2009).

O rio Marapanim possui um estuário que apresenta formas entrecortadas, com canal afunilado. Em termos de profundidade, este rio varia de 3 a 10 m, sendo que a ação da maré pode ser observada a 21 km rio acima e pode causar variações de até 5,0 m no nível médio do rio (OLIVEIRA, 2010). Os valores médios de vazão, por sua vez, corroboram com aqueles verificados para o rio Maracanã, como exposto no estudo de Costa, Lima e Dias (2009).

Nessa região os ventos são de Nordeste e Leste, alcançando cerca de 6 m/s, sendo mais intensos nos meses de dezembro e março devido a atuação conjunta com os ventos alísios de Sudeste (BERRÊDO; PROST; COSTA, 2003; SILVA; SOUZA-FILHO;

RODRIGUES, 2009). O regime de maré é de meso e macromarés, com amplitude variando entre 3,5 m na maré de quadratura a 6,0 m na maré de sizígia (SILVA; SOUZA-FILHO; RODRIGUES, 2009).

O estuário dos rios Mojuim e Mocajuba está localizado no município de São Caetano de Odivelas, situado em linha reta a 93 km de Belém. A bacia de drenagem que participa da formação deste estuário é constituída, principalmente, pelos rios Mojuim e Mocajuba, que são interligados por canais de maré (ROCHA, 2015).

A presença relevante dessas duas descargas fluviais modifica a composição das águas estuarinas e influencia na distribuição de sedimentos (PICANÇO, 2013). Em dimensão, o rio Mojuim apresenta 1,3 km de largura, com vazão aproximada de 95,87 m³s⁻¹ no período chuvoso (ROCHA, 2015), o rio Mocajuba, por sua vez, possui 1,9 km de largura com vazão máxima de aproximadamente 68,5 m³s⁻¹ (ASP et al., 2013).

Em Barros et al. (2011) é apresentado que os fluxos fluviais locais são orientados no sentido Sul-Norte e deságuam diretamente no Oceano Atlântico. Segundo Diegues e Rosman (1998), as marés na região apresentam amplitude maior que 4 m gerando intensas correntes de enchente e vazante, sendo que a área integra à costa de reentrâncias Pará-Maranhão (KIYATAKE, 2011). Por conseguinte, os ventos dentro do estuário do rio Mojuim são de Nordeste e Leste, alcançando aproximadamente 3,5 m/s (Dados cedidos pelo Laboratório de Oceanografia Física (LOF) – UFPA).

A Baía de Marajó faz parte da Zona Costeira Paraense, norte do Brasil, sendo constituída principalmente pela confluência do sistema de drenagem dos rios Pará e Tocantins, com limite até o Oceano Atlântico. Esta porção do Golfão Amazônico possui aspectos peculiares devido à ação dos processos hidrodinâmicos, as grandes dimensões e vazão desta baía e a sazonalidade pluviométrica presente na região (CORRÊA, 2005; FRANÇA; PIMENTEL, 2012).

Além disso, as características hidrodinâmicas dessa área viabilizam o desenvolvimento de praias estuarinas nas porções mais expostas à ação das ondas, consequência da grande sedimentação arenosa (FRANÇA; PIMENTEL, 2012).

O regime de maré é de mesomarés, com amplitude de aproximadamente 3,6 m, a pista de vento é favorável à formação de ondas dentro da baía, com cerca de 50 km de largura na

desembocadura do estuário do rio Pará-Tocantins (GREGÓRIO; MENDES, 2009) e os ventos são de Nordeste, Leste, Norte e Sudeste soprando em média a 4m/s durante o dia, podendo alcançar médias de 13 m/s (BALTAZAR; MENEZES; ROLLNIC, 2011).

O estudo de Prestes et al. (2014) aponta que o rio Pará é uma bacia hidrográfica formada pela confluência de vários sistemas de drenagem, sendo que a maior contribuição provém do rio Tocantins, com transporte resultante entre $10,828 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e $74,391 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. No entanto, a descarga do rio Amazonas que ocorre através do Estreito de Breves, também contribui significativamente na formação desse sistema (BORBA, 2014).

Na margem leste da Baía de Marajó está localizada a Ilha de Mosqueiro, com aproximadamente 212 km² de área, possui maior dimensão dentre as 39 ilhas situadas na Região metropolitana do município de Belém (SCHALLENBERGER, 2010). Esta ilha, dista cerca de 46 km em linha reta do centro da capital do estado do Pará, Belém.

A porção da Ilha de Mosqueiro direcionada para a Baía de Marajó é constituída por superfícies escarpadas, com falésias de altura entre 5 a 10 m, circundada por praias estreitas que sofrem retrabalhamento das marés e das ondas atuantes na região (BEHLING; LIMA, 2004).

5.2 Coleta de dados

Nas coletas de dados de onda executadas na Ilha de Mosqueiro e em São Caetano de Odivelas foram utilizados sensores de pressão fundeados e programados para realizar medições a cada 0,1 segundos durante um ciclo de maré (13 horas), sendo que a coleta teve início no período de baixa-mar, de tal maneira que o equipamento (Figura 5) fosse fundeado na zona de inframaré, para abranger o ciclo de forma completa.

Figura 05 - Instrumentos equipados com sensor de pressão, utilizados na coleta de dados de onda.



Na Ilha de Mosqueiro a coleta ocorreu em novembro de 2014, com o ponto de amostragem localizado a $1^{\circ}09'56,92''\text{S} - 48^{\circ}28'30,46''\text{W}$. Enquanto que, em São Caetano de Odivelas, a coleta foi realizada em março de 2015, no ponto situado a $0^{\circ}44'21,35''\text{S} - 48^{\circ}00'38,15''\text{W}$.

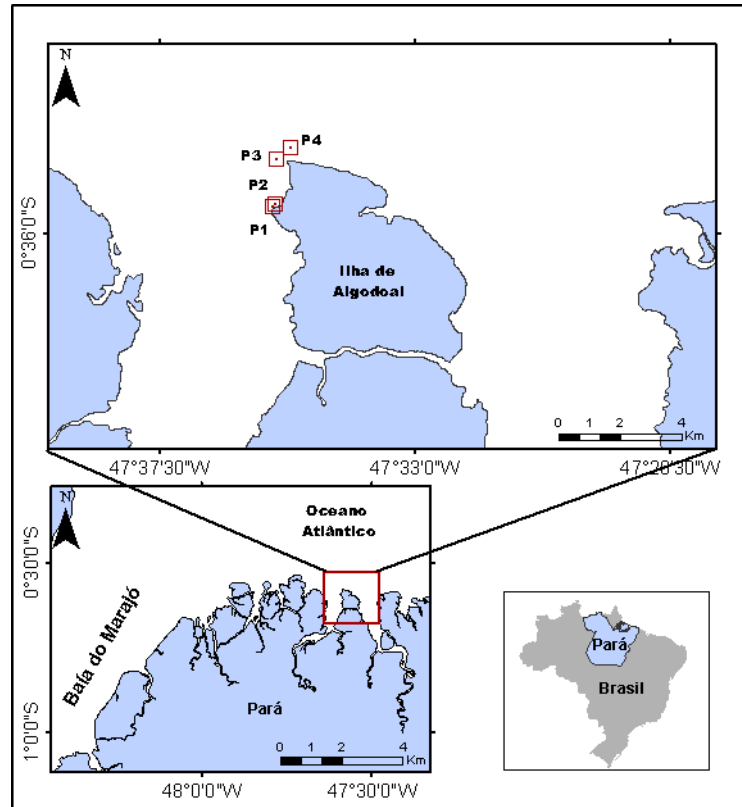
Os dados de onda medidos na Ilha de Algodual foram coletados em três campanhas distintas, todas durante a maré de sizígia. A distribuição das expedições foi realizada de acordo com os níveis de precipitação mensal, de modo que compreendesse a sazonalidade da região (MARTORANO et al., 1993).

As praias onde o estudo foi realizado são conhecidas como: Praia da Princesa, Praia do Farol e Praia da Caixa d'água. Dentre estas, a de maior contato com o oceano é a Praia da Princesa, sendo que as demais citadas estão localizadas em uma região mais abrigada a essa exposição, o que resulta em características distintas para as ondas atuantes em cada um desses 3 ambientes.

A primeira campanha foi realizada no fim do período chuvoso, sendo que esta ocorreu em junho de 2011, nas praias da Caixa d'água e Farol, e em julho de 2011 na praia da Princesa; a segunda foi feita no período menos chuvoso em setembro de 2011, nas praias da Caixa d'água e Princesa; por fim, no início do período chuvoso foi realizada a última campanha em março de 2012, também nas praias da Caixa d'água e Princesa.

A amostragem foi distribuída em 4 pontos distintos durante o fim do período chuvoso, nos pontos P1 ($0^{\circ}35'30,03''\text{S} - 47^{\circ}35'27,32''\text{W}$) e P2 ($0^{\circ}35'32,82''\text{S} - 47^{\circ}35'29,40''\text{W}$) pertencentes a Praia da Caixa d'água, no ponto P3 ($0^{\circ}34'42,92''\text{S} - 47^{\circ}35'25,96''\text{W}$) localizado na Praia do Farol e no ponto P4 ($0^{\circ}34'30,39''\text{S} - 47^{\circ}35'10,19''\text{W}$) situado na Praia da Princesa. Enquanto que, no período menos chuvoso e no início do período chuvoso, as coletas ocorreram somente nos pontos P1 e P4 (Figura 6).

Figura 06 - Mapa de distribuição dos pontos na área de coleta localizada na Ilha de Algodão, PA- Brasil.



Fonte: O autor.

O fundeio foi realizado de modo similar as 2 áreas anteriores, de tal maneira que o equipamento não fosse carregado pela corrente. No entanto, a programação do equipamento fundeado nas praias da Ilha de Algodão foi feita para realizar medições a cada 0,5 segundos.

Por fim, cabe ressaltar que os dados utilizados foram escolhidos devido à disponibilidade destes para análise em laboratório, pois as campanhas de coleta já haviam sido realizadas preteritamente e as informações estavam disponíveis para processamento. Neste contexto, relevaram-se as divergências quanto à frequência em que os dados foram coletados nos diferentes ambientes, considerando que este fator não seria uma problemática para o desenvolvimento da pesquisa e obtenção dos resultados.

5.3 Linguagem de programação

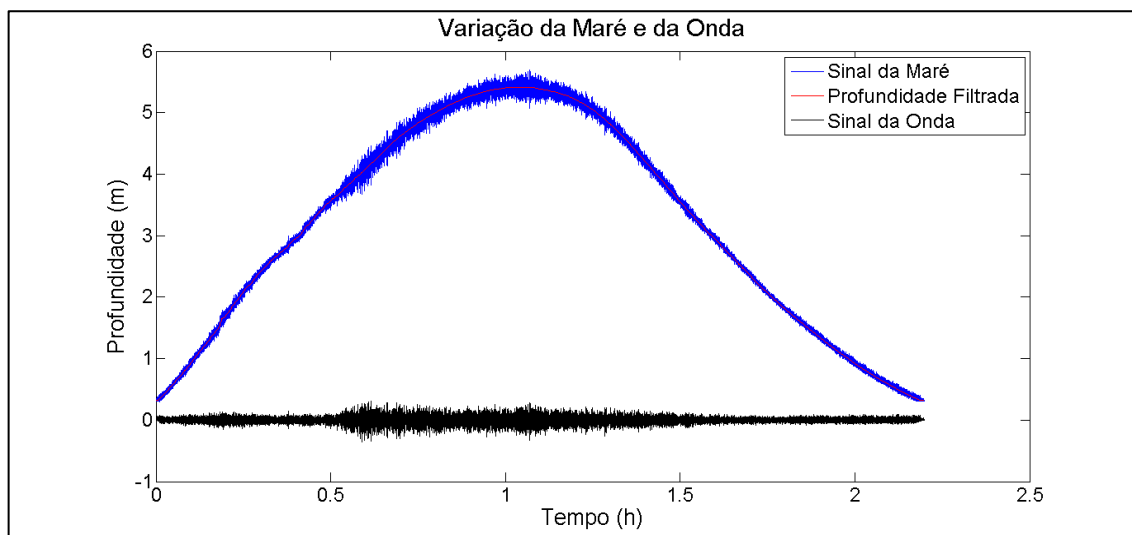
A ferramenta elaborada apresenta a configuração de um pacote de rotinas, formuladas com base em linguagem MatLab. O fundamento dessa linguagem de programação consiste na realização de operações matemáticas matriciais, com alta funcionalidade para a computação técnica e científica. O desempenho desta ocorre em um ambiente interativo que integra o

desenvolvimento de algoritmos, análise e visualização gráfica de dados e computação numérica, no qual os comandos são escritos como expressões algébricas, tornando mais simples o seu uso (TONINI; SCHETTINO, 2002; FRANÇA, 2008; Martins et al., 2010).

A possibilidade de execução e utilização de arquivos texto, que podem ser criados e modificados dentro ou fora do ambiente de programação, facilita o pré-processamento dos dados que serão utilizados como arquivo de entrada para a análise (FRANÇA, 2008).

Dentro deste ambiente de programação, ainda foi possível a retirada do sinal da maré, para que as informações utilizadas fossem constituídas somente pelos dados de onda (Figura 7).

Figura 07 - Sinal da onda extraído do sinal da maré, a partir dos dados coletados na Praia da Caixa d'água – Ilha de Algoal, PA-Brasil, durante o período seco.



Fonte: O autor.

A exclusão do sinal da maré foi feita após o emprego da função *weim* aos dados de profundidade, sendo o produto desta aplicação o sinal da maré sem o sinal das ondas geradas pelo vento. Assim, o sinal da onda foi determinado subtraindo os dados de profundidade filtrada dos dados da profundidade registrada pelo equipamento.

A função *weim* realiza uma filtragem do tipo média móvel, que consiste no cálculo da média de um conjunto de valores pertencentes a um determinado sinal, sendo que esta média varia de acordo com o tipo de sinal analisado (MARTINS et al., 2003). Esta função advém do pacote de *toolbox synop* e está descrita no Anexo B do presente trabalho.

A geração dos gráficos iniciais, assim como a base para a análise dos demais dados, foi obtida a partir dos parâmetros tempo e profundidade da coluna d'água, mensurados através do uso de sensores de pressão. Estes registros passaram por um pré-processamento para organização das informações e exclusão de dados espúrios.

5.4 Desenvolvimento das rotinas

Para realização do processamento dos dados foram desenvolvidas duas rotinas (Anexo C e D). A primeira processou os dados de entrada obtidos pelo equipamento e pré-tratados, resultando nos principais parâmetros (H_s , H_{max} , T_s) utilizados na caracterização do campo de ondas. Deste primeiro *script* também foram extraídos as variáveis profundidade e comprimento, empregadas na aplicação da Teoria Linear de Airy, que constitui a segunda rotina. Por fim, as rotinas desenvolvidas foram transformadas em funções, que são um conjunto de instruções que executam determinadas tarefas, sendo que estas podem aceitar mais de um arquivo de entrada, assim como, podem retornar mais de um arquivo de saída. No MatLab, as funções são inseridas em arquivos separados e o nome do arquivo e da função devem ser idênticos.

As funções resultantes das rotinas foram redigidas de tal modo que os dados de saída constituíssem uma caracterização eficiente do campo de ondas analisado, aferindo os dados de: altura significativa, período significativo, altura máxima, celeridade, comprimento, velocidade de grupo, energia e potência da onda.

