UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DO PERFIL PRAIAL DE CACIMBAS UTILIZANDO O XBEACH

ALUNA: MARIA EDUARDA FERREIRA MANSUR

ORIENTADOR: DANIEL RIGO

CO-ORIENTADOR: TIAGO CASTRO ALVES OLIVEIRA

VITÓRIA, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DO PERFIL PRAIAL DE CACIMBAS UTILIZANDO O XBEACH

Projeto de graduação apresentado a Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Daniel Rigo

Co-orientador: Tiago Castro Alves Oliveira

VITÓRIA, 2016

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Daniel Rigo, por contribuir na minha formação acadêmica e pela confiança depositada em mim;

Ao meu co-orientador Tiago Oliveira, pela disponibilidade e dedicação que superava qualquer fuso horário, pela paciência e pelas valiosas contribuições neste trabalho;

Ao Arnold van Rooijen pela pela disponibilidade e interesse em contribuir com o trabalho e pelas importantes informações e materiais fornecidos sobre o XBeach.

Aos meus pais e minha irmã pelo apoio, confiança e incentivo aos estudos.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Ambietal pela parceria, tornando a missão, às vezes árdua, de formar em engenharia uma tarefa divertida e prazerosa.

À turma no LabHidro, pela amizade e conhecimento adquirido durante esse tempo,

A toda equipe de professores e funcionários da Universidade Federal do Espírito Santo, pela contribuição para meu crescimento profissional.

A University of Adelaide e todas as pessoas que conheci em meu intercâmbio que contribuíram para o meu crescimento pessoal e acadêmico, fazendo com que eu começasse a ver a vida de outra forma.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram na realização desse trabalho.

RESUMO

As mudanças climáticas, tanto por causas naturais como antropogênicas, apresentam implicações significativas nos ecossistemas costeiros. Os eventos de tempestade marítima, que tem aumentado nas últimas décadas na costa do Espírito Santo, aceleram os processos de erosão costeira e podem levar a perda permanente de ecossistemas costeiros, propriedades e infraestrutura com consequentes impactos na economia. O presente trabalho apresenta um estudo da evolução de perfil de praia em situação de tempestade na costa do ES. Para tal efetuou-se uma análise de dados de sedimento e de onda, se define tempestade e analisa as alterações morfológicas devido a eventos extremos para a praia de Cacimbas A evolução do perfil desta praia é simulada neste estudo com o utilizando o XBeach. Dados de campanhas entre 2012 e 2014 foram utilizadas para a análise de sedimento e de onda e posteriormente usados na modelagem numérica.

As direções de ondas dominantes nesta praia foram de leste e sudeste, sendo que, ao leste, o período de pico dominante é de 6 a 10s e, à sudeste, os maiores valores de pico são entre 10 a16s. A altura de onda significativa dominante foi de 1 a 1,5m. Nos pontos que foram coletados amostra de sedimento, o D_{50} e D_{90} dos sedimentos em pontos com profundidades maiores se apresentaram mais finos do que os sedimentos encontrados em menores profundidades. Os perfis que apresentaram maior valor de erosão e, analisados nesse trabalho, foram os de abril/2013-junho/2013, agosto/2013-outubro/2013 e outubro/2013-dezembro/2013, correspondendo ao que era esperado, uma vez que os maiores valores de H_s ocorreram nos meses de dezembro, maio e setembro. Do uso do modelo XBeach conclui-se que utilizando a variável *morfac* igual a 5, o tempo de simulação se reduziu em 83% a 92%, aproximadamente. Pela otimização do tempo computacional, recomenda-se o uso dessa variável fazendo ajustes necessários. Como na maioria dos casos, maiores valores da variável *facua* resultam em menores valores de perda de sedimento ou, por vezes, acúmulo de sedimento, recomenda-se a utilização de menores valores dessa variável para a área estudada.

Palavras-chave: Alterações morfológicas, tempestade, XBeach, Cacimbas

ABSTRACT

Climate change due to natural or anthropogenic causes, has significant impacts on coastal ecosystems. Coastal storm events have been increasing in frequency during the last decades on the coast of Espírito Santo (ES), and may accelerate the coastal erosion process resulting in permanent damage to coastal ecosystems, property and infrastructure with significant impact on the economy. This work presents a beach profile evolution study during a storm event on the ES coast. Sediment and wave data analyses were performed as well as analyze morphologic changes due to extreme events at Cacimbas beach. The beach profile evolution was simulated using the XBeach numeric software package. Data were collected between 2012 and 2014 for the sediment and wave treatment and XBeach modeling.

Wave directions prevailing at Cacimbas were east and southeast. From the east the peak period prevailing is from 6 to 10 seconds and from the southeast the peak period prevailing was higher from 10 to 16 seconds. The prevailing significant wave high was from 1 to 1,5 meters. At points where sediment samples were collected, mean sediment size was smaller with increasing depth. Erosion was found to peak in the months of December, May and September. This study concludes by making recommendations for selection of variables to optimize the use of the XBeach software in similar studies of coastal erosion. The profiles that presented more erosion volume were of October/2012-December/2012, April/2013-June/2013, August/2013-October/2013 e October/2013-December/2013, corresponding with what was expected, once that higher values of H_s occurred during the months of December, May and September. Sediment was estimated to be transported to a profile of around 400 meters.. The duration of XBeach simulation was reduced by 83% to 93% by use of the variable *morfac*=5 and it is recommended to use this variable due to time optimization when making necessary adjustments in others XBeach variables. In most cases, higher values of the variable *facua* resulted in smaller values of sediment loss or, sometimes, sediment deposits, it is recommended the use of smaller values of this variable for the studied area.

Key words: Morphologic changes, storm, XBeach, Cacimbas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Outras abordagens do modelo XBeach para o escoamento, onda e transporte de sedimentos 28
Tabela 2 - Datas de realização das campanhas 31
Tabela 3 - Valores mensais do D_{50} e D_{90} nos pontos de coleta das campanhas. 42
Tabela 4 - Valores da média, mediana e desvio padrão para cada ponto de coleta das campanhas. 43
Tabela 5 - Valores da média, mediana e desvio padrão médio de todas as amostras em todos os pontos de amostragem para valores de D_{50} e D_{90}. 44
Tabela 6 - Valores da média mensal para valores de D_{50} e D_{90}, utilizados como dados de entrada no modelo XBeach. 44
Tabela 7 - Volumes de perda, acúmulo e balanço até 1000m entre os perfis consecutivos medidos. 45
Tabela 8 - Valores de perda , acúmulo e balanço até 400 m entre os perfis consecutivos medidos. 46
Tabela 9 - Valor, unidade e explicação dos parâmetros utilizados na simulação do perfil inicial de abril/2013 com valores padrão XBeach. 57
Tabela 10 - Valor, unidade e explicação dos parâmetros utilizados na simulação do perfil inicial de agosto/2013 com valores padrão XBeach. .. 57
Tabela 11 - Valor, unidade e explicação dos parâmetros utilizados na simulação do perfil inicial de agosto/2013 com valores padrão XBeach. .. 58
Tabela 12 - Resultado dos valores de perda, acúmulo, balanço e diferença relativa do resultado do balanço do perfil inicial medido e perfil simulado (com valores padrão XBeach) com o resultado do balanço do perfil inicial e final medido. 60
Tabela 13 - Resultado dos valores de perda, acúmulo, balanço e diferença relativa do resultado do balanço do perfil inicial medido e perfil simulado (com *morfac*=5) com o resultado do balanço do perfil inicial e final medido. 62
Tabela 14 - Valores da média, mediana e desvio padrão para cada ponto de coleta das campanhas. 63
Tabela 15 - Resultado dos valores de perda, acúmulo, balanço e diferença relativa entre o resultado do balanço do perfil inicial medido e perfil simulado (com D_{50} E D_{90} modificados) com o resultado do balanço do perfil inicial e final medido. 65
Tabela 16 - Resultado dos valores de perda, acúmulo, balanço e diferença relativa entre o resultado do balanço do perfil inicial medido e perfil simulado (com *facua*=0,3; 0,5; 0,8 e 1) com o resultado do balanço do perfil inicial e final medido. 68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Terminologias e limites adotados nas feições do sistema praial para praias tipicamente refletivas. Fonte: Machado (2010). 12
Figura 2 - Hidrodinâmica praial. Fonte: Faller (2005). 13
Figura 3 - Estados morfodinâmicos, segundo Wright e Short (1984). Fonte: Adaptado de Muehe (1998) 14
Figura 4 - Esboço de definição que descreve as variáveis usadas na classificação do impacto das tempestades. FONTE: Sallenger (2015). 16
Figura 5 - Delimitação dos quatro processos importantes para categorizar impactos de tempestade. Fonte: Sallenger (2015). 19
Figura 6- Definições da grade do modelo XBeach. Fonte: Bieman, 2013. 22
Figura 7 - Localização da praia de Cacimbas. Fonte: adaptado Petrobras (2015) 29
Figura 8 - Localização do perfil praial monitorado e do ponto de monitoramento de ondas e correntes (ADCP). O perfil S (linha eixo) está localizado sobre o duto de Camarupim. (Fonte: adaptado de Petrobras, 2014)..... 32
Figura 9 - Frequências de ocorrência dos valores de H_s de maio de 2012 a maio de 2014 para a praia de Cacimbas-ES. 37
Figura 10 - Frequências de ocorrência dos valores de T_p de maio de 2012 a maio de 2014 para a praia de Cacimbas-ES. 38
Figura 11 - Frequências de ocorrência dos valores de Dp de maio de 2012 a maio de 2014 para a praia de Cacimbas-ES. 38
Figura 12 -Valores de H_s mínimo, médio e máximo mensal das ondas durante o período de maio/2012 a maio/2014. 40
Figura 13 -Valores do T_p mínimo, médio e máximo mensal das ondas durante o período de maio/2012 a maio/2014. 40
Figura 14 - Rosa de ondas para T_p e H_s..... 41
Figura 15 - Valores de H_s e T_p das ondas medidas entre 14/05/2013 e 04/06/2013. 47
Figura 16 - Valores de H_s e T_p das ondas medidas entre 07/09/2013 e 24/10/2013. 47
Figura 17 - Valores de H_s e T_p das ondas medidas entre 05/11/2013 e 10/01/2014. 48
Figura 18 - Valores de H_s, $T_{p,}$ e maré para a tempestade do dia 18/05/2013 às 8:30h ao dia 19/05/2013 às 2:30h. 49
Figura 19 - Valores de H_s, T_p e maré para a tempestade do dia 11/09/2013 às 13:30h ao dia 13/09/2013 às 16:30h. 50
Figura 20 - Valores de H_s, T_p e maré para a tempestade do dia 18/12/2013 às 13:30h ao dia 20/12/2013 às 16:30h. 51
Figura 21 - Valores de H_s, $T_{p,}$ D_r médio e maré de entrada no XBeach para a tempestade do dia 18/05/2013 às 8:30h ao dia 19/05/2013 às 2:30h. 53
Figura 22 - Valores de H_s, $T_{p,}$ D_r e maré de entrada no XBeach para a tempestade do dia 11/09/2013 às 13:30h ao dia 13/09/2013 às 16:30h. .. 54

Figura 23 - Valores de H_s, T_p, D_r e maré de entrada no XBeach para a tempestade do dia 18/12/2013 às 13:30h ao dia 20/12/2013 às 16:30h. .. 55
Figura 24 - Gráfico com perfil inicial medido de abril/2013, perfil final medido de junho/2013 e perfil final simulado como XBeach. 57
Figura 25 - Gráfico com perfil inicial medido de agosto/2013, perfil final medido de outubro/2013 e perfil final simulado. 58
Figura 26 - Gráfico com perfil inicial medido de outubro/2013, perfil final medido de dezembro/2013 e perfil final simulado. 59
Figura 27 - Gráfico com perfil inicial medido de abril/2013, perfil final medido de junho/2013 e perfil final simulado com morfac=5. 60
Figura 28 - Gráfico com perfil inicial medido de agosto/2013, perfil final medido de outubro/2013 e perfil final simulado com morfac=5. 61
Figura 29 - Gráfico com perfil inicial medido de outubro/2013, perfil final medido de dezembro/2013 e perfil final simulado com morfac=5. 61
Figura 30 - Gráfico com perfil inicial medido de abril/2013, perfil final medido de junho/2013 e perfil final simulado com o D_{50} e o D_{90} corrigidos. 64
Figura 31 - Gráfico com perfil inicial medido de agosto/2013, perfil final medido de outubro/2013 e perfil final simulado com o D_{50} e o D_{90} corrigidos..... 64
Figura 32 - Gráfico com perfil inicial medido de outubro/2013, perfil final medido de dezembro/2013 e perfil final simulado com o D_{50} e o D_{90} corrigidos..... 65
Figura 33 - Gráfico com perfil inicial medido de abril/2013, perfil final medido de junho/2013 e perfil final simulado com *facua*=0,1; 0,3; 0,5; 0,8 e 1. 66
Figura 34 - Gráfico com perfil inicial medido de agosto/2013, perfil final medido de outubro/2013 e perfil final simulado com *facua*=0,1; 0,3; 0,5; 0,8 e 1... 66
Figura 35 - Gráfico com perfil inicial medido de outubro/2013, perfil final medido de dezembro/2013 e perfil final simulado com *facua*=0,1; 0,3; 0,5; 0,8 e 1. 67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 9

2. OBJETIVOS 11

2.1. OBJETIVO GERAL 11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 12

3.1. MORFODINÂMICA PRAIAL 12
3.1.1. Estados morfodinâmicos 13
3.2. TEMPESTADE COSTEIRA 16
3.2.1. Processo de impacto de tempestades 16
3.2.1.1. Processo de espraiamento 17
3.2.1.2. Processo de colisão 17
3.2.1.3. Processo de galgamento 17
3.2.1.4. Processo de inundação 18
3.2.2. Alteração morfológica do perfil praial devido à ação de tempestades 19
3.3. XBEACH 20
3.3.1. Grade do modelo 21
3.3.2. Sistemas de coordenadas do modelo 22
3.3.3. Modelo 1D com escoamento transversal 22
3.3.4. Equação da ação e dissipação da energia da onda 23
3.3.5. Forma da onda 24
3.3.6. Equação do transporte de sedimento e atualização do leito 25
3.3.7. Discretização temporal do modelo 27
3.3.8. Outras abordagens do modelo 28
3.4. ÁREA DE ESTUDO 28

4. METODOLOGIA 31

4.1. COLETA DE DADOS 31
4.2. TRATAMENTO DE DADOS 33
4.2.1. Tratamento dos dados de onda 33
4.2.2. Tratamento dos dados de sedimento 33
4.3. DEFINIÇÃO DAS TEMPESTADES 34
4.4. ESCOLHA DAS TEMPESTADES 34
4.5. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO 35

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 37

5.1. ANÁLISE DOS DADOS DE ONDA 37
5.2. ANÁLISE DOS DADOS DE SEDIMENTO 41
5.3. DEFINIÇÃO E ESCOLHA DAS TEMPESTADES 44
5.4. DADOS DE ENTRADA DE ONDAS NO XBEACH 52
5.5. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM VALORES PADRÃO DO XBEACH 56
5.6. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM A VARIÁVEL *MORFAC* 60
5.7. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM VALORES DIFERENTES DO D_{50} E D_{90} 62
5.8. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM A VARIÁVEL *FACUA* 65

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 69

7. LISTA DE REFERÊNCIAS 71

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, tanto por causas naturais como antropogênicas, apresentam implicações significativas nos ecossistemas costeiros. Os últimos anos foram caracterizados pelo aumento de tempestades costeiras (Mansur et al., 2015; Alfredini *et al.*, 2014; Hemer, 2010) e por uma série de grandes desastres, induzidos por tempestades costeiras ao redor do mundo (VOUSDOUKAS et al., 2012). Esses eventos têm apontado para uma necessidade de se avaliar a vulnerabilidade das zonas costeiras e a proteção costeira para eventos futuros, e também avaliar o desempenho dos projetos de proteção costeira existentes em comparação com cenários em que nenhuma ação é tomada (ROELVINK et al., 2010).

Segundo Muehe (2005) a identificação das causas da erosão costeira pode conter muitas incertezas devido à falta de informações sobre a tendência de variação do nível do mar, do clima de ondas e da evolução da linha de costa. A alteração morfológica do perfil praial devido à ação de tempestades pode ou não está associada à erosão durante este evento extremo. O presente trabalho apresenta um tratamento dos dados de sedimento e de onda, define tempestade costeira e analisa as alterações morfológicas devido a eventos extremos para a praia de Cacimbas, situada no Espírito Santo, com o auxilio do programa de modelagem computacional XBeach.

Em Cacimbas se localizam três gasodutos da Petrobrás Peroá, Golfinho e Camarupim. Esses podem ser classificados em subterrâneos, aparentes ou submarinos, e apresentam várias vantagens, como permitir que grandes quantidades de produtos sejam deslocados de maneira segura, diminuindo o tráfego de cargas perigosas por caminhões, trens ou por navios; podem dispensar armazenamento; entre outros. No entanto, possui como desvantagens a possibilidade de acidentes ambientais, uma vez que grande parte da rede de distribuição do gás natural concentra-se na região litorânea (POVOA & TOSTA, 2011).

O perfil a ser analisado nesse trabalho possui em sua localidade um duto submerso, o duto de Camarupirim. Neste contexto, o presente trabalho pretende analisar as alterações morfológicas na Praia de Cacimbas (ES) pela importância

econômica e da biodiversidade na região, que pode ser afetada pela erosão na área e comprometer a integridade do duto.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudo das alterações morfológicas no tempo da praia de Cacimbas causada por tempestades marítimas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar os objetivos gerais definidos, os seguintes objetivos específicos foram determinados:

1. Análise dos dados de perfil, sedimento e de onda de Cacimbas;
2. Definição de tempestades marítimas para a praia de Cacimbas;
3. Avaliação do modelo numérico XBeach, realizando simulações com diferentes variáveis de entrada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. MORFODINÂMICA PRAIAL

A morfodinâmica praial é o estudo que incorpora observações morfológicas e hidrodinâmicas das praias como resultado do movimento do fluido, sedimento e morfologia ascendente.

Praias são depósitos de sedimentos acumulados pela ação de diferentes agentes físicos que, por apresentar mobilidade, se ajustam às condições de ondas e maré. O sistema praial se divide em pós-praia e antepraia conforme ilustrado na Figura 1. A pós-praia é composta pela berma; e a antepraia é composta pelas antepraias superior, que compreende a zona de surfe; a média, que é composta pelo trecho até a profundidade de fechamento; e a inferior, que compreende cerca do dobro do comprimento da antepraia média.

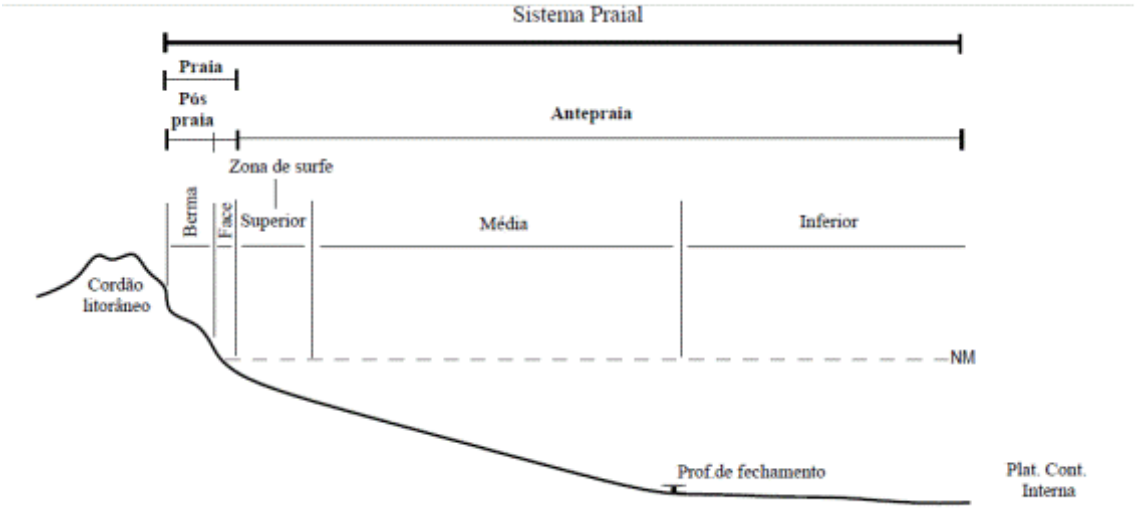

Figura 1 - Terminologias e limites adotados nas feições do sistema praial para praias tipicamente refletivas. Fonte: Machado (2010).

A pós-praia é formada pela sedimentação de areia devido à ação das ondas em ocasiões de eventos extremos (tempestade ou marés excepcionais) (MACHADO, 2010). Enquanto que a antepraia é caracterizada por um contínuo incremento do gradiente topográfico em direção ao litoral (MUEHE, 2006).

Por consequência da alta variação nessa morfologia praial, deve-se considerar os agentes promotores de tais mudanças, os processos hidrodinâmicos. A Figura 2 ilustra o perfil de uma praia com as zonas hidrodinâmicas, que são definidas pelo comportamento da onda e pelo modo de transporte de sedimentos.

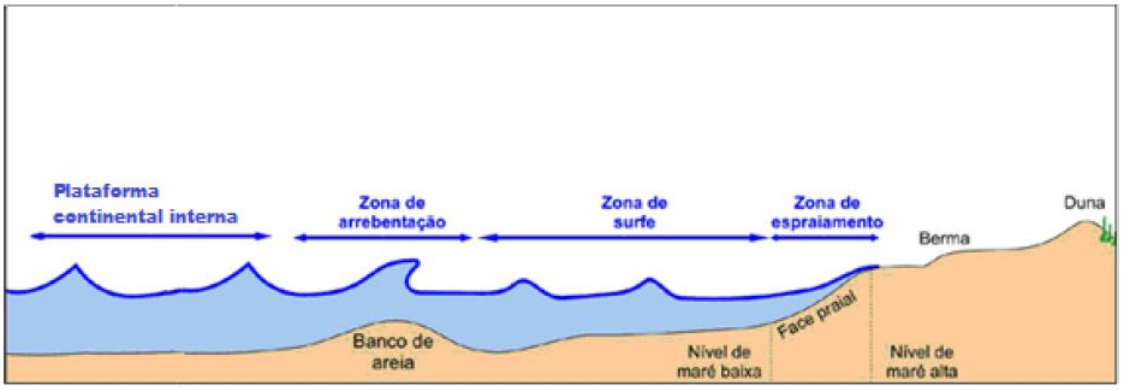

Figura 2 - Hidrodinâmica praial. Fonte: Faller (2005).

Segundo Komar (1998), o sistema praial pode ser dividido em três zonas distintas, a zona de arrebentação, a zona de surfe e a zona de espraiamento.

Zona de espraiamento: é o trecho limitado pela máxima e mínima excursão de ondas sobre a face praial.

Zona de surfe: trecho em que os processos de dissipação da energia da onda devido à quebra são dominantes. Praias de baixa declividade são caracterizadas por extensas zonas de surfe, em que grande parte da energia é transferida para a geração de correntes longitudinais e transversais à praia e praias inclinadas raramente possuem zona de surfe e predominantemente refletem a energia das ondas.

