

---

# **ESTALEIRO EISA ALAGOAS S/A**

---

**ESTUDO DE MODELAGEM NUMÉRICA DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA DE LONGO PERÍODO EM RESPOSTA À INSTALAÇÃO DO ESTALEIRO EISA ALAGOAS, MUNICÍPIO DE CORURIBE, AL**



Junho de 2013

**SUMÁRIO**

1. EQUIPE TÉCNICA.....	1-7
2. INTRODUÇÃO.....	2-8
3. METODOLOGIA.....	3-10
3.1. MODELAGEM NUMÉRICA .....	3-10
3.1.1. Modelo de Propagação de Ondas Delft3D-Wave (SWAN) .....	3-10
3.1.2. Modelo UNIBEST .....	3-29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	4-36
4.1. Transporte ao longo da costa.....	4-36
4.2. Evolução da linha de costa .....	4-40
4.3. Alternativas para a Transposição de Sedimentos .....	4-43
4.3.1. Sistemas Fixos.....	4-44
4.3.2. Sistemas Semi-Móveis .....	4-44
4.3.3. Sistemas Móveis .....	4-45
4.3.4. Transposição de sedimentos para o Estaleiro EISA Alagoas ...	4-47
5. CONCLUSÕES .....	5-49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	6-52

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Localização da estrutura de mar do Estaleiro EISA Alagoas, prevista para ser instalada na praia de Miaí de Cima, Município de Corurípe, AL. ....	2-9
Figura 3. Local do ponto de grade do modelo <i>WAVEWATCH III</i> de onde foram retirados os dados de onda e batimetria da grade regional utilizada na propagação de ondas.....	3-11
Figura 4. Histograma de frequência de alturas significativas para os dados de onda do <i>WAVEWATCH III</i> . ....	3-12
Figura 5. Rosa de direções dos dados de alturas significativas para os dados de onda do <i>WAVEWATCH III</i> . ....	3-13
Figura 6. Função de distribuição de altura de onda significativa para os dados de onda do <i>WAVEWATCH III</i> . ....	3-13
Figura 7. Regime médio ajustado para uma distribuição Log-Normal para os dados de onda do <i>WAVEWATCH III</i> .....	3-14
Figura 8. Regime extremo calculado pelo método P.O.T. para os dados de onda do <i>WAVEWATCH III</i> . ....	3-15
Figura 9. Grade numérica do modelo de onda regional e localização do Estaleiro EISA Alagoas. ....	3-16
Figura 10. Grade numérica do modelo de onda intermediário e localização do EISA Alagoas. ....	3-16
Figura 11. Grade numérica do modelo de onda local e a localização do Estaleiro EISA Alagoas. ....	3-17
Figura 12. Batimetria na grade do modelo de onda regional, com a localização do Estaleiro EISA Alagoas. ....	3-18
Figura 13. Batimetria na grade do modelo de onda intermediário, com a localização do Estaleiro EISA Alagoas.....	3-18
Figura 14. Batimetria de detalhe utilizada na grade do modelo de onda local e localização do Estaleiro EISA. ....	3-19
Figura 15. Localização do ponto utilizado para reconstrução da série de ondas em água rasa.....	3-22
Figura 16. Comparação entre a série de ondas em água profunda (azul) e em água rasa (preto). ....	3-22

Figura 17. Histograma de frequência de alturas significativas para os dados de ondas reconstruídos em águas rasas.....	3-23
Figura 18. Rosa de direções dos dados de alturas significativas para os dados de ondas reconstruídos em águas rasas.....	3-24
Figura 19. Função de distribuição de altura de onda significativa para os dados de onda reconstruídos em águas rasas.....	3-24
Figura 20. Regime médio ajustado para uma distribuição Log-Normal para os dados de onda reconstruídos em águas rasas. ....	3-26
Figura 21. Regime extremo calculado pelo método P.O.T. para os dados de onda reconstruídos em águas rasas.....	3-26
Figura 22. Representação das classes de onda selecionadas para as simulações morfológicas, onde os pontos vermelhos indicam o caso que representa a classe a que pertence.....	3-28
Figura 23. Perfis batimétricos utilizados como dado de entrada do módulo UNIBEST LT.....	3-32
Figura 24. Perfil batimétrico Central localizado na porção central da saliência existente na praia de Miaí de Cima, Coruripe, AL.....	3-33
Figura 25. Perfil batimétrico norte 01 localizado ao norte do perfil Central, litoral de Coruripe, AL.....	3-33
Figura 26. Perfil batimétrico Norte 02 localizado ao norte do perfil Norte 01, litoral de Coruripe, AL.....	3-34
Figura 27. Perfil batimétrico Sul 01 localizado ao norte do perfil Norte 01, litoral de Coruripe, AL.....	3-34
Figura 28. Perfil batimétrico Sul 02 localizado ao norte do perfil Norte 01, litoral de Coruripe, AL.....	3-35
Figura 29. Taxa de transporte de sedimentos ao longo da costa para o perfil Central, litoral de Coruripe, AL.....	4-37
Figura 30. Taxa de transporte de sedimentos ao longo da costa para o perfil Norte 01, litoral de Coruripe, AL.....	4-38
Figura 31. Taxa de transporte de sedimentos ao longo da costa para o perfil Norte 02, litoral de Coruripe, AL.....	4-38
Figura 32. Taxa de transporte de sedimentos ao longo da costa para o perfil Sul 01, litoral de Coruripe, AL.....	4-39

Figura 33. Taxa de transporte de sedimentos ao longo da costa para o perfil Sul 02, litoral de Coruripe, AL. ....	4-40
Figura 34. Taxas de variação da linha de costa para a área próxima ao local de instalação do Estaleiro EISA Alagoas, litoral de Coruripe, AL, onde a linha vermelha representa uma retração máxima de 7 metros e a linha amarela uma progradação máxima de 7 metros. ....	4-42
Figura 35. Detalhe da taxa de variação anual da linha de costa para a área próxima ao local de instalação do Estaleiro EISA Alagoas, litoral de Coruripe, AL, onde a linha vermelha representa uma retração máxima de 7 metros e a linha amarela uma progradação máxima de 7 metros.....	4-43
Figura 36. Esquema de um sistema semi-móvel de transposição artificial de areias (adaptado de BODGE, 2003). ....	4-45
Figura 37. Esquema de um sistema semi-móvel de transposição artificial de areias (adaptado de BODGE, 2003). ....	4-45
Figura 38. Descarga de sedimentos através da abertura dos porões (adaptado de CEM, 2003). ....	4-46
Figura 39. Sistema de descarga em arco-íris (VAN OORD, 2013).....	4-47

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Período de retorno calculado pelo método P.O.T. ....	3-27
Tabela 2. Casos de onda simulados no modelo morfológico, dispostos na sequência em que foram simulados, com a frequência de ocorrência no ano.	3-28

**1. EQUIPE TÉCNICA**

<b>Nome</b>	<b>Formação</b>	<b>Área de atuação</b>	<b>Registro IBAMA</b>	<b>Registro Profissional</b>
João Thadeu de Menezes, Dr.	Oceanógrafo	Modelagem Ambiental	282673	AOCEANO 782
Bruna Calloni, BSc.	Oceanógrafa	Modelagem Ambiental	5562702	AOCEANO 2005
Thelma Luiza Sclaro, BSc.	Oceanógrafa	Modelagem Ambiental	5000357	AOCEANO 1906
Marina Garcia Pacheco, BSc.	Oceanógrafa	Modelagem Ambiental	5347429	AOCEANO 1358

## 2. INTRODUÇÃO

O presente estudo tem por objetivo analisar, através de modelagem numérica, o prognóstico da evolução da linha de costa do Município de Coruripe em longo período, no caso específico, de 10 anos em resposta à instalação do Estaleiro EISA Alagoas na orla da comunidade de Miaí de Cima, Município de Coruripe, litoral sul do Estado de Alagoas (

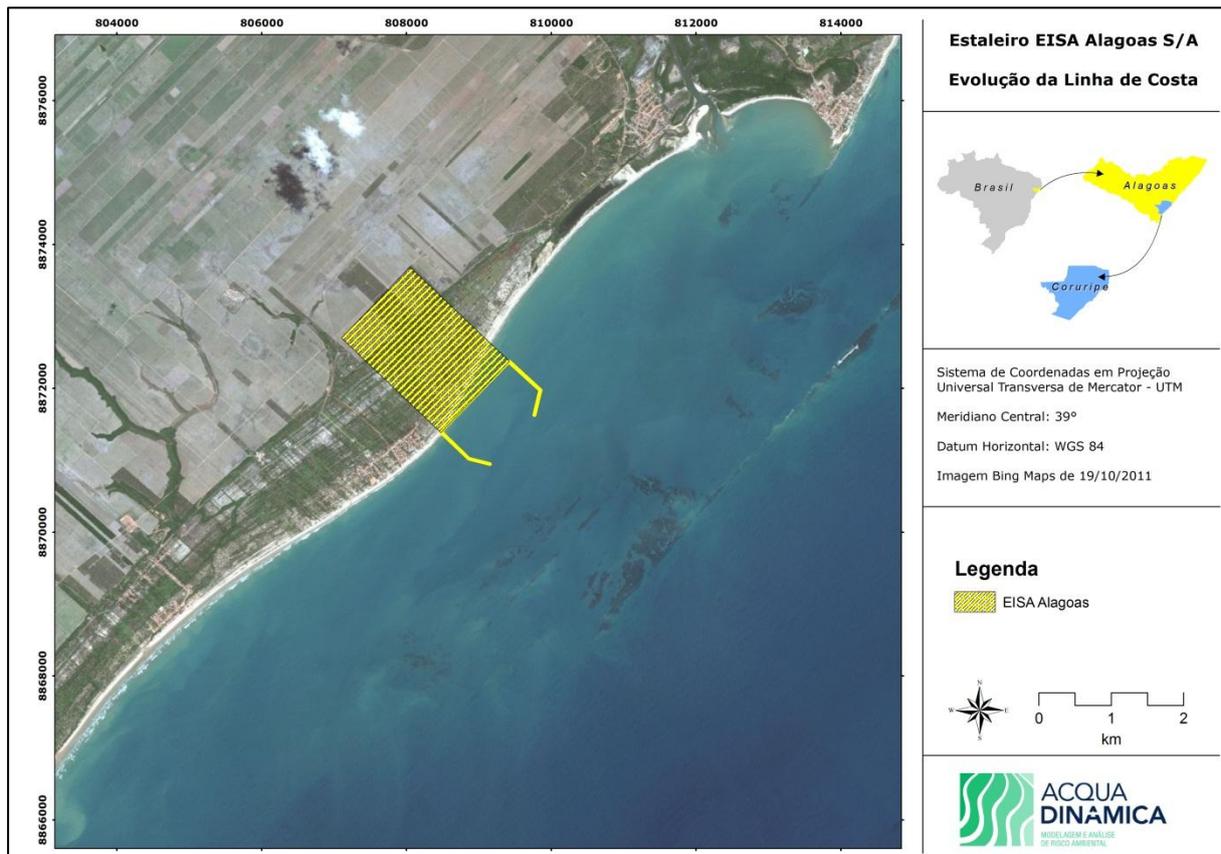


Figura 1).