5.4.1 Análise de elementos de onda

Definição da Altura significativa e do Período Significativo

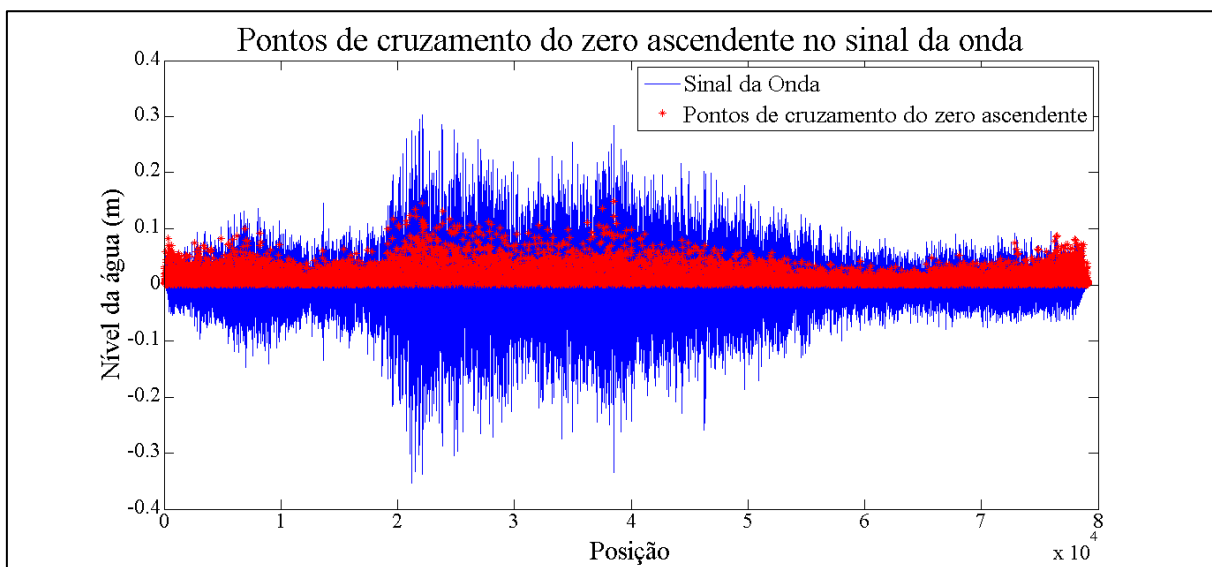
A análise dos dados coletados, para apontar os elementos constituintes da onda, partiu da identificação da altura e do período significativo deste parâmetro hidrodinâmico. Para isso, foram inicialmente definidas as ondas individuais através do método de cruzamento de zero ascendente e de zero descendente, utilizado frequentemente como técnica padrão para a definição de ondas individuais, devido à inexistência de um método absoluto para realizar tal definição (STRAIOTO, 2006).

Na aplicação do método, primeiramente foi definido o nível médio da superfície da água (nível zero), obtido a partir da média dos valores verificados no perfil de onda (denominado nível no *script*), aplicando-se a função *mean* (Anexo A). Com base nisso, e no

uso das funções *for*, *if* e *end* (Anexo A), foi possível determinar os pontos no perfil que cruzavam de maneira ascendente (zero ascendente) o nível zero (Figura 8), propondo a seguinte condição:

A matriz criada para a aplicação do método de cruzamento de zero ascendente (“cruzasc”) será preenchida com pontos do perfil de onda maiores que o nível zero, sendo que, os pontos anteriores a cada um desses devem ser menores que o nível zero.

Figura 08 - Pontos de cruzamento do zero ascendente, após a aplicação do método de mesmo nome, no perfil de onda da Praia da Caixa d’água – Ilha de Algodual, PA-Brasil, durante o período seco.

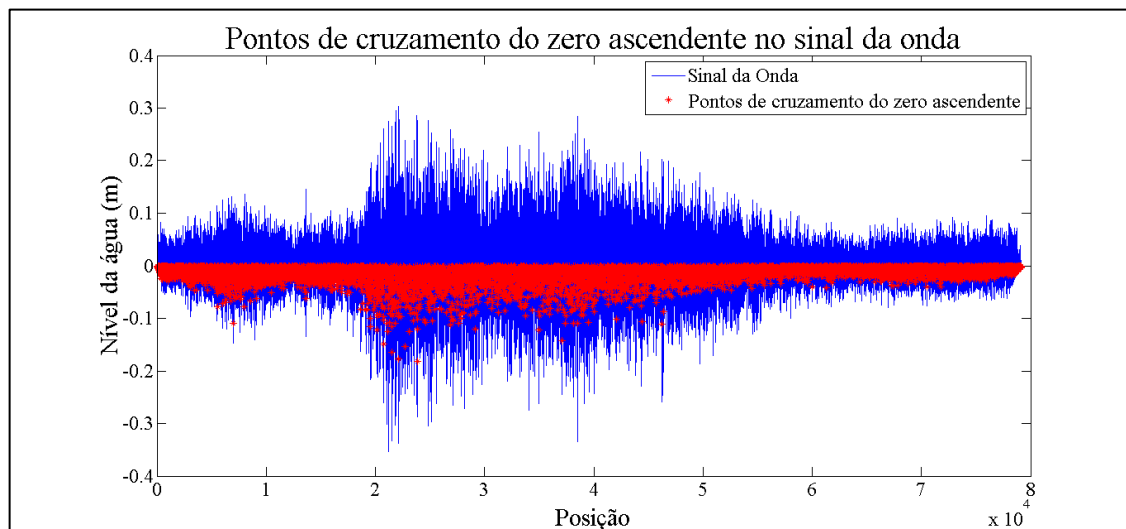


Fonte: O autor.

Assim, o ponto de início de uma onda individual foi adotado como o primeiro a cruzar o nível médio da superfície da água, sendo que o próximo ponto de zero ascendente foi definido como o de término da primeira onda e início da segunda. A aplicação do zero descendente (Figura 9) ocorreu embasada nos mesmos princípios do zero ascendente, no entanto, a condição imposta foi:

A matriz criada para a aplicação do método de cruzamento de zero descendente (“cruzdesc”) será preenchida com pontos do perfil de onda menores que o nível zero, sendo que, os pontos anteriores a cada um desses devem ser maiores que o nível zero.

Figura 09 - Pontos de cruzamento do zero descendente, após a aplicação do método de mesmo nome, no perfil de onda da Praia da Caixa d'água – Ilha de Algodual, PA-Brasil, durante o período seco.



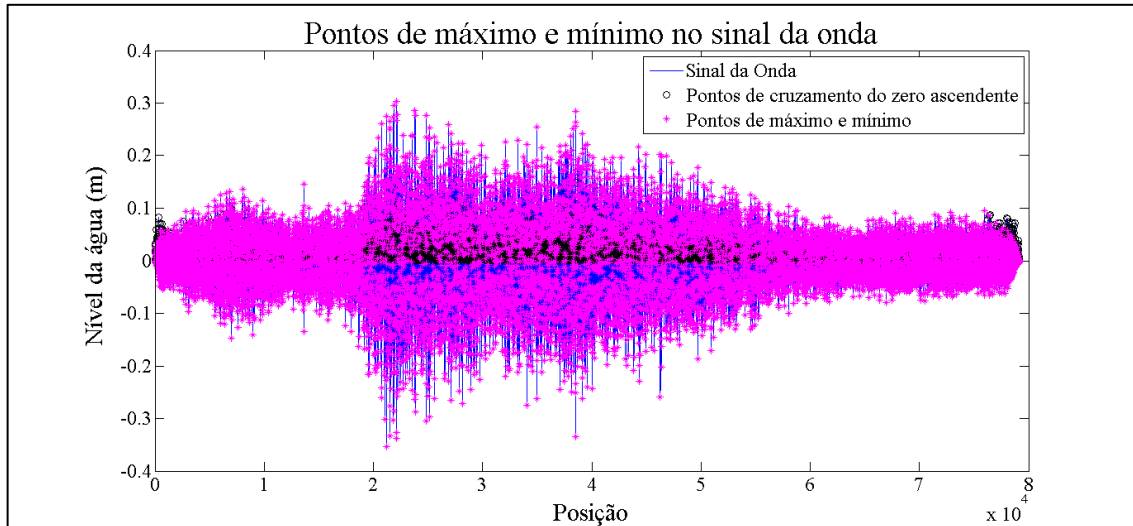
Fonte: O autor.

Logo, os pontos que passavam pelo nível zero de maneira descendente foram tomados como pontos de início e término das ondas individuais. Cabe ressaltar, que o vetor “posição” refere-se à posição dos valores de profundidade no vetor profundidade.

O emprego de ambos os métodos (zero ascendente e zero descendente) foi feito para possibilitar a realização de comparações e testes estatísticos, sendo que o método do zero ascendente foi o utilizado na determinação das demais variáveis analisadas.

Além disso, para cada onda, foram determinados os pontos e os valores que se encontravam à máxima e mínima distância do nível médio da superfície da água. Esse levantamento foi feito através da aplicação das funções *for* e *end* e *max* e *min* (Anexo A) nos valores registrados no perfil de onda, considerando os pontos determinados pelo método de cruzamento do zero ascendente para definir ondas individuais (Figura 10).

Figura 10 - Pontos máximos e mínimos do perfil de onda da Praia da Caixa d'água – Ilha de Algodual, PA-Brasil, durante o período seco.



Fonte: O autor.

As variáveis nomeadas na rotina como “ppm”, “vmm” e “ppmm” representam, respectivamente, a posição dos pontos máximos e mínimos do perfil de onda, os valores equivalentes a cada uma dessas posições e as posições máximas e mínimas do perfil de onda após a exclusão da última posição.

Cabe ressaltar que a exclusão da última posição aberta na matriz “pmm”, foi uma correção realizada após o cálculo dos máximos e mínimos. Este ajuste foi efetuado devido à ausência de um índice posterior, necessário para realizar o pareamento com o dado registrado nesse ponto do perfil de onda.

Desta forma, as variáveis tempo e nível foram correlacionadas aos valores encontrados pelo método supracitado. O valor da distância entre dois pontos de cruzamento do zero ascendente, com o eixo das abscissas em função do tempo, equivaleu ao período de uma onda e o valor entre o ponto máximo e o ponto mínimo à altura da onda individual. O comprimento, por sua vez, foi definido através da aplicação da equação do comprimento para águas profundas, em que o leito não interfere nas características da onda, denominado L_0 eq.(5).

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

(5)

Onde: g é a gravidade, com valor equivalente a 10 m/s no presente estudo.

Com base nisso, os dados de altura e período da onda foram agrupados e ordenados de maneira crescente, por meio do uso da função *sortrows* (Anexo A), e posteriormente, foi determinada a média do terço das maiores ondas registradas, ou seja, a altura significativa da onda (H_s). A definição do período significativo (T_s) também ocorreu fundamentada nesta altura, pois estes dois elementos foram integrados.

Aplicação da Teoria Linear de Airy

Pressupondo a confiabilidade de aplicação, como verificado nos estudos de Carneiro (2007), Meirelles e Violante-Carvalho (2007) e Clemente (2013), a presente metodologia foi desenvolvida fazendo uso unicamente da Teoria Linear de Airy.

A aplicação desta teoria depende diretamente da relação entre a profundidade do meio de propagação e o comprimento da onda. O emprego desta requer uma classificação prévia das ondas individuais como ocorrentes em águas rasas, águas intermediárias ou águas profundas.

Neste contexto, foram utilizadas as funções *if* e *elseif* (Anexo A) para inserir cada onda dentro de uma destas classificações, seguindo as equações citadas no capítulo 4 do presente trabalho. Além disso, por meio do uso dessas funções e adotando as condições que estas impõem, também foram verificados os valores referentes às variáveis: celeridade, comprimento, velocidade de grupo, energia e potência.

5.4.2 Testes estatísticos

A estatística aplicada no produto deste trabalho fundamentou-se em dois testes, empregados, basicamente, para a comparação entre os resultados obtidos e destes com valores referenciados em trabalhos executados na área e entre as diferentes metodologias aplicadas.

O teste estatístico *Root Mean Square Error* (RMSE), é comumente aplicado na validação de modelos para uma área (CHAI; DRAXLER, 2014). No entanto, este foi utilizado no presente trabalho para determinar a representatividade amostral de períodos de coleta, ou seja, a equivalência entre os resultados obtidos em diferentes tempos de medição dos dados.

O teste foi realizado por meio da aplicação da eq. (6):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x1_i - x2_i)^2}{n}}$$

(6)

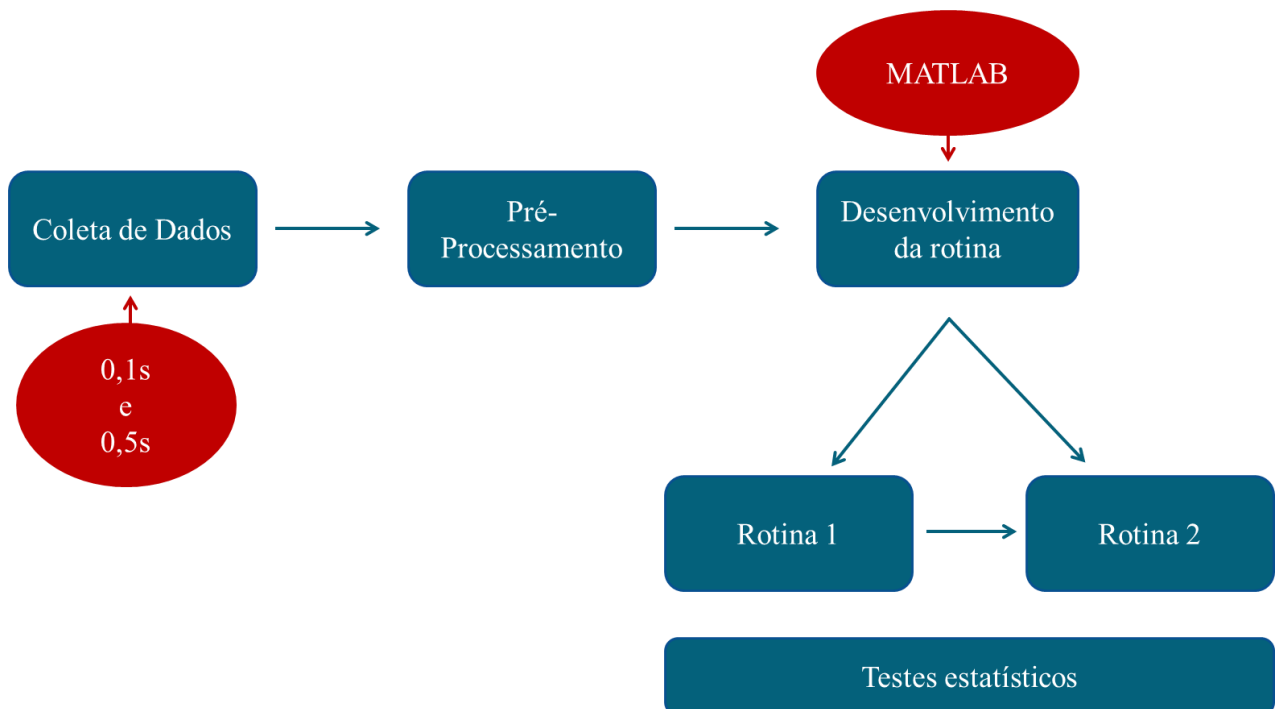
O uso do RMSE partiu da possibilidade que este teste dispõe em determinar a diferença entre valores experimentais em relação a valores pré-estabelecidos (BARNSTON, 1992). Desta forma, considerando o período de 1 hora de coleta como valor pré-determinado, foi possível realizar comparações com períodos mais curtos de medição de dados, como por exemplo, 30 min, 20 min, 10 min e 5 min.