Zona de arrebentação: é o trecho do perfil praial caracterizado pelo processo de quebra da onda, sendo os limites do trecho o ponto de interação do movimento das ondas sobre o fundo e o ponto de quebra das ondas.

3.1.1. Estados morfodinâmicos

Wright e Short (1984) refinam a classificação da morfodinâmica de praias em quatro estágios: um estado dissipativo, um refletivo e quatro estágios intermediários, como ilustrado na Figura 3.

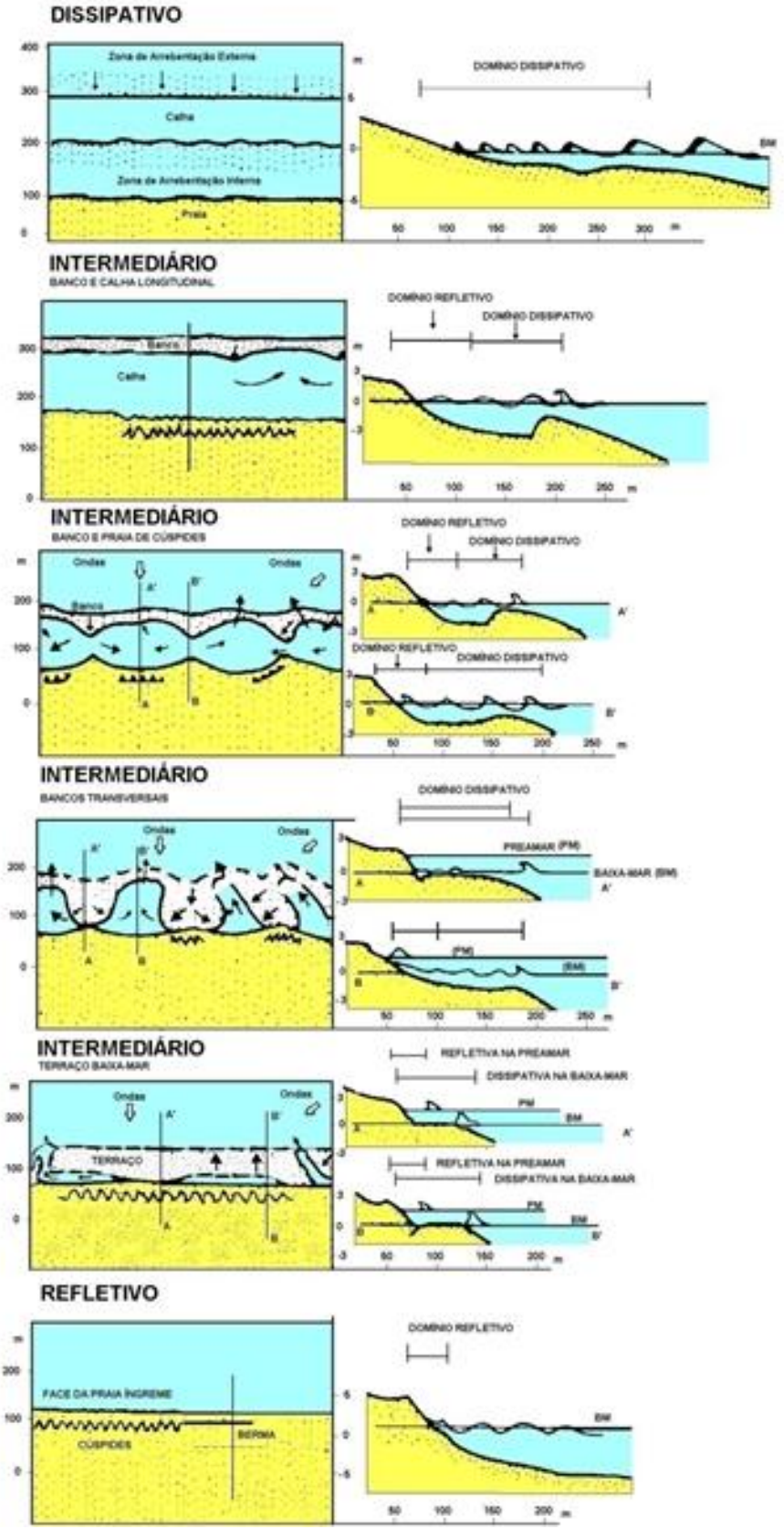

Figura 3 - Estados morfodinâmicos, segundo Wright e Short (1984). Fonte: Adaptado de Muehe (1998)

A classificação de Wright e Short (1984) foi fundamentada na granulometria do sedimento, no volume de areia disponível e nos processos hidrodinâmicos locais.

As praias classificadas como dissipativas apresentam a granulometria do sentimento fino, porção emersa suave, extensa zona de surfe, elevado estoque de areia e apresentam menor grau de inclinação topográfica. Em decorrência do menor grau de inclinação topográfica e da granulometria fina, essas praias são mais suscetíveis à erosão, uma vez que são menos tolerantes ao aumento relativo do nível marinho e seu sedimento é mais facilmente transportado costa afora pela ação das correntes costeiras.

Praias refletivas são praias com elevadas inclinações topográficas e fundo marinho adjacente, por isso não apresentam zona de surfe, e granulometria grossa. Esse tipo de praia seria menos propícia à erosão, pois seu maior grau de inclinação representaria um obstáculo à ação hidrodinâmica marinha e os sedimentos mais grossos seriam mais dificilmente retirados pela ação das correntes costeiras.

Os quatro estados intermediários podem apresentar características associadas a praias refletivas e dissipativas. Os quatro estados morfodinâmicos são: com barra e calha longitudinal, com barra e praia rítmicos, com barra transversal e corrente de retorno e com terraço de baixa-mar. As praias intermediárias apresentariam um perfil alternado entre dissipativo e refletivo, de acordo com um ciclo sazonal de erosão e deposição de areias, apresentando grau moderado de risco à erosão.

Gradientes espaciais e temporais no transporte de sedimentos desses sistemas causados por forçantes hidrodinâmicos ocasionam mudanças morfológicas (SILVA, 2014). Os impactos morfológicos nos ambientes costeiros dependem da magnitude dos eventos meteorológicos e oceanográficos e da capacidade das praias em absorverem essa energia (MANUEL et al., 2014).

Um fator importante na evolução da morfodinâmica costeira são eventos de ondas de alta energia associados às tempestades.

3.2. TEMPESTADE COSTEIRA

Tempestades costeiras são eventos extremos de curta duração, mas de grande intensidade que resultam em grande instabilidade atmosférica marcada por ventos fortes que levam ao aumento das alturas de onda, trovoadas, relâmpagos e chuva.

3.2.1. Processo de impacto de tempestades

O impacto de uma tempestade é dependente não apenas da magnitude dos parâmetros forçantes de uma tempestade, tais como as ondas e espraiamento, mas também é dependente da geometria do perfil da praia (SALLENGER, 2015). Ao considerar como ambos R_{HIGH} e R_{LOW} variam em relação ao D_{HIGH} e D_{LOW} (ver Figura 4), O R_{HIGH} E R_{LOW} são representativos das elevações alta e baixa da margem da praia, respectivamente, de uma oscilação relativa à um datum vertical fixo (O datum fixo deve ser mais baixo que os paraâmetros D e R definidos aqui). O D_{HIGH} é a elevação, relativa ao datum fixo, da parte mais alta da crista da duna. Se a duna não estiver presente a elevação considerada será a da berma. Em situações onde existe uma duna, D_{LOW} é a elevação da base dessa. Na ausência de duna D_{LOW}=D_{HIGH}. Assim, SALLENGER (2015) define uma série de processos de impacto de uma tempestade.

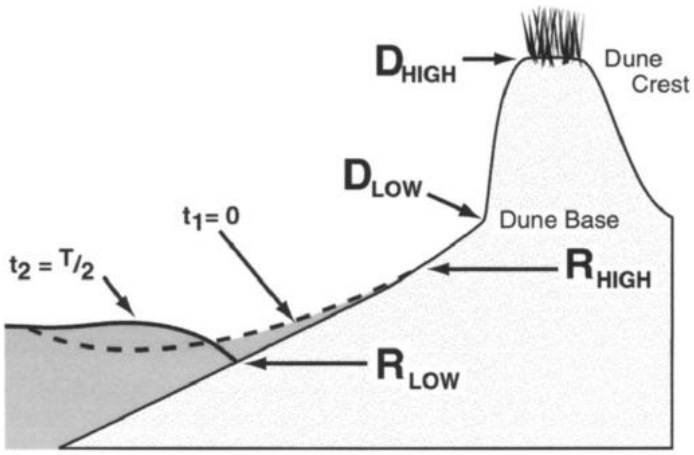

Figura 4 - Esboço de definição que descreve as variáveis usadas na classificação do impacto das tempestades. FONTE: Sallenger (2015).

3.2.1.1. Processo de espraiamento

Espraiamento é o fluxo de subida da água na praia depois que a onda quebra. Primeiramente, o processo de espraiamento é uma condição, durante uma tempestade, em que o espraiamento está confinado entre a faixa litorânea alagada. R_{HIGH}/D_{HIGH} é inferior ao limiar crítico definido pela equação 1.

$$\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}} = \frac{D_{LOW}}{D_{HIGH}} \quad (1)$$

Dentre essas condições de tempestade, sabe-se que essa faixa submergível erode e a areia é transportada ao largo onde é depositada, só retornando a praia após a tempestade sob condições mais tranquilas ao longo de semanas ou meses. Assim, quando o tempo médio durante o período entre a erosão e restabelecimento pós-tempestade termina, tem-se o transporte transversal onde não há variação líquida para a praia.

3.2.1.2. Processo de colisão

Em praias onde existe uma crista de duna frontal, enquanto o R_{HIGH} aumenta, essa subida irá eventualmente colidir com a base da duna fazendo com que ocorra erosão. Este "processo de colisão" ocorre quando o limiar crítico da Equação 1 é excedido (Figura 5). A areia erodida é transportada ao largo (ou longitudinalmente) e, em contraste com o "processo de espraiamento", normalmente não volta para reestabelecer a duna. Assim, em geral, para uma tempestade onde o limiar expresso na Equação 5 é excedido, a crista da duna sofre erosão líquida. Além de erosão líquida da duna, a costa da praia provavelmente sofre os mesmos tipos de alterações consideradas como parte do "processo de espraiamento".

3.2.1.3. Processo de galgamento

Com o R_{HIGH} continuando a aumentar, ocorre o galgamento da duna ou da crista da berma, quando $R_{HIGH}>D_{HIGH}$, portanto, o limiar crítico dado pela equação 2

determina a diferença entre o “processo de colisão” ($\frac{\mathrm{R_{HIGH}}}{\mathrm{D_{HIGH}}} < 1$) e o “processo galgamento” ($\frac{\mathrm{R_{HIGH}}}{\mathrm{D_{HIGH}}} > 1$) (veja Figura 5).

$$\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}} = 1 \qquad (2)$$

Sabendo que na ausência de uma crista da duna, $\mathrm{R_{HIGH}} = \mathrm{D_{LOW}}$, a equação 1 = equação 2. Assim, sob essas condições, não há “processo de colisão” e a equação 2 define a diferença entre o “processo de espraiamento” e o “processo de galgamento”.

No processo de galgamento, como o fluxo de subida ultrapassa a duna (ou a crista da berma), a água pode fluir em direção ao continente a velocidades excedendo 2m/s e desacelerando à medida que entra para o continente. Esse gradiente do fluxo é responsável pela erosão da duna (ou da parte litorânea submergível) e pela deposição do sedimento distante na direção do continente.

A areia que sofre transporte líquido sobre a crista da duna, como parte do "processo de galgamento" não é prontamente devolvida à praia em condições de pós-tempestade. Evidentemente, outros processos podem ser localmente importantes e retornar areia que sofreu galgamento à praia. No entanto, em geral, o processo de galgamento contribui para a migração líquida em direção à terra de uma ilha barreira.

3.2.1.4. Processo de inundação

Quando o aumento do nível do mar é suficiente para submergir completamente uma ilha de barreira, os fluxos através da barreira não são mais um galgamento simples. Em vez disso, a parte submergida da ilha de barreira torna-se impactada diretamente por processos da zona de surf. O limiar para este “processo de inundação” é dado pela equação 3.

$$\frac{R_{LOW}}{D_{HIGH}} = 1 \qquad (3)$$

Considerando que o processo de galgamento parece pelo menos conceitualmente compreendido, quando praias tornam-se completamente inundadas durante uma forte tempestade os processos não são tão claros.

A Figura 5 apresenta a delimitação dos quatro processos importantes para categorizar impactos de tempestade anteriormente explicados, processo de espraiamento, colisão, galgamento e inundação. Sendo *swash regime* o processo de espraiamento, *collision regime* o processo de colisão, *overwash regime* o processo de galgamento e o *inundation regime* o processo de inundação. Note que R_{LOW} não pode ser maior do que R_{HIGH}, daí a parte indeterminada do gráfico. O limite entre o "oscilante" e processos 'colisão' é tracejada porque o valor R_{HIGH} / D_{HIGH} = D_{LOW} / D_{HIGH} é dependente de dimensões específicas da praia enquanto todos os outros limiares são únicos.

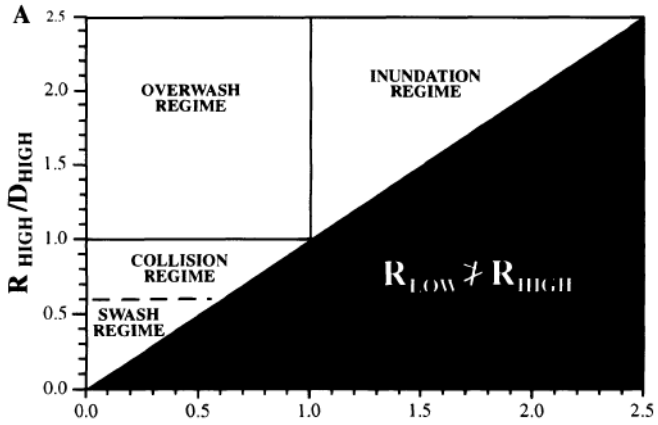

Figura 5 - Delimitação dos quatro processos importantes para categorizar impactos de tempestade.
Fonte: Sallenger (2015).

3.2.2. Alteração morfológica do perfil praial devido à ação de tempestades

A alteração morfológica do perfil praial devido à ação de tempestades pode ou não está associada à erosão durante este evento extremo, que ocorre com o transporte transversal de sedimentos e para sua determinação. Os processos que governam as mudanças morfológicas atuam num sistema fechado e retroalimentado, no qual a energia das ondas incidentes remobiliza o sedimento e

modifica a morfologia praial através do transporte sedimentar. A nova morfologia resultante, quando aliada à ação das ondas, promove processos de remobilização e transporte de sedimento diferente daqueles observados anteriormente. Neste sentido, as mudanças nas intensidades e sentidos dos processos atuantes evidenciam a capacidade do sistema em se retroalimentar, de acordo com a variação das condições energéticas incidentes.

Para a resolução das alterações morfológicas devido à tempestade, neste trabalho, será usado o modelo numérico XBeach (eXtreme Beach behaviour). Além das alterações morfológicas, segundo Larson et al. (2004), os modelos numéricos têm a vantagem de permitir a identificação do problema da erosão representando os processos graficamente, analisando o transporte dos sedimentos e a avaliação de diferentes perfis de praia, otimizando a solução escolhida.

3.3. XBEACH

Segundo Roelvink et al. (2009) XBeach é um modelo 2DH (duas dimensões na horizontal) baseado em processos morfodinâmicos que permitem simular os principais processos que ocorrem nos quatro processos de impacto de tempestade marítima descritos por Sallanger (2000) i) espraiamento ii) colisão iii)galgamento e iv) inundação. Segundo DELTARES (2015), o modelo inclui os processos hidrodinâmicos de transformação de ondas curtas, transformação de onda longa (geração, propagação e dissipação),etc. Os processos morfodinâmicos incluem carga de leito e transporte de sedimentos em suspensão, avalanche da duna, atualização do leito e rompimento. Efeitos da vegetação e de estruturas duras foram incluídas. O modelo foi validado com uma série de analíticas, de laboratório e de campo de casos de teste usando um conjunto padrão de definições de parâmetros. Do ponto de vista computacional a principal vantagem do XBeach é fornecer estabilidade numérica e robustez na resolução das suas equações de base, e ainda fornecer resultados precisos em um tempo computacional razoável (DELTARES, 2015).

Uma grande variedade de estudos têm sido feitos para se avaliar a eficácia ou para sugestão de aprimoramentos do XBeach. Vousdoukas et al. (2011) identificaram/entenderam restrições da aplicação do modelo e definiram as melhores

configurações para a melhora na performance em praias refletivas. O estudo destaca que a previsão do perfil da praia durante eventos de tempestade nas praias refletivas utilizando o XBeach pode ser mais difícil do que em praias intermediárias.

Pender e Karunarathna (2012) discutem a calibração do XBeach para modelar a erosão induzida pela tempestade e recuperação pós tempestade, tendo Narrabeen Beach (NSW, Austrália) como um estudo de caso e a abordagem usada para combinar XBeach com o quadro estatístico a fim de avaliar de médio a longo prazo a respostas dos perfis de praia transversais.

Oliveira (2014) desenvolveu um trabalho com o objetivo de melhorar a previsão de curto a médio prazo do modelo numérico morfodinâmico XBeach, particularmente no que diz respeito ao fenômeno de recuperação de praia, e, assim, contribuir para uma melhor aplicação do modelo.

3.3.1. Grade do modelo

De acordo com DELTARES (2015), o XBeach utiliza uma grade computacional retilínea ou curvilínea. A grade retilínea, utilizada neste trabalho, pode ser definida de duas maneiras:

1. Como uma grade relativa a uma origem conhecida

2. Como uma grade num sistema de coordenadas baseado em metros (por exemplo, UTM)

Para ambos os métodos, as coordenadas x e y dos pontos da grade são especificadas em arquivos separados. Nestes arquivos, a coluna mais à esquerda ($x_{11}...x_{m1}$) sempre representa as coordenadas da fronteira ao largo (assim $x_{11}... x_{1n}$ e $x_{m1}...x_{mn}$ são os dois limites laterais e $x_{1n}... x_{mn}$ é a fronteira costeira) de acordo com a matriz X:

$$\mathrm{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & \ddots & & \\ \vdots & & \ddots & \\ x_{m1} & & & x_{mn} \end{bmatrix}$$

O modelo assume condições de Neumann para os limites laterais (sem gradiente em velocidade e nível da água). Do ponto de vista numérico estas suposições são mais robustas quando não existe gradiente (paralelo à linha da costa) no nível do

leito sobre as células próximas das fronteiras laterais. A grade utilizada neste trabalho foi com um sistema de coordenada baseado em metros.

3.3.2. Sistemas de coordenadas do modelo

No sistema de coordenadas do XBeach, a origem está localizada na fronteira ao largo do modelo, o eixo x é positivo em direção a costa e o eixo y é apontada paralelo a linha da costa, conforme ilustrado na Figura 6 (DELTARES, 2013).

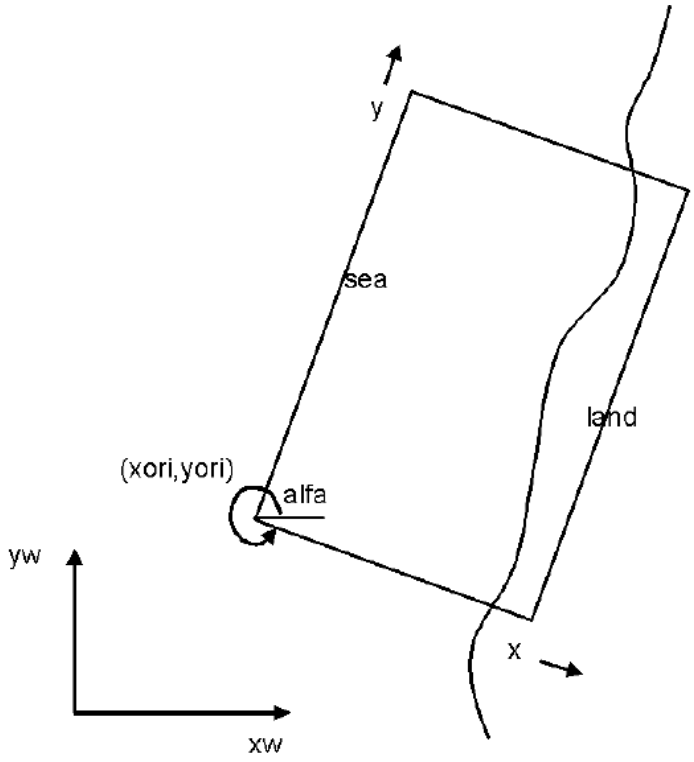

Figura 6- Definições da grade do modelo XBeach. Fonte: Bieman, 2013.

3.3.3. Modelo 1D com escoamento transversal

Segundo DELTARES (2015), no caso do modelo 1D com escoamento transversal, que foi utilizado neste trabalho, os gradientes longitudinais são ignorados e o domínio se reduz a uma única linha de grade. Dentro deste modo as seguintes opções estão disponíveis:

- Espalhamento direcional de retenção (dtheta < thetamax - thetamin); isso tem um efeito limitado sobre as alturas por causa de refração de ondas, mas também

pode permitir ondas incidentes oblíquas e as correntes de deriva litorânea resultantes;

- O uso de um único bin direcional (dtheta = thetamax - thetamin); isso resulta sempre a ondas perpendiculares e ignora refração.

Sendo o dtheta a resolução direcional, thetamax o maior limite direcional e thetamin o menor limite direcional, onde dtheta é o comando usado no XBeach para definir a resolução direcional a ser utilizada, thetamax é o comando utilizado para o maior limite direcional adotado para e thetamin é o comando utilizado para o menor limite direcional adotado. Neste trabalho foi usada a opção dtheta < thetamax - thetamin, pois thetamax foi utilizado como 90˚, thetamin como -90˚ e dtheta igual a 10˚.

3.3.4. Equação da ação e dissipação da energia da onda

De acordo com Roelvink et al. (2010) a geração de ondas do modelo é obtido a partir de uma versão da equação do balanço da ação de ondas dependente do tempo e dada pela equação 4.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial c_x A}{\partial x} + \frac{\partial c_\theta A}{\partial \theta} = -\frac{D_w + D_f + D_v}{\sigma} \quad (4)$$

Em que A é a ação da onda, c é a celeridade da onda, θ representa o ângulo de incidência em relação ao eixo-x, σ a frequência de onda intrínseca, o eixo x é positivo em direção a costa e o eixo y é apontada paralelo a linha da costa.

No XBeach há três processos de dissipação de onda curta que podem ser contabilizados: quebra de onda (D_w), fricção do leito (D_f) e vegetação (D_v). A ação de onda é dada por:

$$A(x, y, t, \theta) = \frac{S_w(x, y, t, \theta)}{\sigma(x, y, t)} \quad (5)$$

onde S_w representa a densidade de energia da onda em cada posição direccional.