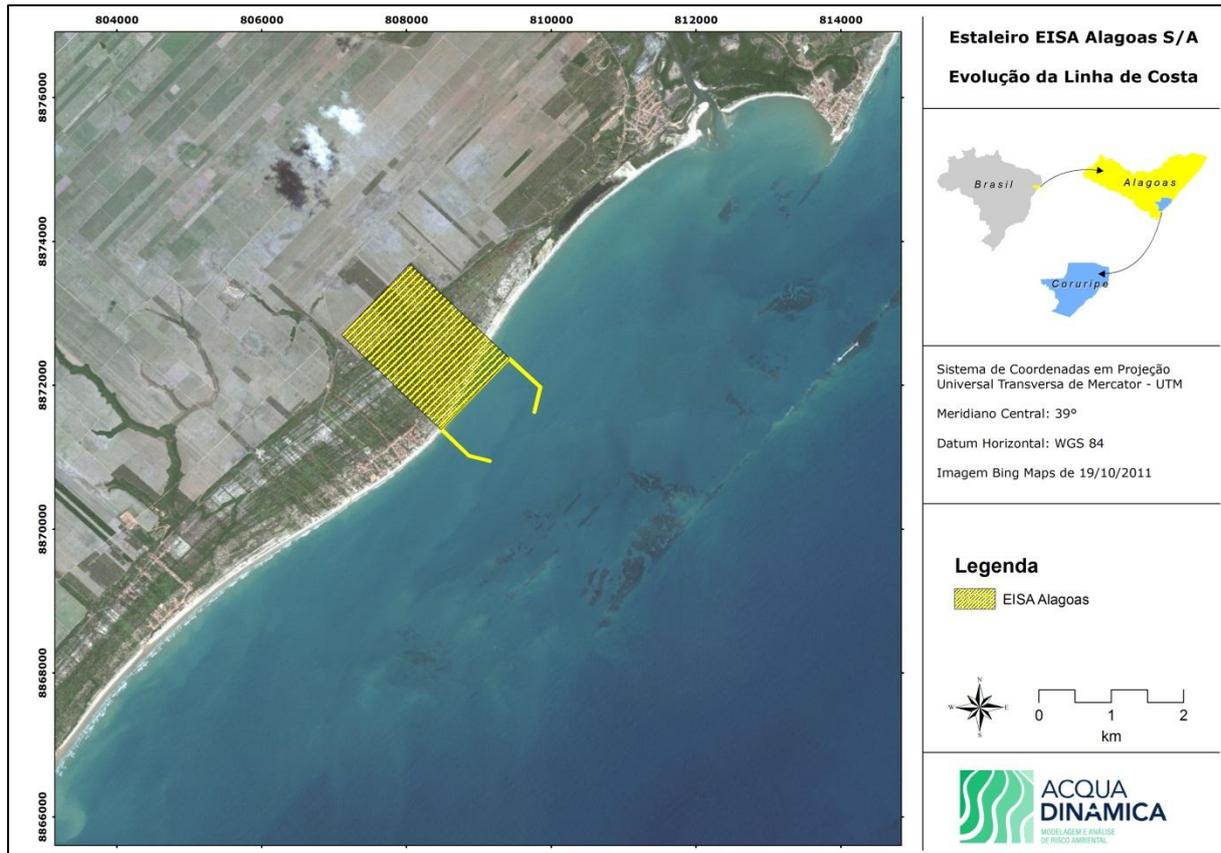


Figura 1. Localização da estrutura de mar do Estaleiro EISA Alagoas, prevista para ser instalada na praia de Miaí de Cima, Município de Coruripe, AL.

Para atingir o referido objetivo foi desenvolvido um estudo de modelagem numérica dos processos hidrodinâmicos, de propagação de ondas e dos processos morfodinâmicos (evolução da linha de costa), para um período de 10 anos após a instalação das estruturas de mar do Estaleiro EISA Alagoas. O estudo contempla os processos de retração e progradação da linha de costa, em virtude da mudança da deriva litorânea de sedimentos, em função da instalação das estruturas de mar do estaleiro (cais de atracação e quebra-mares).

Neste trabalho será utilizado o modelo numérico UNIBEST CL+, desenvolvido pela empresa Deltares Hydraulics da Holanda, que calcula o transporte de sedimentos ao longo da linha de costa, assim como também avalia a evolução da linha de costa em longo período.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. MODELAGEM NUMÉRICA

##### 3.1.1. Modelo de Propagação de Ondas Delft3D-Wave (SWAN)

O *Simulating Wave Near Shore* (SWAN) é um modelo espectral de 3ª Geração, desenvolvido para estimar o clima de ondas em pequena e meso-escala com alta resolução. Foi desenvolvido na Universidade de Delft, na Holanda, e possui um código aberto escrito em linguagem FORTRAN<sup>1</sup>. O modelo baseia-se na equação do balanço da ação de onda (Equação 1), onde  $N$  é a densidade de energia dividida pela frequência relativa (PHILIPS, 1980).

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(C_x N)}{\partial x} + \frac{\partial(C_y N)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\sigma N)}{\partial \sigma} + \frac{\partial(C_\theta N)}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

O primeiro termo representa a variação temporal de  $N$ , o segundo e o terceiro termos são a variação espacial do fluxo de  $N$  com velocidade de propagação  $C_x$  e  $C_y$  no espaço  $x$  e  $y$ , respectivamente. O quarto termo é a transferência de energia entre as frequências relativas relacionadas a variações na profundidade e correntes ou a fenômenos não lineares, com velocidade de propagação  $C_\sigma$ . O quinto termo está associado à refração induzida pelo fundo e correntes com velocidade  $C_\theta$ . "S" é o termo-fonte, contando com efeitos de geração, dissipação e interações não lineares.

A Equação 1 é resolvida por um método implícito de diferenças finitas, garantindo maior estabilidade e menor custo computacional, possibilitando, em simulações não estacionárias, maiores passos de tempo para pequenas escalas espaciais (BOOIJ *et al.*, 1999).

---

<sup>1</sup> Disponível na página [www.wldelft.nl/soft/swan](http://www.wldelft.nl/soft/swan).

### 3.1.1.1. Clima de Ondas em Água Profunda

Para realizar a caracterização inicial do clima de ondas na região de estudo, e assim forçar o modelo de ondas (SWAN), foram adquiridos dados de onda em água profunda do modelo global *WAVEWATCH III*<sup>2</sup>, que calcula dados de ondas através de reanálise de dados de ventos em águas profundas, que ainda não sofreram transformação em águas rasas. Este modelo possui uma resolução horizontal de  $1.25^\circ \times 1^\circ$  e uma resolução temporal de 3 horas, cobrindo o período de fevereiro de 1997 a dezembro de 2010.

Os dados de onda do modelo *WAVEWATCH III* foram adquiridos para o ponto de grade mais próximo da região de estudo, localizado em  $11^\circ$  S e  $35^\circ$ W (Figura 2).

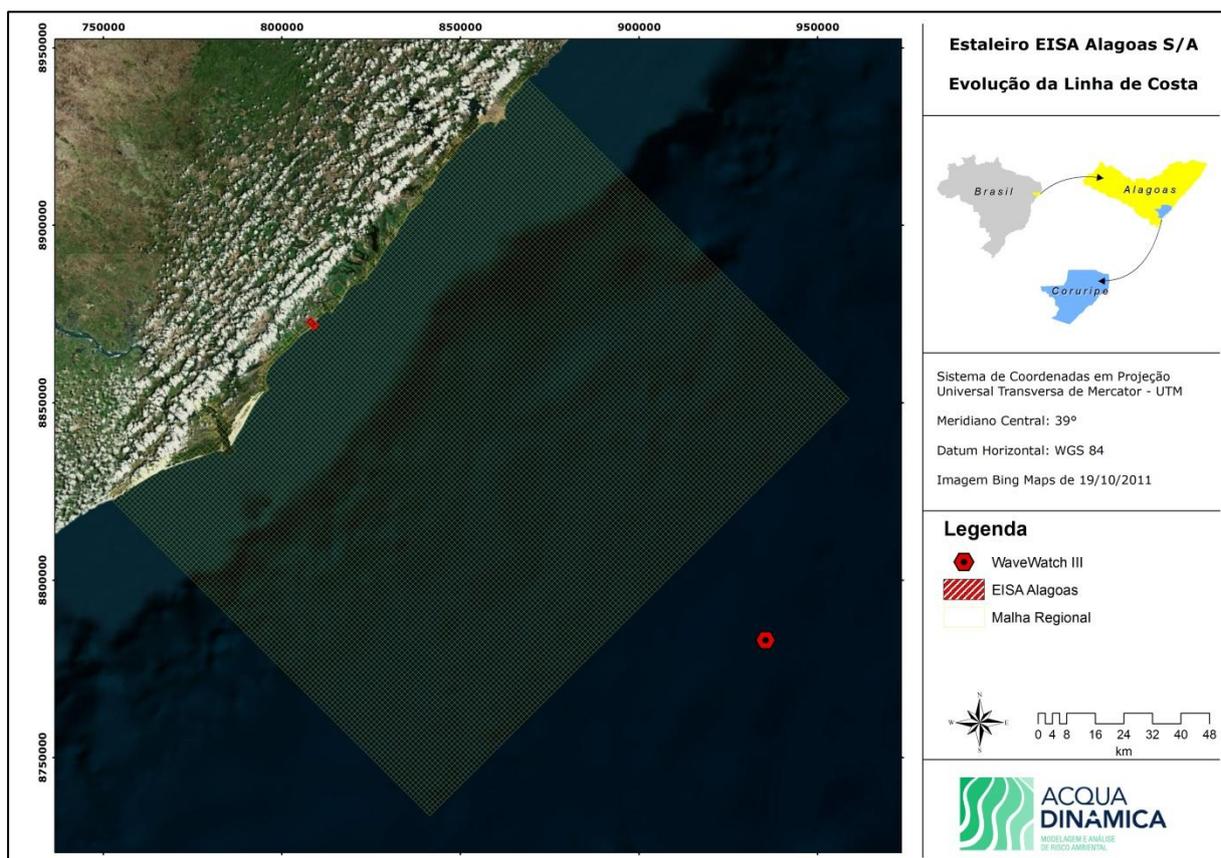


Figura 2. Local do ponto de grade do modelo *WAVEWATCH III* de onde foram retirados os dados de onda e batimetria da grade regional utilizada na propagação de ondas.

<sup>2</sup> Disponível na página <http://polar.ncep.noaa.gov/waves>

A partir dos 13 anos de dados de onda do *WAVEWATCH III* foram gerados histograma de altura significativa ( $H_s$ ) (Figura 3), rosa de direções (Figura 4) e função de distribuição de  $H_s$  (Figura 5). As alturas significativas mais frequentes estão entre 1,5 e 2 metros, e os períodos mais frequentes estão em torno de 7 a 8 segundo. Devido à orientação da linha de costa da área de estudo, a direção das ondas incidentes na região é do quadrante sudeste, com predominância de ondas incidentes de ESE.

Apesar das alturas significativas de onda no ponto do *WAVEWATCH III* serem relativamente altas, a região de interesse é protegida por um sistema de arrecifes de arenito de praia que atenuam a energia de onda incidente, criando uma zona protegida.