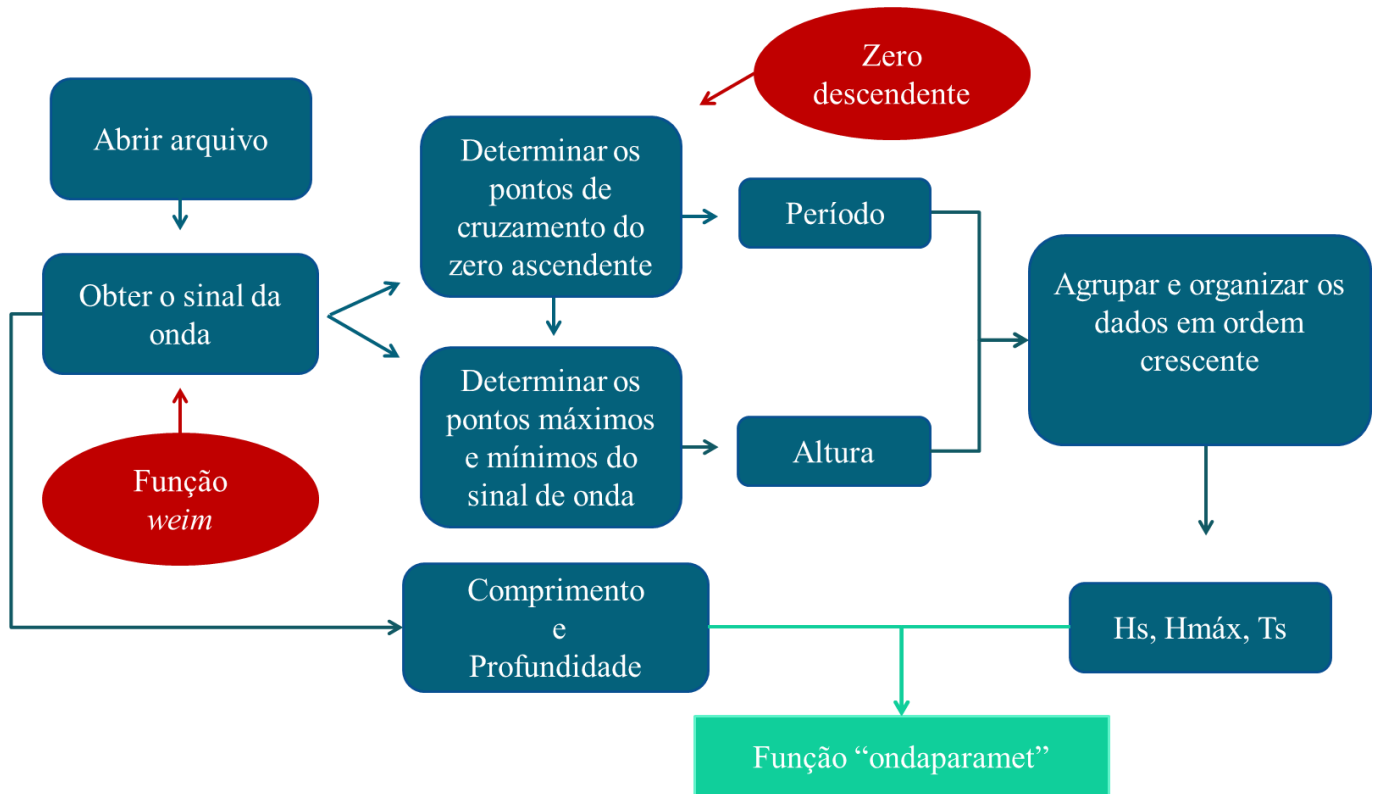
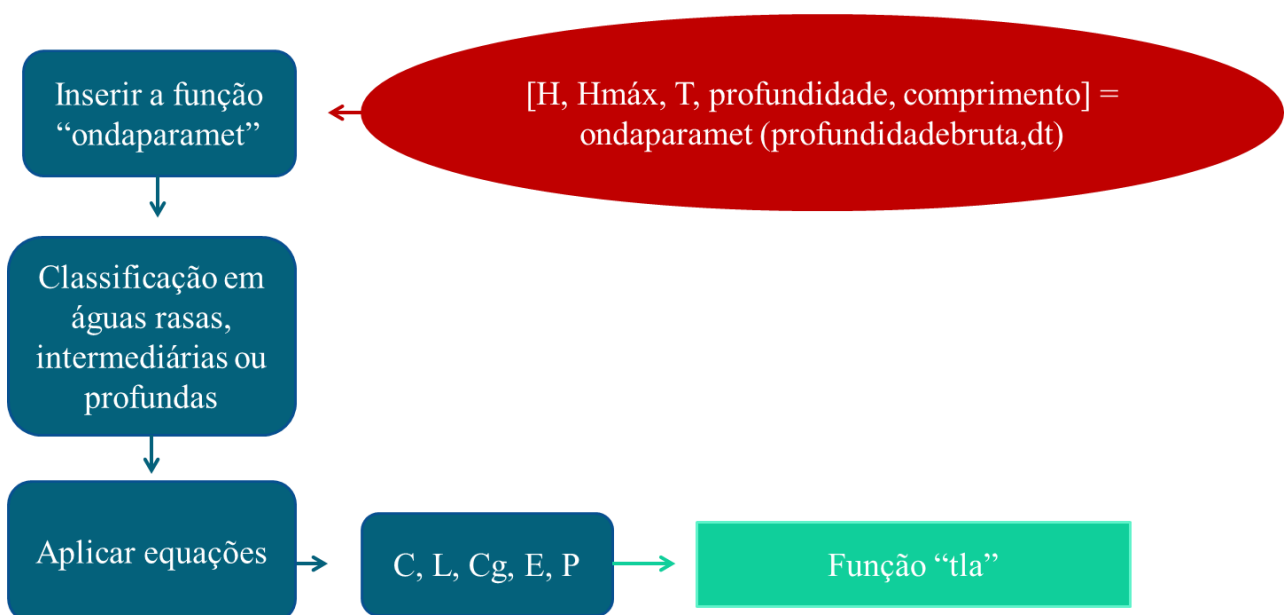
Além disso, foi realizado também o cálculo da média entre os valores obtidos para as diferentes metodologias de processamento e para a comparação dos resultados obtidos pela rotina, com aqueles referenciados em trabalhos publicados.

5.5 Fluxograma

Os fluxogramas abaixo descrevem esquematicamente um passo-a-passo de como as funções foram desenvolvidas. Em 3 esquemas são apresentados: um resumo geral da criação da metodologia, a geração do *script 1* e a geração do *script 2*, respectivamente.

Resumo geral



Script 1*Script 2*

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados os resultados do presente trabalho, constituídos pelas rotinas desenvolvidas e pelos *outputs* (variáveis, tabelas e gráficos) destas, além das informações decorrentes das análises estatísticas realizadas com o produto desta pesquisa. Simultaneamente, é levantada uma discussão referente aos resultados expostos.

6.1 Rotinas

Script 1

O *script 1* estabelece uma rotina que resulta nos principais parâmetros considerados importantes, neste estudo, para determinar o que é uma onda individual na série de dados e para descrevê-la inicialmente. Desta forma, foram definidos: a altura significativa; a altura máxima e o período significativo.

- **Introdução dos dados de entrada:** os dados registrados pelo equipamento foram carregados, após pré-processamento e conversão para arquivo no formato texto.

```
[Hs, Hmax, Ts, L0, d]=ondaparamet (profundidadebruta, dt);
```

- **Determinação das matrizes referentes à posição, ao tempo e ao sinal de onda:** a posição dos dados foi definida, a partir da profundidade em metros retirada do equipamento, de tal forma que as matrizes dessas duas variáveis apresentassem o mesmo tamanho.

A matriz referente ao tempo em segundos foi obtida a partir dos dados de frequência e de profundidade carregados anteriormente, sendo que, o tempo em segundos foi transformado para tempo em horas, para facilitar a visualização dos dados em gráficos.

O sinal das ondas geradas pelo vento foi retirado do sinal de maré dado pela profundidade registrada no equipamento. Para isso, foi empregada a função *weim* (Anexo B) no processo de filtragem dos dados de profundidade, sendo esta função um filtro do tipo média móvel. Por fim, a média dos valores que constituem o sinal das ondas resultou no nível médio da superfície da água e o sinal de onda foi denominado “nível” nas aplicações posteriores.

```

posicao=1:length(profundidadebruta);
tempo=[(0:dt:length(profundidadebruta)*dt-dt)];
tempohoras=tempo/3600;
profundidadefiltrada = weim(275,'blac',profundidadebruta)';
onda=profundidadebruta-profundidadefiltrada
nivelmedio=mean(onda);
nivel=onda;

```

Vide Figura 12

A função *weim* foi configurada para gerar resultados segundo a relação entre a quantidade de dados coletados e a frequência para o qual o equipamento foi programado na realização da amostragem. Posto isso, verificou-se que apesar da quantidade suficiente de registros e a frequência de coleta adequada, a rotina não processou os dados referentes ao estuário do rio Mojuim, principalmente no momento da filtragem dos dados de maré, o que pode estar relacionado à baixa altura da onda registrada nesse local, verificada no plote 1 da rotina desenvolvida.

```

figure(1)
plot(tempohoras,profundidadebruta);
title ('Variação da Maré')
xlabel ('Tempo (h)')
ylabel ('Profundidade (m)')
legend ('Sinal da Maré')

```

Este apontamento interpôs a condição de que a presente metodologia quando submetida a tratamento de dados de onda com altura máxima de 0,03 m, como é o caso da onda medida no estuário do rio Mojuim, seria empregada de maneira equivocada, podendo acarretar na obtenção de resultados falhos.

Uma possível solução para resolver esta problemática é a inclusão de um cálculo para determinar o valor utilizado na função *weim* dentro do próprio *script*, sendo que essa modificação possibilitaria utilizar qualquer frequência de amostragem e realizar o processamento de dados de onda com altura máxima inferior a 0,03 m. De tal modo que dados equivalentes aos obtidos no estuário do rio Mojuim pudessem ser processados.

Cabe ressaltar, que os trabalhos de Pereira et al. (2012) exibem que o padrão de altura máxima de onda para a região amazônica é de aproximadamente 0,8 a 1,5 m, em vista disso, o uso da rotina desenvolvida é aplicável para o padrão do regime de ondas da região.

- **Aplicação do método do zero ascendente e determinação dos valores máximos e mínimos das ondas:** os dados referentes aos pontos de cruzamento do zero ascendente foram determinados para selecionar as ondas individuais, possibilitando determinar os pontos máximos e mínimos de cada onda. Deste modo, foram definidos alturas e períodos para cada onda pertencente ao sinal de onda como um todo.

```
n=1;
for i=2:length(profundidadebruta)
    if nivel(i)<nivelmedio && nivelmedio<nivel(i-1);
        cruzdesc(n)=i;

        n=n+1;
    end
end
```

```

n=1;
for i=2:length(profundidadebruta)

    if nivel(i)>nivelmedio && nivel(i-1)<nivelmedio;

        cruzasc(n)=i;

        n=n+1;
    end
end

nivelcruzasc=nivel(cruzasc);

p=1;
for j=1:length(cruzasc)-1
    [vmm(p),pmm(p)]=max(nivel(cruzasc(j)+1:cruzasc(j+1)-1));

    ppmm(p)=pmm(p)+cruzasc(j);

    [vmm(p+1),pmm(p+1)]=min(nivel(cruzasc(j)+1:cruzasc(j+1)-1));

    ppmm(p+1)=pmm(p+1)+cruzasc(j);

    p=p+2;
end

```

Vide Figuras 15 e 16

As definições teóricas de altura e período referidas no capítulo 4 foram fundamentais na construção da rotina. Além disso, a elaboração exigiu o emprego de critérios para a determinação prévia das ondas individuais, sendo que, os métodos empregados consistiram no de cruzamento do zero ascendente e no de cruzamento do zero descendente.

As médias dos resultados obtidos por cada um desses critérios, não divergiram significativamente entre si. No entanto, cabe ressaltar que estudos como o de Guedes Soares et al. (2003), apontam que podem existir situações em que esses valores apresentam distinção entre si quando comparados.

A aplicação destes critérios de definição de onda individuais é renomada por autores como Souza (2014) e Straioto (2006) em seus estudos. Segundo Sampaio (2008) as diferenças entre dois pontos de cruzamento e entre uma crista e uma cava, representam o período e a altura, respectivamente.

Desta forma, a aplicação de tais métodos foi satisfatória para a função à qual eles foram empregados, possibilitando à aplicação posterior de cálculos para a determinação das variáveis desejadas, além de corroborar com as informações levantadas nas literaturas.

- **Definição dos valores de altura, período, comprimento e profundidade de ocorrência das ondas:** os períodos e as alturas de cada onda foram determinados em função dos pontos de cruzamento do zero ascendente e dos valores máximos e mínimos, respectivamente.

A profundidade de ocorrência da onda foi definida em função da média dos valores de profundidade retirados do equipamento. Enquanto que, o comprimento foi obtido através da aplicação da equação do comprimento, para ondas em profundidades que não sofrem interferência do leito.

```

h=1;
for l=1:length(cruzasc)-1;

    periodo(h)=tempo(cruzasc(l+1))-tempo(cruzasc(l));

    h=h+1;
end

g=1;
for m=1:2:length(vmm)-1;

    altura(g)=vmm(m)-vmm(m+1);

    g=g+1;
end

comprimento=(10*periodo.^2)/2*pi;

profundidade=mean(profundidadebruta);

```

Vide Tabela 3

- **Estabelecimento do cálculo da altura significativa, da altura máxima e do período significativo:** a altura significativa e o período significativo foram equacionados a partir da organização dos dados em ordem crescente, da divisão dos dados de altura em “terços” e do cálculo da média de um terço das maiores ondas.

Cabe ressaltar, que o período significativo das ondas também foi obtido em função do terço das ondas com as maiores alturas registradas. Por sua vez, a altura

máxima foi aferida pelo emprego da função *max* à matriz referente às alturas organizadas em ordem crescente.

```

alturaepериоdo=[altura' periodo'];
alturaepериодosort= sortrows(alturaepериоdo,1);
umterco=length(altura)*2/3;
umtercointeiro=floor(umterco);
alturasort=alturaepериодosort(:,1);
alturasignificativa=mean(alturasort(umtercointeiro:end));
periodosort=alturaepериодosort(:,2);
periodosignificativo=mean(periodosort(umtercointeiro:end));
alturamaxima=max(alturasort(umtercointeiro:end));

```

- **Estabelecimento da nomenclatura dos dados de saída:** os dados de saída referentes à altura significativa, à altura máxima, ao período significativo, ao comprimento e à profundidade foram renomeados para aplicação da função *function*, que transformou a rotina em uma função de linguagem MatLab para tratamento de dados de onda.

```

Hs=alturasignificativa;
Hmax= max(altura);
Ts=periodosignificativo;
L0=comprimento;
d=profundidade;

```

Em vista da determinação das variáveis comprimento e profundidade de ocorrência da onda, foi possível dar o passo inicial para a próxima etapa do trabalho, onde foi realizada a aplicação da Teoria Linear de Airy (TLA).

```
[C, Cg, L, E, P]=tla(Hs, Hmax, Ts, L0, d);
```

Script 2

A aplicação da Teoria Linear de Airy foi feita após a classificação das águas e remitiu os dados referentes à Celeridade, Comprimento e Velocidade de grupo. Posteriormente, foram calculados ainda os valores equivalentes à Energia e Potência das ondas.

- **Definição de águas profundas, intermediárias e rasas e aplicação da Teoria Linear de Airy:** o resultado para classificação das águas procedeu da imposição das condições que regem a relação entre comprimento e profundidade de ocorrência da onda para águas rasas, águas intermediárias ou águas profundas.

Em seguida, foram determinados os valores referentes às principais variáveis que denotam a aplicação da Teoria Linear de Airy, anteriormente citadas na tabela 1 do capítulo 4, de acordo com a classificação para águas da página 23.

```

classeagua=(d./L0);

if classeagua<0.05;
C=sqrt(10.*d);
L=Ts.*C;
Cg=sqrt(10.*d);

elseif 0.05< classeagua <0.5;
C=((10*Ts)/2*pi).*tanh((2*pi*d)./L0);
L=((10*Ts.^2)/2*pi).*tanh((2*pi*d)./L0);
Cg=0.5*(1+[(4*pi*d./L0)./sinh(4*pi*d./L0)]).*C;

elseif 0.5<classeagua;

C=(10*Ts)/2*pi;
L=(10*Ts.^2)/2*pi;
Cg=(10*Ts)/4*pi;

end

```

Vide Tabela 4

Ainda foram aferidos os dados equivalentes a Energia e Potência, por meio das fórmulas utilizadas na definição desses parâmetros para ondas.

```

E=0.125*1000*10*(Hs.^2);
P=E.*Cg;

```

Vide Tabela 4

A transformação das rotinas em funções fomentou que os dados de saída fossem somente as variáveis utilizadas na caracterização do regime de onda e os gráficos plotados ao longo dos *scripts* para melhor visualização dos dados.

O anexo F do presente trabalho consiste em um resumo de como realizar o processamento completo de dados de onda, fazendo uso das funções criadas.

6.2 Tabelas e gráficos

A visualização dos dados em tabelas e gráficos facilitou a discriminação das variáveis resultantes e a identificação das características das ondas nas regiões as quais os dados pertencem.

6.2.1 Tabelas

A tabela 2 aponta as variáveis utilizadas na determinação das ondas individuais, adotando para exemplo, os dados referentes a cerca de 10 segundos de medição na Praia da Caixa D'água – Ilha de Algodal, durante o período chuvoso.