A dissipação total de energia de onda pode ser calculada de diferentes maneiras dependendo do comando de quebra de onda escolhido, conforme mostrado na

3.3.5. Forma da onda

As ondas marítimas e as correntes associadas a essas são os principais agentes responsáveis pelo transporte de sedimentos nas praias e esse transporte é significativo para descrever os processos de modificação do leito na direção transversal à costa (ABREU, 2011). Este transporte resulta, em parte, da forma da onda.

De acordo com DELTARES (2015), o modelo morfodinâmico considerado é o de onda média (curta) e este resolve a hidrodinâmica associada com a escala de tempo dos grupos de ondas. Como resultado, a forma de onda curta não é resolvida. No entanto, a superfície livre sofre alterações na sua forma durante a sua propagação até próximo da costa, e da mesma forma, a velocidade e aceleração orbitais, em profundidade, sofrem essas modificações progressivamente não lineares (ABREU, 2011).

Segundo DELTARES (2015), existem duas formas de onda implementadas no XBeach para levar em conta esta não-linearidade. Uma é pela formulação de Ruessink et al. (2012) baseado na parametrização com o número de Ursell e outra é pela formulação de de Van Thiel de Vries (2009) baseado na parametrização do modelo de Rienecker and Fenton (1981). As parametrizações são baseadas em um conjunto de observações da assimetria orbital devido à velocidade (termo em inglês: wave skewness), S_k, e assimetria orbital devido à aceleração (termo em inglês: wave asymmetry) A_s. Para definir os dois valores no programa XBeach, usa-se o comando *facua* (fator de calibração para o transporte de sedimento devido à assimetria de onda), utilizada na metodologia deste trabalho.

A assimetria orbital é indicada pela diferença de velocidade ou aceleração do movimento na horizontal e vertical das partículas de água perto do ponto da arrebentação na praia. Uma onda monocromática e sinusoidal, tal como descrita pela Teoria Linear de ondas, seria simétrica pois a velocidade ou aceleração seria a mesma em relação a um eixo horizontal e vertical. No entanto, as ondas observadas em águas intermediárias e pouco profundas não correspondem a esta

descrição, ocorrendo ainda modificações mais significativas quando se aproximam da costa, apresentando assimetria orbital devido à velocidade e aceleração.

3.3.6. Equação do transporte de sedimento e atualização do leito

O transporte de sedimento na coluna d'água é modelado com uma equação de difusão-advecção da profundidade média dada pela equação 8.

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial hCu^E}{\partial x} + \frac{\partial [D_h h \frac{\partial C}{\partial x}]}{\partial x} = \frac{\mathrm{h}C_{eq} - hC}{T_s} \quad (8)$$

Em que C representa a concentração de sedimentos na profundidade média que varia de acordo com a escala temporal de um grupo de onda, D_h que é o coeficiente de difusão de sedimentos, h é a profundidade da água e u^E e v^E é a velocidade euleriana nos eixos x e y, respectivamente. O arraste ou deposição de sedimentos é determinado pelo descompasso entre a concentração real de sedimentos, C, e a concentração de equilíbrio, C_{eq}, representando, assim, o termo fonte na equação de transporte de sedimentos.

O arraste do sedimento é representado por um tempo de adaptação $_{Ts}$, dada por uma aproximação simples, com base na profundidade da água, h, e velocidade de queda do sedimento, ws. Um pequeno valor de T_s corresponde a uma resposta quase instantânea do sedimento, f_{T_s} é o fator de correção e calibração que leva em conta que o ws é determinado pelos dados de profundidade média.

$$T_S = \max\left(\mathrm{f_{T_s}}\frac{\mathrm{h}}{\mathrm{w_s}}, \mathrm{T_{s,min}}\right) s \quad (9)$$

Um pequeno valor de T_s corresponde a resposta do sedimento quase instantânea.

As concentrações de equilíbrio de sedimento no leito ($C_{eq,b}$) e em suspensão ($C_{eq,s}$) são calculado pelas equações 10 e 11.

$$\boldsymbol{C_{eq,b} = \frac{A_{sb}}{h}\left(\sqrt{v_{mg}^2 + 0,018\frac{u_{rms,2}^2}{C_d}} - U_{cr}\right)^{2,4}} \quad (10)$$

$$\boldsymbol{C_{eq,s} = \frac{A_{ss}}{h}\left(\sqrt{v_{mg}^2 + 0,018\frac{u_{rms,2}^2}{C_d}} - U_{cr}\right)^{2,4}} \quad (11)$$

Sabendo que $u_{rms,2}$é a velocidade orbital levando em consideração a quebra da onda induzida pela turbulência e v_{mg} é a magnitude da velocidade. Nas equações 10 e 11, os coeficientes de transporte de sedimento de carga do leito (A_{sb}) e em suspensão (A_{ss}) são calculados pelas equações 12 e 13.

$$\boldsymbol{A_{sb} = 0,005h\left(\frac{D_{50}}{h\Delta g D_{50}}\right)^{1,2}} \quad (12)$$

$$\boldsymbol{A_{sb} = 0,012D_{50}\frac{D_*^{-0,6}}{(\Delta g D_{50})^{1,2}}} \quad (13)$$

O diâmetro de sedimento sem dimensão (D*) pode ser calculado com a equação 14, em que ν é a viscosidade cinemática. XBeach assume a temperatura constante de 20˚C, o que resulta numa viscosidade cinemática constante de $10^{-6}m^2/s$.

$$\boldsymbol{D_* = \left(\frac{\Delta g}{\nu^2}\right)^{1/3} D_{50}} \quad (14)$$

A velocidade crítica ($\boldsymbol{U_{cr}}$) define em que profundidade da velocidade média o movimento dos sedimentos é iniciado e é calculado pela equação 15.

$$\boldsymbol{U_{cr} = \begin{cases} 0,19D_{50}^{0,1}log10\left(\frac{4h}{D_{90}}\right) for\ D_{50} \leq 0,0005 \\ 8,5D_{50}^{0,6}log10\left(\frac{4h}{D_{90}}\right) for\ D_{50} > 0,0005 \end{cases}} \quad (15)$$

Finalmente, o coeficiente de arraste do sedimento é calculado com a equação 16. O coeficiente de arraste é usado para determinar a concentração de equilíbrio do sedimento.

$$C_d = \left(\frac{0,4}{\ln\left(\frac{\max(h, 10z_0)}{z_0}\right) - 1} \right)^2 \quad (16)$$

Na equação 16 z_0 é usado para o comprimento da rugosidade do leito e é usado como o nível da velocidade de fluxo zero na formulação da concentração de sedimento. No trabalho, esse comprimento possui um valor fixo de 0,006m.

Com base nos gradientes no transporte de sedimentos do leito, a atualização deste ocorre de acordo com a equação 17.

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{f_{mor}}{(1-p)}\left(\frac{\partial q_x}{\partial x}\right) = 0 \quad (17)$$

Em p é a porosidade,e f_{mor} (palavra-chave: *morfac*) é um fator de aceleração morfológica e q_x representa as taxas de transporte de sedimentos na direção x.

O fator de aceleração morfológica acelera a escala temporal morfológica em relação à escala temporal hidrodinâmica. Isso significa que se em uma simulação de 10 minutos um morfac igual a 6 for utilizado, o XBeach simulará uma evolução morfológica de uma hora. A variável *morfac* foi utilizada neste trabalho para otimizar o tempo de simulação e intensificar a intensidade dos agentes físicos, pois todas as entradas de séries temporais e outros parâmetros de tempo são divididos internamente pelo fator adotado.

3.3.7. Discretização temporal do modelo

A discretização temporal utilizada pelo XBeach na simulação hidrodinâmica é determinado com base no máximo número de Courant fornecido usando o comando "CFL". O número de Courant é um número adimensional que mede a estabilidade numérica. O valor padrão desse número, utilizado pelo programa, é 0,7 e a faixa de valores admitida é 0,1-0,9.

O número de Courant é dado pela equação 18. Porém no modelo esse número é fornecido e a variável a ser determinada é Δt (espaçamento temporal em segundos).

$$\mathbf{C} = \Delta\mathbf{t}\sqrt{\frac{\mathbf{1}}{\Delta\mathbf{x^2}} + \frac{\mathbf{1}}{\Delta\mathbf{y^2}}}(\overrightarrow{|\mathbf{V}|} + \sqrt{\mathbf{gH}}) \quad (18)$$

Sabendo que Δx é o espaçamento médio transversal dos nós da malha (m); Δy é o espaçamento médio longitudinal dos nós da malha (m); $\overrightarrow{|V|}$ é o módulo da velocidade da corrente (em geral na prática, este valor é desprezível por ser muito menor que $\sqrt{gH}$, g é a aceleração da gravidade (m/s²) e H é a profundidade média local (m);

Como os casos a serem simulados neste trabalho é 1D, Δy =0. Assim, tem-se a equação 19.

$$\mathbf{C} = \Delta\mathbf{t}\sqrt{\frac{\mathbf{1}}{\Delta\mathbf{x^2}}}(\overrightarrow{|\mathbf{V}|} + \sqrt{\mathbf{gH}}) \quad (19)$$

3.3.8. Outras abordagens do modelo

Outras abordagens do modelo estão resumidas na Tabela 1 especificando o processo e sua abordagem.

Tabela 1 - Outras abordagens do modelo XBeach para o escoamento, onda e transporte de sedimentos

Processo	Abordagens
Escoamento	• Abordagem da Média Lagrangiana Generalizada para representar o fluxo de retorno médio na vertical e seu efeito sobre as tensões de cisalhamento do leito e transporte de sedimentos • Formulação de viscosidade Smagorinsky • Fluxo de água no leito
Ondas	• Efeitos da amplitude de onda na celeridade da onda; • Interação onda-corrente • Formulação de dissipação de onda Baldock et al. (1998) para balanço de energia de onda estacionária

3.4. ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na Praia de Cacimbas, situada no Município de Linha-res – ES, ao norte da foz do rio Doce, sob influência da Instalação do duto de

Camarupim. A área de estudo localiza-se no município de Linhares-ES, praia de Cacimbas, ao norte da foz do Rio Doce. A Figura 7 apresenta a localização da praia de Cacimbas.

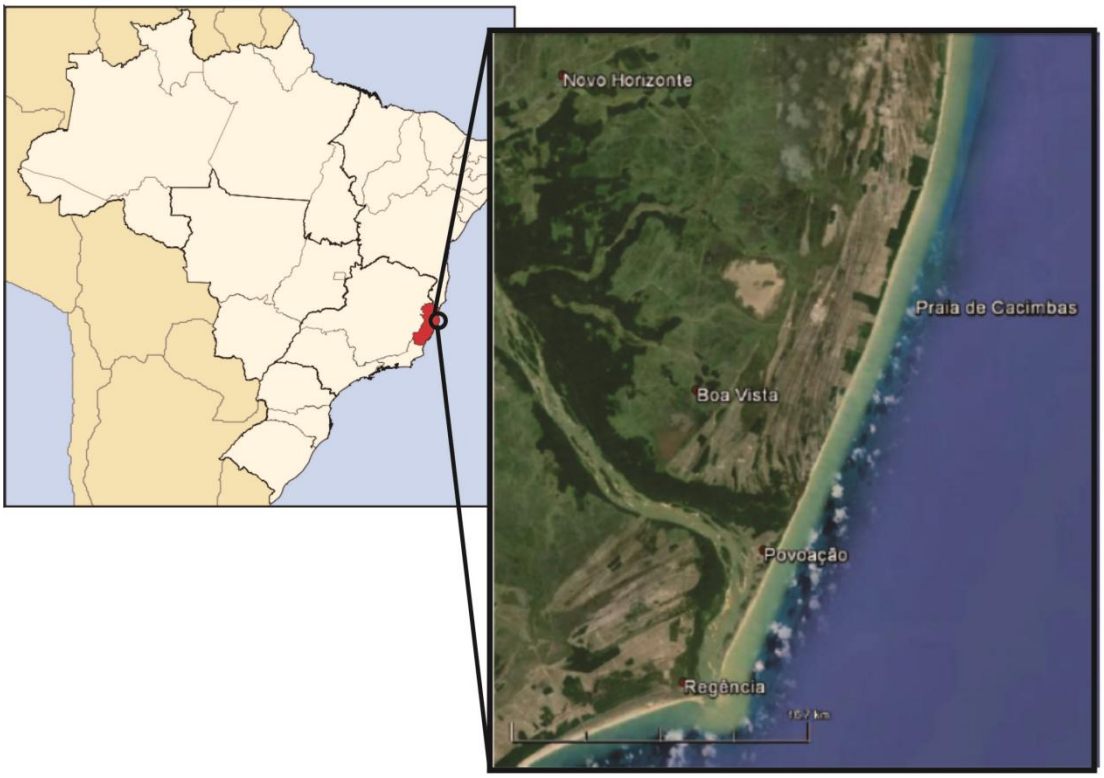

Figura 7 - Localização da praia de Cacimbas. Fonte: adaptado Petrobras (2015)

Na região próxima a área estudada, o clima é quente e úmido e a temperatura média mensal varia entre 21º e 27ºC. A maioria das frentes frias chega de outubro a março, durante o período mais chuvoso, na primavera e no verão. Em julho e agosto, no inverno, chove menos. A umidade relativa do ar é alta o ano todo, 77% em média, por causa da proximidade com o Oceano Atlântico e das brisas marítimas e terrestres (PETROBRAS, 2007).

Os ventos relativamente intensos e frequentes da região são de N e E na maior parte do tempo, 40% e 39%, respectivamente. Durante ocorrências de frentes frias, ocorre alteração na direção dos ventos, que passam vir do quadrante S (20% do tempo) (PETROBRAS, 2015).

Próximo à região estudada, havia, originalmente, florestas e matas. Atualmente, tem-se extensas áreas de pastagens com manchas de vegetação rasteira (brejos e capoeiras). As poucas matas que restaram estão isoladas, principalmente em cima de pequenos morros ou ao longo dos rios, e em acelerado processo de degradação, sem dúvida resultado da ocupação humana histórica na região (PETROBRAS, 2007).

4. METODOLOGIA

4.1. COLETA DE DADOS

Os dados utilizados no trabalho foram coletados em doze campanhas entre Junho de 2012 a Maio de 2014 pela FEST (Fundação Espírito-santense de Tecnologia). As informações da coleta foram obtidas do "Subprojeto de Monitoramento da Morfodinâmica Praial da Região da Praia de Cacimbas sob Influência da Instalação do duto de Camarupim" da Petrobras (2014). As campanhas para o levantamento do perfil praial foram executadas conforme as datas da Tabela 2.

Tabela 2 - Datas de realização das campanhas

Número da campanha	Data
Campanha 1	Junho/2012
Campanha 2	Agosto/2012
Campanha 3	Outubro/2012
Campanha 4	Dezembro/2012
Campanha 5	Fevereiro/2013
Campanha 6	Abril/2013
Campanha 7	Junho/2013
Campanha 8	Agosto/2013
Campanha 9	Outubro/2013
Campanha 10	Dezembro/2013
Campanha 11	Março/2014
Campanha 12	Maio/2014

Em cada campanha, foi levantado o perfil de praia onde se localiza o duto de Camarupim, conforme mostrado na Figura 8.

Fez-se o levantamento topográfico do perfil emerso, com uso de estação total, e levantamento batimétrico, com uso de ecobatímetro e posterior correção de maré, sendo os dados referenciados ao nível de redução hidrográfico local.

Os registros dos dados de onda foram realizados com o uso de um perfilador acústico de correntes (ADCP), fundeado no local indicado na Figura 8. Para a

medição de ondas, configurou-se o equipamento para aquisição de uma amostra de dados com duração de 20 minutos, a cada 1h:30min. Os dados de ondas disponíveis são correspondentes ao período de maio de 2012 até maio de 2014. As campanhas normalmente começavam na segunda quinzena do mês e a coleta de dados de estendida por um período de 30 dias. O intervalo entre uma campanha e outra era, em média, de um mês.

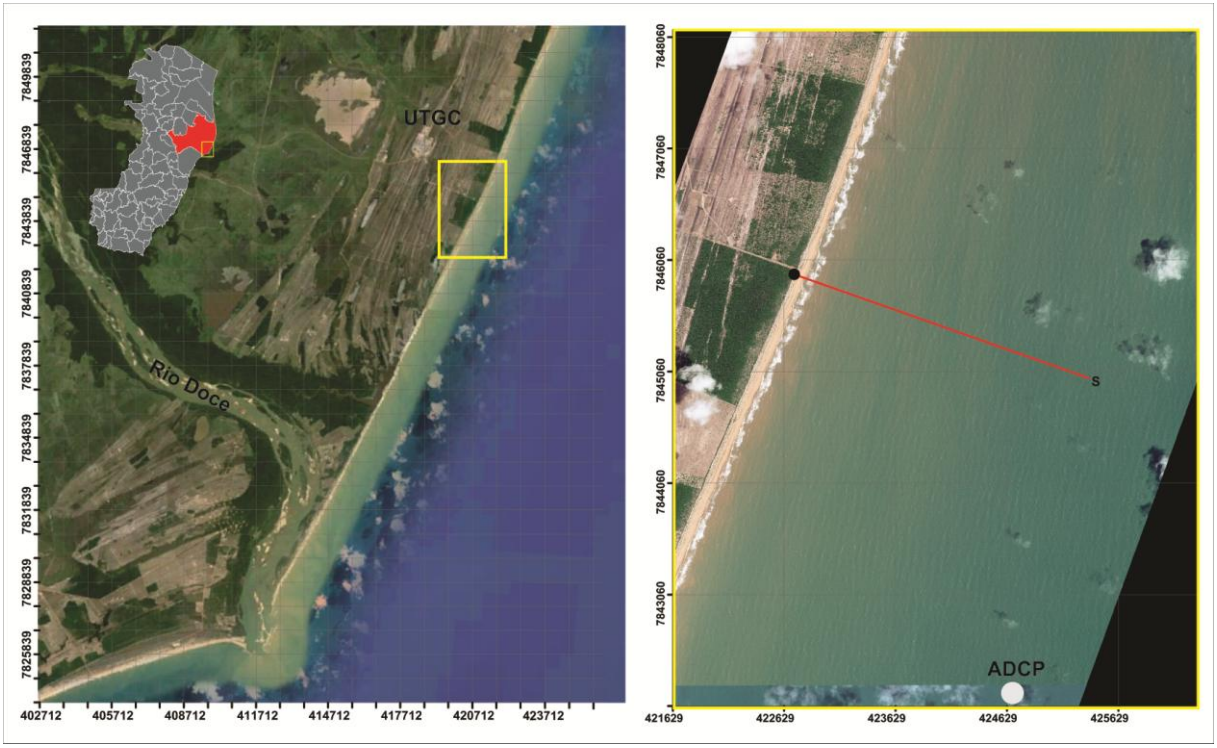

Figura 8 - Localização do perfil praial monitorado e do ponto de monitoramento de ondas e correntes (ADCP). O perfil S (linha eixo) está localizado sobre o duto de Camarupim. (Fonte: adaptado de Petrobras, 2014)

Para complementar o monitoramento da morfodinâmica praial foram realizadas coletas de amostras sedimentares, em cada campanha de levantamento, em que foram coletadas nos pontos “Cordão”, “Berma”, “Face”, “Calha” e nas profundidades de 2, 4, 6, 8 e 10m, para caracterização textural dos sedimentos. Ainda, foram monitorados altura, período e direção de ondas.

Os dados de maré foram obtidos através das previsões de maré fornecidos pelo Centro de Hidrografia da Marinha para a Marinha do Brasil (2015), em que estavam

disponíveis as máximas e mínimas diárias dos níveis da maré e a hora correspondente à maré.

4.2. TRATAMENTO DE DADOS

4.2.1. Tratamento dos dados de onda

Muehe (1998) destaca o clima de ondas como a principal variável indutora dos processos costeiros de curto e médio prazo. Dentre os principais parâmetros relacionados a uma onda, Muehe (2005) destaca: altura (H), o comprimento (L) e o período (T).

Com os dados de onda coletados pelo ADCP estava disponíveis os dados de altura significativa de pico (H_s), período de pico (T_p) e a direção de pico (D_p) dos 20 minutos medidos a cada 1:30 h. Altura Significativa (H_s) é a altura associada à média do terço das ondas mais altas dentro da série analisada. O período de pico (T_p) e a direção de pico (D_p) é o período e a direção associado à direção de maior nível de energia em um gráfico espectral, respectivamente.

Os dados foram tratados de modo que ficasse disponível a frequência para intervalos de valores de H_s, T_p e D_p, a fim de definir valores padrão, para caracterizar a área de estudo. Adicionalmente foram feitas análises com rosas de ondas para se caracterizar a direção das ondas do local de forma mais eficaz. E por fim, foi feita uma análise mensal para os mesmo parâmetros de onda citados anteriormente.

4.2.2. Tratamento dos dados de sedimento

Conforme visto na seção 3.1.1 a granulometria dos sedimentos influencia a morfodinâmica da praia. Estavam disponíveis os parâmetros estatísticos de acordo com Folk e Ward (1957) e foram utilizados desses a média e mediana. Os parâmetros granulométricos D_{50} e D_{90} para cada campanha em cada ponto amostrado estavam disponíveis e foram gerados a partir do programa computacional de análise de tamanho de partícula, o GRADISTAT (BLOTT, 2001).

Para a análise granulométrica, foram utilizados os valores do D_{50} e D_{90} para cada ponto de coleta (“Cordão”, “Berma”, “Face”, “Calha” e nas profundidades de 2, 4, 6, 8 e 10m) para cada mês coletado. Assim, com os resultados do GRADISTAT calculou-

se a média, mediana e desvio padrão estatísticos desses resultados dos valores de D_{50} e D_{90} para cada ponto e a média desses diâmetros para cada mês amostrado. Após a análise, decidiu-se utilizar a média mensal de todos os pontos amostrados desses diâmetros para efeito de comparação e, posteriormente, utilizou-se outros valores para a avaliação de desempenho do XBeach.

4.3. DEFINIÇÃO DAS TEMPESTADES

Como um dos focos desse trabalho são as tempestades, necessita-se de uma definição. Uma das definições mais usuais é utilizando o método peak overthreshold (POT) com um limite típico para o Hs de 2m (entre a faixa de valores recomendados pela Spanish National Harbour Authority) e a mínima duração de 6h (CASAS-PRAT e SIERRA, 2010). Adicionalmente, uma segunda hipótese é formada, na qual apenas tempestades independentes estatisticamente são consideradas (MENDOZA e JIMÉNEZ, 2006). Nesse caso, uma tempestade envolvendo dois episódios extremos com uma separação máxima entre eventos de 72 horas e um período de menos de seis horas com ondas menores que 1,5m é considerado uma tempestade de dois picos isolados (CASAS-PRAT e SIERRA, 2010).

O valor de referência encontrado para o H_s era referente às tempestades na costa da Espanha. Neste trabalho, as tempestades foram definidas de acordo com os resultados obtidos pela análise de onda realizada. Considerou-se tempestade todo evento com $H_s \geq \overline{H_s}$.

Além disso, a duração do evento para ser considerado tempestade tem que ser maior ou igual a 6 horas. De acordo com Mendoza e Jiménez (2006), tempestades com duração menor do que a definida não erode uma a praia a menos que outras condições sejam extremas.