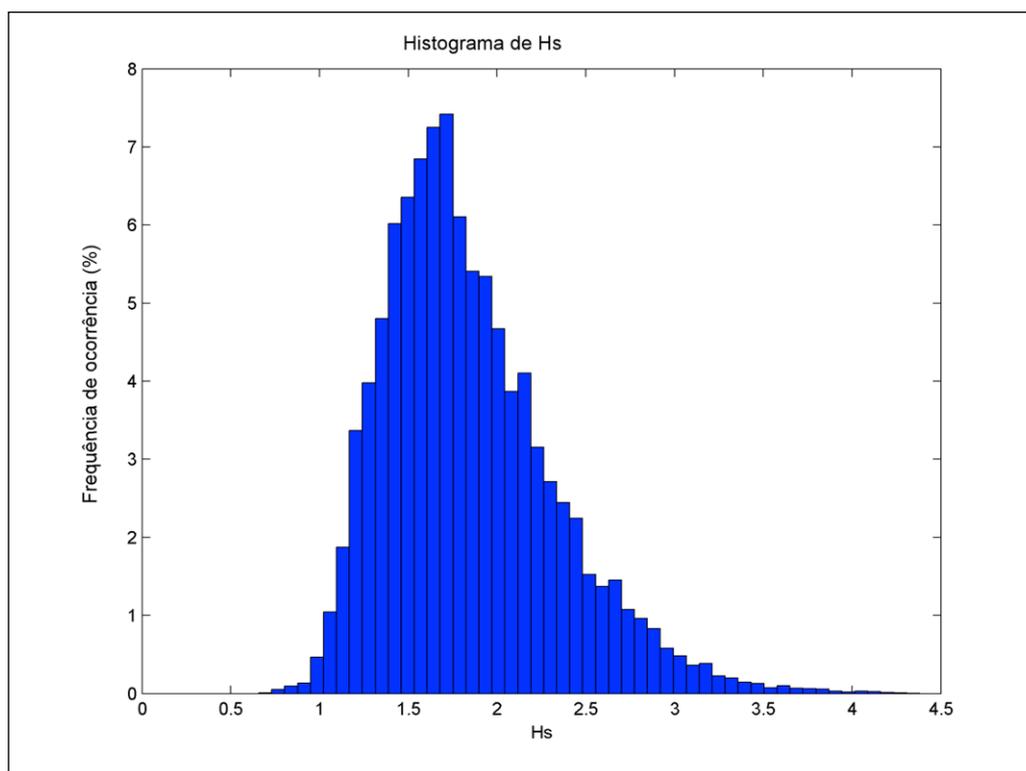


Figura 3. Histograma de frequência de alturas significativas para os dados de onda do *WAVEWATCH III*.

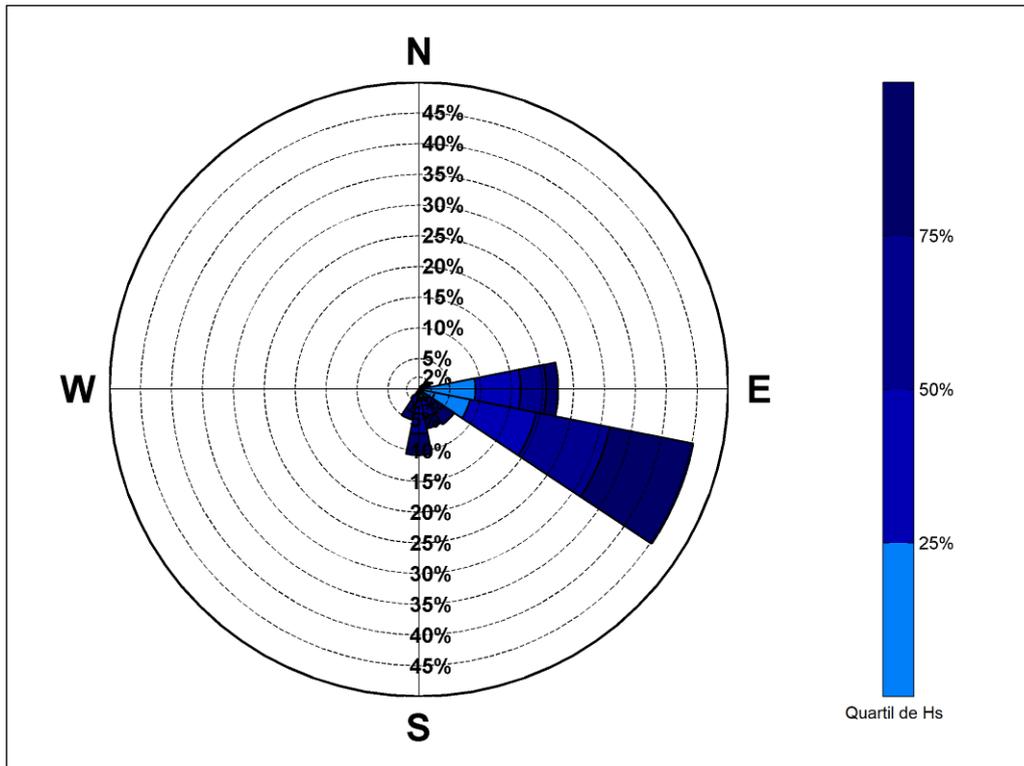


Figura 4. Rosa de direções dos dados de alturas significativas para os dados de onda do WAVEWATCH III.

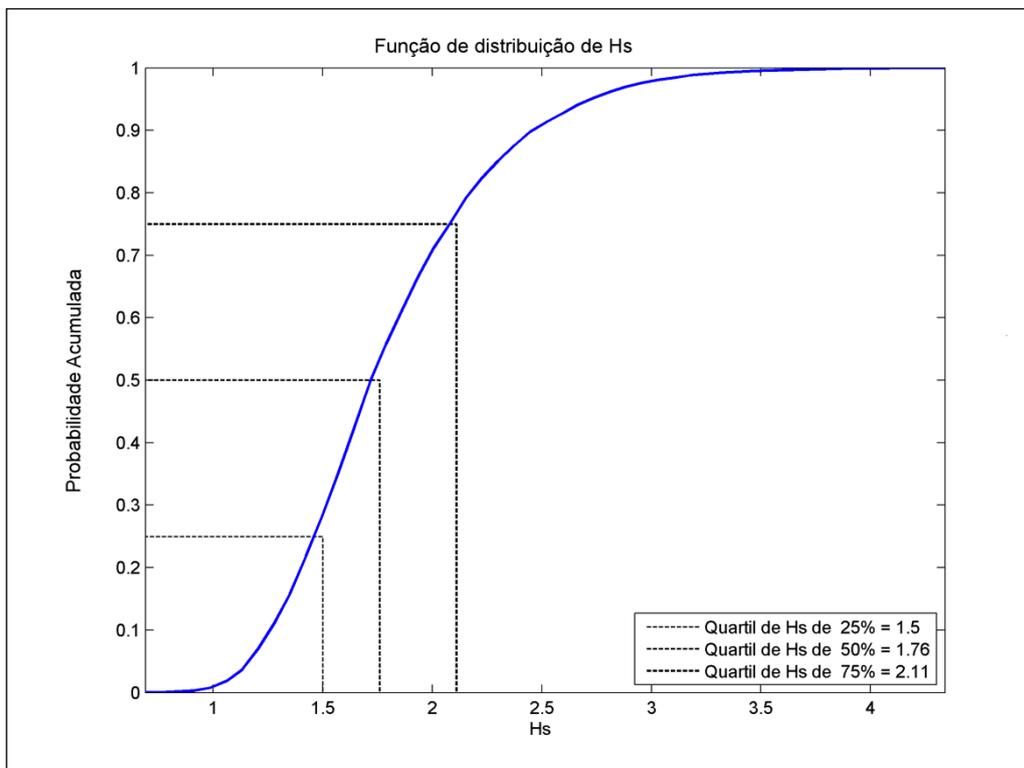


Figura 5. Função de distribuição de altura de onda significativa para os dados de onda do WAVEWATCH III.

Adicionalmente, foram analisados os regimes médio e extremo de ondas, para caracterizar de maneira mais completa o regime de ondas para a área de estudo, através do programa CAROL<sup>®</sup>, desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica Ambiental de La Universidad de Cantabria (IH-Cantabria). A distribuição de melhor ajuste do regime médio foi a Log-Normal ( $R^2 = 0,9994$ ), onde o gráfico linearizado está apresentado na Figura 6. O regime de extremos foi calculado pelo método P.O.T., onde o limiar de corte foi equivalente à probabilidade acumulada superior a 99,5%. Este resultado está apresentado na Figura 7.

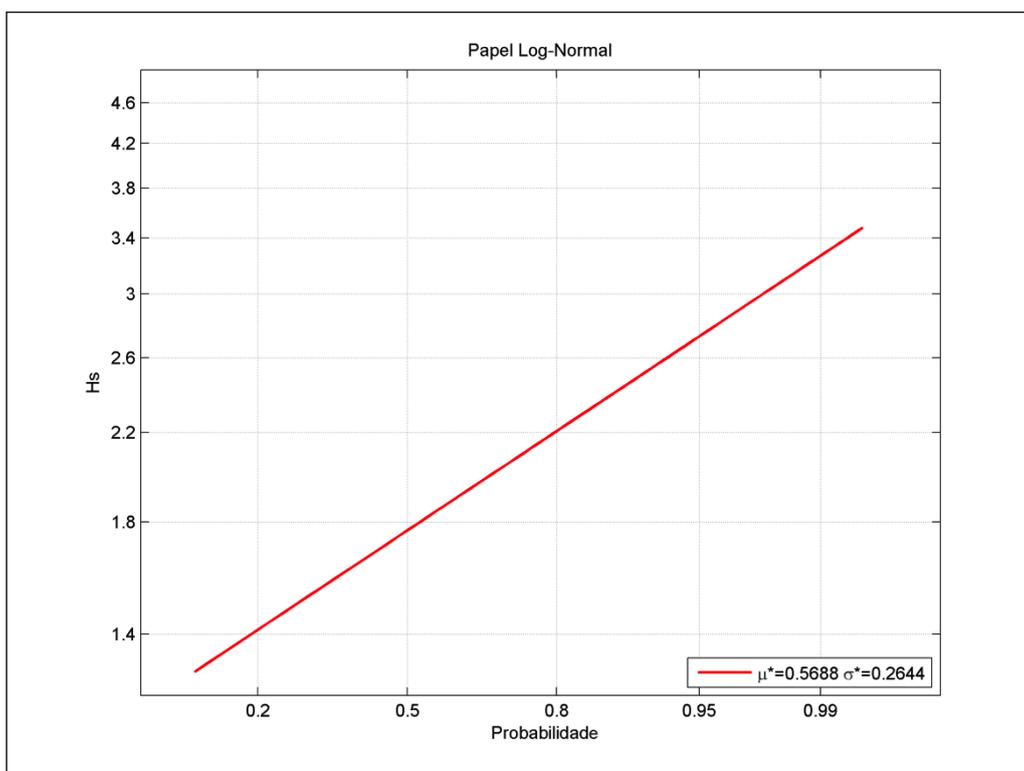


Figura 6. Regime médio ajustado para uma distribuição Log-Normal para os dados de onda do WAVEWATCH III.