Tabela 2 - Amostragem de valores para os principais elementos utilizados na determinação de ondas individuais.

Tempo (s)	Profundidade (m)	Oscilação da onda	Valores dos pontos de cruzamento do zero ascendente no sinal da onda	Ondas
14400	4,7067	-0,2691	0,1039	1
14401	4,8744	-0,1014	0,0886	
14401	5,0798	0,1039		
14402	5,2578	0,2819		
14402	5,3663	0,3904		
14403	5,3575	0,3815		
14403	5,2526	0,2766		
14404	5,0910	0,1149		
14404	4,9266	-0,0495		
14405	4,7984	-0,1778		
14405	4,7239	-0,2524		
14406	4,6988	-0,2775		
14406	4,6983	-0,2781		
14407	4,7221	-0,2544		
14407	4,7784	-0,1981		
14408	4,8674	-0,1092		
14408	4,9699	-0,0068		
14409	5,0654	0,0886		
14409	5,1269	0,1500		
14410	5,1534	0,1764		

Fonte: O autor.

Na tabela 3, podem ser verificados os elementos utilizados na determinação da altura e período de cada onda, individualmente. Os dados considerados nessa tabela representam as

variáveis iniciais usadas para a determinação desses parâmetros para a onda na Praia do Farol – Ilha de Algodal, no período transicional, considerando aproximadamente 2 minutos de medição.

Tabela 3 - Amostragem de valores para os principais elementos utilizados na determinação da altura e período de cada onda individual.

Tempo (s)	Valores máximos e mínimos do sinal da onda	Altura (m)	Período (s)
20300	-0,0264	0,0559	5,5
20302	0,0536	0,1421	6,0
20305	-0,0885	0,1267	6,0
20308	0,0796	0,0583	5,5
20311	-0,0471	0,0327	3,0
20316	0,0272	0,1258	6,0
20318	-0,0311	0,1936	6,0
20319	0,0138	0,0809	8,0
20321	-0,0189	0,1066	6,0
20323	0,0500	0,0637	4,0
20325	-0,0758	0,0632	5,0
20329	0,1006		
20332	-0,0930		
20334	0,0404		
20339	-0,0406		
20344	0,0426		
20346	-0,0639		
20348	0,0286		
20351	-0,0351		
20353	0,0482		
20355	-0,0150		
20358	0,0186		

Fonte: O autor.

Por fim, na tabela 4, está contido o produto da transformação das rotinas em função. Nestas, são apresentadas as principais variáveis de interesse para a caracterização das ondas nos ambientes estudados na presente pesquisa, satisfazendo a proposta de determinação desses parâmetros de onda.

Tabela 4 - Valores referentes às variáveis determinadas pelas funções resultante das rotinas.

Locais de coleta	Hmax (m)	Hs (m)	Ts (s)	C (m/s)	Cg (m/s)	L (m)	E (J)	P (W)
Ilha de Mosqueiro	0,19	0,08	4,95	7,43	7,43	36,73	7,69	57,15
Praia da Caixa d'água (Chuvoso)	1,04	0,35	6,85	5,67	5,67	38,86	154,33	875,75
Praia da Caixa d'água (Chuvoso - Final)	0,50	0,16	6,85	4,91	4,91	33,63	33,73	165,65
Praia da Caixa d'água (Menos Chuvoso)	0,63	0,20	5,74	5,62	5,62	32,25	51,15	287,43
Praia da Princesa (Chuvoso)	1,31	0,53	7,34	5,55	5,55	40,75	349,77	1941,20
Praia da Princesa (Chuvoso - Final)	0,63	0,27	6,30	5,46	5,46	34,37	89,35	487,49
Praia da Princesa (Menos Chuvoso)	0,40	0,18	5,39	5,30	5,30	28,54	42,47	224,99
Praia do Farol (Chuvoso - Final)	0,37	0,16	6,55	4,78	4,78	31,32	31,93	152,63

Fonte: O autor.

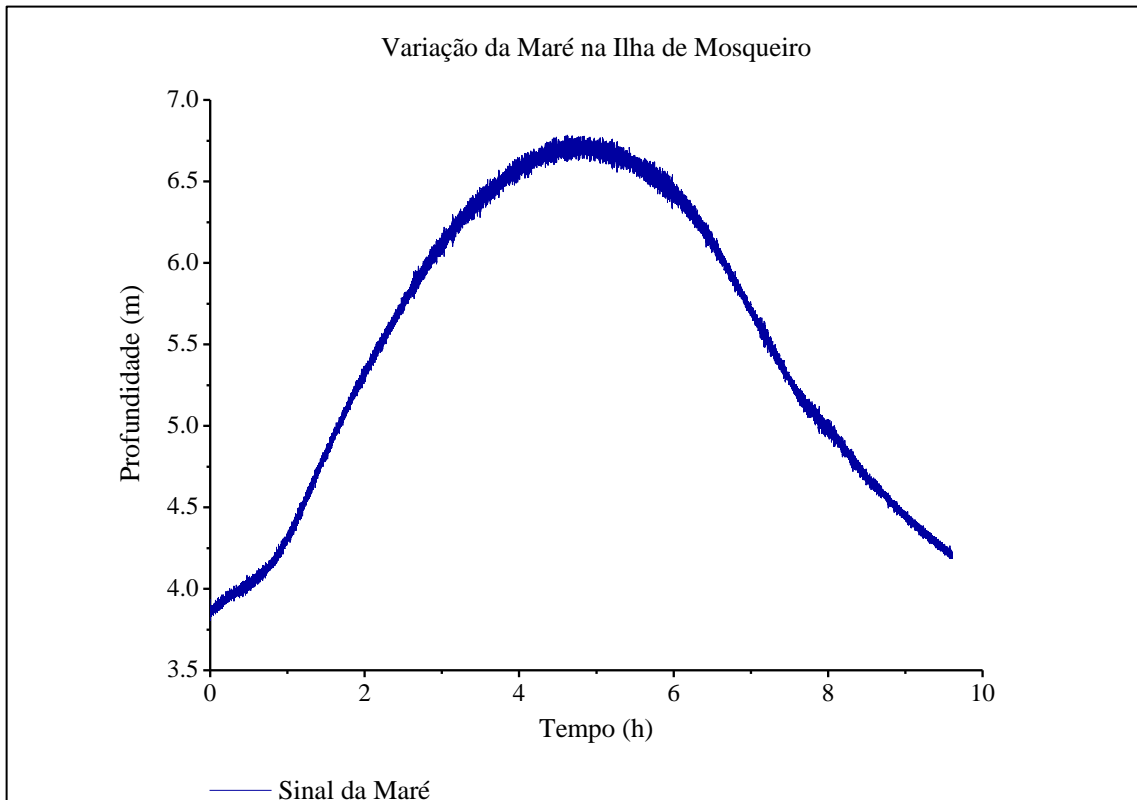
6.2.2 Gráficos

Os gráficos apresentados a seguir referem-se aos dados coletados na Ilha de Mosqueiro. As figuras resultantes do processamento aplicado além de facilitarem a visualização geral dos dados obtidos, propiciaram a identificação de erros durante a criação da rotina.

A figura 11 demonstra o ciclo de Maré nessa ilha, a partir da variação da profundidade medida em função do tempo, sendo que esta apresentou amplitude de aproximadamente 2,98 m.

Assim, a variação de maré calculada pela rotina desenvolvida, está de acordo com os dados presentes na literatura, como demonstrado por Gregório e Mendes (2009), que apontam uma amplitude de maré de até 3,6 m durante o período de sizígia da região.

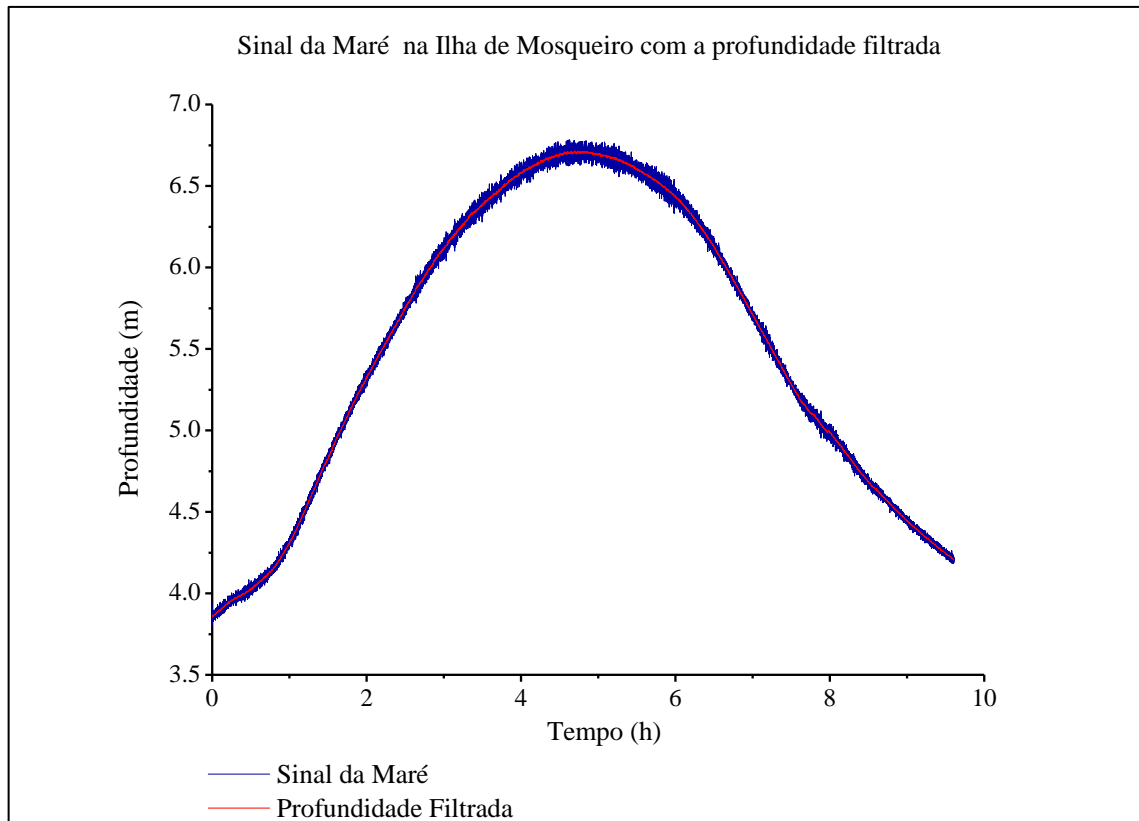
Figura 11 - Variação da profundidade dada pelo equipamento em função do tempo de coleta, apresentando o sinal de Maré da Ilha de Mosqueiro, Baía de Marajó, PA-Brasil.



Fonte: O autor.

Na figura 12, o *output* aborda, principalmente, a relação entre a profundidade obtida pelo equipamento e a profundidade filtrada a partir da função *weim*. A aplicação deste filtro nos dados referentes à Ilha de Mosqueiro foi satisfatório, em relação aos dados registrados no estuário do rio Mojuim, anteriormente questionados.

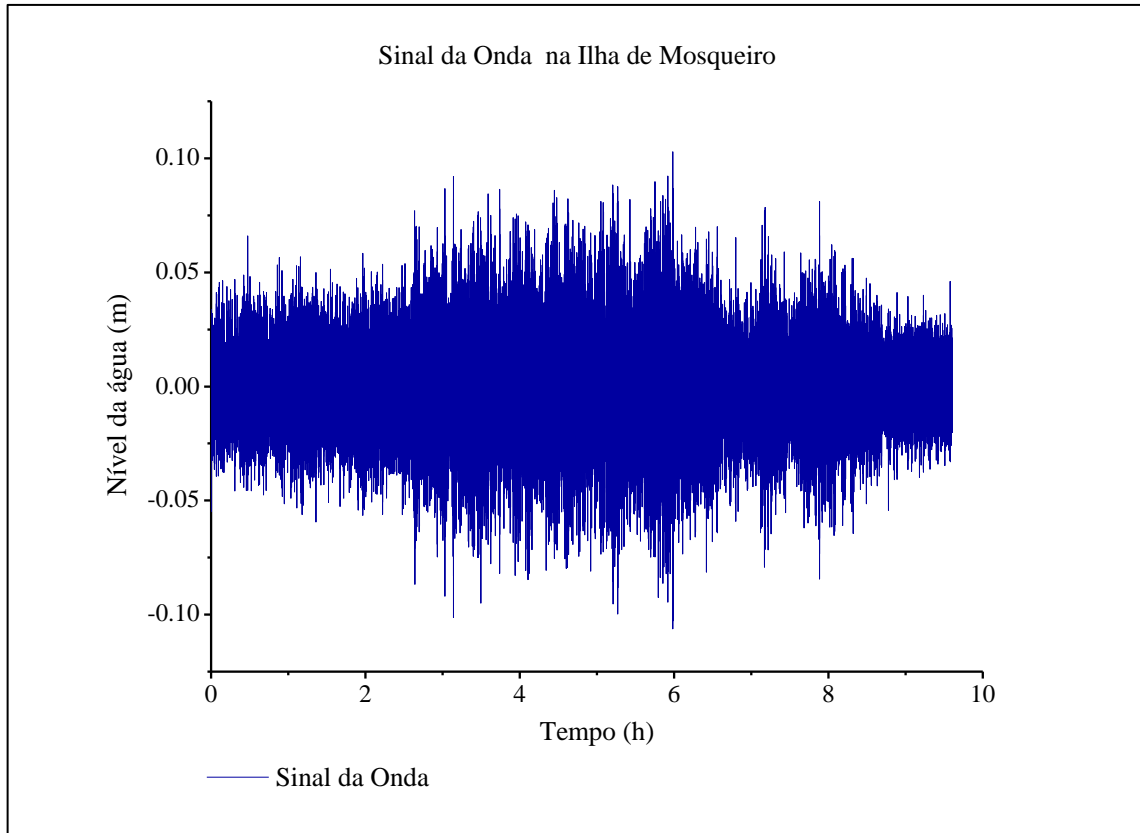
Figura 12 - Variação da profundidade dada pelo equipamento e da profundidade filtrada em função do tempo de coleta, no sinal de Maré da Ilha de Mosqueiro, Baía de Marajó, PA-Brasil.



Fonte: O autor.

A distinção de aplicabilidade supracitada deve-se principalmente as características das ondas formadas em cada uma dessas regiões, sendo que, ocorrem ondas muito maiores na Ilha de Mosqueiro (Figura 13), do que no estuário do rio Mojuim.

Figura 13 - Variação da amplitude de onda para a Ilha de Mosqueiro, Baía de Marajó, PA-Brasil, a partir da relação entre o nível da água em função do tempo de coleta.

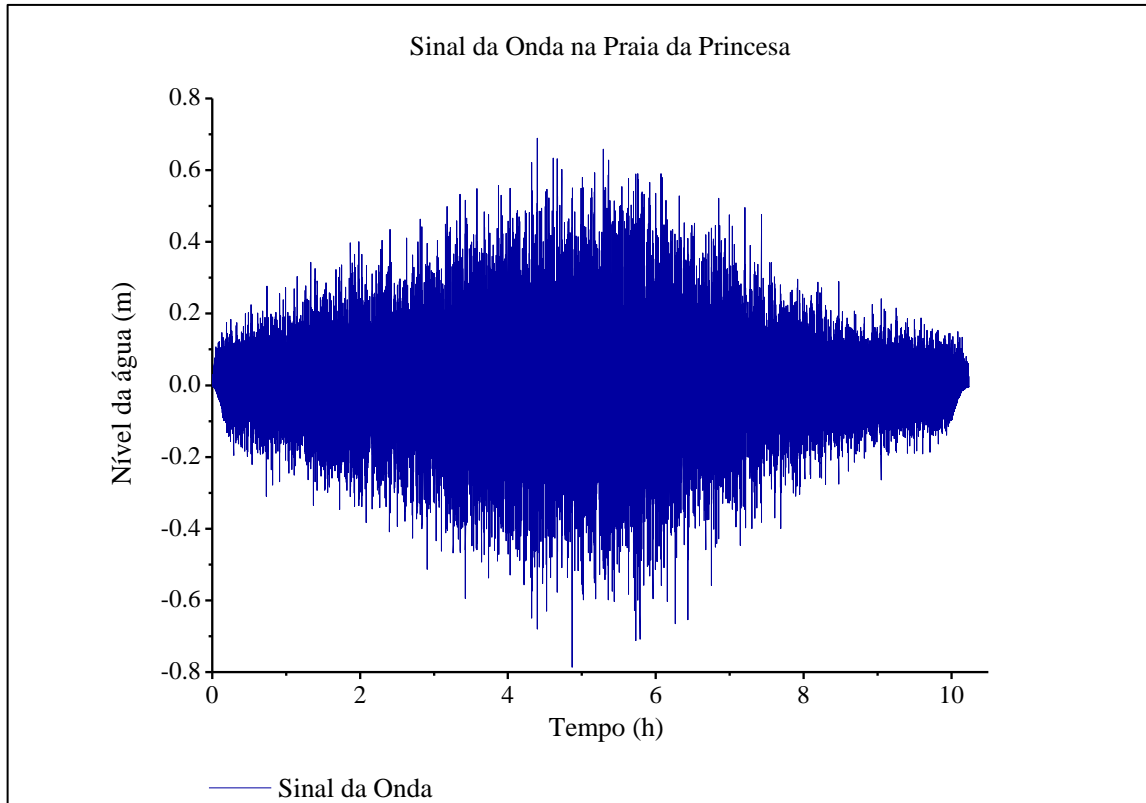


Fonte: O autor.