4.4. ESCOLHA DAS TEMPESTADES

Para a escolha das tempestades a serem simuladas, primeiramente, calculou-se a perda ou acúmulo de sedimentos resultante entre as campanhas que tinham intervalo de tempo entre as medições de dois meses (por exemplo: cálculo da perda de sedimentos dos perfis da campanha de junho e agosto) . Para cada simulação os

dados da campanha com data mais antiga foi considerada a condição inicial ou perfil inicial e a campanha com data mais recente foi considerada o perfil final (por exemplo: junho seria o perfil inicial medido e agosto o perfil final medido). Foram descartadas as campanhas em que o perfil inicial apresentou mais acúmulo que perda de sedimentos que o perfil final analisado e priorizou-se a perda de sedimentos medida até os 400 metros que foi até onde o modelo apresentou cálculo efetivo.

Para facilitar o cálculo da perda de sedimentos das campanhas, os dados medidos foram interpolados a cada 10m, iniciando em 0,5m e terminando em 1000m. Os dados também foram interpolados terminando em 400m. Assim, após a interpolação todas as campanhas apresentaram dados topográficos para um mesmo ponto, sendo possível fazer a subtração dos resultados da campanha mais atual com os da campanha mais antiga. Se o resultado final foi negativo, o perfil apresentou, em geral, perda de sedimentos. Se o resultado final foi positivo, ocorreu acúmulo no perfil.

Após o estudo da perda de sedimentos na praia para definir quais meses seriam estudados, escolheu-se a tempestade que serviria como dado de entrada para o XBeach. A escolha foi feita pela análise das campanhas dos dados de onda nos meses definidos anteriormente. Foram identificadas as tempestades no período analisado pelo critério da seção 4.3, dentre as tempestades identificadas escolheu-se àquela que representava o evento mais extremo do período.

4.5. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO

Os dados de entrada utilizados para a simulação no XBeach foram os dados de onda da tempestade (H_s, frequência, direção), duração da tempestade, nível de maré, dados de sedimento (D50 e D90) e ângulo da costa. Para a avaliação do modelo, simulou-se os perfis escolhidos em quatro cenários distintos. Sabendo que as mudanças em um cenário são mantidas no cenário posterior, são eles:

Cenário 1 - Simulação dos perfis utilizando os valores padrão do XBeach, com o D_{50} e D_{90} sendo iguais à média de todos os pontos amostrados no mês a ser simulado;

Cenário 2 - Simulação dos perfis com a variável *morfac* (fator de aceleração morfológica) igual a 5 (valor arbitrário escolhido)*;*

Cenário 3 - Simulação dos perfis utilizando valores diferentes para o D_{50} e D_{90} daqueles usados no cenário 1 (média dos pontos Berma, Face e das profundidades de 2 e 4 metros);

Cenário 4 - Simulação dos perfis testando diferentes possibilidades dos valores da variável *facua*

Para facilitar a comparação do resultado obtido pelo XBeach com os dados medidos, os dados também foram interpolados conforme descrito na seção 4.5. Para a visualização dos resultados que o XBeach gerava foi utilizada a função QuickPlot do Deft3D.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ANÁLISE DOS DADOS DE ONDA

A Figura 9, Figura 10 e Figura 11 apresentam as frequências de ocorrência dos valores para H_s, T_p e D_p, respectivamente, de maio de 2012 até maio de 2014 para a praia de Cacimbas-ES. Os intervalos de períodos de pico mais frequente na região foi 6-8s e 8-10s, sendo equivalente a 37,82% e 30,86% de ocorrência, respectivamente. As alturas de ondas mais frequentes foram na faixa de 1-1,5m ocorrendo 58,56% das vezes. Os intervalos correspondentes às direções associadas ao maior pico de energia do spectrum direcional mais frequentes foram 67,5˚-90˚, 90˚-112,5˚, 135˚-157,5˚ equivalendo a 20,39%, 24,79% e 22,97%, respectivamente.

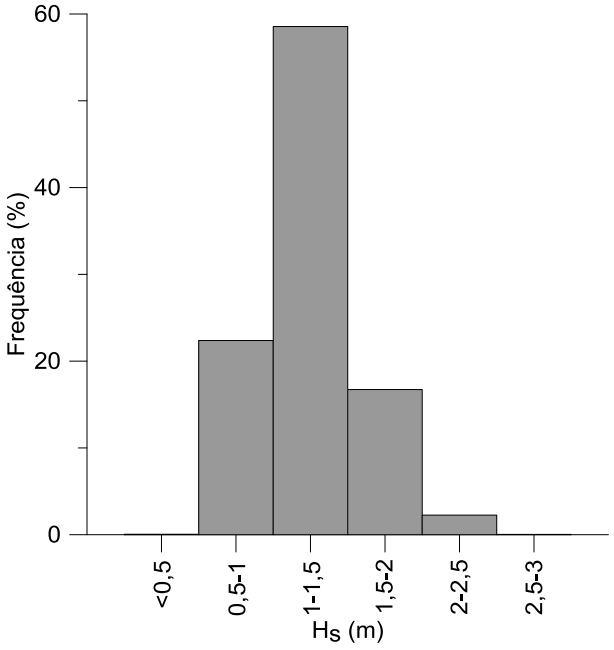

Figura 9 - Frequências de ocorrência dos valores de H_s de maio de 2012 a maio de 2014 para a praia de Cacimbas-ES.

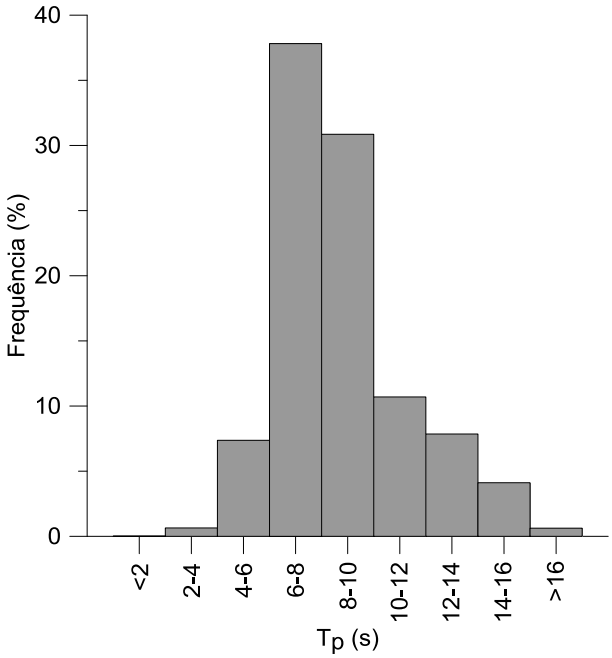

Figura 10 - Frequências de ocorrência dos valores de T_p de maio de 2012 a maio de 2014 para a praia de Cacimbas-ES.

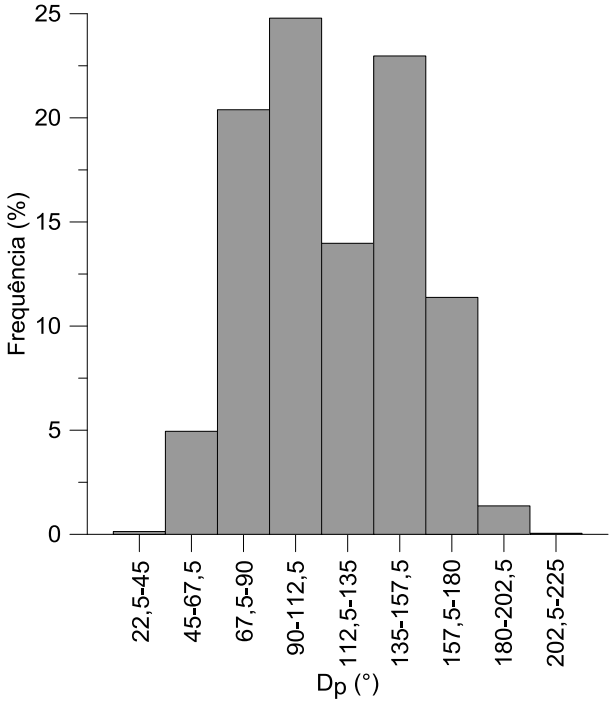

Figura 11 - Frequências de ocorrência dos valores de Dp de maio de 2012 a maio de 2014 para a praia de Cacimbas-ES.

A Figura 12 e Figura 13 apresentam os valores de H_s e T_p mínimo médio e máximo das ondas. A média de agosto para os valores de H_s e T_p foram os maiores

equivalendo a 1,29m e 10,29s,respectivamente. E o menor valor médio de H_s foi em junho com 0,94m e o menor valor médio de T_p foi setembro com 7,36s.

A maior média H_s foi em setembro sendo igual a 1,34, porém agosto e outubro também apresentaram altos valores de média para tal parâmetro de onda igual a 1,29 e 1,28, respectivamente (ver Figura 12). A menor média foi em junho sendo igual a 0,94. O maior valor máximo ocorreu em setembro sendo igual a 2,52, mas maio e dezembro também apresentaram valores altos, conforme pode ser constatado na Figura 12, e o menor valor máximo ocorreu em junho sendo igual a 1,58, respectivamente. O maior valor mínimo ocorreu em outubro o sendo igual a 0,82, porém agosto e setembro também apresentaram altos valores iguais a 0,74 e 0,76, respectivamente. E, finalmente, o menor valor mínimo ocorreu em maio sendo igual a 0,47.

A maior média de T_p foi em agosto sendo igual a 10,28 e a menor média foi em janeiro sendo igual a 7,77 (ver Figura 13). O máximo dos máximos de T_p ocorreu em julho sendo igual a 19,5s e o menor valor máximo ocorreu em janeiro, setembro, outubro e novembro sendo igual a 14,1s. O máximo dos mínimos de T_p ocorreu em julho sendo igual a 4,9s, e o menor valor mínimo ocorreu em junho sendo igual a 1,8s.

Apesar da máxima e mínima da média de ambos parâmetros de onda (T_p e H_s) terem coincidido no mesmo período a máxima apresentou resultados divergentes, sendo que o mês com máximo valor de H_s se apresentou como o mínimo valor de T_p e vice-versa.

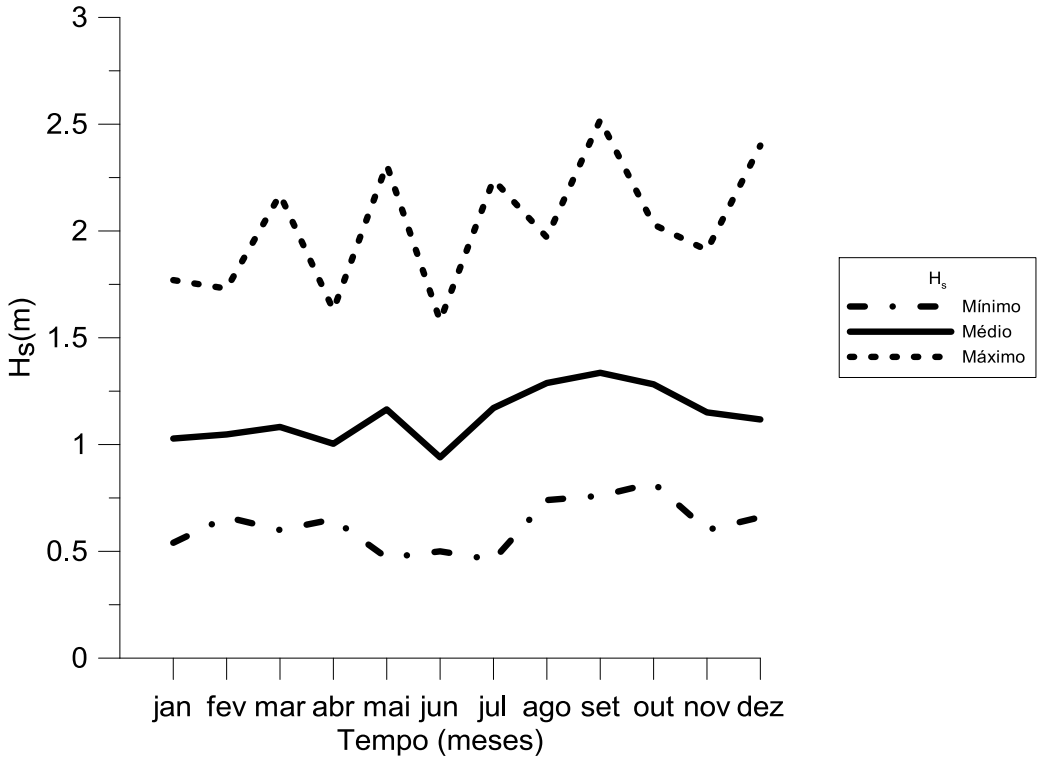

Figura 12 -Valores de H_s mínimo, médio e máximo mensal das ondas durante o período de maio/2012 a maio/2014.

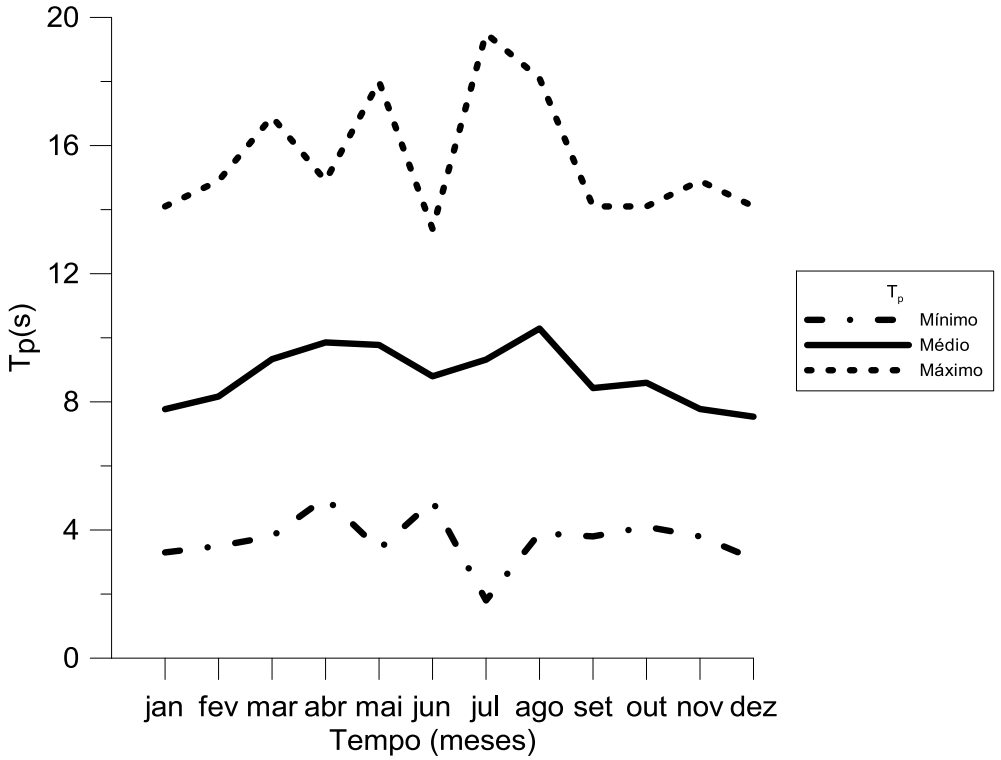

Figura 13 -Valores do T_p mínimo, médio e máximo mensal das ondas durante o período de maio/2012 a maio/2014.

A Figura 14 apresenta a rosa de ondas de H_s e T_p. A Figura mostra que as direções dominantes são leste e sudeste. Ao leste o período de pico dominante é de 6-10s e no sudeste apresenta maiores valores de pico como de 10-16s. A altura de onda significativa dominante foram iguais em ambas as direções, sendo de 1-1,5m, confirmando os resultados obtidos através da análise da Figura 9.

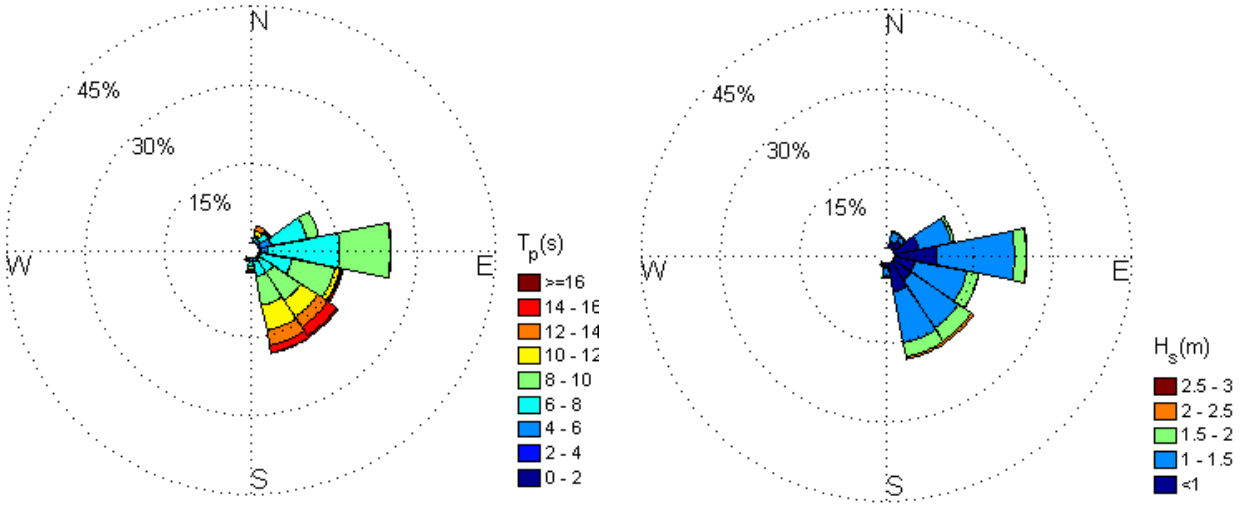

Figura 14 - Rosa de ondas para T_p e H_s.

5.2. ANÁLISE DOS DADOS DE SEDIMENTO

Os parâmetros granulométricos gerados pelo GRADISTAT para valores de D_{50} e D_{90} estavam disponíveis para o período de junho de 2012 a março de 2014. Pode-se perceber que o tamanho do sedimento, durante esse período nos pontos amostrados, foi bem variado. Esses dados se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores mensais do D_{50} e D_{90} nos pontos de coleta das campanhas.

		Cordões	Berma	Face	Calha	2 m	4 m	6 m	8 m	10 m
jun/12	D_{50} (mm):	0,39	0,37	0,91	0,69	0,89	0,32	0,13	0,10	-
	D_{90} (mm):	0,85	0,70	1,86	0,99	1,72	0,70	0,29	0,32	-
ago/12	D_{50} (mm):	0,64	0,85	0,74	1,12	1,71	0,13	0,29	0,37	0,08
	D_{90} (mm):	1,45	2,30	1,40	2,07	3,98	0,38	0,72	0,74	0,16
out/12	D_{50} (mm):	0,42	0,74	0,77	0,77	2,35	0,67	0,79	0,97	0,13
	D_{90} (mm):	0,91	1,49	1,48	1,50	3,74	1,03	2,04	4,14	0,24
dez/12	D_{50} (mm):	0,64	0,99	0,61	0,71	0,89	0,12	0,09	0,41	0,08
	D_{90} (mm):	1,62	1,88	0,97	1,22	1,75	0,28	0,22	1,24	0,44
fev/13	D_{50} (mm):	0,64	0,93	0,75	0,68	1,13	0,26	0,10	0,08	0,07
	D_{90} (mm):	1,47	1,88	1,65	1,41	3,28	0,50	0,24	0,19	0,21
abr/13	D_{50} (mm):	0,61	0,99	0,66	1,43	0,77	0,12	0,40	0,16	0,12
	D_{90} (mm):	0,97	1,95	1,15	2,80	1,55	0,43	0,89	0,34	0,23
jun/13	D_{50} (mm):	0,68	0,73	0,72	1,19	2,25	0,65	0,10	0,06	0,10
	D_{90} (mm):	1,48	1,37	1,38	2,78	6,00	1,64	0,37	0,19	0,21
ago/13	D_{50} (mm):	0,58	0,63	0,59	0,66	1,41	0,08	0,29	0,06	0,06
	D_{90} (mm):	0,93	0,96	0,94	1,02	2,81	0,22	0,49	0,12	0,18
out/13	D_{50} (mm):	0,60	0,85	0,71	0,87	1,37	0,42	0,10	0,02	0,01
	D_{90} (mm):	0,93	2,40	0,99	1,85	2,64	0,95	0,23	0,31	0,07
dez/13	D_{50} (mm):	0,81	0,68	0,71	0,74	1,13	0,10	0,13	0,04	0,12
	D_{90} (mm):	1,86	1,27	1,46	1,51	2,62	0,21	0,22	0,19	0,22
mar/14	D_{50} (mm):	0,72	0,69	0,62	0,64	0,75	0,02	0,02	0,01	0,03
	D_{90} (mm):	1,58	1,57	0,97	1,09	1,51	0,11	0,09	0,10	0,07
mai/14	D_{50} (mm):	0,61	0,87	0,74	1,34	1,42	0,07	0,05	0,05	0,06
	D_{90} (mm):	0,97	1,91	1,44	2,03	2,60	0,16	0,12	0,13	0,12

A partir dos dados da Tabela 3, foram calculados a média, o desvio padrão e a mediana dos valores do D_{50} e D_{90} disponíveis em cada campanha, os resultados estão dispostos na Tabela 4. A média do tamanho dos sedimentos nos pontos "Cordões", "Berma", "Face", "Calha" e nos pontos de profundidade de 2m se apresentaram mais grossos e a média nas cotas de 4m, 6m, 8m e 10m se apresentaram mais finos. Sendo que o D_{50} e o D_{90} apresentaram uma disparidade em média maior que 50% com maiores valores nos pontos de profundidade 4m, 6m, 8m e 10m.

O desvio padrão dos valores desses parâmetros são maiores nos pontos de profundidade igual a 2m, 4m, 6m e 8m, apenas o ponto afastado 10m da costa apresentou desvio padrão baixo. Assim pode-se concluir que no ponto de cota de 10m a diferença entre o $D_{50\ e\ o}$ D_{90} tende a ser mais constante do que nos demais

pontos amostrados. Os demais pontos, apesar da média entre os parâmetros apresentar porcentagem de diferença entre o D_{50} e o D_{90} alta, também apresentou as maiores variabilidades nos valores do desvio padrão. Isso significa que, dependendo da amostra analisada essa porcentagem, tem maiores chances de variar dos resultados obtidos na Tabela 3. Isso pode ser confirmado com o valor médio da mediana que apresentou maior disparidade da média nos pontos de cotas citados anteriormente, de 2m, 4m, 6m e 8m.

Tabela 4 - Valores da média, mediana e desvio padrão para cada ponto de coleta das campanhas.