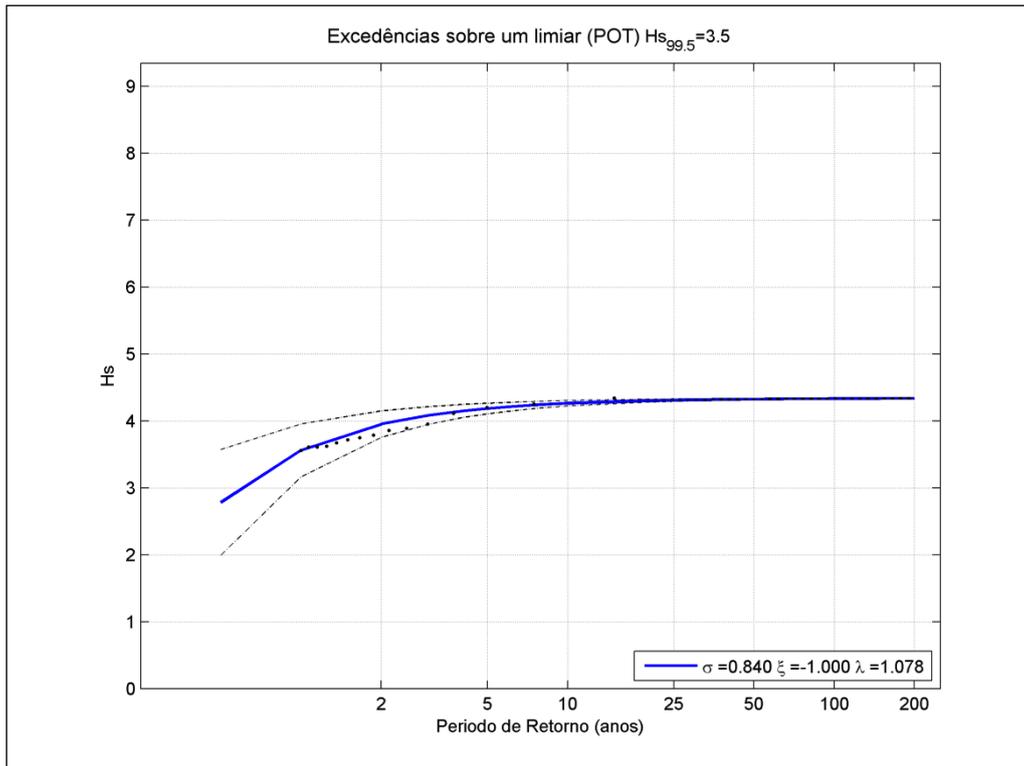


Figura 7. Regime extremo calculado pelo método P.O.T. para os dados de onda do *WAVEWATCH III*.

#### 1.1.1.1.1 Grades Numéricas e Batimetria

Utilizando o software RGFGRID, parte integrante do pacote de modelagem do aplicativo Delft3D, foram criadas três grades numéricas para propagação das ondas de água profunda extraídas do modelo *WAVEWATCH III* até águas rasas. A grade regional possui 151 x 151 elementos numéricos, com uma resolução horizontal de 1,1 km (Figura 8). A grade intermediária possui 411 x 181 elementos, com resolução entre 600 e 150 metros (Figura 9). Por último, a grade local, com melhor refinamento na área de estudo, e que visa representar a propagação de ondas com alta resolução, possui 138 x 258 elementos numéricos, variando 100 e 45 metros (Figura 10).

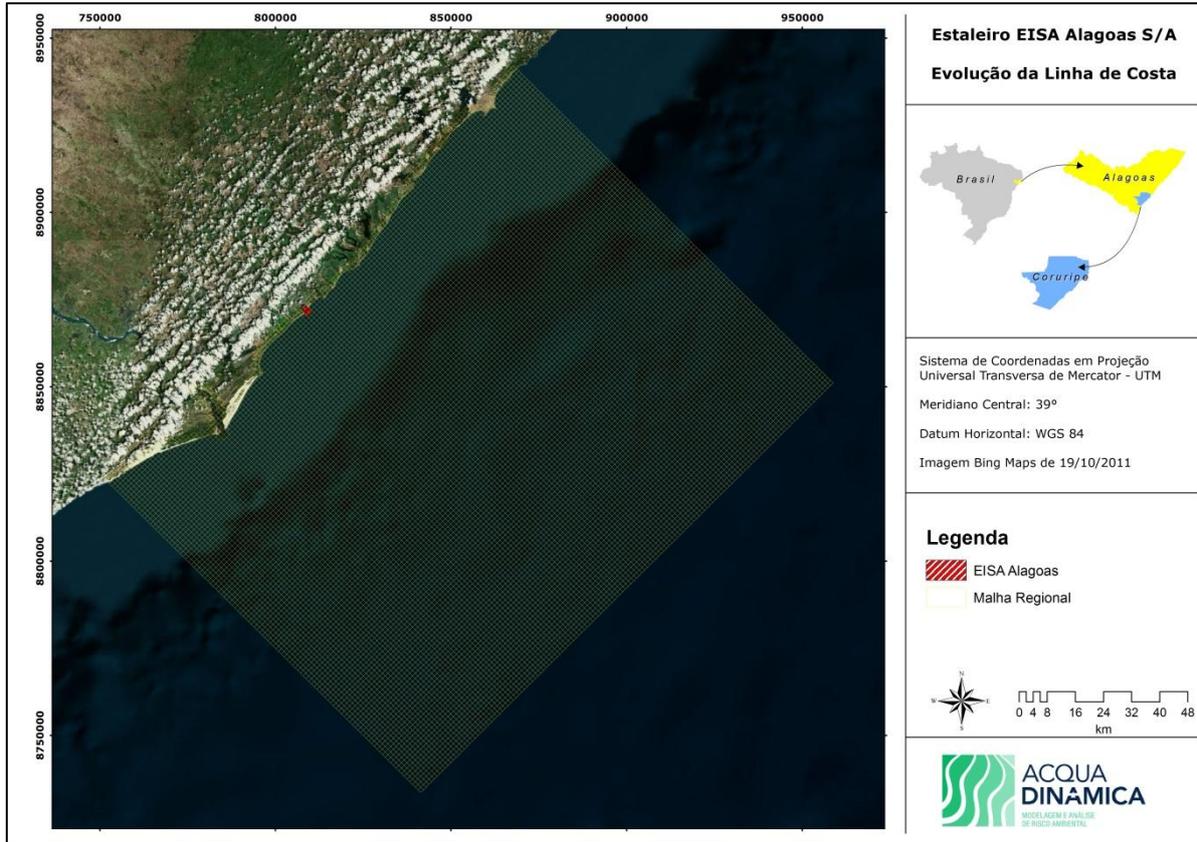


Figura 8. Grade numérica do modelo de onda regional e localização do Estaleiro EISA Alagoas.

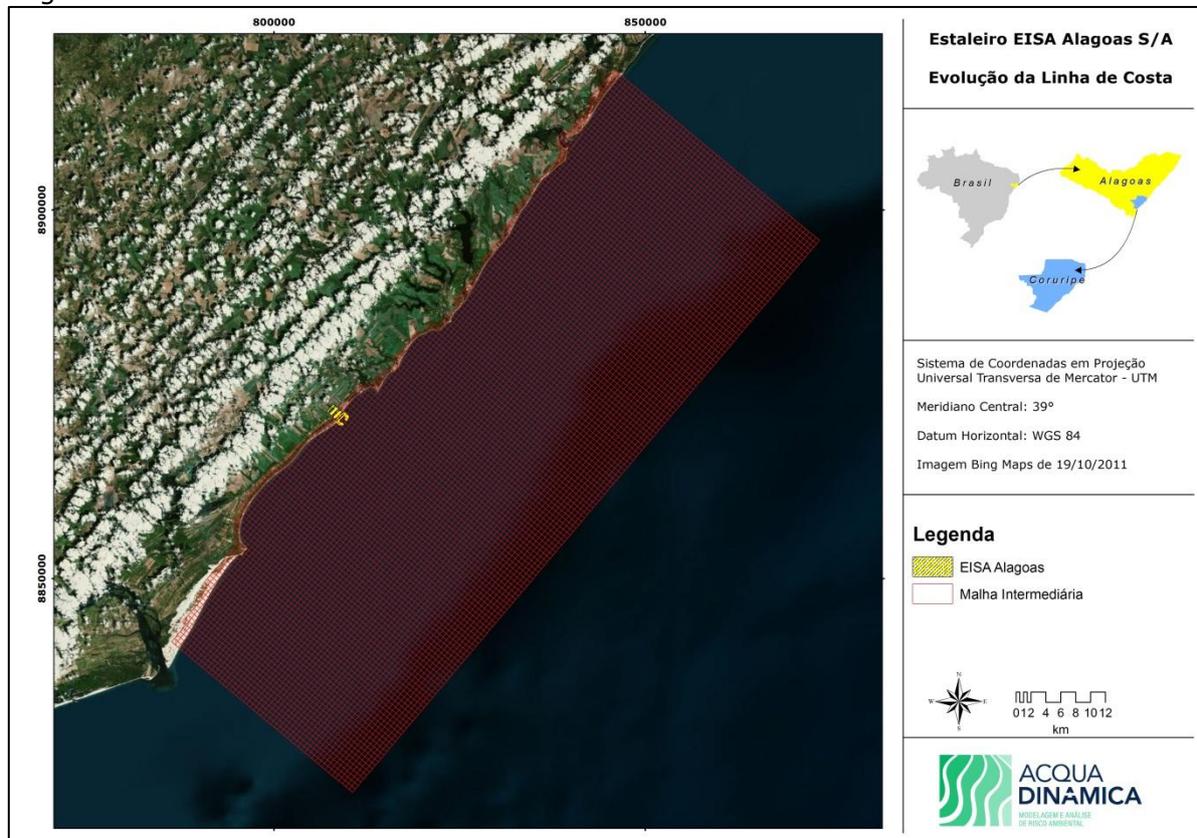


Figura 9. Grade numérica do modelo de onda intermediário e localização do EISA Alagoas.