As diferentes propriedades desses locais como dimensão do *fetch* e exposição ao contato direto com o oceano, são as principais forças responsáveis por essa diferença na formação das ondas, como exposto por Le Hir et al. (2000) áreas mais abrigadas ao contato, tendem a possuir altura de ondas e energia menor do que áreas mais expostas e que possuem uma pista de vento maior.

Essa diferença entre a altura das ondas também pode ser observada quando se compara os dados mensurados na Ilha de Mosqueiro com os dados referentes à Ilha de Algodual (Figura 14), sendo esta última uma área mais exposta ao contato com o oceano.

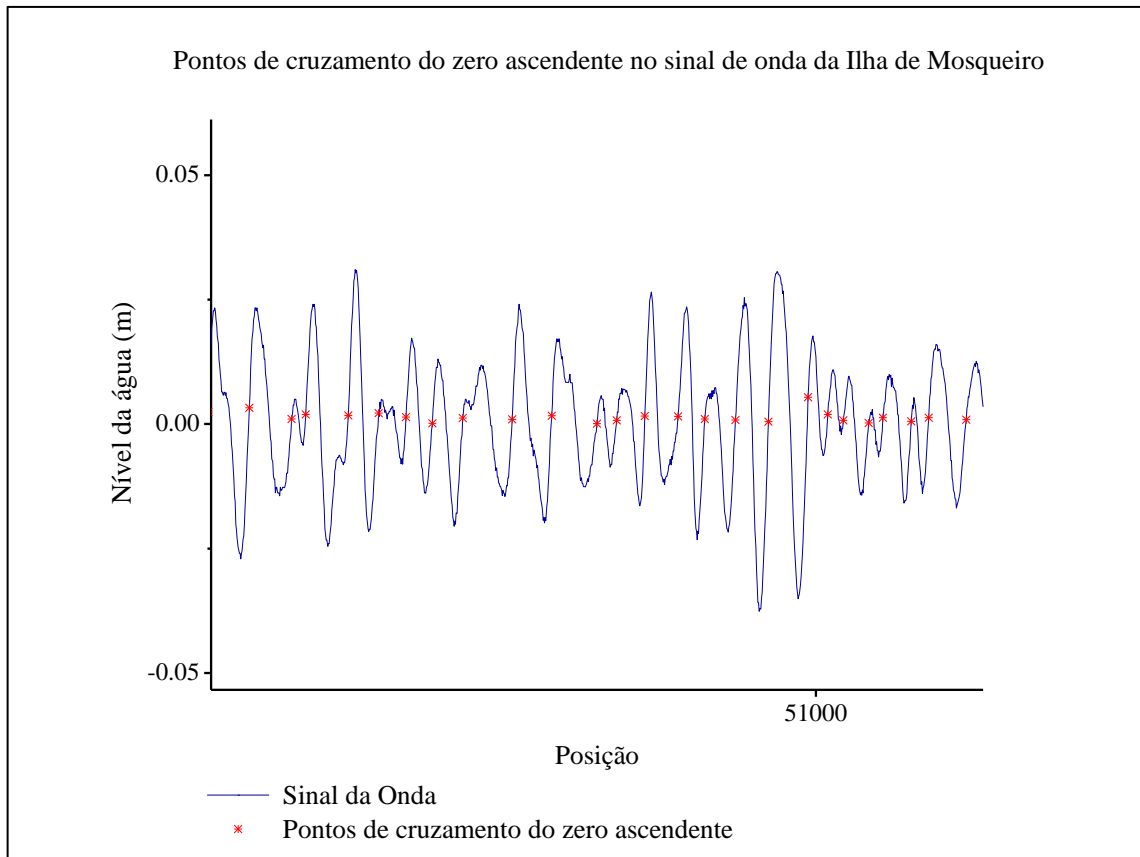
Figura 14 - Variação da amplitude de onda para a Praia da Princesa, Ilha de Algodual, PA-Brasil, a partir da relação entre o nível da água em função do tempo de coleta.



Fonte: O autor.

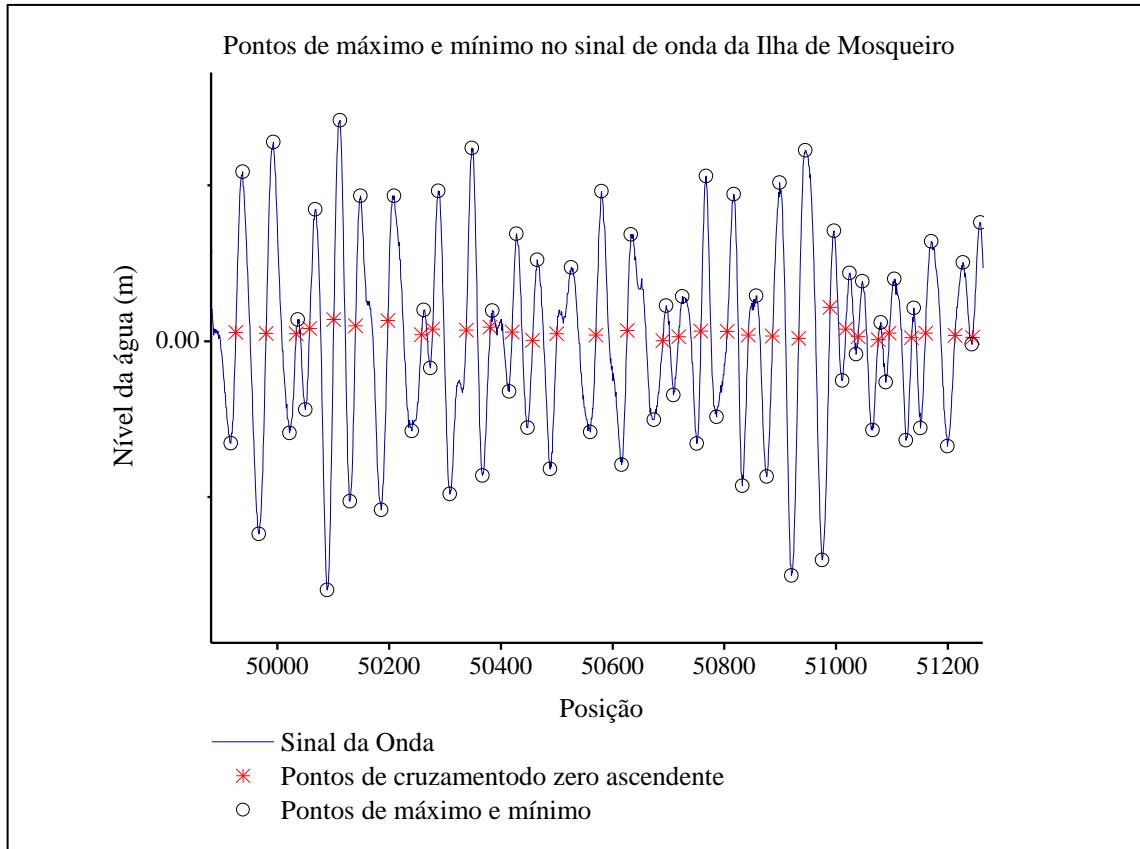
A figura 15 apresenta mais detalhadamente a distribuição dos pontos de cruzamento do zero ascendente, que associados aos valores máximos e mínimos do sinal de onda (Figura 16), possibilitaram o cálculo tanto da altura supracitada quanto do período deste componente hidrodinâmico.

Figura 15 - Distribuição dos pontos de zero ascendente, no sinal de onda da Ilha de Mosqueiro, Baía de Marajó, PA-Brasil.



Fonte: O autor.

Figura 16 - Distribuição dos pontos máximos e mínimos do sinal de onda da Ilha de Mosqueiro, Baía de Marajó, PA-Brasil.



Fonte: O autor.

6.3 Testes estatísticos

6.3.1 RMSE

A eficiência da coleta de dados para qualquer parâmetro que se deseja mensurar é de significativa importância para obtenção de resultados válidos. Neste contexto, devem ser ressaltados os altos custos que demandam determinadas amostragens, de tal maneira que a redução no período de coleta pode representar um impacto significativamente positivo para a redução de custos e economia de bateria do equipamento.

Desta forma, os valores verificados nas tabelas 5 e 6, calculados pelo teste RMSE, evidenciam que os registros obtidos em 30 minutos de coleta representam 95% dos dados amostrados em 1 hora de coleta. O erro de 5% é aceitável em diversos trabalhos que utilizam a estatística como ferramenta de validação de dados, a exemplo, Brezolin (2011).

Tabela 5 - Valores de altura significativa, resultantes do teste RMSE para dados obtidos em períodos de coleta distintos, amostrados em ambientes amazônicos.

Locais de coleta	Hs (m)			
	Entre a Hora e 30 minutos	Entre a Hora e 20 minutos	Entre a Hora e 10 minutos	Entre a Hora e 5 minutos
Ilha de Mosqueiro	0,00248	0,00628	0,00604	0,01078
° Praia da Caixa d'água	0,03645	0,04850	0,05754	0,06240
* Praia da Caixa d'água	0,01355	0,01987	0,03062	0,03208
+ Praia da Caixa d'água	0,02689	0,03173	0,03631	0,04717
° Praia da Princesa	0,03059	0,04032	0,06376	0,07439
* Praia da Princesa	0,01699	0,02282	0,03453	0,03963
+ Praia da Princesa	0,01341	0,01631	0,02224	0,02683
* Praia do Farol	0,00940	0,01440	0,02102	0,03159

* Final do período chuvoso

° Chuvoso

+ Menos chuvoso

Fonte: O autor.

Tabela 6 - Valores de período significativo, resultantes do teste RMSE para dados obtidos em períodos de coleta distintos, amostrados em ambientes amazônicos.

Locais de coleta	Ts (s)			
	Entre a Hora e 30 minutos	Entre a Hora e 20 minutos	Entre a Hora e 10 minutos	Entre a Hora e 5 minutos
Ilha de Mosqueiro	0,0025	0,0840	0,1102	0,2138
Praia da Caixa d'água (Chuvoso)	0,2578	0,3897	0,4554	0,6680
Praia da Caixa d'água (Chuvoso - Final)	0,2164	0,2562	1,4781	0,5318
Praia da Caixa d'água (Menos Chuvoso)	0,2473	0,2627	0,3331	0,4532
Praia da Princesa (Chuvoso)	0,3908	0,5002	0,6224	0,5930
Praia da Princesa (Chuvoso - Final)	0,1980	0,2559	0,4053	0,4459
Praia da Princesa (Menos Chuvoso)	0,2394	0,2878	0,2381	0,2328
Praia do Farol (Chuvoso - Final)	0,1487	0,2453	0,3511	0,4648

Fonte: O autor.

Com o intuito de reduzir ainda mais o tempo de coleta, deve-se considerar a representatividade dos dados coletados a cada 10 minutos, em relação àqueles amostrados durante 1 hora. Apesar do aumento no valor do erro para 10% dos registros, autores como Abackerli et al. (2015), aferem este erro como aceitável para análises que possuem grande quantidade de amostras, como é o caso dos registros mensurados para ondas.

Teste entre os métodos do zero ascendente e do zero descendente

A média dos resultados obtidos para altura significativa e período significativo pelos métodos do zero ascendente e do zero descendente foram semelhantes, demonstrando a coerência em aplicar somente um dos métodos para o desenvolvimento da rotina (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores de altura significativa e período significativo, resultantes da aplicação do método do zero descendente e do zero ascendente para dados obtidos em ambientes amazônicos.

Pontos de coleta	Método de cruzamento do zero descendente		Método de cruzamento do zero ascendente	
	Hs (m)	Ts (s)	Hs (m)	Ts (s)
Ilha de Mosqueiro	0,0786	4,9476	0,0785	4,9458
Praia da Caixa d'água (Chuvoso)	0,3517	6,8395	0,3514	6,8484
Praia da Caixa d'água (Chuvoso - Final)	0,1638	6,7943	0,1643	6,8485
Praia da Caixa d'água (Menos Chuvoso)	0,2020	5,6952	0,2023	5,7403
Praia da Princesa (Chuvoso)	0,5309	7,3107	0,5290	7,3434
Praia da Princesa (Chuvoso - Final)	0,2665	6,2666	0,2674	6,3003
Praia da Princesa (Menos Chuvoso)	0,1870	5,4224	0,1843	5,3871
Praia do Farol (Chuvoso - Final)	0,1605	6,5642	0,1598	6,5526
Média	0,2426	6,2301	0,2421	6,2458

Fonte: O autor.

A diferença entre os valores resultantes para um ou outro método não alteraria de forma significativa a obtenção dos dados desejados, logo, a análise das características das ondas e o desenvolvimento dos *scripts* não foram comprometidos pela aplicação de somente um método. Esta afirmação corrobora com o estudo de Candella e Candella (2010), que

evidenciou que o emprego de apenas um destes métodos não comprometeria a análise dos dados.

Comparação entre os resultados obtidos e os dados da literatura

A região da Ilha de Algodal segundo Pereira et al. (2012) apresenta altura significativa média entre 0,4 e 1,3 m para as praias mais expostas. Por sua vez, Silva, Souza-Filho e Rodrigues (2009) apontam que em regiões mais abrigadas a altura média de onda nessa área pode alcançar até 1 m.

Logo, os resultados obtidos pela rotina desenvolvida corroboram com a literatura, dado que para a região da Praia da Princesa verificou-se altura significativa de até 0,5 m, enquanto que, áreas mais abrigadas apresentaram altura significativa de até 0,4 m para as ondas.

Na região da Baía de Marajó foram verificados valores de altura significativa de onda entre 0,08 e 1,15 m, com períodos significativos entre 2,42 e 5,32 s (AGUIAR, 2011). Assim, os dados referentes à Ilha de Mosqueiro produzidos pela rotina em questão estão de acordo com o apresentado na literatura, dado que a altura significativa verificada para essa área foi de 0,08m e o período significativo foi de 4,94 s.

Os valores de altura significativa e período significativo da onda, verificados pelo *script*, corroboraram com aqueles presentes na literatura. Desta forma, é válido afirmar que a rotina desenvolvida é substancialmente eficiente no tratamento de dados de ondas ocorrentes na região amazônica.

7 CONCLUSÃO

A rotina desenvolvida executou efetivamente as funções para as quais foi elaborada, fornecendo os valores referentes aos principais parâmetros que caracterizam as ondas geradas pelo vento. De tal modo, que sua aplicação foi possível no processamento dos dados de onda de ambientes costeiros com características distintas, pertencentes à região amazônica.

No entanto, a utilização desta em locais que apresentam histórico de altura máxima de onda equivalente ou menor que 0,03 m não é recomendada, pois a sua aplicação pode gerar resultados errôneos. Em vista disso, recomenda-se em trabalhos futuros a inclusão de um cálculo para o valor utilizado na função *weim* dentro da rotina.