		Cordões	**Berma**	**Face**	**Calha**	**2 m**	**4 m**	**6 m**	**8 m**	**10 m**
MÉDIA	D_{50} (mm):	0,61	0,78	0,71	0,90	1,34	0,25	0,21	0,20	0,08
	D_{90} (mm):	1,25	1,64	1,31	1,69	2,85	0,55	0,49	0,67	0,20
DESV PAD	D_{50} (mm):	0,11	0,16	0,08	0,28	0,59	0,25	0,20	0,26	0,03
	D_{90} (mm):	0,34	0,48	0,28	0,70	1,65	0,58	0,50	1,07	0,09
MEDIANA	D_{50} (mm):	0,63	0,79	0,72	0,76	1,25	0,13	0,12	0,07	0,08
	D_{90} (mm):	1,21	1,72	1,39	1,51	2,63	0,41	0,26	0,25	0,21
% dif entre	**D_{90} e D_{50}**	51,24	52,63	45,54	46,54	53,01	55,08	58,14	70,69	60,01

De acordo com a Tabela 5, a média da média dos valores do D_{50} e D_{90} de cada campanha de cada ponto amostrado teve seu valor relativamente alto, representando melhor os sedimentos dos pontos "Cordões", "Berma", "Face", "Calha" e nos pontos de cotas de 2m. Isso pode ser confirmado pelo resultado obtido pela média da mediana dos sedimentos D_{50} e de D_{90}. Para a média da mediana foram obtidos valores menores que os da média da média, indicando a presença dominante de sedimentos mais finos do que os representados pela média da média.

Tabela 5 - Valores da média, mediana e desvio padrão médio de todas as amostras em todos os pontos de amostragem para valores de D_{50} e D_{90}.

		Média
MÉDIA	D_{50} (mm):	0,56
	D_{90} (mm):	1,18
DESV PAD	D_{50} (mm):	0,22
	D_{90} (mm):	0,63
MEDIANA	D_{50} (mm):	0,50
	D_{90} (mm):	1,07
% dif entre D_{90} e D_{50}	52,38	

Após o tratamento de dados de sedimento, para efeito de comparação, foi considerado como dado de entrada para as primeiras simulações o valor da média mensal de todos os pontos amostrados. Não foram simulados todos os meses dispostos na Tabela 6, após a definição e escolha das tempestades (ver sessão 5.3) que foram definidos quais meses seriam simulados no XBeach. Posteriormente, foram analisados quais os dados de entrada do D_{50} e D_{90} poderiam resultar em uma melhor resposta do programa (ver sessão 5.7).

Tabela 6 - Valores da média mensal para valores de D_{50} e D_{90}, utilizados como dados de entrada no modelo XBeach.

		Média			Média
jun/12	D_{50} (mm):	0,48	**jun/13**	D_{50} (mm):	0,72
	D_{90} (mm):	0,93		D_{90} (mm):	1,71
ago/12	D_{50} (mm):	0,66	**ago/13**	D_{50} (mm):	0,48
	D_{90} (mm):	1,47		D_{90} (mm):	0,85
out/12	D_{50} (mm):	0,85	**out/13**	D_{50} (mm):	0,55
	D_{90} (mm):	1,84		D_{90} (mm):	1,15
dez/12	D_{50} (mm):	0,50	**dez/13**	D_{50} (mm):	0,50
	D_{90} (mm):	1,07		D_{90} (mm):	1,06
fev/13	D_{50} (mm):	0,52	**mar/14**	D_{50} (mm):	0,39
	D_{90} (mm):	1,20		D_{90} (mm):	0,79
abr/13	D_{50} (mm):	0,58	**mai/14**	D_{50} (mm):	0,58
	D_{90} (mm):	1,15		D_{90} (mm):	1,05

5.3. DEFINIÇÃO E ESCOLHA DAS TEMPESTADES

Pela análise dos dados de onda, concluiu-se que as alturas de ondas mais frequentes foram na faixa de 1-1,5m ocorrendo 58,56% das vezes. Assim, neste

trabalho, definiu-se $\overline{H_s}$ =1,5m e, seguindo a metodologia da sessão 4.3, considerou-se a ocorrência de evento extremo na praia de Cacimbas quando as ondas tiverem H_s≥1,5m.

De acordo com a metodologia para a escolha da tempestade na sessão 4.4, sessão 4.5, obteve-se a Tabela 7. Essa tabela apresenta os resultados de volumes da perda e acúmulo de sedimentos ocorridos entre uma campanha de campo e a seguinte. Os resultados apresentados na tabela foram calculados para os primeiros 1000m de perfil contados a partir de um valor inicial adotado para a interpolação igual a 0,5 metros de praia. Para a perda de sedimentos, foram adotados valores negativos e para o acúmulo, valores positivos. Assim, se o balanço for negativa significa que houve mais perda que acúmulo de sedimento naquele período e, se o balanço for positiva, significa que houve mais acúmulo. Os volumes de perda e acúmulo de sedimentos são apresentados por metro linear de praia. Os períodos que apresentaram perda de sedimentos foram Agosto/2012-Outubro/2012, Dezembro/2012-Fevereiro/2013, Abril/2013-Junho/2013, Agosto/2013-Outubro/2013 e Outubro/2013-Dezembro/2013. Os maiores eventos de perda de sedimentos ocorreram no período de Abril/2013-Junho/2013 e Outubro/2013-Dezembro/2013 com 39,70 e 38,90 m^3/m, respectivamente.

Tabela 7 - Volumes de perda, acúmulo e balanço até 1000m entre os perfis consecutivos medidos.

Até 1000 metros	Perda (m^3/m)	Acúmulo (m^3/m)	Balanço (m^3/m)
Junho/2012-Agosto/2012	-6,83	20,93	14,10
Agosto/2012-Outubro/2012	-12,31	8,55	-3,76
Outubro/2012-Dezembro/2012	-5,89	17,33	11,44
Dezembro/2012-Fevereiro/2013	-26,72	2,27	-24,45
Fevereiro/2013-Abril/2013	-14,32	30,28	15,96
Abril/2013-Junho/2013	-42,06	2,37	-39,70
Junho/2013-Agosto/2013	-3,15	71,69	68,54
Agosto/2013-Outubro/2013	-11,39	6,46	-4,93
Outubro/2013-Dezembro/2013	-40,24	1,34	-38,90
Dezembro/2013-Março/2014	-11,66	18,24	6,58
Março/2014-Maio/2014	-18,89	21,30	2,41

Além disso, para decidir qual dos perfis serão modelados com o XBeach deu-se prioridade àqueles em que a perda de sedimentos ocorreu na parte mais próxima da

costa, até os 400m (Tabela 8) pela melhor eficiência de modelagem do programa para essa parte do perfil praial. A diferença relativa na perda de sedimentos foi considerável em todos os meses analisados quando comparado com a Tabela 7. Os perfis que apresentaram essa característica foram os de Outubro/2012-Dezembro/2012, Abril/2013-Junho/2013, Agosto/2013-Outubro/2013 e Outubro/2013-Dezembro/2013, correspondendo ao que era esperado, uma vez que os maiores valores de H_s ocorreram nos meses de dezembro, maio e setembro.

Tabela 8 - Valores de perda , acúmulo e balanço até 400 m entre os perfis consecutivos medidos.

Até 400 m	Perda (m^3/m)	Acúmulo (m^3/m)	Balanço (m^3/m)	Dif. Relativa
Junho/2012-Agosto/2012	-0,77	19,22	18,45	30,83
Agosto/2012-Outubro/2012	-7,32	1,68	-5,64	49,92
Outubro/2012-Dezembro/2012	-5,41	9,51	4,09	-64,20
Dezembro/2012-Fevereiro/2013	-16,10	2,043	-14,06	-42,49
Fevereiro/2013-Abril/2013	-2,50	30,28	27,78	74,06
Abril/2013-Junho/2013	-21,37	2,37	-19,00	-52,13
Junho/2013-Agosto/2013	-3,15	13,89	10,74	-84,33
Agosto/2013-Outubro/2013	-11,04	1,87	-9,17	86,05
Outubro/2013-Dezembro/2013	-15,08	1,34	-13,75	-64,66
Dezembro/2013-Março/2014	-5,14	17,05	11,91	81,10
Março/2014-Maio/2014	-7,18	20,47	13,30	451,16

Escolheu-se para análise com o XBeach os perfis erodidos de 2013 por terem mais meses com perda de sedimentos nesse ano e em perfis quase consecutivos, podendo resultar em uma discussão mais completa. Os valores de T_p e H_s das ondas monitoradas no período entre os perfis medidos estão dispostas nas Figura 15, Figura 16 e Figura 17. Como citado anteriormente, os dados de onda foram coletados a cada 1h 30min.

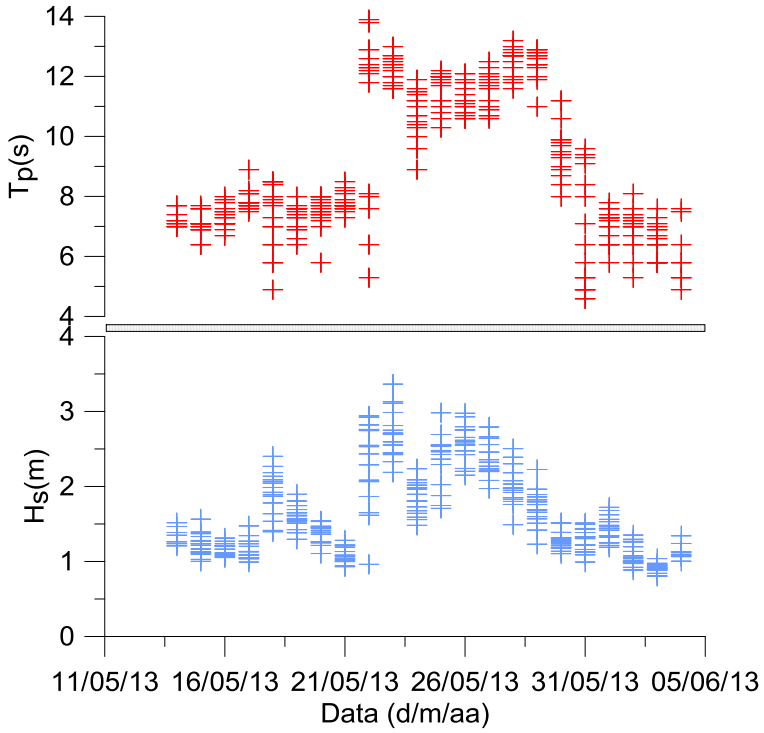

Figura 15 - Valores de H_s e T_p das ondas medidas entre 14/05/2013 e 04/06/2013.

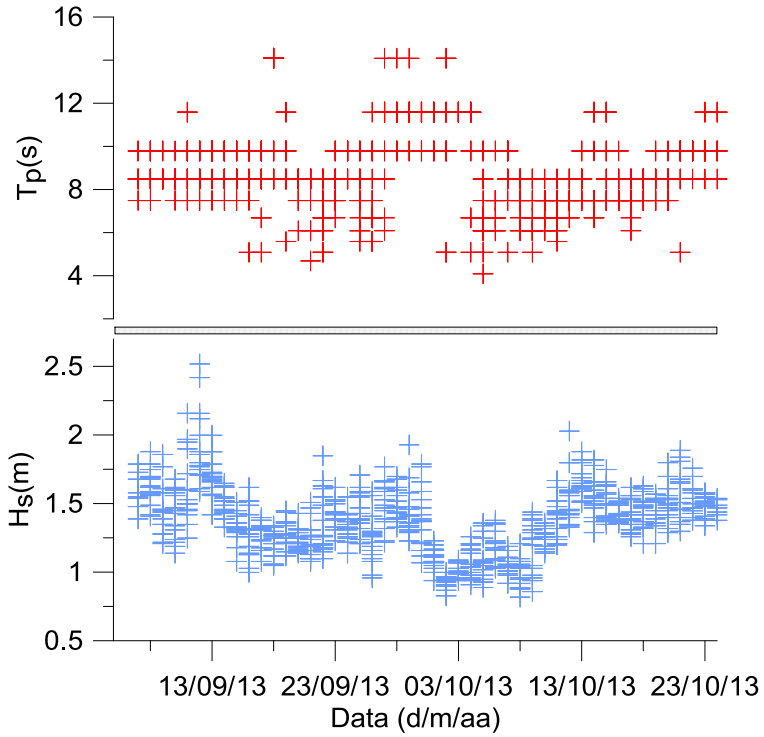

Figura 16 - Valores de H_s e T_p das ondas medidas entre 07/09/2013 e 24/10/2013.

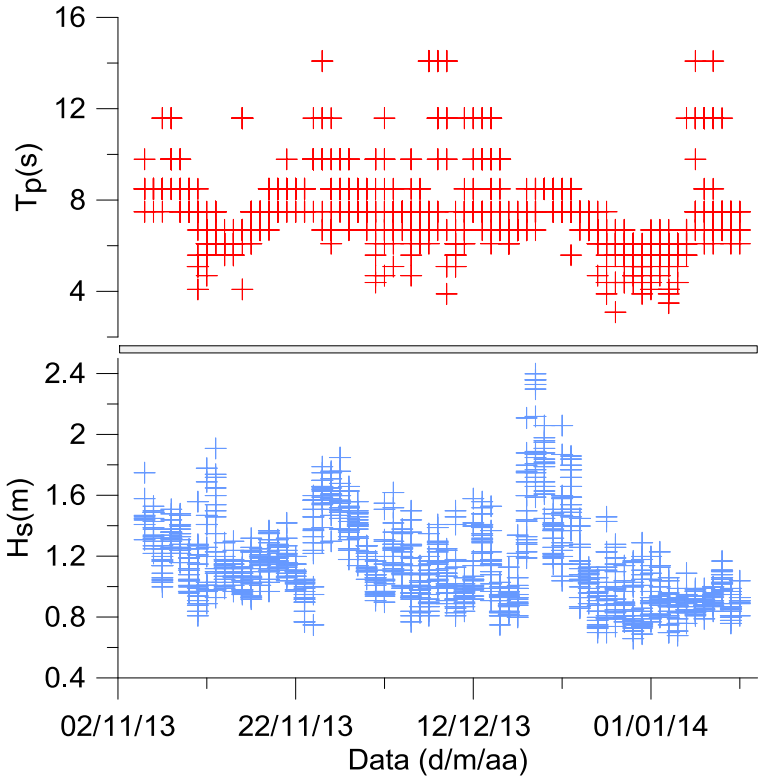

Figura 17 - Valores de H_s e T_p das ondas medidas entre 05/11/2013 e 10/01/2014.

Dentre todas as ondas medidas nos meses selecionados, dispostas na Figura 15, Figura 16 e Figura 17, selecionou-se aquelas que satisfaziam a definição de tempestade. A Figura 18, Figura 19 e Figura 20 apresentam os valores de H_s, T_p e D_r das tempestades selecionadas, assim como a maré medida durante as horas em que ocorreram a tempestade. Para a tempestade que ocorreu do dia 18/05/2013 às 8:30h ao dia 19/05/2013 às 2:30h estava disponível apenas o D_r médio da 1:30 em que ocorreu a medição e não o D_r correspondente ao H_s de pico.

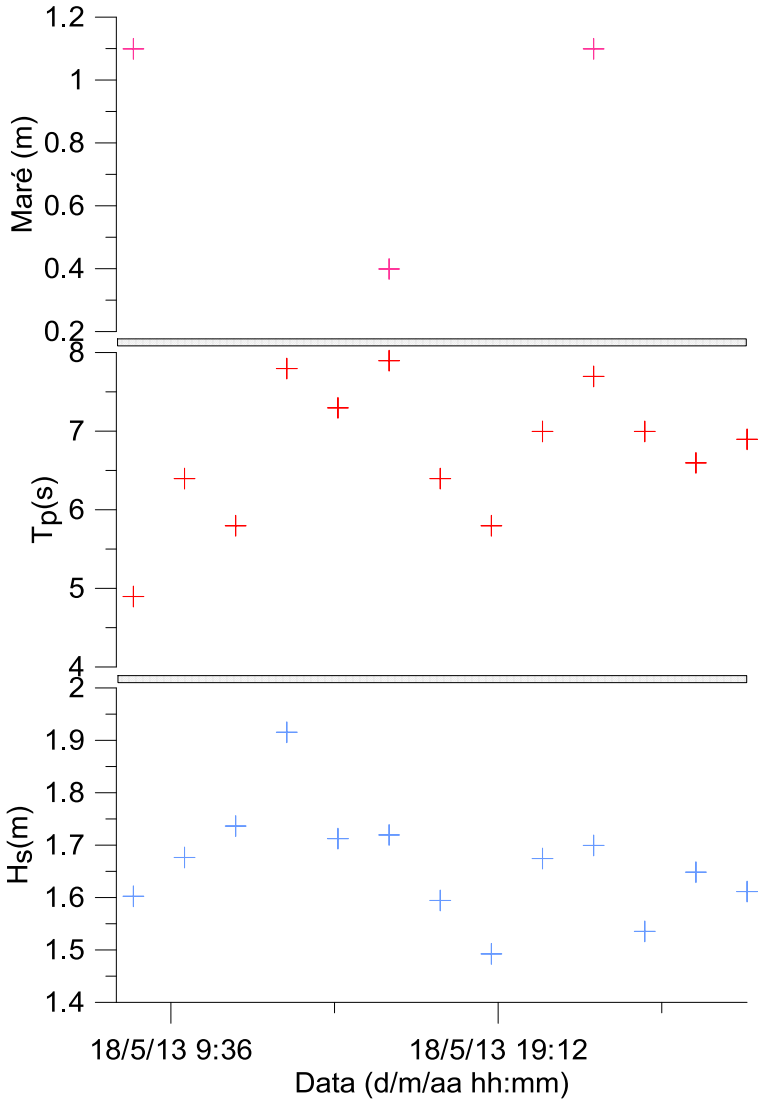

Figura 18 - Valores de H_s, T_p, e maré para a tempestade do dia 18/05/2013 às 8:30h ao dia 19/05/2013 às 2:30h.

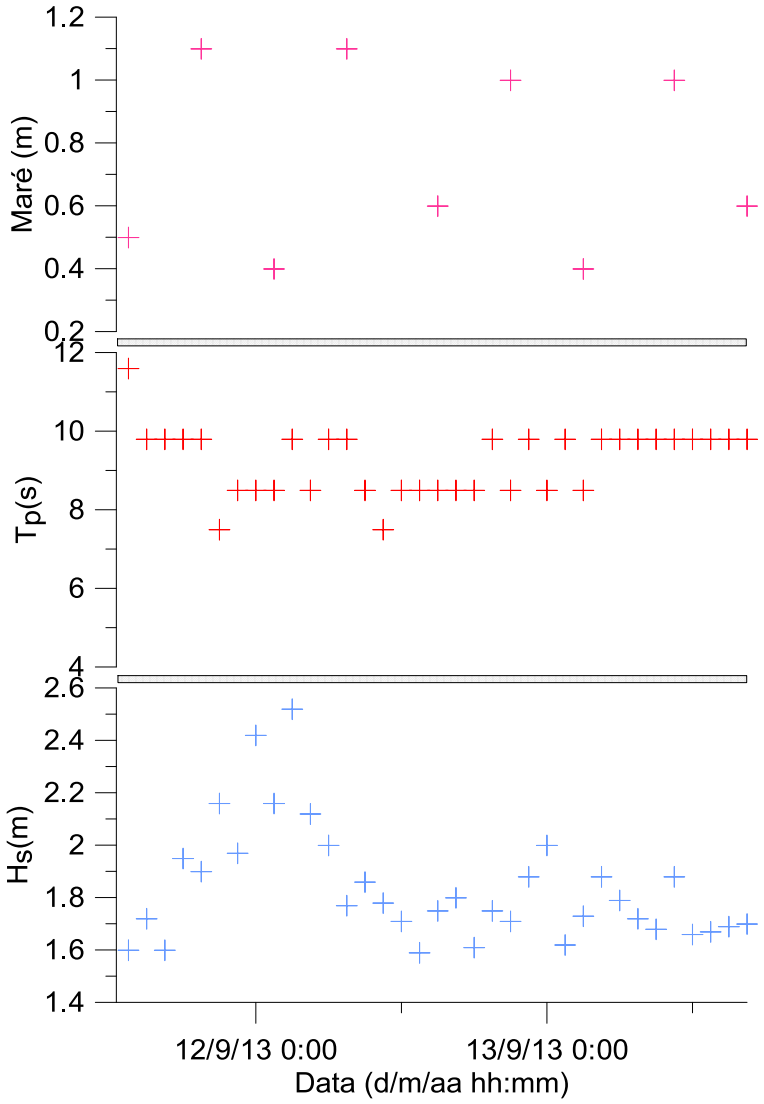

Figura 19 - Valores de H_s, T_p e maré para a tempestade do dia 11/09/2013 às 13:30h ao dia 13/09/2013 às 16:30h.

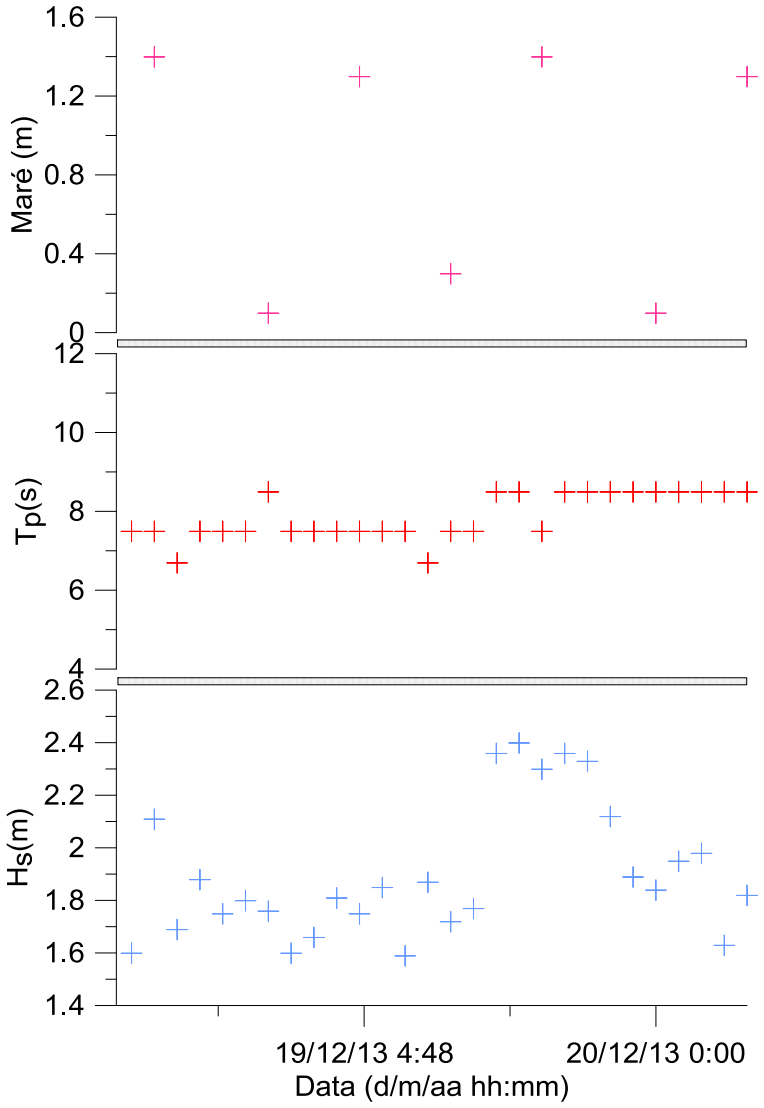

Figura 20 - Valores de H_s, T_p e maré para a tempestade do dia 18/12/2013 às 13:30h ao dia 20/12/2013 às 16:30h.