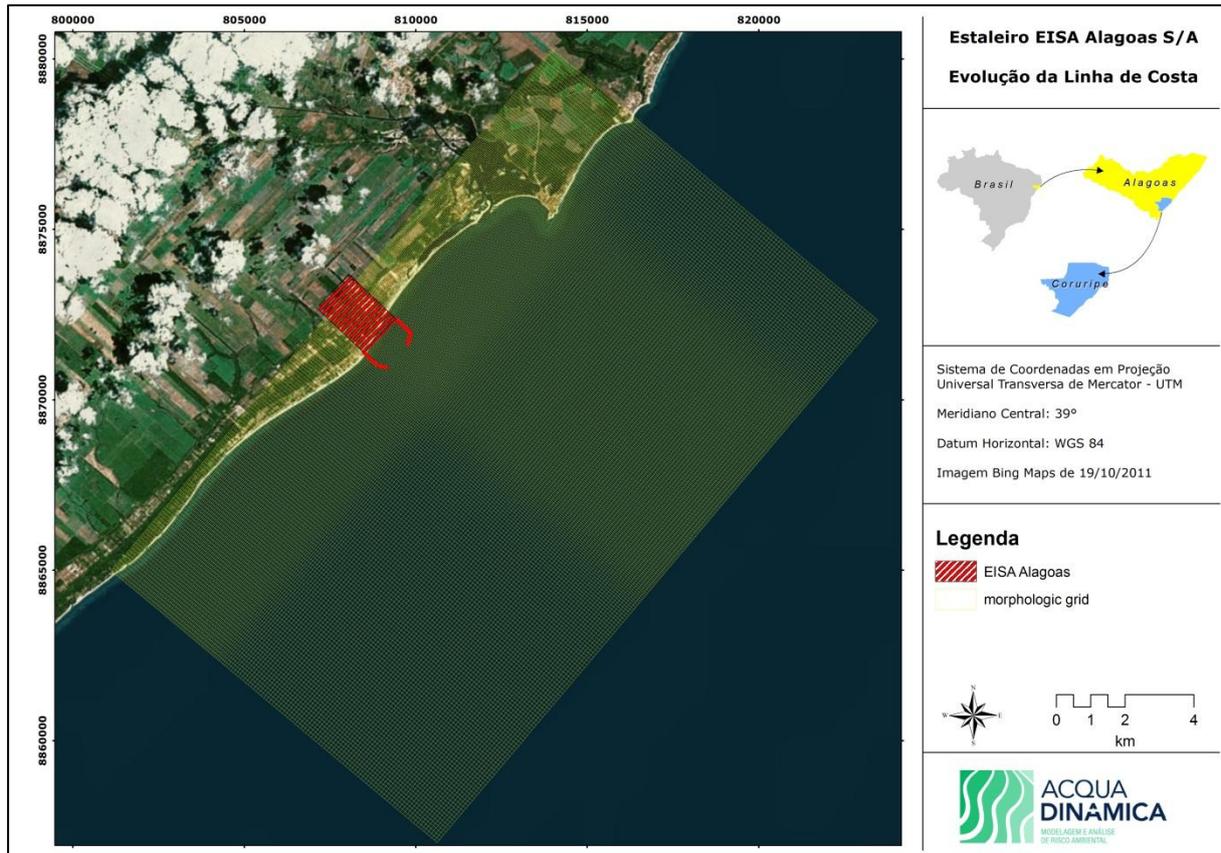


Figura 10. Grade numérica do modelo de onda local e a localização do Estaleiro EISA Alagoas.

A interpolação de dados batimétricos para as grades numéricas foi realizada utilizando o software *QUICKIN*. Os dados batimétricos para as grades de menor resolução (regional e intermediária) foram extraídos de um banco de dados composto de dados do ETOPO1 e de Cartas Náuticas digitalizadas da Marinha do Brasil. O resultado desta interpolação pode ser acompanhado na Figura 11 (grade regional) e na Figura 12 (grade intermediária). Já para compor a batimetria da grade local, foram utilizados uma composição entre dados batimétricos com alta resolução espacial, especialmente coletados para o presente projeto, e o banco de dados ETOPO1 e Cartas Náuticas. O resultado da interpolação destes dados para a grade local pode ser observado na Figura 13.

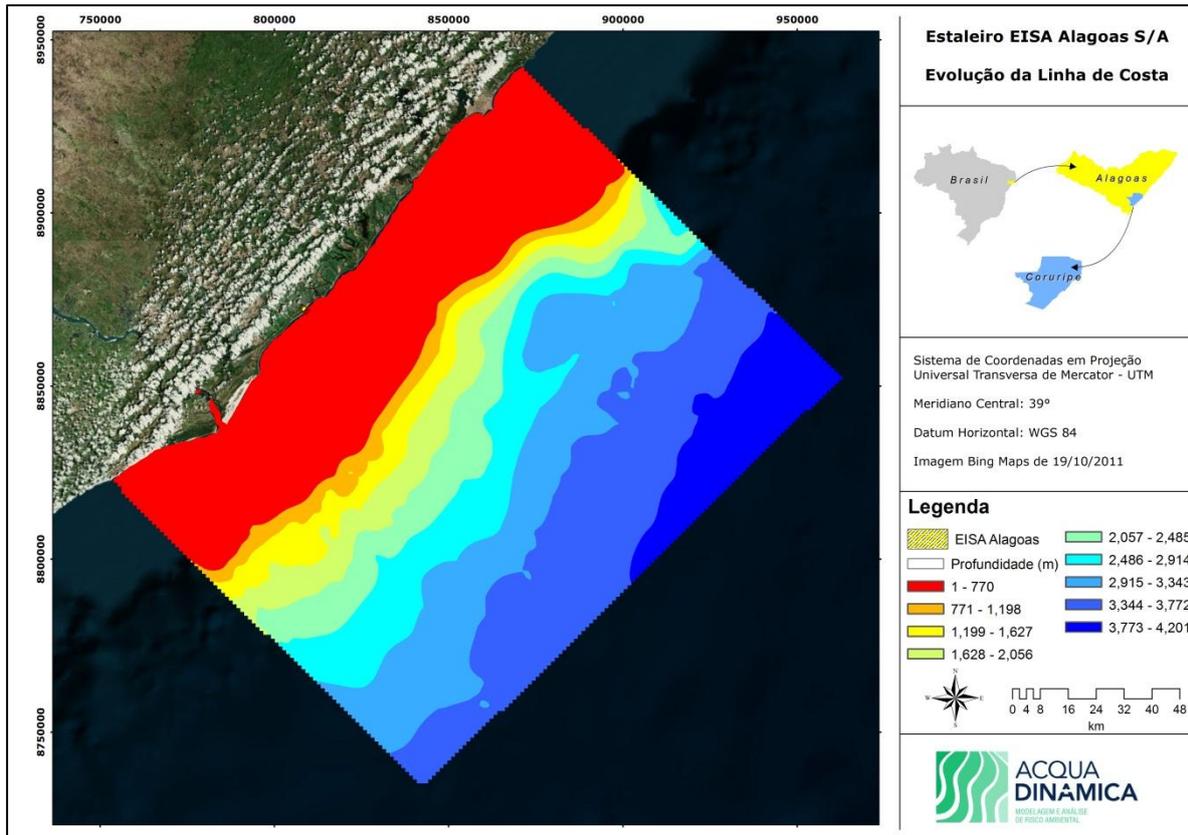


Figura 11. Batimetria na grade do modelo de onda regional, com a localização do Estaleiro EISA Alagoas.

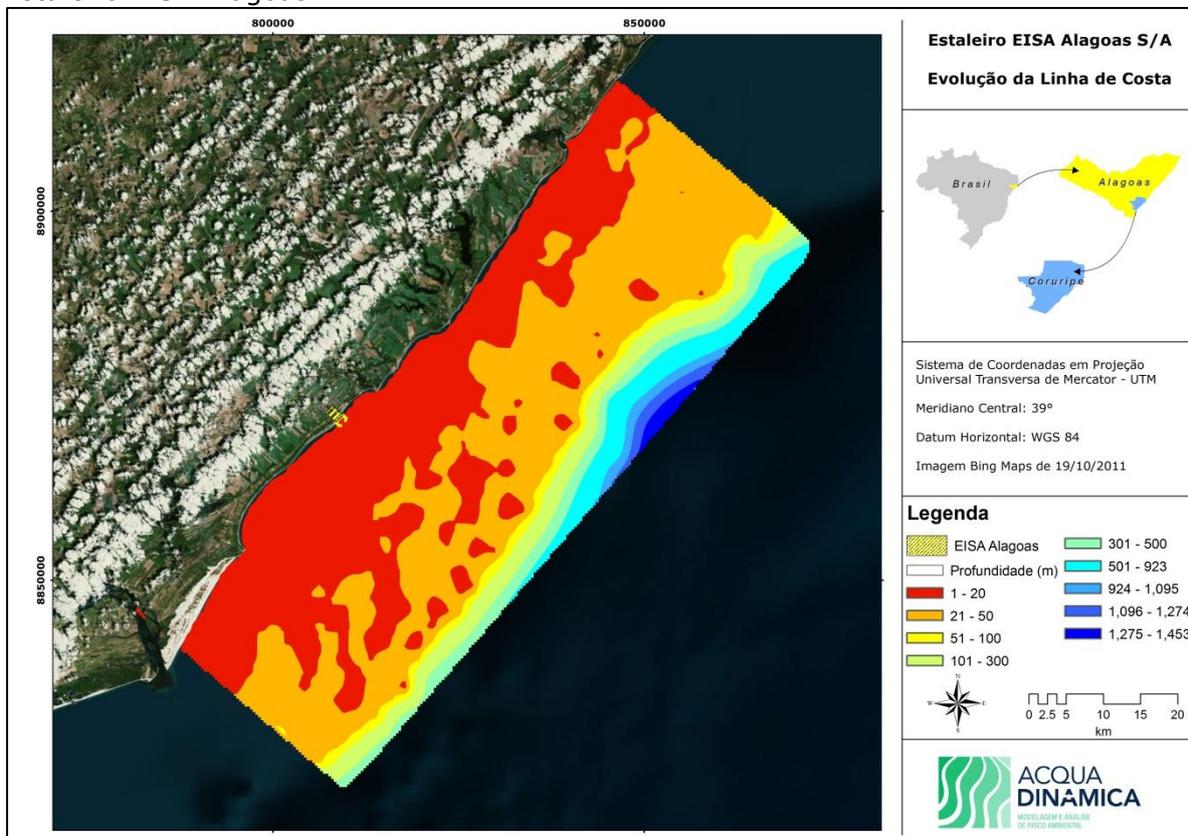


Figura 12. Batimetria na grade do modelo de onda intermediário, com a localização do Estaleiro EISA Alagoas.

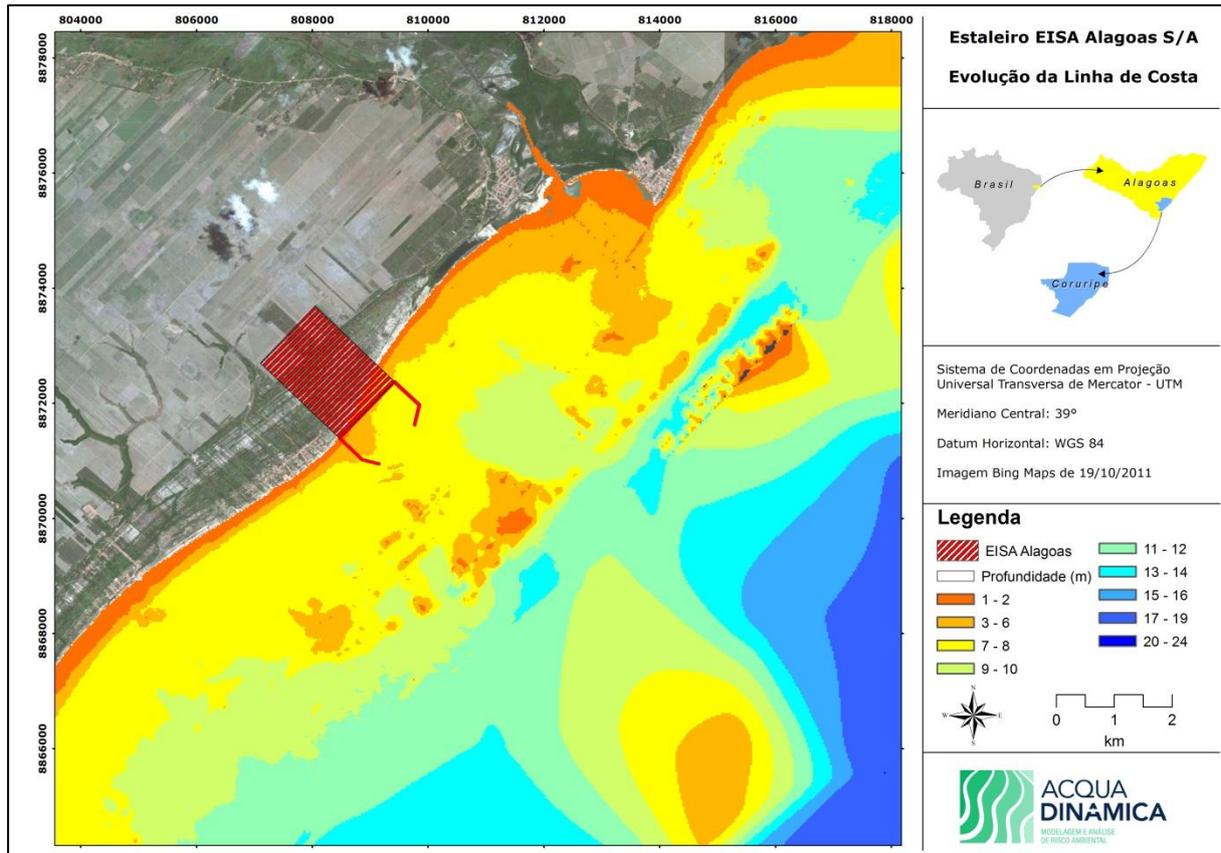


Figura 13. Batimetria de detalhe utilizada na grade do modelo de onda local e localização do Estaleiro EISA.