Os *outputs* produzidos pela rotina auxiliam na discriminação das variáveis relevantes e na visualização dos principais dados estudados na caracterização de ondas geradas pelo vento, facilitando a análise dos registros.

O padrão de coleta de registros para a área pode ser estabelecido com um menor período de amostragem, dada à discrepância dos resultados dentro de um erro aceitável de 10%. Além disso, o uso dos métodos de cruzamento do zero ascendente e do zero descendente não apresentam diferenças significativas entre si nos resultados obtidos, logo, a aplicação de somente um desses métodos na maioria dos casos não compromete a confiabilidade dos resultados.

Os resultados obtidos pela rotina estão de acordo com os verificados em estudos realizados na área. Portanto, a metodologia desenvolvida apresenta o grau de confiabilidade necessário para ser aplicada durante o tratamento de dados de onda referentes à região amazônica.

A exclusão do sinal de maré durante o processamento dos dados possibilita o uso dessa metodologia em regimes de macro, meso e micromarés. Assim, esta pode ser aplicada ao processamento de dados coletados *in situ*, através do uso de sensores de pressão, tanto na região amazônica como em áreas com características similares.

REFERÊNCIAS

- ABACKERLI, A. J.; PEREIRA, P. H.; OLIVEIRA, M. C.; MIGUELET, P. A. C. *Metrologia para a qualidade*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- AFONSO, D. J. S. *Simulação numérica da interação de ondas com um quebra-mar poroso utilizando o código Open Foam*. 2014. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014.
- AGUIAR, D. F. *Modelagem de ondas geradas pelo vento no terminal portuário de Vila do Conde – Pará*. 2011. 97 f. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Itajaí, 2011.
- AIRY, G. B. Tides and waves. *Encyc. Metrop. Article*, v.192, p. 241-396, 1845.
- ALMEIDA, L. R.; AMARO, V. E.; MARCELINO, A. M. T.; SCUDELARI, A. D. Avaliação do clima de ondas da praia de Ponta Negra (RN, Brasil) através do uso do SMC-Brasil e sua contribuição à gestão costeira. *Rev. de Gestão Cost. Integrat. / J. of Integrat. Coastal Zone Manag.*, v.15, n. 2, p. 135-151, 2015.
- ASP, N. E.; DE FREITAS, P. T. A.; GOMES, V. J. C.; GOMES, J. D. Hydrodynamic overview and seasonal variation of estuaries at the eastern sector of the Amazonian coast. *J. of Coast. Res.*, v. 2, n. 65, p. 1092, 2013.
- ASSIS, L. E.; BELUCO, A.; ALMEIDA, L. E. B. Avaliação e aproveitamento da energia de ondas oceânicas no litoral do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 3, p. 21-29, 2013.
- AZAÏS, J. M.; DÉJEAN, S.; LEÓN, J. R.; ZWOLSKA, F. Transformed Gaussian stationary models for ocean waves. *Probabil. Eng. Mechan.*, v. 26, p. 342-349, 2011.
- BAÍÁ, L. P. Setorização sedimentar do estuário do rio Mojuim, São Caetano de Odivelas/PA. 2016. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Pará, Belém. 2016.
- BALTAZAR, L. R. S.; MENEZES, M. O. B.; ROLLNIC, M. Contributions to the Understanding of Physical Oceanographic Processes of the Marajó Bay – PA. *North Brazil*, v. 64, p. 1443–1447, 2011.
- BARNSTON, A. G. Correspondence among the correlation, RMSE, and Heidke forecast verification measures; refinement of the Heidke Score. *Weather and Forecasting*, v. 7, n. 4, p. 699-709, 1992.
- BARROS, D. D. F.; TORRES, M. F.; FRÉDOU, F. L. Ictiofauna do estuário de São Caetano de Odivelas e Vigia (Pará, Estuário Amazônico). *Biota Neotrop.*, v. 11, n. 2, p. 367-373, 2011.
- BASTOS, M. N. C.; ROSÁRIO, C. S.; LOBATO, L. C. B. Caracterização fitofisionômica da restinga de Algodal - Maracanã, Pará, Brasil. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi*, sér. Bot., v. 11, n. 2, 1995.

BATISTA, E. D. M.; SOUZA FILHO, P. W. M.; DA SILVEIRA, O. F. M. Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira Amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos. *Rev. Brasil. de Geof.*, v. 27, p. 83-96, 2009.

BATISTA, E. M.; SOUZA FILHO, P. W. M.; ODETE FÁTIMA MACHADO DA SILVEIRA. Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira Amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos. *Rev. Brasil. de Geof.*, v. 27, Supl. 1, p. 83-96, 2009.

BATTJES, J. A. A case study of wave height variations due to currents in a tidal entrance. *Coast. Eng.*, v. 6, p. 47-57, 1981.

BATTJES, J. A. Set-up due to irregular waves. In: Coastal Engineering Conference, 14th, 1974, Denmark. Proceedings, Denmark: ASCE, 1974, p. 1993-2004.

BEHLING, H.; COSTA, M. L. Mineralogy, geochemistry, and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras formation of Mosqueiro Island, northeastern Para state, eastern Amazonia. *J. of South Amer. Earth Sciences*, v. 17, n. 4 p. 285-295, 2004.

BERREDO, J. F.; PROST, M. T.; COSTA, M. L. Morfologia, evolução hidrológica e geoquímica dos manguezais do estuário do rio Marapanim, costa NE do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9. 2003, Belém. *Anais...*, Belém: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2003, 1 CD-ROM.

BORBA, T. A. C. *Modelagem hidrodinâmica aplicada ao estuário amazônico: uma abordagem em malha flexível*. 2014. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2014.

BOUSSINESQ, J. Théorie des ondes et des remous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal, en communiquant au liquide contenu dans ce canal des vitesses sensiblement pareilles de la surface au fond. *J. de Math. Pures et App.*, p. 55-108, 1872.

BREZOLIN, P. T. *Análise da variação e estabilidade da linha de costa da Praia da Armação, Florianópolis – Litoral Sul da Ilha de Santa Catarina*. 2011. 50 f. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2011.

BRODTKORB, P. A.; JOHANNESSON, P.; LINDGREN, G.; RYCHLIK, I.; RYDÉN, J.; SJÖ, E. WAFO a Matlab toolbox for analysis of random waves and loads. In: International Offshore and Polar Engineering Conference, Tenth, 2000, Seattle. Proceedings, Seattle: International Society of Offshore and Polar Engineers, 2000, 1 CD-ROM.

CAMERON, W. M.; PRITCHARD, D. W. Estuaries. In: HILL, M. N. (Ed.). *The sea*. New York: John Wiley & Sons, 1963. v. 2, p. 306-324.

CAMPOS, R. M. *Análise dos extremos de onda no rio de janeiro associados a ciclones extratropicais no Atlântico Sul*. 2009. 269 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, 2009.

CANDELLA, R. N.; CANDELLA, M. V. Investigações sobre a ocorrência de ondas anormais em Arraial do Cabo, RJ. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 28, p. 551–561, 2010.

CARNEIRO, M. L. *Desenvolvimento de dispositivo de geração e absorção ativa de ondas para tanque de ensaios de estruturas oceânicas*. 2007. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, 2007.

CARVALHO, J. T. *Simulação da distribuição de energia das ondas oceânicas ao largo do litoral brasileiro*. 2010. 169 f.. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisa, Pós-Graduação em Meteorologia, São José dos Campos, 2010.

CHAI, T., DRAXLER, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscient. Model Develop.*, v. 7, p. 1247–1250, 2005.

CLEMENTE, D. S. *Metodologia de Ensaio em Modelos Reduzidos*. 2013. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, Itajubá, 2013.

CORRÊA, I. C. S. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó-PA. *Pesquisas em Geociências*, v. 32, n. 2, p. 109-118, 2005.

COSTA, F. F.; LIMA, W. N. *Avaliação geoquímica ambiental de área selecionada da bacia hidrográfica do rio Maracanã (Nordeste do Pará)*. 2004. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental e de Superfície) - Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2004.

COSTA, F. F.; LIMA, W. N.; DIAS, J. C. Avaliação hidrogeoquímica em áreas selecionadas na bacia hidrográfica do rio Maracanã (nordeste do Pará). *HOLOS Environm.*, v.9, n.2, p. 168, 2009

COSTA, M. S. *Aporte hídrico e de material particulado em suspensão para a Baía do Marajó: contribuições dos rios Jacaré Grande, Pará e Tocantins*. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, 2014.

DA SILVA, C. A.; SOUZA FILHO, P. W. M.; RODRIGUES, S. W. P. Morphology and modern sedimentary deposits of the macrotidal Marapanim Estuary (Amazon, Brazil). *Cont. Shelf Res.*, v. 29, n. 3, p. 619-631, 2009.

DALRYMPLE, R. W.; ZAITLIN, B. A.; BOYD, R. Estuarine facies models: conceptual basis e stratigraphic implications. *J. of Sediment. Petrol.*, v. 62, n. 6, p. 1130-1146, 1992.

DE SOUZA, E. B. Análise e previsão climática regional da Amazônia oriental: contribuições do projeto RPCH. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2008, São Paulo. Anais... São Paulo: SBMET, 2008, 1 CD-ROM.

DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. *Water wave mechanics for engineers and scientists*. World Scientif, 1991.

DIEGUES, A. C.; CESAR, P.; ROSMAN, C. (n.d.). Caracterização dos Ativos Ambientais em Áreas Seleccionadas da Zona Costeira Brasileira. *Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal*, v. 136, p. 1-140, 1998.

DILLON, J. T.; HUANG, Y. Texpress v1.0: A Matlab toolbox for efficient processing of GDGT LC-MS data. *Organ. Geoch.*, v. 79, p. 44-48, 2015.

DIONNE, J. C. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. *Zeitsch rift fur Geomorph.*, v. 7, p. 36-44, 1963.

FRANÇA, C. F, PIMENTEL. M. A. S. Diversidade paisagística da margem oeste da baía de Marajó, Pará, Norte do Brasil. *Revista Geonorte*, v. 3, n. 4, p. 900-910, 2012.

FRANÇA, F. *Introdução ao MATLAB*. 2008. 58 f. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2008. (Guia)

FRANÇA, M. C.; FRANCISQUINI, M. I.; COHEN, M. C. L.; PESSEDA, L. C. R.; ROSSETTI, D. F.; GUIMARÃES, J. T. F.; SMITH, C. B. The last mangroves of Marajó Island - Eastern Amazon: Impact of climate and/or relative sea-level changes. *Review of Palaeobot. and Palynol.*, v. 187, p. 50-65, 2012.

GEYER, W. R.; BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; CASTRO FILHO, B. M.; LEHECKIS, R. V.; LENTZ, S. J.; LIMEBURNER, R.; MIRANDA, L. B.; TROWBRIDGE, J. H. The physical oceanography of the Amazon outflow. *Oceanography*, v. 4, p. 8-14, 1991.

GREGÓRIO, A. M. S.; MENDES, A. C. Characterization of sedimentary deposits at the confluence of two tributaries of the Pará River Estuary (Guajará Bay, Amazon). *Cont. Shelf Res.*, v. 29, p. 609-618, 2009.

GUEDES SOARES, C.; CHERNEVA, Z.; ANTAO, E. M. Characteristics of abnormal waves in North Sea storm sea states. *App. Oc. Res.*, v. 25, p. 337-344, 2003.

GUIMARÃES, P. V.; FARINA, L.; TOLDO JR, E. E.. Analysis of extreme wave events on the southern coast of Brazil. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 14, p. 3195-3205, 2014.

HEGGE, B.; ELIOT, I.; HSU J. Sheltered Sandy Beaches of Southwestern Austrália. *J. of Coastal Res.*, v. 12, n. 3, p. 748-760, 1996.

HOEFEL, F. G. *Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica*. Itajaí: Editora da Univali, 1998. 92 p.

HOLTHUIJSEN, L. H. *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge University Press: The Edinburgh Building, Cambridge, UK, 2007. 387 p.

ISOBE, M. Calculation and application of first-order cnoidal wave theory. *Coastal Eng.*, v. 9, n. 4, p. 309-325, 1985.

JACKSON, N.; NORDSTROM, K. Depth of activation of sediment by plunging breakers on a steep sand beach. *Marine Geol.*, v. 115, p.143-151, 1993.

JACKSON, N.; NORDSTROM, K. Site Specific Controls on Wind and Wave Processes and Beach Mobility on Estuarine Beaches in New Jersey, USA. *J. of Coastal Res.*, v. 8, n. 1, p. 88-98, 1992.

JACKSON, N.; NORDSTROM, K.; ELIOT, I.; MASSELINK, G. Low energy' sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*, v. 48, p. 147-162, 2002.

KIYATAKE, D. M. Avaliação sanitária de água de cultivo de e de ostras da zona do Salgado, nordeste do estado do Pará-Brasil. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) - Universidade Federal do Pará, 2011.

KLEIN, A. H. F.; MENEZES, J. T. Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. *J. Coastal Res.*, v. 17, n. 4, p. 812-835, 2001.

KORTEWEG, D. J.; DE VRIES, G. X. On the change of form of long waves advancing in a rectangular canal, and on a new type of long stationary waves. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, v. 39, n. 240, p. 422-443, 1985.

LAING, A.; GEMMILL, W.; MAGNUSSON, A. K.; BURROUGHS, L.; REISTAD, M.; KHANDEKAR, M.; HOLTHUIJSEN, L.; EWING, J. A.; CARTER, D. J. T. *Guide to wave analysis and forecasting*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 1998. 159 p.

LE HIR, P.; ROBERTS, W.; CAZAILLET, O.; CHRISTIE, M.; BASSOULLET, P.; BACHER, C. Characterization of intertidal flat hydrodynamics. *Cont. Shelf Res.*, v. 20, n.12, p. 1433-1459, 2000.

MARTINS, A. L. G. *A macrofauna bentônica das praias arenosas expostas do Parque Nacional de Superagüi – PR: subsídios ao plano de manejo*. 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MARTINS, A. M.; JUNIOR, D. H.; SEGUNDO, F. O. O.; NASCIMENTO, G. M. G.; GURGEL, L. C.; SANTOS, L. P. C.; FONTENELE, L. F. A.; BEZERRA, P. A. M.; COSTA, R. F. S. *Matlab*. 2010. 114 f. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2010. (Guia)

MARTINS, C. F.; COSTA, R. L.; FRANZEN, T. A.; REIS, A. V. Aplicação de um filtro digital implementado em microcontrolador para sensoriamento ótico. *Controle e instrumentação*, v. 8, n. 87, 2003.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.; CÉSAR, E. G. M.; PEREIRA, J. Estudos climáticos do Estado do Para, classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thorntwaite, Mather). Belém: Sudam./EMBRAPA, SNLCS, 1993.

MCCOWAN, J.. On the solitary wave. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, v. 32, n. 194, p. 45-58, 1891.

MCLACHLAN, A.; BROWN, A. *The ecology of sandy shores*. San Diego: Academic 137 Press, 2006. 373 p.

MEIRELLES, S.; VIOLANTE-CARVALHO, N. Modelagem computacional da propagação de ondas superficiais no oceano: um subsídio para a compreensão dos fenômenos ópticos. *Rev. Bras. de Ensino de Física*, v. 29, n. 4, p. 555-563, 2007.

MENDES, A. L. T. *Desenvolvimento de uma boia-ondógrafo brasileira*. 2012. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Pós-Graduação de Pesquisa e Engenharia, Rio de Janeiro, 2012.

MENDES, R. P. G., CALADO, M. R. A, MARIANO, S. J. P. S. Wave energy potential in Portugal-Assessment based on probabilistic description of ocean waves parameters. *Renew. Energy*, v. 47, p. 1-8, 2012.

NASCIMENTO JR., W. R.; SOUZA FILHO, P. W. M.; PROISY, C.; LUCAS, R. M.; ROSENQVIST, A. Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 117, p. 83-93, 2013.

NORDSTROM, K. *Estuarine Beaches*. New York: Elsevier Science Publishers, Ltd., 1992.

OCEFPAF-MATLAB. *Função weim*. Disponível em <<http://ocefpaf-matlab.googlecode.com/svn/trunk/synop-LaDO/weim.m>>. Acesso em 15 de abril de 2016.