5.4. DADOS DE ENTRADA DE ONDAS NO XBEACH

Os dados de onda, para entrarem no XBeach, foram considerados constantes durante a 1h e 30min em que não estavam disponíveis dados medidos. A maré foi interpolada linearmente para as horas em que havia dados de ondas disponíveis e também foi mantida constante durante a 1h e 30 min de dados faltantes de onda. Os dados que entraram no XBeach se encontram nas Figura 21, Figura 22 e Figura 23. Os valores de direção de onda foram considerados como constantes e iguais ao valor padrão utilizados pelo programa sendo igual a 270˚. Como o ângulo da costa não foi alterado, a direção de onda permaneceu constante uma vez que para modelos de uma dimensão o efeito oblíquo da direção das ondas não existe. Assim utilizou-se o ângulo e direção padrão do XBeach, em que as cristas das ondas eram paralelas à linha de costa.

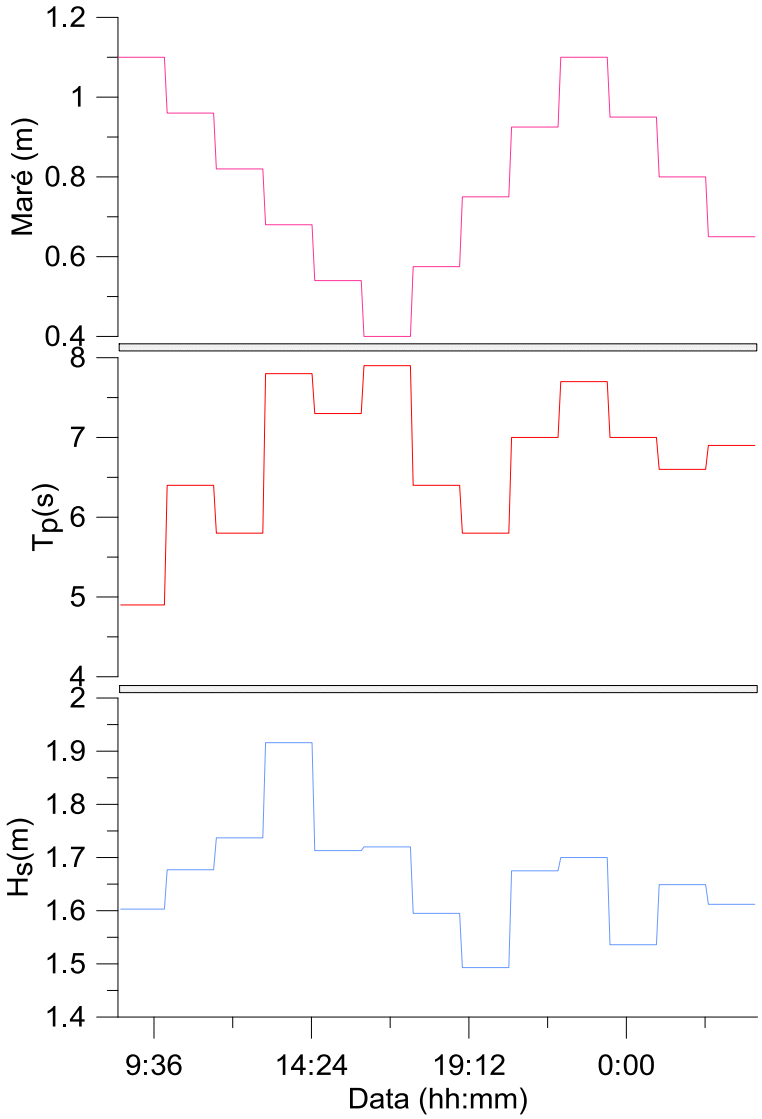

Figura 21 - Valores de H_s, T_p, D_r médio e maré de entrada no XBeach para a tempestade do dia 18/05/2013 às 8:30h ao dia 19/05/2013 às 2:30h.

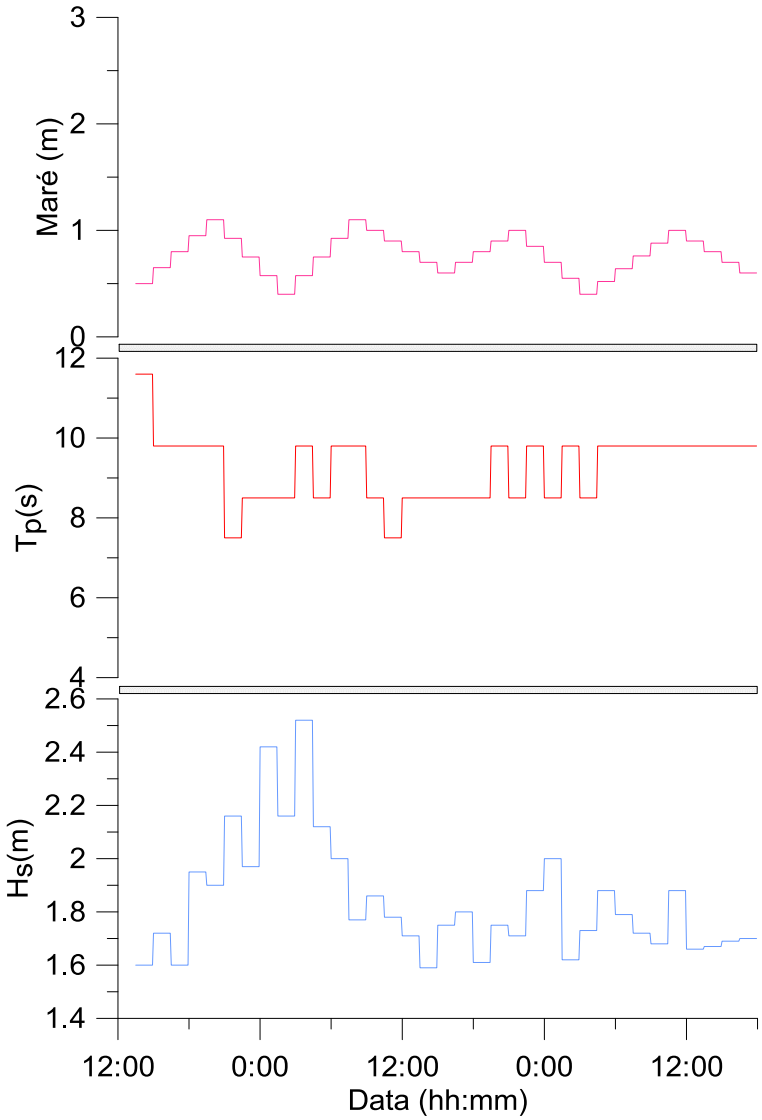

Figura 22 - Valores de H_s, T_p, D_r e maré de entrada no XBeach para a tempestade do dia 11/09/2013 às 13:30h ao dia 13/09/2013 às 16:30h.

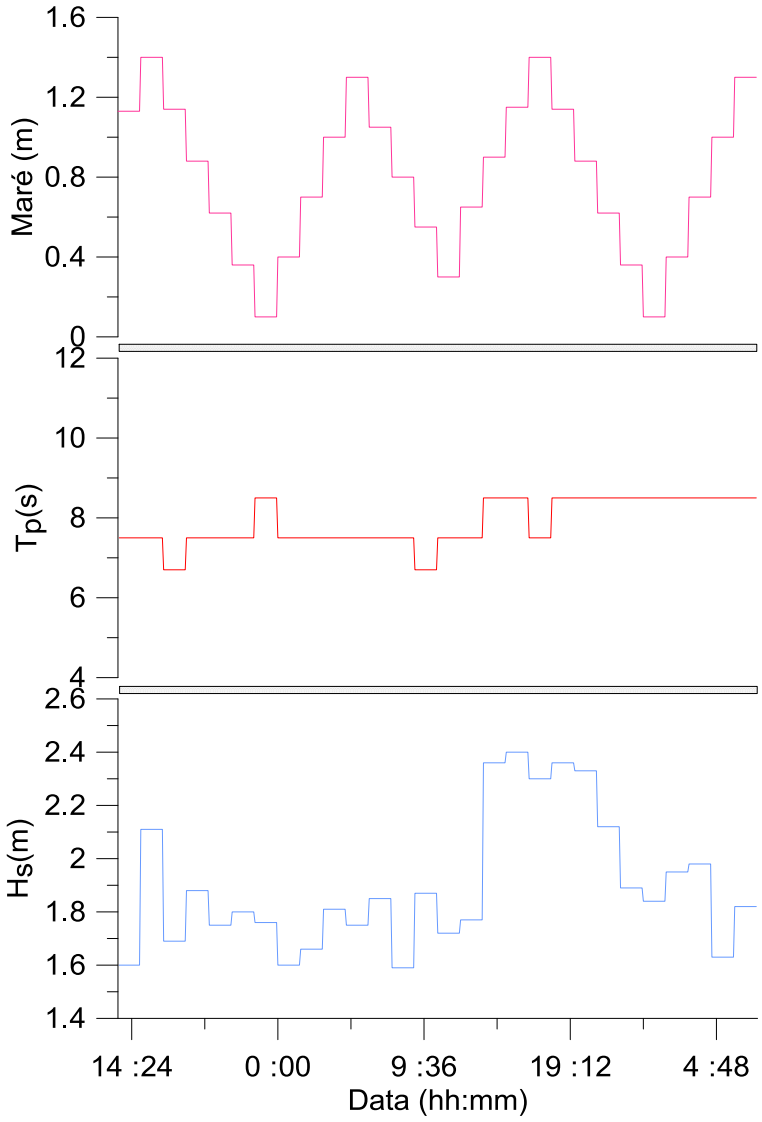

Figura 23 - Valores de H_s, T_p, D_r e maré de entrada no XBeach para a tempestade do dia 18/12/2013 às 13:30h ao dia 20/12/2013 às 16:30h.

5.5. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM VALORES PADRÃO DO XBEACH

Primeiramente, fez-se uma simulação com os valores padrão do XBeach e, a partir dos resultados obtidos, alguns desses valores foram alterados nas simulações posteriores. A Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11 apresentam o valor e unidade utilizados como dado de entrada no XBeach e a explicação de cada variável apresentada. E a Figura 24, Figura 25 e Figura 26 apresentam graficamente os perfis medidos das campanhas analisadas e o perfil simulado pelo XBeach para o perfil inicial correspondente.

A Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11 apresenta a discretização espacial do modelo que foi definido pela variável "vardx". A discretização espacial foi variável com o espaçamento mínimo sendo 0,5m. Não foi definido o máximo espaçamento que poderia ser utilizado, mas o máximo para os casos simulados foi por volta de 20m. Nos pontos mais próximo da praia o valor mínimo ou algo próximo desse foi utilizado, a medida em que pontos da antepraia, mais afastados da praia, uma iteração com espaçamentos maiores foram utilizados. A discretização temporal foi calculada a partir do valor padrão utilizado pelo XBeach para o número de Courant (0,7) e o espaçamento utilizado a cada iteração.

O perfil final simulado de abril/2013 (Figura 24) apresentou pouca mobilidade de sedimento comparada com o medido, o que é um resultado viável uma vez que a tempestade simulada tinha apenas 18 horas e não tinha magnitude suficiente para transportar grandes massas de sedimento.

O perfil final simulado de agosto/2013 (Figura 25) apresentou significativa mobilidade de sedimento comparada com o medido, e o resultado quando comparado com o mês seguinte não foi satisfatório. O XBeach simulou mais mobilidade de sedimento na duna e menos mobilidade entre as distâncias de 150 a 180m, aproximadamente, quando comparado como os perfis medidos. Porém, é válido resaltar que o XBeach não está simulando todo o intervalo de tempo entre as medições de um perfil, a simulação do mês de agosto é para uma tempestade de 51 horas. Assim, espera-se um menor valor para a perda de sedimentos.

O perfil final simulado de outubro/2013 (Figura 26) também apresentou significativa mobilidade de sedimento comparada com o medido. Considera-se

também nesse caso que o XBeach extrapolou na perda de sedimento para uma tempestade de 40,5 horas.

Tabela 9 - Valor, unidade e explicação dos parâmetros utilizados na simulação do perfil inicial de abril/2013 com valores padrão XBeach.

Nome	Valor [unidade]	Explicação
nx	554 [-]	Canto de célula computacional na direção x
vardx	1 [-]	0 = espaçamento uniforme do grid, 1 = espaçamento variável do grid. Quando o espaçamento do grid é uniforme é definido pelos comandos dx e dy, quando é variável é definido pelo comando vardx e as coordenadas x e y devem ser fornecidas em arquivos referenciados como xfile e yfile, respectivamente.
xori	-3080,114660 [m]	Coordenada x da origem do eixo
tstop	18 [h]	Tempo de parada da simulação, em tempo morfológico
D50	0,00058 [m]	Diâmetro D50 do grão para todas as classes de sedimento
D90	0,00115 [m]	Diâmetro D90 do grão para todas as classes de sedimento
facua	0,1 [-]	Fator de calibração para o transporte de sedimento devido à assimetria de onda

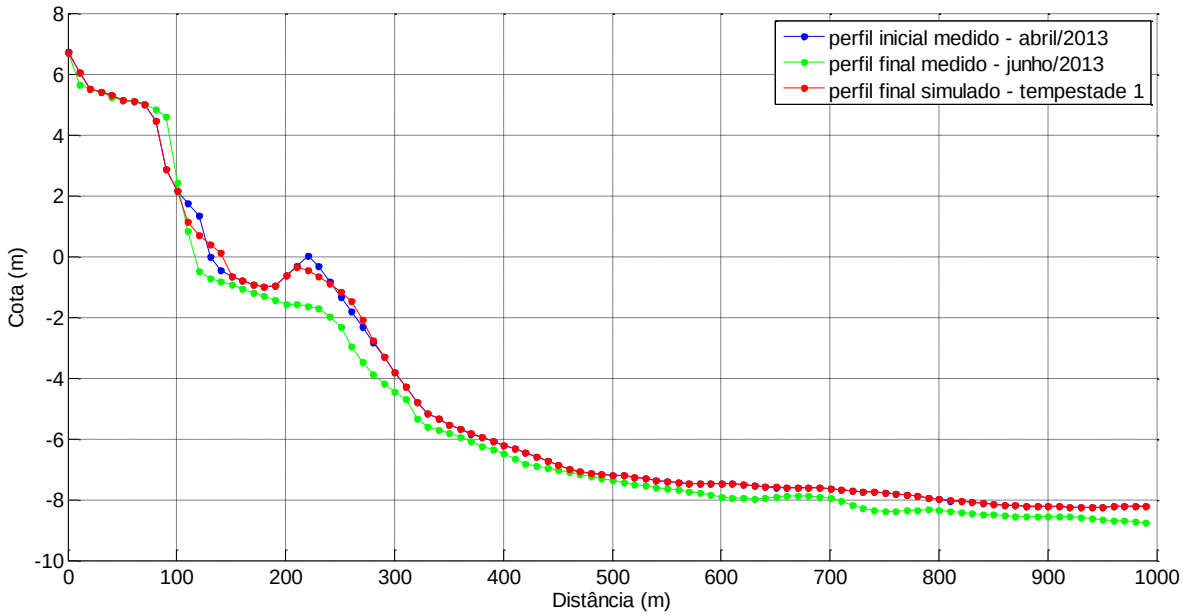

Figura 24 - Gráfico com perfil inicial medido de abril/2013, perfil final medido de junho/2013 e perfil final simulado como XBeach.

Tabela 10 - Valor, unidade e explicação dos parâmetros utilizados na simulação do perfil inicial de agosto/2013 com valores padrão XBeach.

Nome	Valor [unidade]	Explicação
nx	387 [-]	Canto de célula computacional na direção x
vardx	1 [-]	0 = espaçamento uniforme do grid, 1 = espaçamento variável do grid. Quando o espaçamento do grid é uniforme é definido pelos comandos dx e dy, quando é variável é definido pelo comando vardx e as coordenadas x e y devem ser fornecidas

		em arquivos referenciados como xfile e yfile, respectivamente.
xori	- 1646,078874 m	Coordenada x da origem do eixo
tstop	51 [h]	Tempo de parada da simulação, em tempo morfológico
D50	0.00048 [m]	Diâmetro D50 do grão para todas as classes de sedimento
D90	0.00085 [m]	Diâmetro D90 do grão para todas as classes de sedimento
facua	0,1 [-]	Fator de calibração para o transporte de sedimento devido à assimetria de onda

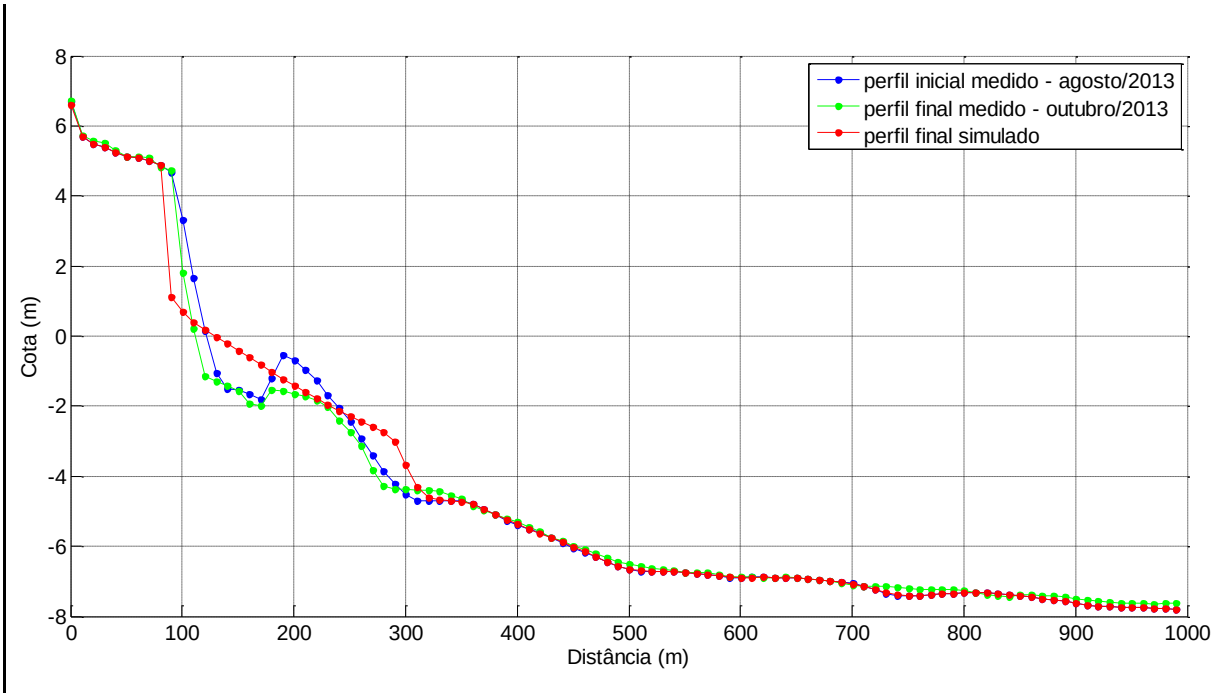

Figura 25 - Gráfico com perfil inicial medido de agosto/2013, perfil final medido de outubro/2013 e perfil final simulado.

Tabela 11 - Valor, unidade e explicação dos parâmetros utilizados na simulação do perfil inicial de agosto/2013 com valores padrão XBeach.

Nome	Valor [unidade]	Explicação
nx	352 [-]	Canto de célula computacional na direção x
vardx	1 [-]	0 = espaçamento uniforme do grid, 1 = espaçamento variável do grid. Quando o espaçamento do grid é uniforme é definido pelos comandos dx e dy, quando é variável é definido pelo comando vardx e as coordenadas x e y devem ser fornecidas em arquivos referenciados como xfile e yfile, respectivamente.
xori	-1467,222000 [m]	Coordenada x da origem do eixo
tstop	40,5 [h]	Tempo de parada da simulação, em tempo morfológico
D50	0,00055 [mm]	Diâmetro D50 do grão para todas as classes de sedimento
D90	0,00115 [mm]	Diâmetro D90 do grão para todas as classes de sedimento
Facua	0,1 [-]	Fator de calibração para o transporte de sedimento devido à assimetria de onda

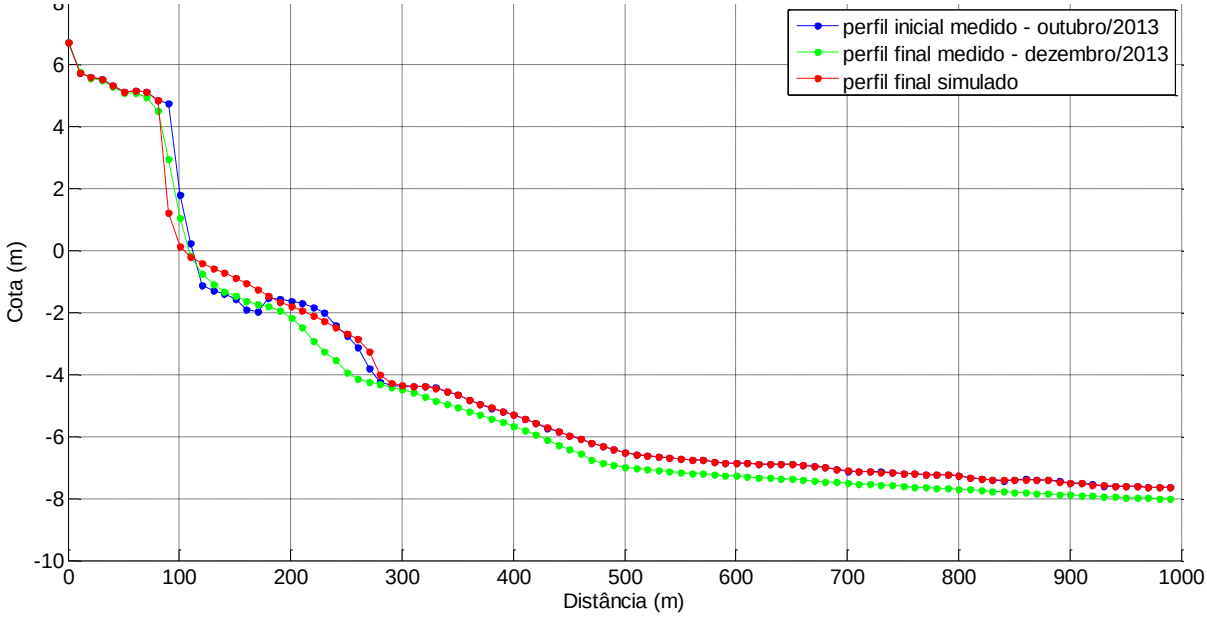

Figura 26 - Gráfico com perfil inicial medido de outubro/2013, perfil final medido de dezembro/2013 e perfil final simulado.