### 3.1.1.1.1. Configuração do Modelo Delft3D-Wave

Para a execução do modelo Delft3D-Wave, as três grades utilizadas foram aninhadas entre si, sendo as grades de maior detalhe aninhadas às grades de menor detalhe (regional – intermediária – local). Em todas as grades e experimentos as frequências de ondas foram discretizadas em 24 intervalos entre 0,05 e 1,0 Hz. O domínio de 360° de direção foi discretizado em 72 partes iguais para a grade regional e 144 partes para as grades intermediária e local. Para as condições de contorno (espectro de energia imposto no contorno), a forma do espectro de energia de JONSWAP foi adotado (HASSELMANN, 1973), com parâmetro gama de agudez de pico igual a 3,3. O espalhamento direcional foi definido com base no período de pico, onde ondas com maior período (*swell*) apresentam menor espalhamento e ondas com menor período (*sea*) apresentam maior espalhamento direcional.

Para analisar de forma mais realista a transformação das ondas em águas rasas foram considerados efeitos como *White capping*<sup>3</sup>, atrito com o fundo<sup>4</sup>, quebra de onda induzida pela profundidade<sup>5</sup>, refração e difração de onda.

### 3.1.1.1.1.2. Geração de Dados de Ondas

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para gerar dados de onda para a região de estudo. Devido à falta de dados de onda em água rasa, pesquisadores do Instituto de Hidráulica Ambiental de La Universidad de Cantabria (IH-Cantabria), para solucionar este problema, desenvolveram a metodologia do Hipercubo. Esta metodologia permite que, através de métodos de interpolação, dados de onda em água profunda (principalmente provenientes de programas como a reanálise do *WAVEWATCH III*) e modelos de propagação de onda em águas rasas, se reconstrua uma série de onda em águas rasas, com o mesmo número de casos de onda da série temporal original em águas profundas (BONANATA *et al.*, 2010).

A metodologia do Hipercubo faz uso de um método de interpolação linear em três dimensões (Altura significativa – Hs, Período de pico – Tp e Direção de pico – Dir), aplicado aos parâmetros de onda e coeficientes de propagação com características direcionais (SPROVIERI, 2011).

A série temporal de onda em água profunda extraída do modelo *WAVEWATCH III* possui 40.656 casos (referentes aos 13 anos e 10 meses). A grande vantagem do método do Hipercubo é a economia computacional, visto que o gasto computacional para propagar toda a série de onda seria muito elevado. Assim, são selecionados casos de onda específicos que permitam realizar as interpolações propostas pelo método.

---

<sup>3</sup>Importante mecanismo de dissipação de energia no processo de transferência de energia do vento para a água (HASSELMANN, 1973; Manual do SWAN).

<sup>4</sup>Seguindo a formulação JONSWAP (HASSELMANN, 1973).

<sup>5</sup>De acordo com o modelo descrito em Battjes & Janssen (1978).

Para selecionar os casos de ondas propagados, foram definidos intervalos para cada parâmetro ( $H_s$ ,  $T_p$  e  $Dir$ ), incluindo toda a variabilidade de cada parâmetro, pois o método do Hipercubo não permite que sejam realizadas extrapolações. Neste sentido, foi escolhido um intervalo de 0,5m para altura significativa, 2s para período de pico, e  $22,5^\circ$  para direção de pico, totalizando 478 casos de onda em águas profundas para serem propagados.

A partir destas configurações, os 478 casos de ondas selecionados foram propagados pelo modelo Delft3D-Wave/SWAN, e forçados nos contornos nordeste, sudeste e sudoeste das malhas numéricas.

#### 3.1.1.1.1.3. Método do Hipercubo

A partir dos 478 casos de ondas propagados de águas profundas até a região costeira da área de estudo, com diferentes combinações de altura de onda significativa, período de pico e direção de pico, foi possível realizar o método do Hipercubo, para reconstruir a série completa de ondas em águas rasas.

Desenvolvida no *IH-Cantabria*, este método foi amplamente testado e calibrado. Como já informado, está baseado em uma técnica de interpolação linear e três dimensões ( $H_s$ ,  $T_p$  e  $Dir$ ) aplicada em parâmetros de ondas e coeficientes de propagação com características direcionais. Assim, o método do Hipercubo permite a reconstrução de um clima de ondas em água rasa com a mesma dimensão temporal de dados de onda em água profunda (dados de WW3, neste caso).

Após a aplicação do método do hipercubo foi reconstruída a série de ondas em água profunda (478 casos) para um ponto dentro da região de interesse a 15 metros de profundidade (Figura 14). O método do Hipercubo foi aplicado a partir de rotinas em MATLAB. Na Figura 15 podemos observar a série temporal de altura de onda ( $H_s$ ) da série original em água profunda, e também, a série reconstruída em água rasa.

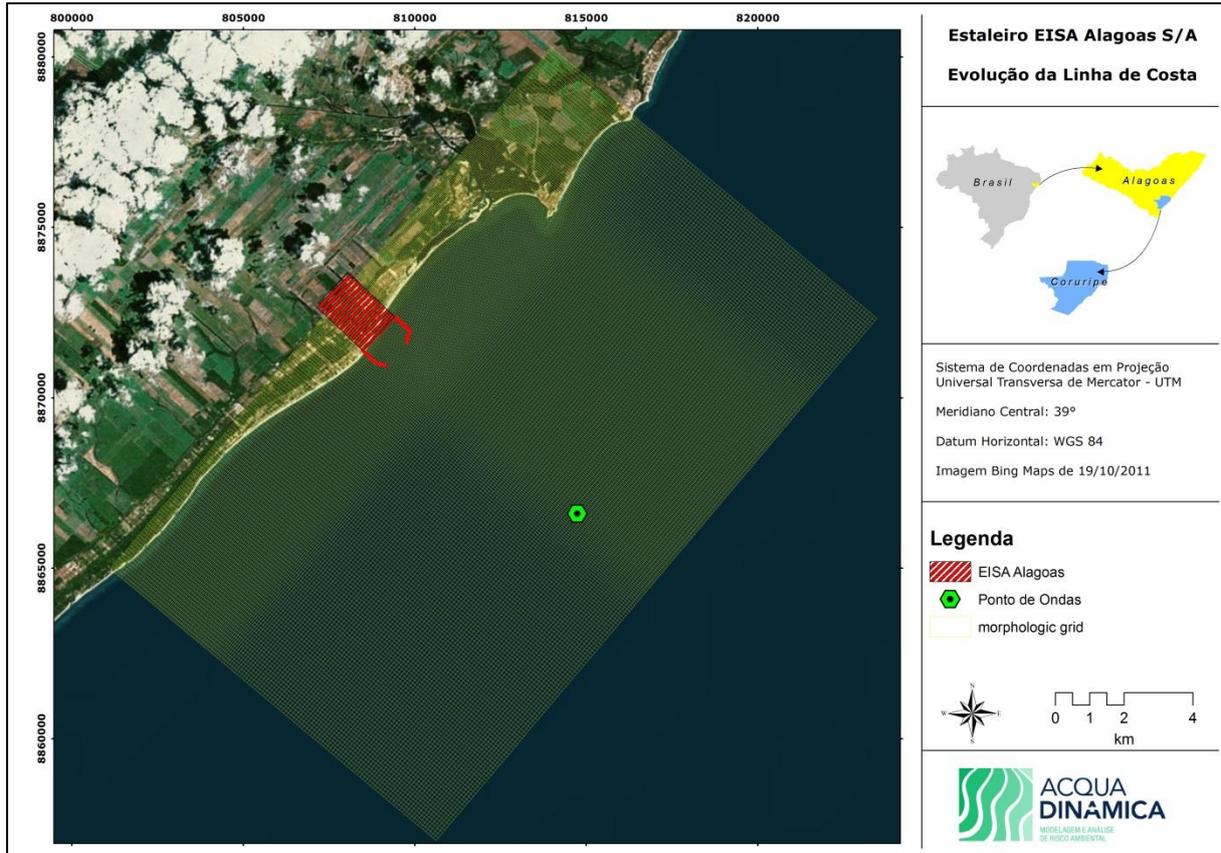


Figura 14. Localização do ponto utilizado para reconstrução da série de ondas em água rasa.

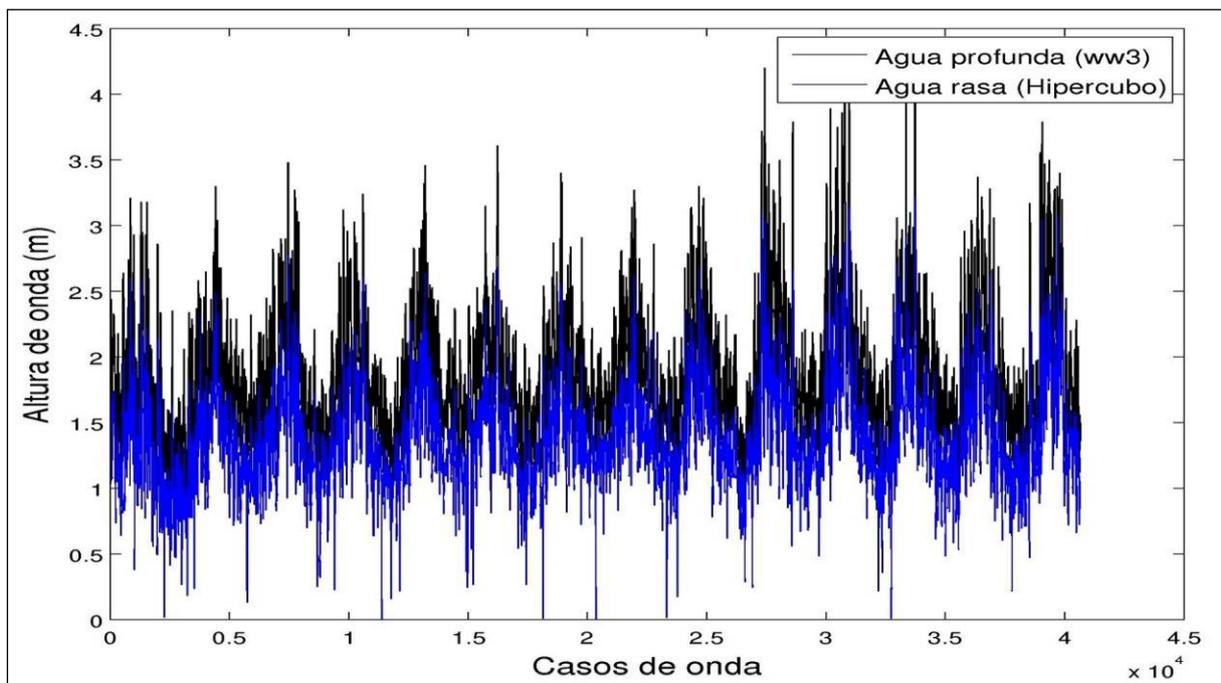


Figura 15. Comparação entre a série de ondas em água profunda (azul) e em água rasa (preto).