OLIVEIRA, R. R. S. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra nas microbacias hidrográficas dos igarapés Timboteua e Peripindeua, Nordeste paraense. In: SEMINARIO DE INICIACAO CIENTÍFICA DA EMBRAPA, 14., 2010, Belém-PA, *Resumos...* Belém-PA: EMBRAPA, CD-ROM, 2010.

PARISE, C. K. *Estudo da variabilidade de ondas no Oceano Atlântico Sul e a contribuição energética de um ciclone extratropical intenso nos espectros das ondas ao largo do Rio Grande do Sul*. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, 2010.

PAWLOWICZ, R.; BEARDSLEY, B.; LENTZ, S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using TTIDE. *Computers & Geosciences*, v. 28, p. 929-937, 2002.

PECLY, J. O. G. *Metodologia para aquisição, processamento e análise de dados ambientais em suporte à modelagem computacional costeira e estuarina*. 2008. 278 f. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

PEREIRA, L. C. C.; OLIVEIRA, S. M. O.; COSTA, R. M.; COSTA, K. G.; VILA-CONCEJO, A. What happens on an equatorial beach on the Amazon coast when La Niña occurs during the rainy season? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 135, p. 116-127, 2013.

PEREIRA, L. C. C.; SILVA, N. I. S.; DA COSTA, R. M.; ASP, N. E.; COSTA, K. G. D. A, VILA-CONCEJO, A. Seasonal changes in oceanographic processes at an equatorial macrotidal beach in northern Brazil. *Cont. Shelf Res.*, v. 43, p. 95-106, 2012.

PICANÇO, M. S. M. A formação vegetal do município de São Caetano de Odivelas (PA), por meio de produtos de sensoriamento remoto. *Revista Geonorte*, Edição Especial, v. 1, n. 4, p.113-124, 2013.

- PICCOLI, F. P. *Interação de ondas monocromáticas com batimetria de fundo e recife artificial*. 2005. 88 f. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- PINHO, U. F. *Caracterização dos estados de mar na Bacia de Campos*. 2003. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- POND, S.; PICKARD, G. L. *Introductory dynamical oceanography*. 2. ed. New York: Addison-wesley publishing company Pergamon Press, 1983. 329 p.
- PRESTES, Y. O.; ROLLNIC, M.; SILVA, M.S.; ROSÁRIO, R. P. *Volume transport in the tidal limit of the Pará River, Brazil*. In: Physics of Estuaries and Coastal Seas conference (PECS), 17^a, 2014, Porto de Galinhas. *Proceedings*, Porto de Galinhas, 2014, p. 19-24.
- ROCHA, A. S. *Caracterização física do estuário do rio Mojuim em São Caetano de Odivelas – PA*. 2015. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-graduação em Geofísica, Belém, 2015.
- SAMPAIO, M. J. R. T. *Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente a Pinheiro da Cruz*. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F. M.; CARVALHO, L. M.; VIOLANTE-CARVALHO, N. Sensibilidade de espectros de ondas oceânicas recuperados por radar de abertura sintética. *Bol. Ciênc. Geod.*, v. 21, n. 2, p. 251-273, 2015.
- SCHALLENBERGER, B. H. *A atividade pesqueira nas ilhas do entorno de Belém*. 2010. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) - Universidade Federal do Pará, 2010.
- SCHETTINI, C. A. F.. Caracterização Física do Estuário do Rio Itajaí-açu, SC. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 1, p. 123-142, 2002.
- SCHETTINI, C. A. F.; MAIA, L. P.; TRUCCOLO, E. C. Análise da variabilidade do nível da água na costa de Fortaleza, Ceará. *Arq. Ciên. Mar*, v. 44, n. 1, p. 27-32, 2011.
- SHORT, A. D. The role of wave height, period, slope, tide range and embaymentisation in beach classifications: a review. *Rev. Chil. de Hist. Nat.*, v. 69, p. 589-604, 1996.
- SILVEIRA, F. L.; VARRIALE, M. C.. Propagação das ondas marítimas e dos tsunamis. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 22, n. 2, p. 190-215, 2005.
- SOARES, L. C. Hidrografia. In: Fundação INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Geografia do Brasil (Norte)*. Rio de Janeiro: FIBGE, Diretoria de Geociências, v. 3, 307 p., 1991.
- SOUZA FILHO, P. W. M.; EL-ROBRINI, M. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfosedimentares da Planície Costeira Bragantina - Nordeste do Pará (Brasil). *Geonomos*, v. 4, p. 1-16, 1996.

SOUZA, G. L. *Metodologia para estimativa da vida à fadiga da estrutura de interface do casco de um FPSO com módulos da planta com suportação tipo multicoluna sob esforç os viga-navio*. 2014. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

STRAIOTO, K. M. G. T. *Estudo estatístico das alturas de ondas ao largo da ilha de Santa Catarina*. 2006. 122 f. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

STRAUCH, J. C.; CUCHIARA, D. C. O padrão das ondas de verão e outono no litoral sul e norte do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, n. 4, p. 29-37 2009.

SVENDSEN, I. B. A. *Cnoidal waves over a gently sloping bottom*. Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, 1974.

TALLEY, L. D.; PICKARD, G. L., W. J. E.; SWIFT, J. H. *Descriptive Physical Oceanography: An Introduction*. Elsevier, 1961.

TAYLOR, G. I. The action of a surface current used as a breakwater. *Proc. Royal Society of London*, v. 231, p. 466-478, 1955.

TONINI, A.; SCHETTINO, D. *Matlab para engenharia*. 1. ed. Belo Horizonte: Centro Universitário de Belo Horizonte, 2002.

VIEIRA, L. A. A.; PITOMBEIRA, E. S.; SOUZA, R. O. Análise estatística do regime de ondas ao longo da região marítima do porto do Pecém. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, 2007, São Paulo, *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Recursos Hídricos, 2007, p. 1-20.

VIOLANTE-CARVALHO, N.; RIZOPOULOU, K.; CARVALHO, L. M.; GOLDSTEIN, B. F. Sobre os mecanismos de imageamento do radar de abertura sint tica SAR para a estimação do espectro direcional de ondas geradas pelo vento. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 28, n. 4, p. 593-607, 2010.

WIBERG, P. L.; SHERWOOD, C. R.. Calculating wave-generated bottom orbital velocities from surface-wave parameters. *Computers & Geosciences*, v. 34, p. 1243-1262, 2008.

ANEXO A – FUNÇÕES UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DAS ROTINAS

max - componente máximo.

Para vetores, $\max(X)$ é o maior elemento de X . Para matrizes, $\max(X)$ é um vetor da linha com o elemento máximo de cada coluna.

min - componente máximo.

Para vetores, $\min(X)$ é o menor elemento de X . Para matrizes, $\min(X)$ é um vetor da linha com o elemento mínimo de cada coluna.

mean - significa média ou média.

Para vetores, $\text{mean}(X)$ é o valor médio dos elementos em X . Para matrizes, $\text{mean}(X)$ é um vetor de linha que contém o valor médio de cada coluna.

length - comprimento de vetor.

O $\text{length}(X)$ retorna o comprimento do vetor de X . É equivalente para $\max(\text{size}(X))$ para matrizes não-vazias e 0 para as vazias.

floor - em direção ao inteiro infinito.

A função $\text{floor}(X)$ arredonda os elementos de X para os inteiros mais próximos no sentido de menos infinito.

sortrows - ordena linhas em ordem crescente.

$Y = \text{sortrows}(X)$ classifica as linhas da matriz X de modo ascendente como um grupo.

if - condicionalmente executa afirmações.

A forma geral da instrução *if* é:

if expressão

 afirmação

ELSEIF expressão

 afirmação

ELSE

 afirmação

END

for - as demonstrações são repetidas um número específico de vezes.

A forma geral de uma instrução é:

for a variável = expressão, afirmação, ..., END afirmação

As colunas da expressão são armazenadas uma a uma na variável e, em seguida, as seguintes afirmações, até o END, são executadas.

```
for R = 1: N
```

```
    for C = 1: N
```

```
        A (R, C) = 1 / (R + C-1);
```

```
    end
```

```
end
```

ANEXO B – FUNÇÃO WEIM

A função *weim* é apresentada no anexo abaixo, sendo que para o funcionamento desta é necessário fazer uso também da função *window* descrita igualmente nesse anexo.

```
function [y,w]=weim(N,wt,x)

% function [y,w]=weim(N,wt,x)
%
% it computes a weighted average using the window function
% this filter is designed for odd weight numbers only
% N is numbers of weights

w=window(N,wt);

r=size(x);
if r(1) > 1, x=x'; end

ln=(N-1)/2;
lx=length(x);
lf=lx-ln+1;
y=zeros(size(x));

for i=1:lx,

    if i <= ln,

        y(i)=sum(x(1:ln+i).*w(ln+2-i:N))/sum(w(ln+2-i:N));

    elseif ((i > ln) & (i < lf)),

        y(i)=sum(x(i-ln:i+ln).*w)/sum(w);

    else % i >=lf

        y(i)=sum(x(i-ln:lx).*w(1:length(i-ln:lx)))/sum(w(1:length(i-ln:lx)));

    end
end

function w = window(N,wt)
%
% w = window(N,wt)
%
% generate a window function
%
% N = length of desired window
% wt = window type desired
% 'rect' = rectangular          'tria' = triangular (Bartlett)
% 'hann' = Hanning             'hamm' = Hamming
% 'blac' = Blackman
%
% w = row vector containing samples of the desired window
```

```
nn = N-1;
pn = 2*pi*(0:nn)/nn;
if wt(1,1:4) == 'rect',
    w = ones(1,N);
elseif wt(1,1:4) == 'tria',
    m = nn/2;
    w = (0:m)/m;
    w = [w w(ceil(m):-1:1)];
elseif wt(1,1:4) == 'hann',
    w = 0.5*(1 - cos(pn));
elseif wt(1,1:4) == 'hamm',
    w = .54 - .46*cos(pn);
elseif wt(1,1:4) == 'blac',
    w = .42 - .5*cos(pn) + .08*cos(2*pn);
else
    disp('Incorrect Window type requested')
end
```

Fonte: OCEFFPAF-MATLAB (2016).

ANEXO C – DESENVOLVIMENTO DA PRIMEIRA ROTINA, CONFORME ESTA FOI ESCRITA NO MATLAB

```

% Função ondaparamet
%
%
%
% USAR:      [Hs,Hmax,Ts,L0, d]=ondaparamet (profundidadebruta,dt)
%
%
% DESCRIÇÃO:
%
% Retorna a altura significativa, altura maxima, o periodo significativo, o
% comprimento e a profundidade.
%
% INPUT: (Todos devem possuir a mesma dimensao)
%
% profundidadebruta = dados de profundidade retirado do equipamento [m]
% dt = frequencia de coleta dos dados [s]
%
% OUTPUT:
% ondaparamet = [Hs,Hmax,Ts,L0,d]
%
% Hs = altura significativa [m]
% Hmax = altura maxima [m]
% Ts = periodo significativo [s]
% L0 = comprimento da onda em aguas profundas [m]
% d = profundidade [m]
%
% AUTORA: Yhaohannah Lima 02-06-2016
%
%
%
function [Hs,Hmax,Ts,L0, d]=ondaparamet (profundidadebruta,dt)

%% Criação da matriz de posições e determinação do tempo de coleta dos
%dados
posicao=1:length(profundidadebruta); %cria uma matriz de posições ao passo
%de "1", de acordo com os dados de
%profundidade selecionados
%anteriormente

tempo=[ (0:dt:length(profundidadebruta)*dt-dt)]; %determina o tempo de
%coleta dos dados de
%profundidade em função
%da frequência
%anteriormente inserida

% Conversão do tempo de coleta em segundos para tempo de coleta em horas
tempohoras=tempo/3600; %converte o tempo dado anteriormente em segundos,
%para um tempo dado em horas

figure(1)
plot(tempohoras,profundidadebruta); %cria uma figura da profundidade medida
%em função do tempo de coleta em horas

title ('Variação da Maré')
xlabel ('Tempo (h)')
ylabel ('Profundidade (m)')
legend ('Sinal da Maré')

```

```

%% Filtração dos dados de profundidade retirados do equipamento por meio da
%função weim
profundidadefiltrada = weim(275,'blac',profundidadebruta)'; %filtra dados
%de
%profundidad
%e
%proveniente
%do
%equipamento
%, através
%da
%aplicação
%da função
%"weim"

figure(2)
plot(tempohoras,profundidadebruta,tempohoras,profundidadefiltrada,'r');
%cria uma figura da profundidade medida em função do tempo de coleta em
%horas e da profundidade filtrada em função do tempo de coleta em horas
title ('Variação da Maré com a profundidade filtrada')
xlabel ('Tempo (h)')
ylabel ('Profundidade (m)')
legend ('Sinal da Maré', 'Profundidade Filtrada')

%% Geração do sinal de onda
onda=profundidadebruta-profundidadefiltrada;%determina o sinal da onda, por
%meio da subtração dos dados
%da profundidade filtrada dos
%dados dados de profundidade
%retirados do equipamento

figure(3)
plot(tempohoras,profundidadebruta,tempohoras,profundidadefiltrada,'r',tempo
horas,onda,'k'); %cria uma figura da profundidade medida em função do tempo
%de coleta em horas, da profundidade filtrada em função
%do tempo de coleta em horas e do sinal de onda em função
%do tempo de coleta em horas
title ('Variação da Maré e da Onda')
xlabel ('Tempo (h)')
ylabel ('Profundidade (m)')
legend ('Sinal da Maré', 'Profundidade Filtrada', 'Sinal da Onda')

%% Determinação do nível médio da superfície da água ou nível zero
nivelmedio=mean(onda); %determina o nível médio, em torno do qual os dados
%de onda ocorrem, por meio do uso da função "mean"
nivel=onda; %determina que a partir daqui os dados de onda serão
%denominados "nível"

figure(4)
plot(tempohoras,onda)%cria uma figura do sinal de onda em função do tempo
%de coleta em horas, na qual é mostrado o nível
% médio da água
title ('Variação da Onda')
xlabel ('Tempo (h)')
ylabel ('Profundidade (m)')
legend ('Sinal da Onda')

%% Aplicação do método de cruzamento do zero ascendente
n=1; %abre um índice para a criação da matriz que representa as posições de
%cruzamento do zero ascendente

```

```

for i=2:length(profundidadebruta)%cria um índice "i" que possui o mesmo
    %tamanho da matriz da profundidade medida
    if nivel(i)>nivelmedio && nivel(i-1)<nivelmedio; %impõe a condição de
        %que devem ser
        %adotados todos os
        %valores do nível
        %maiores que o nível
        %médio, sendo que
        %seu antecessor tem
        %que ser menor que o
        %nível médio
        cruzasc(n)=i; %em função do índice "n" criado, são determinadas as
            %posições de cruzamento do zero ascendente, criando uma
            %nova matriz denominada "cruzasc"

        n=n+1; %abre uma nova posição na matriz de cruzamento do zero
            %ascendente
    end
end

nivelcruzasc=nivel(cruzasc); %determina os valores do sinal de onda que
    %representam as posições de cruzamento do
    %zero ascendente

figure(5)
plot(posicao,nivel,cruzasc,nivelcruzasc,'*r') %cria uma figura do sinal de
    %onda em função da posição
    %em que este ocorre e dos
    %valores do sinal de onda em
    %função das posições de
    %cruzamento do zero
    %ascendente

title ('Pontos de cruzamento do zero ascendente no sinal da onda')
xlabel ('Posição')
ylabel ('Profundidade (m)')
legend ('Sinal da Onda','Pontos de cruzamento do zero ascendente')

%% Determinação dos pontos máximos e mínimos do sinal de onda
p=1; %abre um índice para a criação da matriz que representa as posições
    %dos pontos máximos e mínimos do sinal de onda
for j=1:length(cruzasc)-1 %cria um índice "j" %abre um índice que possui o
    %tamanho da matriz que
    %representa os pontos de
    %cruzamento do zero
    %ascendente, subtraída de
    %uma posição
    [vmm(p),pmm(p)]=max(nivel(cruzasc(j)+1:cruzasc(j+1)-1));%calcula os
        %valores e
        %posições dos
        %pontos máximos
        %do sinal de
        %onda,
        %considera os
        %dados entre
        %dois pontos
        %sucessivos de
        %cruzamento do
        %zero
        %ascendente,
        %por meio do