A partir desses resultados foram calculados perda e acúmulo de sedimento até os 400 metros de perfil, pois graficamente foi onde se encontrou mobilidade de sedimento nas situações simuladas. A Tabela 12 apresenta o valor da perda de sedimento, acúmulo de sedimento, balanço (perda de sedimento e acúmulo de sedimento) e a diferença relativa entre o resultado do balanço que ocorreu entre o perfil simulado (com valores padrão XBeach) e perfil inicial medido com o resultado do balanço que ocorreu entre o perfil inicial e final medido. Através dos resultados da Tabela 12 pode-se perceber que os resultados simulados pelo XBeach apresentaram menos perda de sedimentos nos meses de junho/2013 e agosto/2013 quando comparado com os valores medidos em campo. Enquanto que o perfil simulado de outubro/2013 apresentou mais perda de sedimentos do que o resultado medido em campo.

Tabela 12 - Resultado dos valores de perda, acúmulo, balanço e diferença relativa do resultado do balanço do perfil inicial medido e perfil simulado (com valores padrão XBeach) com o resultado do balanço do perfil inicial e final medido.

	Perda (m^3/m)	Acúmulo (m^3/m)	Balanço (m^3/m)	Dif rel. (%)
Abril/2013-Junho simulado	-2,20	1,86	-0,34	-98,20
Agosto/2013-Outubro simulado	-15,66	7,24	-8,42	-8,14
Outubro/2013-Dezembro simulado	-25,48	6,90	-18,58	35,11

5.6. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM A VARIÁVEL *MORFAC*

Para a simulação dos resultados com valores padrão do XBeach o tempo de simulação variou de 2 a 4 horas, aproximadamente. Na tentativa de otimizar o tempo de simulação e reduzir o valor de perda de sedimentos no perfil, modificou-se o valor da variável *morfac* de 1 (padrão) para 5. As Figura 27, Figura 28 e Figura 29

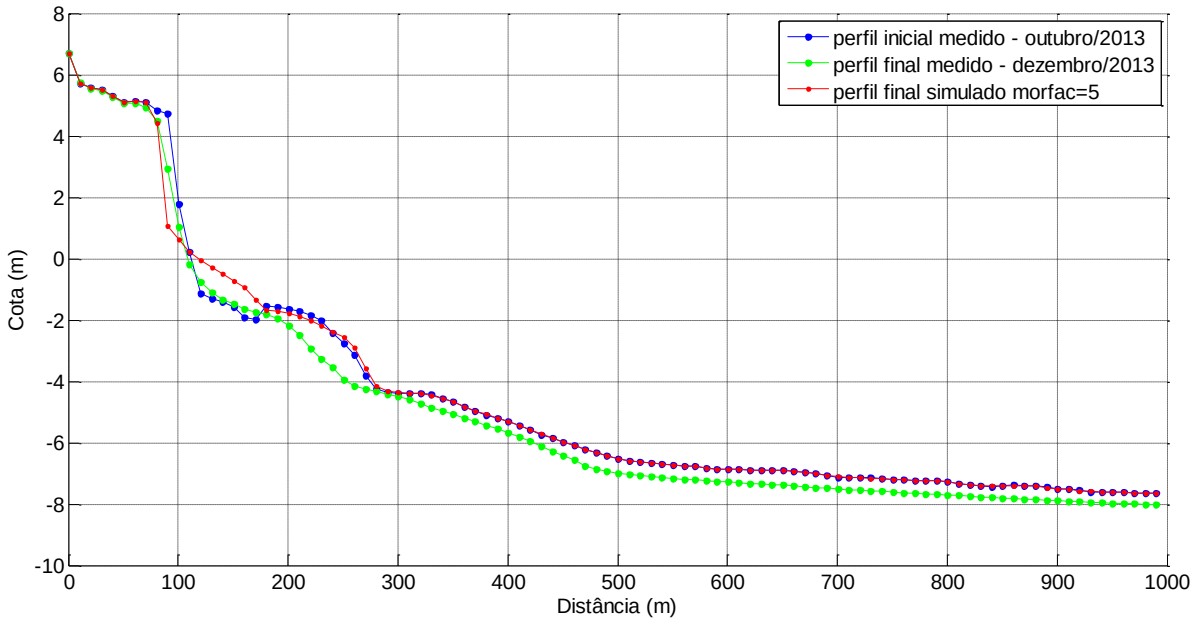

Figura 29

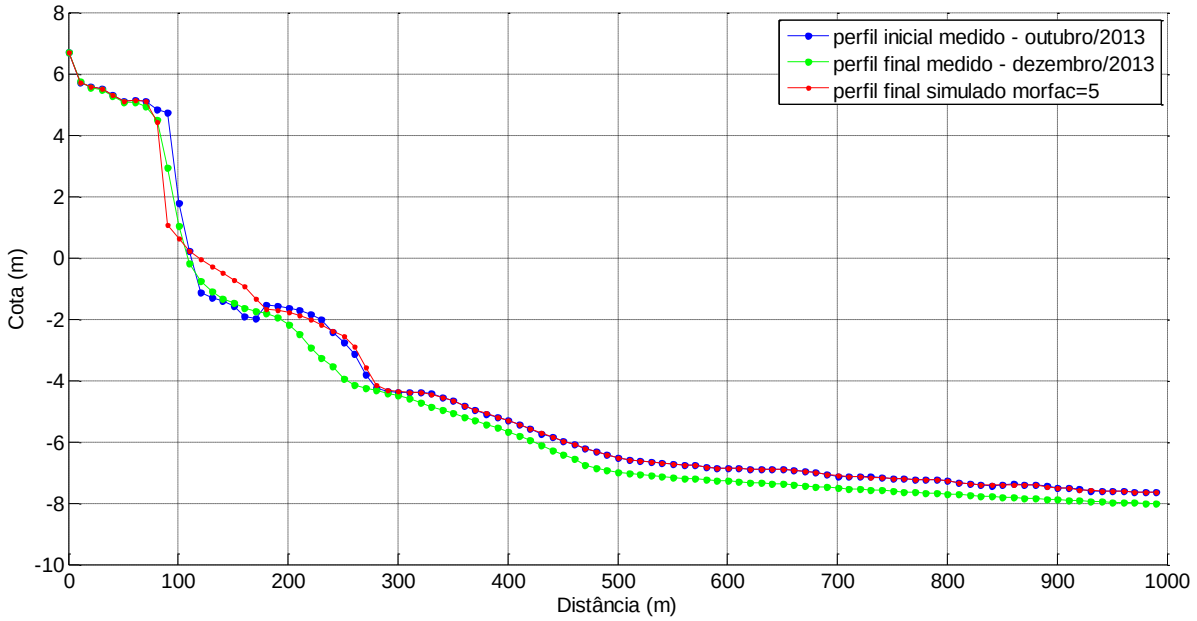

Figura 29 apresentam graficamente os perfis medidos das campanhas analisadas e o perfil simulado pelo XBeach para o valor de *morfac*=5. Utilizado esse para a variável, as tempestades de maio, setembro e dezembro que antes tinham 18, 40,5 e 51 horas, respectivamente, apresentam agora 90, 255 e 202,5 horas de simulação.

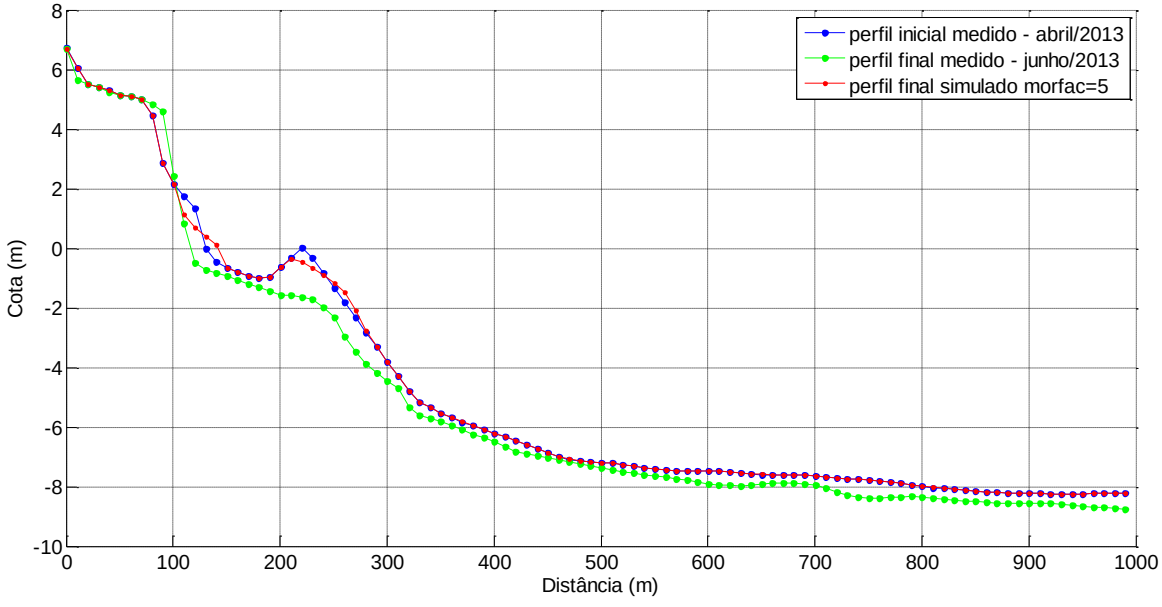

Figura 27 - Gráfico com perfil inicial medido de abril/2013, perfil final medido de junho/2013 e perfil final simulado com morfac=5.

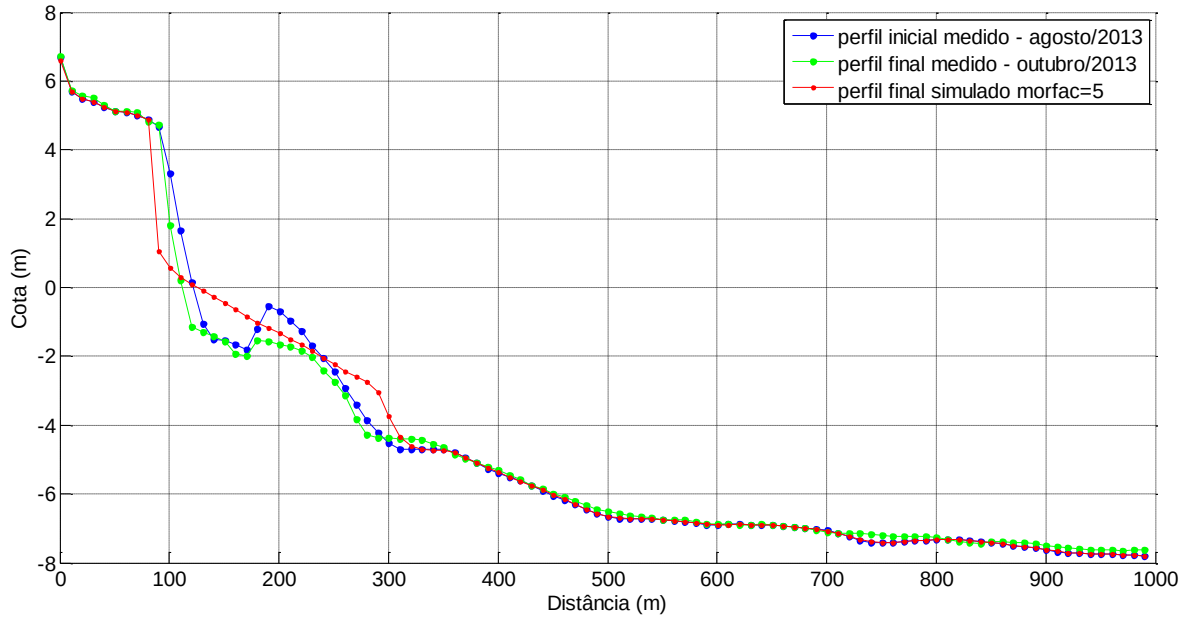

Figura 28 - Gráfico com perfil inicial medido de agosto/2013, perfil final medido de outubro/2013 e perfil final simulado com morfac=5.

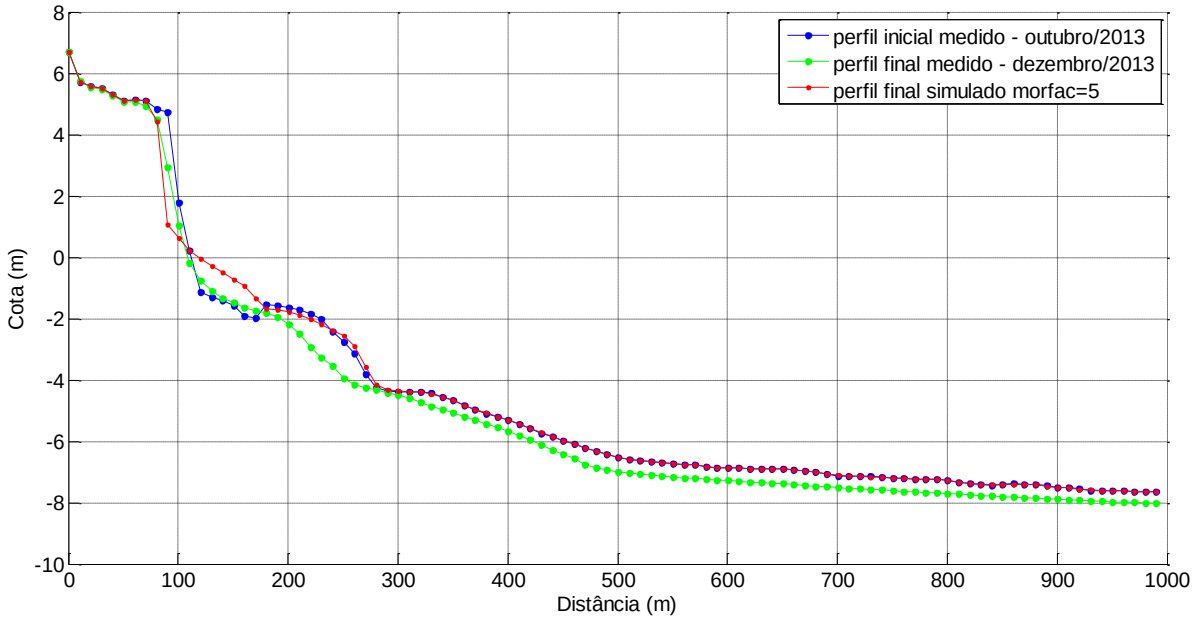

Figura 29 - Gráfico com perfil inicial medido de outubro/2013, perfil final medido de dezembro/2013 e perfil final simulado com morfac=5.

Utilizando o *morfac* igual a 5, o tempo de simulação ficou em torno de 20 minutos para todas as simulações, reduzindo de 83% a 92%, aproximadamente quando comparado com o tempo de simulação para *morfac* igual a 1. De acordo com a Tabela 13, o resultado de junho simulado com morfac=5 foi exatamente igual sem a

determinação dessa variável, porém os resultados de outubro e dezembro simulado com o *morfac* adotado igual a 5 apresentou mais acúmulo que perda, mostrando que a proposta de reduzir o volume de sedimentos perdidos na análise morfológica foi atendida.

Tabela 13 - Resultado dos valores de perda, acúmulo, balanço e diferença relativa do resultado do balanço do perfil inicial medido e perfil simulado (com *morfac*=5) com o resultado do balanço do perfil inicial e final medido.

Morfac = 5	Perda (m^3/m)	Acumulo (m^3/m)	Balanço (m^3/m)	Dif. rel. (%)
Abril/2013-Junho simulado	-2,20	1,86	-0,34	-98,20
Agosto/2013-Outubro simulado	-10,35	10,48	0,14	-101,49
Outubro/2013-Dezembro simulado	-6,21	6,46	0,25	-101,79

5.7. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM VALORES DIFERENTES DO D_{50} E D_{90}

Considerando que a mobilidade de sedimento pelo XBeach ficou restrita em todos os perfis da Berma à cota de 4m, redefiniu-se os valores de D_{50} e D_{90}. A Tabela 14 apresenta a média dos diâmetros dos sedimentos nos pontos "Berma", "Face", "Calha" e das cotas de -2m e -4m e a diferença percentual desse resultado com os diâmetros usados nas simulações anteriores. Assim, de acordo com a Tabela 14, para os perfis simulados de abril/2013, agosto/2013 e outubro/2013 foi utilizado D_{50}=0,79mm e D_{90}=1,58mm; D_{50}=0,68mm e D_{90}=1,19mm e D_{50}=0,84mm e D_{90}=1,77mm, respectivamente. A diferença do D_{50} e D_{90} definido para as primeiras simulações para os diâmetros definidos como a média dos pontos que apresentaram maior mobilidade de sedimentos pelo XBeach foi em média de 38%..

Tabela 14 - Valores da média, mediana e desvio padrão para cada ponto de coleta das campanhas.

		Média Berma-4m	Diferença percentual
jun/12	D_{50} (mm):	0,64	34,34
	D_{90} (mm):	1,19	28,72
ago/12	D_{50} (mm):	0,91	38,08
	D_{90} (mm):	2,03	38,06
out/12	D_{50} (mm):	1,06	25,32
	D_{90} (mm):	1,85	0,40
dez/12	D_{50} (mm):	0,66	31,59
	D_{90} (mm):	1,22	13,90
fev/13	D_{50} (mm):	0,75	45,01
	D_{90} (mm):	1,74	44,90
abr/13	D_{50} (mm):	0,79	35,92
	D_{90} (mm):	1,58	37,67
jun/13	D_{50} (mm):	1,11	53,90
	D_{90} (mm):	2,64	53,80
ago/13	D_{50} (mm):	0,68	39,35
	D_{90} (mm):	1,19	39,49
out/13	D_{50} (mm):	0,84	53,27
	D_{90} (mm):	1,77	53,27
dez/13	D_{50} (mm):	0,67	35,70
	D_{90} (mm):	1,42	33,14
mar/14	D_{50} (mm):	0,55	40,05
	D_{90} (mm):	1,05	33,16
mai/14	D_{50} (mm):	0,89	53,45
	D_{90} (mm):	1,63	54,40

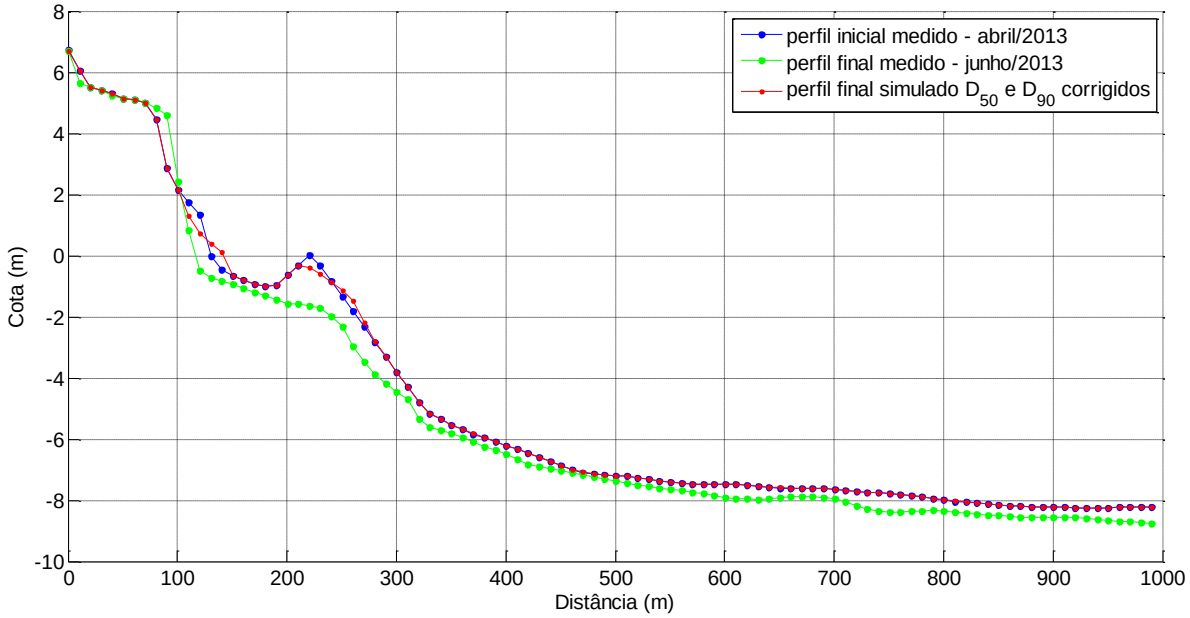

Figura 30 - Gráfico com perfil inicial medido de abril/2013, perfil final medido de junho/2013 e perfil final simulado com o D_{50} e o D_{90} corrigidos.

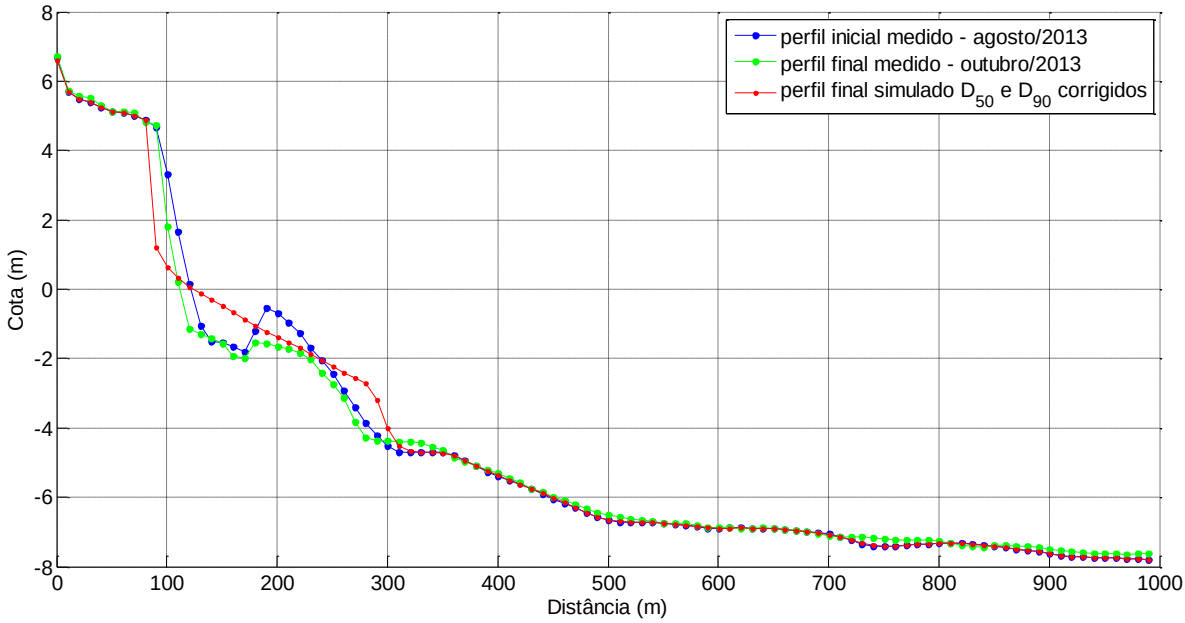

Figura 31 - Gráfico com perfil inicial medido de agosto/2013, perfil final medido de outubro/2013 e perfil final simulado com o D_{50} e o D_{90} corrigidos.