#### 3.1.1.1.1.4. Clima de Ondas em Águas Rasas

Após a geração do clima de ondas em águas rasas pelo método do Hipercubo, foram realizadas análises para caracterizar as ondas na área de estudo através de histogramas de  $H_s$  (Figura 16), rosa direcional (Figura 17) e função de distribuição de  $H_s$  (Figura 18). Como resultados temos que as alturas significativas mais frequentes estão entre 1 e 1,5 metros, e os períodos mais frequentes estão entre 7 e 8 segundos. A direção das ondas incidentes na região é do quadrante sudeste, com predominância de ondas incidentes de ESE.

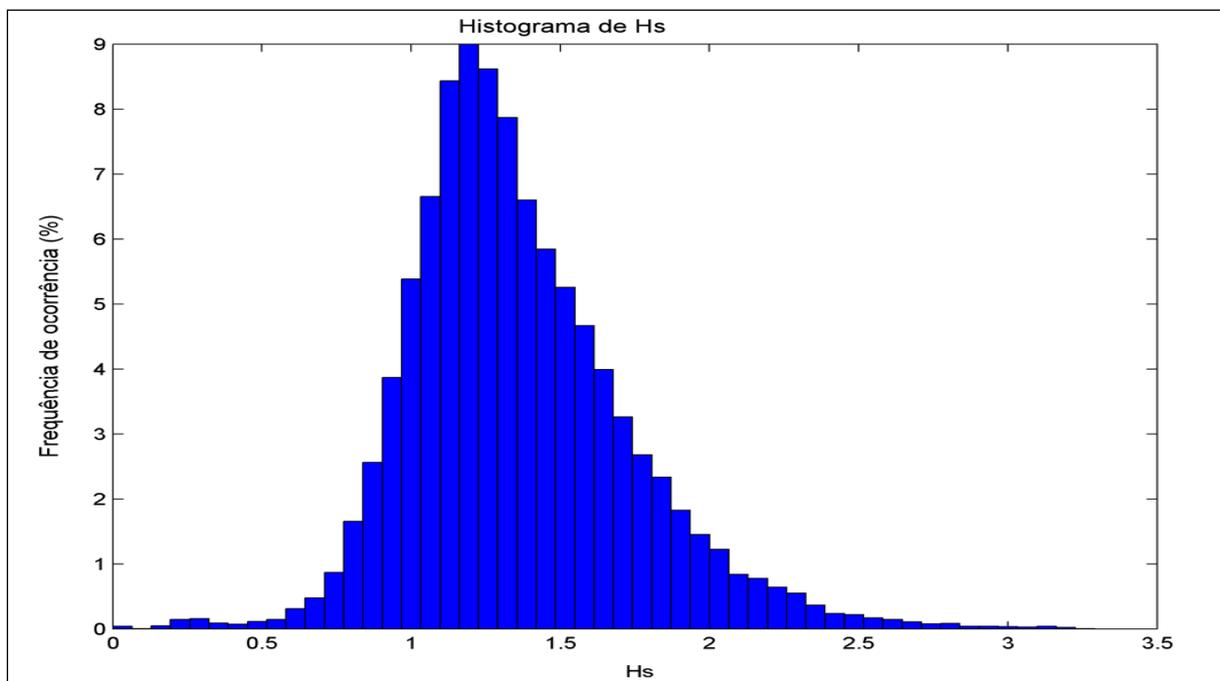


Figura 16. Histograma de frequência de alturas significativas para os dados de ondas reconstruídos em águas rasas.

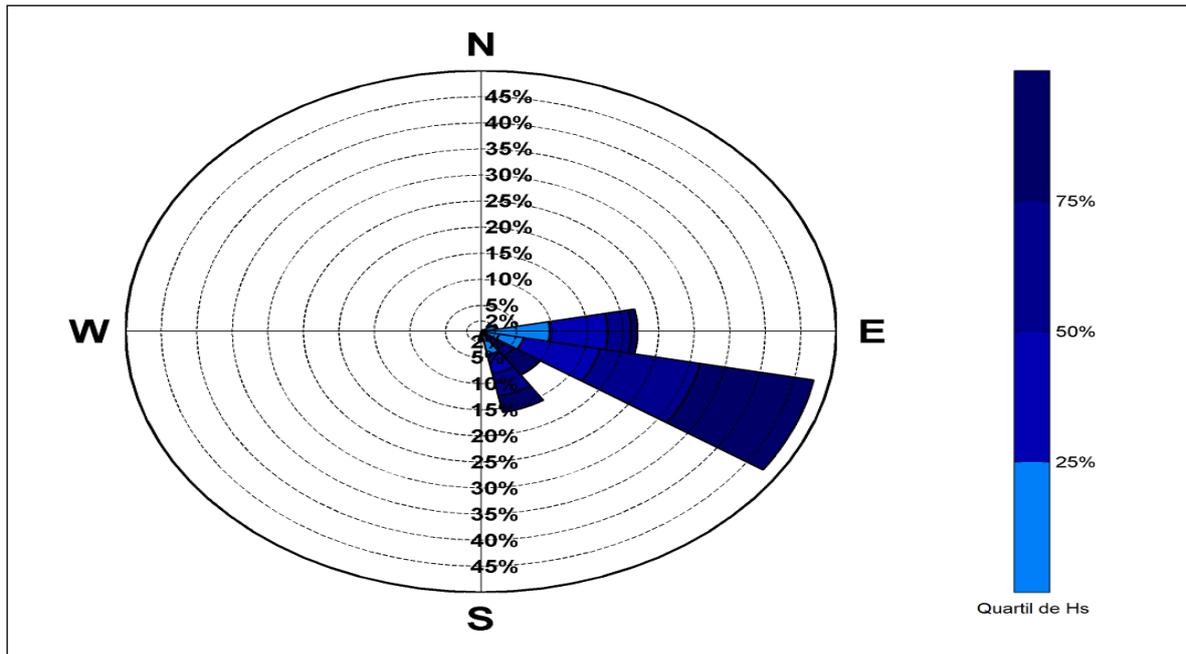


Figura 17. Rosa de direções dos dados de alturas significativas para os dados de ondas reconstruídos em águas rasas.

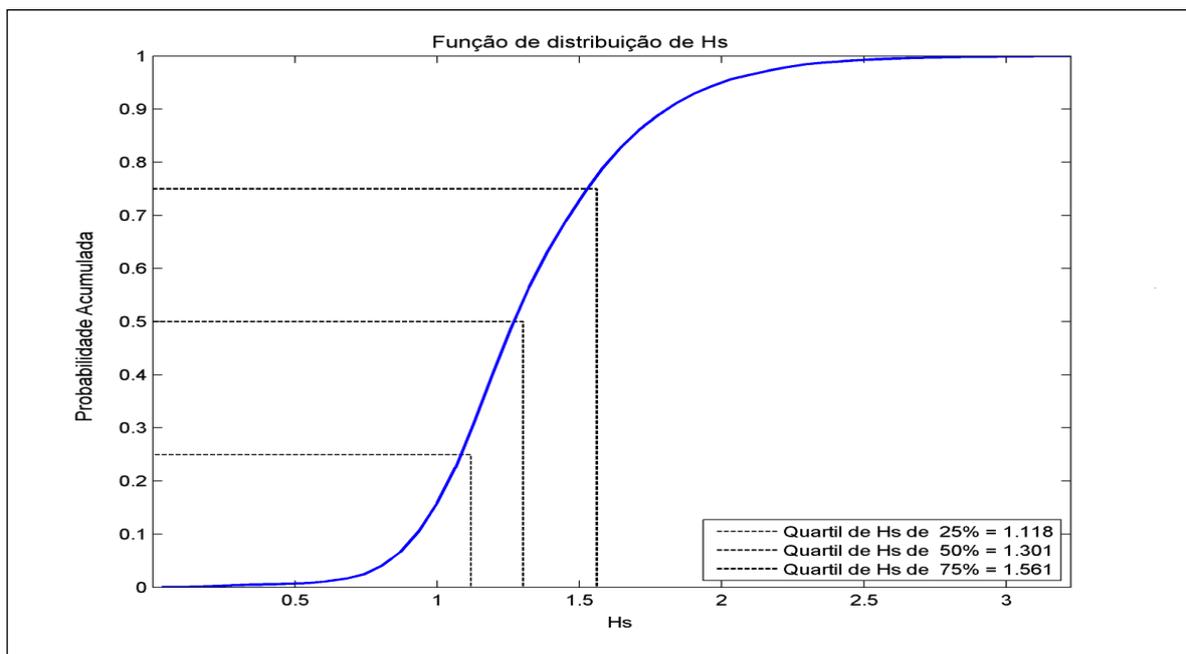


Figura 18. Função de distribuição de altura de onda significativa para os dados de onda reconstruídos em águas rasas.

Ainda, foram analisados os regimes médio e extremo de ondas, através do programa CAROL<sup>®</sup>, desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica Ambiental de La Universidad de Cantabria (IH-Cantabria). A distribuição de melhor ajuste do regime médio foi a de Gumbel ( $R^2 = 0,9993$ ), onde o gráfico linearizado está apresentado na Figura 19. O regime de extremos foi calculado pelo método

P.O.T., onde o limiar de corte foi equivalente a probabilidade acumulada superior a 99,5%. Este resultado está apresentado na Figura 20 e na

Tabela 1.

Os dados de ondas gerados para água rasa foram utilizados no modelo de evolução da linha de costa de longo período UNIBEST CL+.