```

```

                                %uso da função
                                %"max"
ppmm(p)=pmm(p)+cruzasc(j); %correção da última posição calculada para o
                                %ponto máximo da onda, que não deve ser
                                %considerada, devido a ausência de uma
                                %próxima posição para formação de um par de
                                %posições necessário para a estimativa do
                                %ponto máximo da onda individual

[vmm(p+1),pmm(p+1)]=min(nivel(cruzasc(j)+1:cruzasc(j+1)-1));%calcula os
                                %valores e
                                %posições
                                %dos
                                %pontos
                                %mínimos
                                %do sinal
                                %de onda,
                                %considera
                                %os dados
                                %entre
                                %dois
                                %pontos
                                %sucessivo
                                %s de
                                %cruzament
                                %o do zero
                                %ascendent
                                %e, por
                                %meio do
                                %uso da
                                %função
                                %"min"
ppmm(p+1)=pmm(p+1)+cruzasc(j);%correção da última posição calculada
                                %para o ponto mínimo da onda, que não
                                %deve ser considerada, devido a ausência
                                %de uma proxima posição para formação de
                                %um par de posições necessário para a
                                %estimativa do ponto mínimo da onda
                                %individual

    p=p+2; %abre duas novas posições na matriz dos pontos máximos e mínimos
end

figure(6)
plot(posicao,nivel,cruzasc,nivelcruzasc,'ok',ppmm,vmm,'*m')%cria uma figura
                                %do sinal de
                                %onda em função
                                %da posição em
                                %que este
                                %ocorre, dos
                                %valores do
                                %sinal de onda
                                %em função das
                                %posições de
                                %cruzamento do
                                %zero ascendente
                                %e dos valores
                                %máximos e
                                %mínimos em
                                %função das

```

```

%posições de
%pontos máximos
%e mínimos

title ('Pontos de máximo e mínimo no sinal da onda')
xlabel ('Posição')
ylabel ('Profundidade (m)')
legend ('Sinal da Onda','Pontos de cruzamento do zero ascendente','Pontos
de máximo e mínimo')

%% Determinação do sinal de onda e do tempo em função dos valores máximos e
%mínimos
for k=1:length(ppmm) %cria um índice "j" que possui o tamanho da matriz que
%representa os valores máximos e mínimos do sinal de
%onda
    nivelnovo(k)=nivel(ppmm(k)); %estabelece o sinal de onda em função das
%posições máximas e mínimas
    temponovo(k)=tempohoras(ppmm(k)); %estabelece o tempo em função das
%posições máximas e mínimas
end

figure(7)
posicaoonovo=[1:length(nivelnovo)]; %estabelece uma nova matriz de posições
%do mesmo tamanho que a matriz do sinal
%de onda em função das posições máximas
%e mínimas
plot(temponovo,nivelnovo,'b',temponovo,nivelnovo,'om')%cria uma figura do
%sinal de onda em
%função da posição em
%que este ocorre e
%dos valores do sinal
%de onda em função
%das posições máximas
%e mínimas

title('Sinal da onda em função dos pontos de máximo e mínimo')
xlabel ('Tempo (h)')
ylabel ('Profundidade (m)')
legend ('Sinal da Onda','Sinal da Onda em função dos pontos de máximo e
mínimo')

%% Cálculo dos períodos
h=1; %abre um índice para a criação da matriz que representa os períodos
for l=1:length(cruzasc)-1; %cria um índice "i" que possui o tamanho da
%matriz que representa os pontos de cruzamento
%do zero ascendente, subtraída de uma posição
    periodo(h)=tempo(cruzasc(l+1))-tempo(cruzasc(l)); %calcula o período de
%uma onda individual,
%por meio da
%subtração do tempo
%decorrido para a
%marcação de dois
%pontos de cruzamento
%do zero ascendente
%subsequentes
    h=h+1; %abre uma nova posição na matriz dos períodos
end

%% Cálculo das alturas

```

```

g=1; %abre um índice para a criação da matriz que representa as alturas
for m=1:2:length(vmm)-1; %cria um índice "i" que possui o tamanho da matriz
    %que representa os valores máximos e mínimos do
    %sinal de onda, subtraída de uma posição
    altura(g)=vmm(m)-vmm(m+1); %calcula a altura de uma onda individual,
    %por meio da subtração de dois valores
    %máximos e mínimos subsequentes

    g=g+1;
end

%% Organização dos dados de altura e período em ordem crescente
alturaeperiodo=[altura' periodo']; %cria uma matriz com os dados de altura
    %e período associados
alturaeperiodosort= sortrows(alturaeperiodo,1); %aplica a função "sortrows"
    %para organizar os dados de
    %altura e período em ordem
    %crescente

%% Divisão dos dados de altura em "blocos" de um terço
umterco=length(altura)*2/3; %divide os dados de altura em "blocos" de um
    %terço
umtercointeiro=floor(umterco); %arredonda os dados decimais dos "blocos" de
    %um terço para números inteiros

%% Determinação da altura significativa e do período de pico ou período
%significativo
alturasort=alturaeperiodosort(:,1); %seleciona os dados referentes as
    %alturas da matriz de alturas e
    %períodos anteriormente criada
alturasignificativa=mean(alturasort(umtercointeiro:end)); %por meio da
    %função "mean"
    %é selecionada
    %a média de um
    %terço das
    %maiores ondas
    %registradas,
    %sendo que a
    %função "end"
    %restringe o
    %registro
    %somente a
    %esses dados

periodosort=alturaeperiodosort(:,2); %seleciona os dados referentes aos
    %períodos da matriz de alturas e
    %períodos anteriormente criada
periodosignificativo=mean(periodosort(umtercointeiro:end)); %por meio da
    %função "mean"
    %é selecionada
    %a média de um
    %terço dos
    %períodos das
    %maiores ondas
    %registradas,
    %sendo que a
    %função "end"
    %restringe o
    %registro
    %somente a
    %esses dados

alturamaxima=max(alturasort(umtercointeiro:end)); %por meio da função "max"
    %é obtida a a altura

```

```

                                %máxima das ondas
                                %registradas,

%% Cálculo do comprimento (L0)
comprimento=(10*periodosignificativo^2)/2*pi; %aplicação da equação que
                                                %representa o cálculo de
                                                %(L0)

%% Cálculo da profundidade
profundidade=mean(profundidadebruta); %determina a profundidade média, em
                                        %torno da qual os sinal de onda
                                        %ocorre, por meio da aplicação da
                                        %função "mean"

%% Nomeação das variáveis altura significativa e período sigifcativo para
%dados de saída
Hs=alturasignificativa; %Altura significativa
Hmax= max(altura); %Altura máxima
Ts=periodosignificativo; %Período significativo ou período de pico
L0=comprimento; %Comprimento para ondas que não interagem com o leito
                %(comprimento inicial)
d=profundidade; %Profundidade média da coluna d'água

```

**ANEXO D – DESENVOLVIMENTO DA SEGUNDA ROTINA, CONFORME ESTA
FOI ESCRITA NO MATLAB**

```

% Função tla
%
%
%
%
% USAR: [C,Cg,L,E,P]=tla(Hs,Hmax,Ts,L0,d)
%
%
%
% DESCRIÇÃO:
% Retorna o comprimento, a celeridade, a velocidade de grupo, a energia e a
% potência da onda.
%
%
% INPUT:
% Hs = altura significativa [m]
% Hmax = altura maxima [m]
% Ts = periodo significativo [s]
% L0 = comprimento da onda em aguas profundas [m]
% d = profundidade [m]
%
% OUTPUT:
% tla = [C,Cg,L,E,P]
%
% C = celeridade [m/s]
% Cg = velocidade de grupo [m/s]
% L = comprimento da onda [m]
% E = energia [J]
% P = potencia [W]
%
%
%
% AUTORA:   Yhaohannah Lima 02-06-2016
%
%
%
% REFERENCES:
% AIRY, G. B. Tides and waves. Encyc. Metrop. Article, v.192, p. 241-396,
%1845.
%
%
%
function [C,Cg,L,E,P]=tla(Hs,Hmax,Ts,L0,d);
%% Definição de águas profundas, intermediárias e rasas e aplicação da
%Teoria Linear de Airy
classeagua=(d./L0);%impõe a condição inicial para a classificação de águas,
%que é a relação entre profundidade de ocorrência e
%comprimento das ondas

if classeagua<0.05; %define a condição para o registro de águas rasas

C=sqrt(10.*d); %aplicação da equação que representa o cálculo da
%Celeridade para essa categoria
L=Ts.*C; %aplicação da equação que representa o cálculo do Comprimento
%para essa categoria

```

```

Cg=sqrt(10.*d); %aplicação da equação que representa o cálculo da
                %Velocidade de grupo para essa categoria

elseif 0.05< classeagua <0.5; %define a condição para o registro de
                %águas intermediárias

C=((10*Ts)/2*pi).*tanh((2*pi*d)./L0); %aplicação da equação que
                %representa o cálculo da
                %Celeridade para essa
                %categoria
L=((10*Ts.^2)/2*pi).*tanh((2*pi*d)./L0); %aplicação da equação que
                %representa o cálculo do
                %Comprimento para essa
                %categoria
Cg=0.5*(1+[(4*pi*d./L0)./sinh(4*pi*d./L0)]).*C; %aplicação da equação
                %que representa o
                %cálculo da Velocidade
                %de grupo para essa
                %categoria

elseif 0.5<classeagua; %define a condição para o registro de águas
                %profundas

C=(10*Ts)/2*pi; %aplicação da equação que representa o cálculo da
                %Celeridade para essa categoria
L=(10*Ts.^2)/2*pi; %aplicação da equação que representa o cálculo do
                %Comprimento para essa categoria
Cg=(10*Ts)/4*pi; %aplicação da equação que representa o cálculo da
                %Velocidade de grupo para essa categoria

end

E=0.125*1000*10*(Hs.^2); %aplicação da equação que representa o cálculo da
                %Energia
P=E.*Cg; %aplicação da equação que representa o cálculo da Potência

```

ANEXO E – COMO UTILIZAR A METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Passo 1: Abrir os dados retirados de um equipamento genérico que possui sensor de pressão no formato “.txt”.

```

20141123_1300_AWH-USB_0136_124831_010_P - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
/ ALEC INFINITY SERIES Data Processing Software
/ Version 0.64
/ File Date 2014/11/25 14:25:23
/ Copyright (C) 2009 JFE ALEC CO., LTD.

[Head]
SondeName=AWH-USB
SondeNo=0136
SensorType=D00180
SensorType2=060702
Channel=3
Comment=mosqueiro

DelayTime=0
PreHeat=1000
MeasType=
MeasMode=0

BurstTime=1
BurstCnt=1
Interval=100
SampleCnt=60000

StartTime=2014/11/24 04:00:00
EndTime=2014/11/24 05:39:59

DepAdjRho=1.0250

AlphaData=0.000000e+00
BetaData=0.000000e+00

ECA=0.000000e+00
ECB=1.000000e+00
ECCdeg=25
ECCcoef=0.022

CHLA=0.000000e+00
CHLB=1.000000e+00

PC_SWA=0.000000e+00
PC_SWB=1.000000e+00
PC_SWC=0.000000e+00
PC_SWD=0.000000e+00

CondDepA=1
CondDepB=0

DepM=0
SetSal=0

BuzzerEN=0
BuzzerInterval=1
BuzzerNumber=3
WiperInterval=-1
WiperTimeOut=-1

CoefDate=

Ch1=-0.01466546,5.755811E-06,0,0,0,0,0,0,
Ch2=0.0002553406,-2.664779E-07,4.033637E-11,0,0,0,0,0,
Ch3=0,0.0001152,0,0,0,0,0,0,

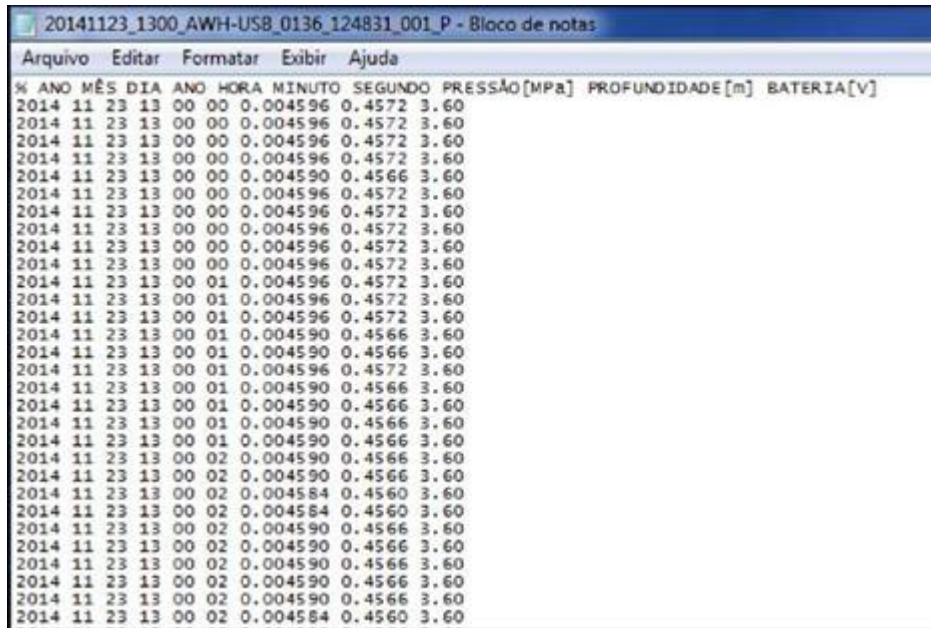
[Coefficient]
DepthZero=0
DepthAdjMode=0
Salinity=34

VeloXZero=0
VeloYZero=0
VeloZZero=0

[Item]
Meas_date,Press[MPa],Depth[m],Batt.[V],
2014/11/24 04:00:00,0.042503,4.2284,3.46,
2014/11/24 04:00:00,0.042538,4.2319,3.46,
2014/11/24 04:00:00,0.042544,4.2324,3.46,
2014/11/24 04:00:00,0.042544,4.2324,3.46,
2014/11/24 04:00:00,0.042549,4.2330,3.46,
2014/11/24 04:00:00,0.042555,4.2336,3.46,
2014/11/24 04:00:00,0.042549,4.2330,3.46,
2014/11/24 04:00:00,0.042555,4.2336,3.46,
2014/11/24 04:00:00,0.042544,4.2324,3.46,
2014/11/24 04:00:00,0.042544,4.2324,3.46,
2014/11/24 04:00:01,0.042544,4.2324,3.46,
2014/11/24 04:00:01,0.042544,4.2324,3.46,
2014/11/24 04:00:01,0.042515,4.2296,3.46,
2014/11/24 04:00:01,0.042480,4.2261,3.46,
2014/11/24 04:00:01,0.042469,4.2250,3.46,
2014/11/24 04:00:01,0.042492,4.2273,3.46,
2014/11/24 04:00:01,0.042503,4.2284,3.46,
2014/11/24 04:00:01,0.042521,4.2301,3.46,
2014/11/24 04:00:01,0.042538,4.2319,3.46,

```

Passo 2: Retirar o cabeçalho e substituir elementos como “:”, “/”, “,”, “.” por ‘ ’ (espaço).



20141123_1300_AWH-USB_0136_124831_001_P - Bloco de notas

%	ANO	MÊS	DIA	ANO	HORA	MINUTO	SEGUNDO	PRESSÃO[MPa]	PROFUNDIDADE[m]	BATERIA[V]
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	00	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004596	0.4572	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	01	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004584	0.4560	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004584	0.4560	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004590	0.4566	3.60	
	2014	11	23	13	00	02	0.004584	0.4560	3.60	

Passo 3: Usar as funções.

```
load a20141123_1300_AWH-USB_0136_124831_001.txt;
entrada= a20141123_1300_AWH-USB_0136_124831_001;

profundidadebruta= entrada (300051:720351,8); %Considerar que a
                                                %profundidade está na coluna 8
                                                %e os dados válidos para a
                                                %análise estão nas linhas de
                                                %300051 a 720351.

dt=frequência do equipamento;

[Hs,Hmax,Ts,L0,d]=ondaparamet (profundidadebruta,dt);

[C,Cg,L,E,P]=tla (Hs,Hmax,Ts,L0,d);
```