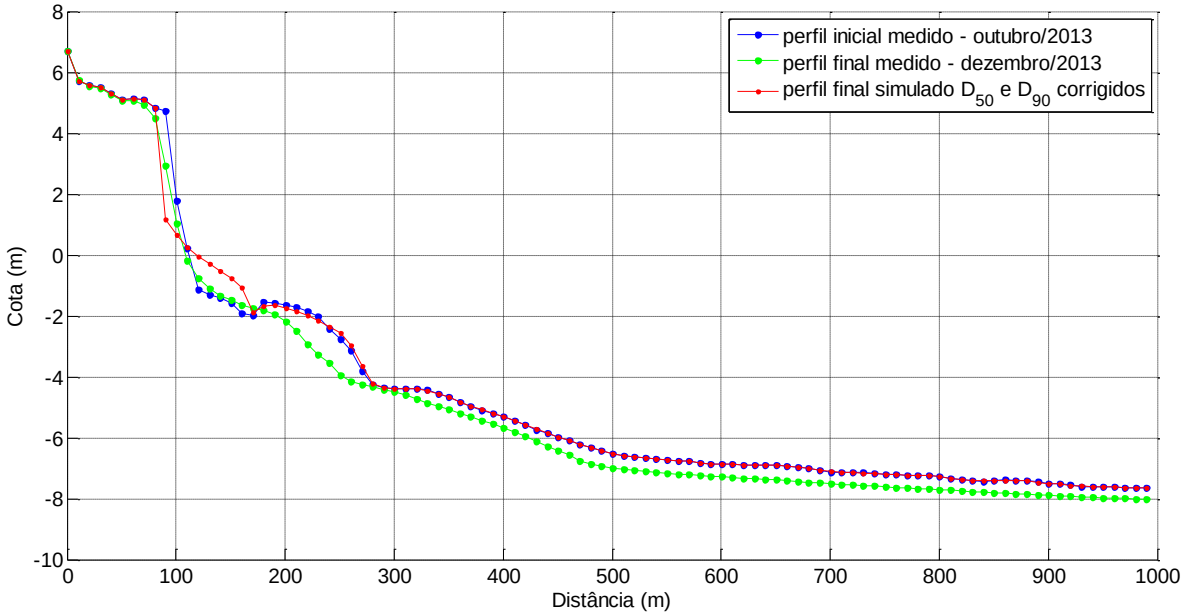

Figura 32 - Gráfico com perfil inicial medido de outubro/2013, perfil final medido de dezembro/2013 e perfil final simulado com o D_{50} e o D_{90} corrigidos.

Na Figura 30, Figura 31 e Figura 32 as diferenças para a simulação apresentada na sessão 5.6 não é tão evidente, porém pela Tabela 15 conclui-se que esses diâmetros, utilizando o *morfac*=5, apresentou melhor resultado do que os diâmetros definidos anteriormente. Desse modo, apenas o perfil simulado em outubro apresentou acúmulo e não perda quando comparado com o inicial medido.

Tabela 15 - Resultado dos valores de perda, acúmulo, balanço e diferença relativa entre o resultado do balanço do perfil inicial medido e perfil simulado (com D_{50} E D_{90} modificados) com o resultado do balanço do perfil inicial e final medido.

D50 e D90 modificados	Perda (m^3/m)	Acumulo (m^3/m)	Balanço (m^3/m)	Dif rel. (%)
Abril/2013-Junho simulado	-1,86	1,79	-0,06	-99,66
Agosto/2013-Outubro simulado	-10,25	9,89	-0,36	-96,06
Outubro/2013-Dezembro simulado	-5,60	5,66	0,06	-100,43

5.8. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM A VARIÁVEL *FACUA*

Testou-se a influência da variável *facua* no resultado final do perfil modelado. A Figura 33, Figura 34 e Figura 35 apresentam os resultados para abril simulado, agosto simulado e outubro simulado, respectivamente para *facua*; 0,3; 0,5; 0,8 e 1.

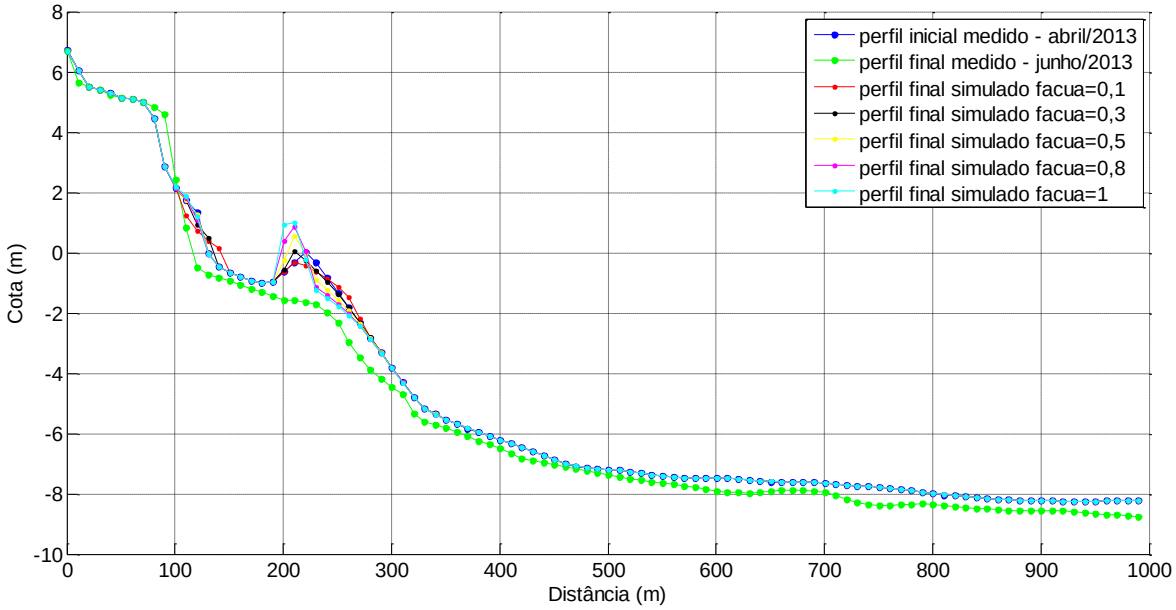

Figura 33 - Gráfico com perfil inicial medido de abril/2013, perfil final medido de junho/2013 e perfil final simulado com *facua*=0,1; 0,3; 0,5; 0,8 e 1.

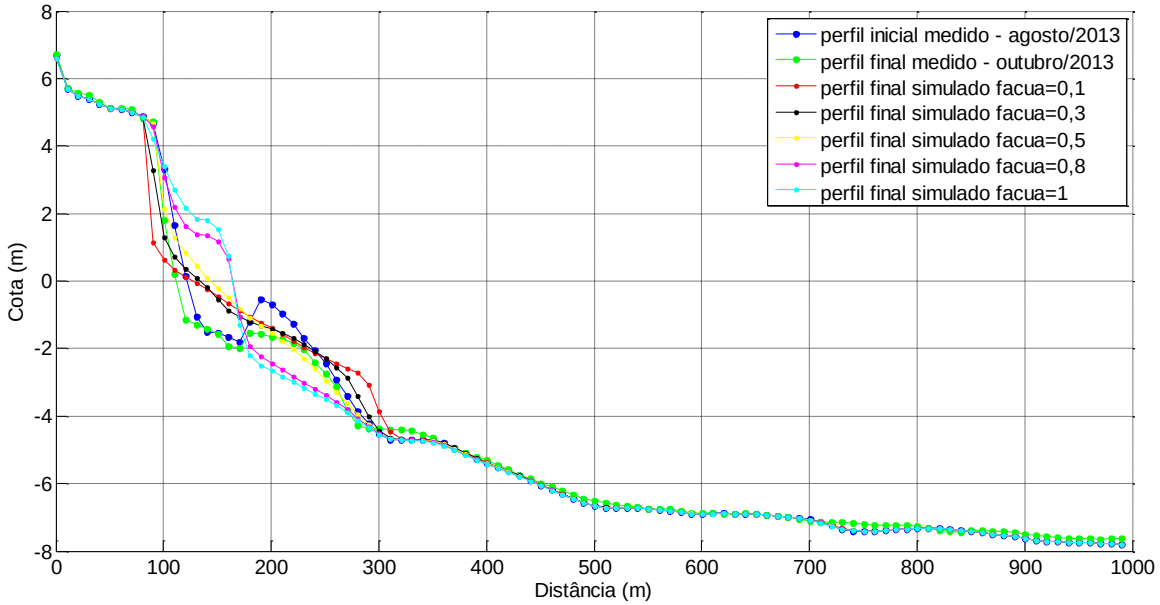

Figura 34 - Gráfico com perfil inicial medido de agosto/2013, perfil final medido de outubro/2013 e perfil final simulado com *facua*=0,1; 0,3; 0,5; 0,8 e 1.

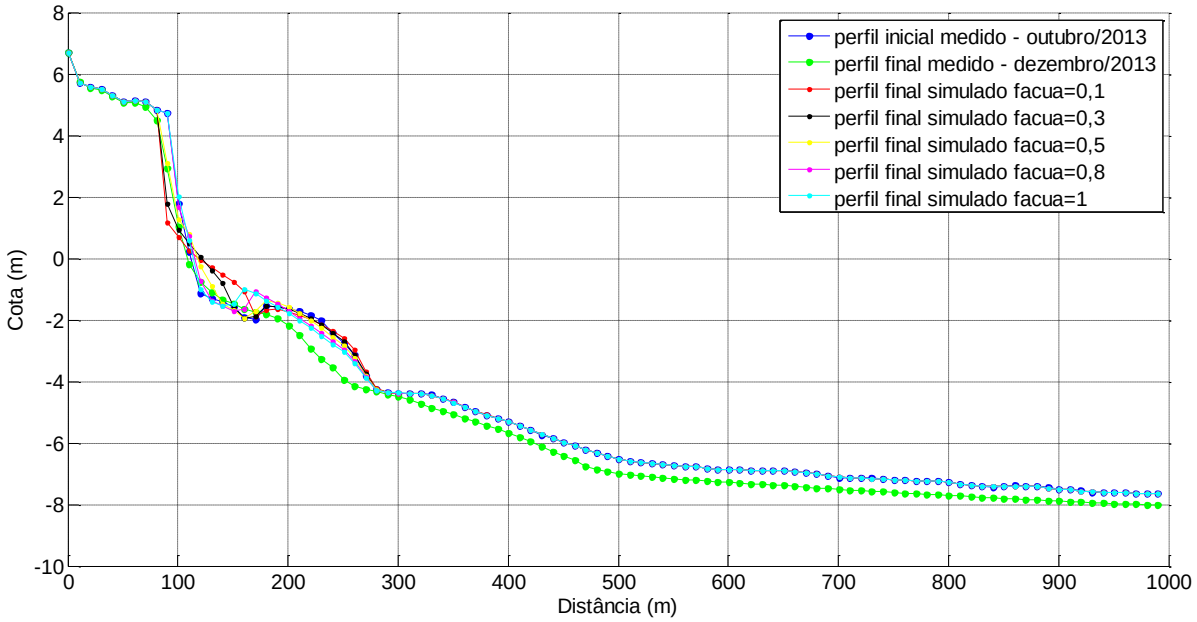

Figura 35 - Gráfico com perfil inicial medido de outubro/2013, perfil final medido de dezembro/2013 e perfil final simulado com *facua*=0,1; 0,3; 0,5; 0,8 e 1.

Pela Tabela 16 é possível perceber que, na maioria dos casos, maiores valores da variável *facua* resultam em menores valores de perda de sedimento ou, por vezes, acúmulo, enquanto menores valores dessa variável resultaram em maiores valores de perda. Para a região, o valor de *facua* igual a 0,3 demonstrou-se mais eficiente, uma vez que todos os perfis apresentaram perda para os eventos extremos escolhidos e demonstrou resultados mais coerentes do que *facua*=0,1.

Tabela 16 - Resultado dos valores de perda, acúmulo, balanço e diferença relativa entre o resultado do balanço do perfil inicial medido e perfil simulado (com *facua*=0,3; 0,5; 0,8 e 1) com o resultado do balanço do perfil inicial e final medido.

facua = 0,3	**Perda**	**Acúmulo**	**Balanço**	**Dif rel.**
Abril/2013-Junho simulado	-1,20	1,00	-0,18	-99,05
Agosto/2013-Outubro simulado	-7,20	7,01	-0,18	-98,07
Outubro/2013-Dezembro simulado	-4,26	3,32	-0,94	-93,16
facua = 0,5				
Abril/2013-Junho simulado	-1,56	1,28	-0,28	-98,54
Agosto/2013-Outubro simulado	-7,26	7,41	0,16	-101,73
Outubro/2013-Dezembro simulado	-3,20	2,58	-0,62	-95,51
facua = 0,8				
Abril/2013-Junho simulado	-2,44	2,33	-0,12	-99,37
Agosto/2013-Outubro simulado	-12,84	13,13	0,29	-103,16
Outubro/2013-Dezembro simulado	-2,27	2,51	0,25	-101,79
facua = 1				
Abril/2013-Junho simulado	-2,92	3,05	0,13	-100,68
Agosto/2013-Outubro simulado	-14,96	15,39	0,43	-104,70
Outubro/2013-Dezembro simulado	-2,70	2,78	0,08	-100,57

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No estudo das alterações morfológicas do perfil da praia de Cacimbas devido à tempestades foram analisados dados de campo de sedimento e onda do local, definiu-se o que era considerado um evento extremo no local, preparou-se o modelo numérico XBeach para ser feita a avaliação do modelo e uma análise das alterações morfológicas do perfil praial. No preparo do modelo numérico foram encontradas dificuldades para começar a simulação.

Na análise dos dados de sedimento, conclui-se que, nos pontos em que foram coletados amostra de sedimento, a média do tamanho dos sedimentos em pontos com profundidades maiores (4m, 6m, 8m e 10m) se apresentaram mais finos do que os sedimentos encontrados em menores profundidades ("Cordões", "Berma", "Face", "Calha" e nos pontos de profundidade de 2m).

No tratamento dos dados de onda foram encontradas que as direções de ondas dominantes nesta praia foram de leste e sudeste, sendo que ao leste, o período de pico dominante é de 6 a 10s e à sudeste os maiores valores de pico são entre 10 a16s. A altura de onda significativa dominante foi de 1 a 1,5m.

Os maiores valores de H_s ocorreram nos meses de dezembro, maio e setembro. Os resultados do tratamento dos dados de onda foram condizentes com os resultados da análise da perda de sedimentos dos perfis medidos, pois os perfis que apresentaram maior valor final de perda de sedimentos foram os de Outubro/2012-Dezembro/2012, Abril/2013-Junho/2013, Agosto/2013-Outubro/2013 e Outubro/2013 - Dezembro/2013 com valores iguais a 14,06m^3/m, 19 m^3/m, 9 m^3/m e 13,17 m^3/m, respectivamente.

Da simulação do modelo XBeach, conclui-se que as elevadas diferenças relativas entre o resultado do balanço que ocorreu entre o perfil simulado e perfil inicial medido com o resultado do balanço que ocorreu entre o perfil inicial e final medido, podem ser devido à diferença entre a duração da tempestade simulada e a toda série temporal entre os perfis medidos. Como não haviam dados de perfil antes e depois de uma tempestade específica os dados da campanha seguinte foram utilizados para avaliar o desempenho do programa.

Utilizando a variável *morfac* igual a 5, o tempo de simulação se reduziu em 83% a 92%, aproximadamente. Pela otimização do tempo computacional, recomenda-se o uso dessa variável fazendo ajustes necessários. Como na maioria dos casos, maiores valores da variável *facua* resultam em menores valores de perda de sedimentos ou, por vezes, acúmulo, recomenda-se a utilização de menores valores dessa variável para a área estudada.

Neste trabalho, fez-se a avaliação de desempenho do modelo utilizando os parâmetros *morfac*, D_{50}, D_{90} e *facua*. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se avaliar o desempenho do modelo testando outras variáveis que possam influenciar no resultado final, como o número de Courant e vardx, além disso utilizar como dado de entrada para o D_{50} e D_{90} os valores relativos à face da praia, uma vez que essa sofre mais alterações morfológicas e tentar outros valores para a variável *morfac*. Outra recomendação é para se fazer uma simulação com todos os dados de onda disponíveis, visando reduzir a diferença do tempo simulado com o tempo dos perfis medidos.

7. LISTA DE REFERÊNCIAS

ABREU, T.; SANCHO, F.; SILVA, P. A.. Ondas assimétricas em praias com barra. **Revista da Gestão Costeira Integrada,** Lisboa, v. 3, n. 11, p. 297-306, ago. 2011.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E.; PEZZOLI, A.; ARCORACE, M.; CRISTOFORI, E.; de SOUSA, W. C. Exposure of Santos Harbor Metropolitan Area (Brazil) to Wave and Storm Surge Climate Changes. **Water Quality, Exposure and Health**, p.73–88, 2014.

BIEMAN, J.D. **XBeach grid tutorial.** 2013. 12 p.

BLOTT, S.J.; PYE, K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surface Processes and Landforms,** v. 26, p.1237-1248, 2001.

BULHÕES, E.M.R. et al. Impactos costeiros induzidos por ondas de tempestade entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. **Quaternary And Environmental Geosciences,** Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p.155-165, 2014.

CASAS-PRAT, M., SIERRA, J. P. Trend analysis of wave storminess: wave direction and its impact on harbour agitation. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 10, p. 2327–2340, 2010.

DELTARES. **XBeach Manual.** Deltares, 2015. 135 p.

FALLER, D. G. **O que são praias?**. 2005. Disponível em: <http://www.cem.ufpr.br/praia/pagina/pagina.php?menu=praias>. Acesso em: 07 jan. 2005.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.v27, p. 3-26, 1957.

HEMER, M. A. 2010. Historical trends in Southern Ocean storminess: Long-term variability of extreme wave heights at Cape Sorell, Tasmania. **Geophysical Research Letters**, v.37, p.1-5, 2010.

ISMAEL, F.F. **Análise da vulnerabilidade de zonas costeiras à tempestades. Aplicação à Costa de Maputo.** 2014. 249 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2014.

KOMAR, P. D. **Beach Processes and Sedimentation**. New Jersey: Prentice Hall, p. 543, 1998.

LARSON, M. ERIKSON, L., HANSON, H. An analytical model to predict dune erosion due to wave impact. **Coastal Engineering***,* v. 51, p. 675-696, 2004.

LINHAM, M. M.; NICHOLLS, R. J. **Artificial Sand Dunes and Dune Rehabilitation.** [201-]. Disponível em:

<http://www.climatetechwiki.org/content/artificial-sand-dunes-and-dune-rehabilitation>. Acesso em: 07 jan. 2016.

MACHADO, V.M.G. Análise morfossedimentar da praia , antepraia e plataforma continental interna da linha de costa do Parque Nacional de Jurubatiba - Rio de Janeiro The morpho-sedimentary analysis of the beach shoreface inner. **Environmental Geosciences**, v. 02, p. 1–17, 2010.

MANSUR, M. E. F.; OLIVEIRA, T.; RIGO, D.; ALBINO, J. Effects of climate change on the extreme wave climate in Espírito Santo (Brazil). Implications to erosion in coastal protected areas. In: 3RD INTERNATIONAL SYMPOSIUM EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE WORLD'S OCEANS, Santos, 2015. **Apresentação de Trabalho**. Disponível em: <https://www.pices.int/publications/presentations/2015-Climate-Change/GP/GP-P9-Mansur.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2016.

MARINHA DO BRASIL. **Previsões de marés.** [2015]. Disponível em: <http://www.marinha.mil.br/>. Acesso em: 09 dez. 2015.

MENDONZA, E. **Coastal Vulnerability to Storms in the Catalan Coast. Barcelona, Espanha.** 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Politécnica de Catalunya, Espanha, 2008.

MENDOZA, E. T.; JIMÉNEZ, J. A. Storm-Induced Erosion Potential on the Catalonian Coast. **Jornal of Coastal Reserch,** n. 48, p. 81–88, 2006.

MUEHE, D. Método de Levantamento Topo-Batimétrico do Perfil do Sistema Praia-Antepraia. **Revista Brasileira de Geomorfologia,** v. 5, p. 95–100, 2006.

MUEHE, D. O Litoral Brasileiro e sua compartimentação. In: Guerra, A.J.T &. Cunha, S.B. da (orgs). Geomorfologia: do Brasil. **Editora Bertrand do Brasil**, Rio de Janeiro, p. 273-349, 1998.

MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Revista de Geografia da UFC**. v. 7, p. 97-110, 2005.

OLIVEIRA, F. Modelling beach morphological changes during episodic erosion-recovery events : preliminary results. In: III JORNADAS DE ENGENHARIA HIDROGRÁFICA, 3., 2014, Lisboa. p. 233 - 236.

PENDER, D.; KARUNARATHNA, H.. Modeling beach profile evolution – A statistical process based approach. **Coastal Engineering,** v. 1, p.1-10, 2012.

PETROBRAS. **Monitoramento da morfodinâmica praial da região da praia de Cacimbas sob influência da instalação do duto de Camarupim:** Relatório sobre modelagem hidro-sedimentológica. Vitória: Fest, 2015. 48 p.

PETROBRAS. **Subprojeto de Monitoramento da Morfodinâmica Praial da Região da Praia de Cacimbas sob Influência da Instalação do duto de Camarupim**. Vitória: Fest, 2014. 125 p.

PETROBRAS (Espírito Santo). **RIMA - Dutos Cacimbas-Barra do Riacho e Terminal Aquaviário de Barra do Riacho.**Vitória: Biodinâmica, 2007. 43 p.

POVOA, B.B.; TOSTA, M.C.R. Valoração Contingente do Gasoduto Cacimbas-Catu na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica em São Mateus/ES. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E ICEON, 31., 2011, Belo Horizonte. Belo Horizonte: Enegep, 2011.

ROELVINK, Dano et al. **XBeach model description and manual.** Unesco-ihe Institute, 2010. 108 p.

SALLENGER, A.h.. Storm Impact Scale for Barrier Islands. **Journal Of Coastal Research,** St. Petersburg, v. 16, n. 3, p.890-895, 2000.

SILVA, F.G.. **Dinâmica morfo-sedimentar ao longo do sistema praial da Ilha Comprida - SP.** 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciêcias, Programa de Oceanografia, Área de Oceanografia Geológica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SILVA, J. X.; SOUZA, M. J. L.. **Análise Ambiental.** Rio de Janeiro: Editora Ufrj, 1988.

VELOSO, J. F.. **Considerações sobre a análise granulométrica de sedimentos praiais.** 2001. 122 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Engenharias Oceânicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

VOUSDOUKAS, M. I. et al. Toward reliable storm-hazard forecasts: XBeach calibration and its potential application in an operational early-warning system. **Ocean Dynamics**, v. 62, n. 7, p. 1001–1015, 2012.

VOUSDOUKAS, M.; ALMEIDA, L.; FERREIRA, O. Modelling storm-induced beach morphological change in a meso-tidal, reflective beach using XBeach. **Journal of Coastal Research**, n. 64, p. 1916–1920, 2011.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology,** v. 56, p. 93-118, 1984