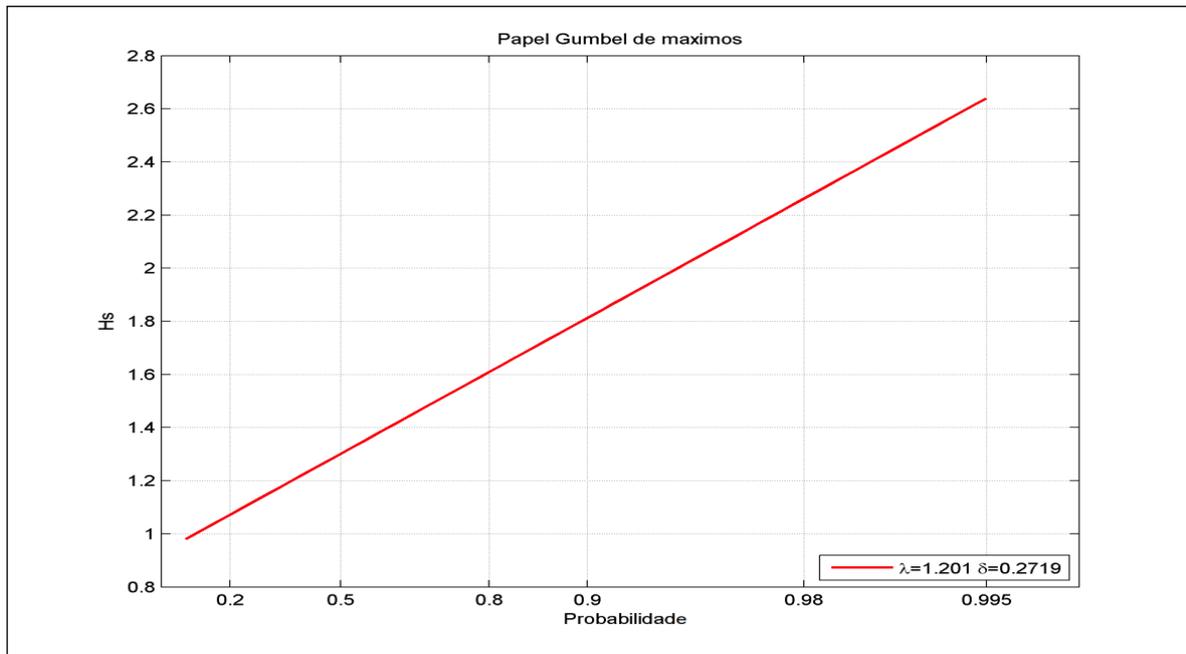


Figura 19. Regime médio ajustado para uma distribuição Log-Normal para os dados de onda reconstruídos em águas rasas.

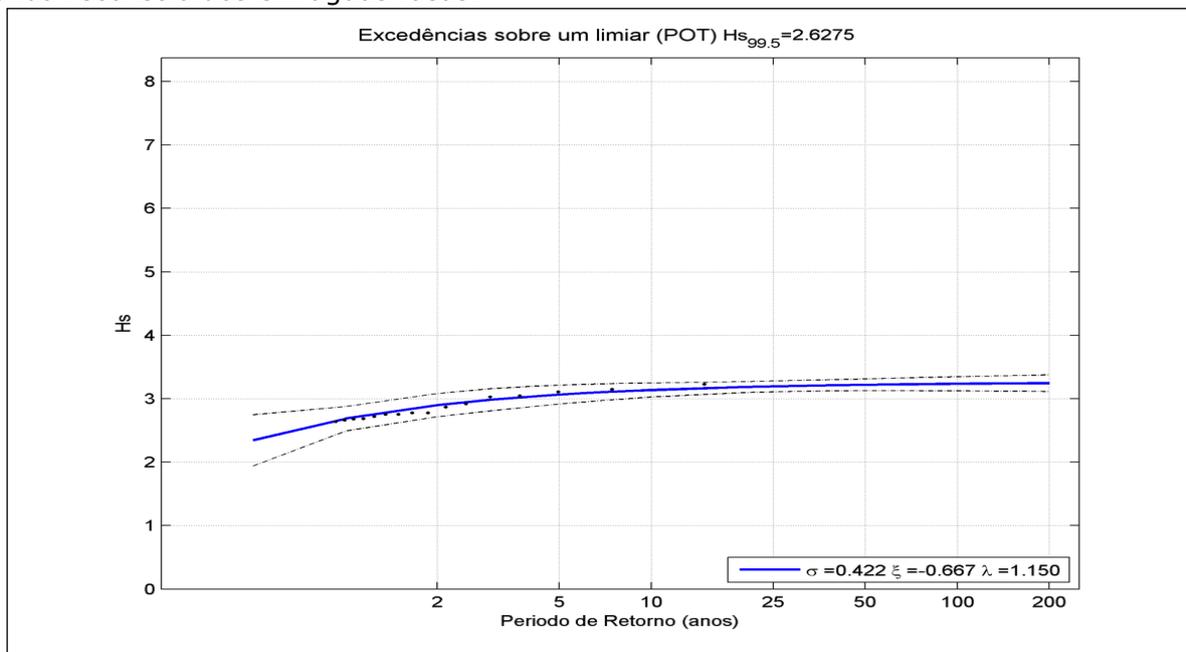


Figura 20. Regime extremo calculado pelo método P.O.T. para os dados de onda reconstruídos em águas rasas.

Tabela 1. Período de retorno calculado pelo método P.O.T.

Período de Retorno (anos)	Altura de onda significativa (m)
2	2,88
5	3,06
10	3,11
25	3,18
50	3,21
100	3,22
200	3,24

### 3.1.1.1.1.5. Esquematização do Clima de Ondas

Para a redução das forçantes de onda será utilizada a série de ondas, em águas rasas, reconstruída a partir dos dados de *WAVEWATCH III*, usando a metodologia do Hipercubo. O método de redução das ondas consiste em definir um número limitado de casos de onda, que juntos, produzem as mesmas taxas e padrões de transporte de sedimento residual que a série completa de onda. Esses casos de onda são definidos a partir da criação de um clima de ondas baseado na frequência de ocorrência e no fluxo de energia dos distintos casos de onda.

A série temporal é separada em classes de altura significativa e de direção, de maneira que em cada classe ocorra um número de casos que representam uma mesma quantidade de energia, onde a energia total de um número  $n$  de casos de onda é dada pela Equação 2.

$$E_{total} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{1.56}{8} \rho g H_{si}^2 \frac{T}{2} \right) \quad (2)$$

Onde,  $\rho$  é a densidade da água,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $H_s$  é a altura significativa e  $T$  é o período.

A partir das classes criadas, é calculado o caso de onda com o período e direção médios da classe, e altura significativa tal que a energia deste caso de onda corresponde a energia média da classe. Portanto, as classes de onda criadas e os

casos escolhidos para serem simulados estão representados na Figura 21 e Tabela 2.

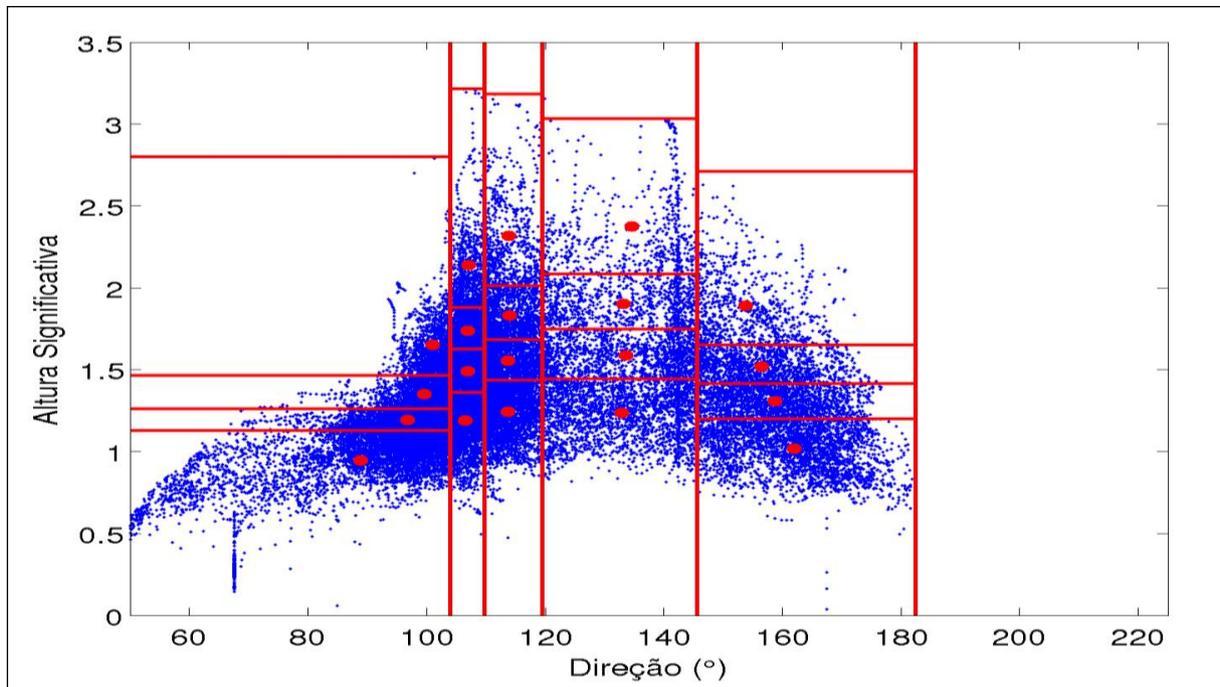


Figura 21. Representação das classes de onda selecionadas para as simulações morfológicas, onde os pontos vermelhos indicam o caso que representa a classe a que pertence.

Tabela 2. Casos de onda simulados no modelo morfológico, dispostos na sequência em que foram simulados, com a frequência de ocorrência no ano.

<b>Caso</b>	<b><math>H_s</math> (m)</b>	<b><math>T_p</math> (s)</b>	<b>Dir (°)</b>	<b>Frequência (dias/ano)</b>
1	0.95	6.5	88.92	52.89
2	1.19	6.81	96.78	31.81
3	1.35	7.25	99.62	23.37
4	1.65	7.9	101.07	14.33
5	1.19	6.98	106.51	31.27
6	1.49	7.67	106.89	18.1
7	1.74	8.09	107.01	12.63
8	2.14	8.95	107.07	7.55
9	1.24	7.34	113.68	27.22
10	1.55	7.84	113.78	16.3
11	1.83	8.15	113.99	11.3
12	2.32	9.05	113.81	6.35
13	1.24	8.85	132.88	22.78
14	1.59	9.34	133.66	13.12
15	1.9	9.83	133.26	8.67
16	2.38	10.81	134.67	5.06
17	1.02	11.14	161.97	26.74

Caso	H <sub>s</sub> (m)	T <sub>p</sub> (s)	Dir (°)	Frequência (dias/ano)
18	1.31	11.19	158.77	16.12
19	1.52	11.31	156.43	11.84
20	1.89	11.37	153.86	7.58

### 3.1.2. Modelo UNIBEST

A evolução da linha de costa da área de estudo foi modelada com o programa UNIBEST (*Uniform Beach Sediment Transport*), desenvolvido pelos WL Delft Hydraulics na Holanda. O aplicativo UNIBEST é composto por 3 módulos: (1) UNIBEST TC; (2) UNIBEST DE; e (3) UNIBEST CL +.

O UNIBEST TC (*Transport Cross-shore*) é capaz de calcular o transporte de sedimentos através da costa, resultando em uma mudança no perfil praiado devido às ondas, marés e ações do vento. O UNIBEST DE (*Dune Erosion*) é o módulo capaz de calcular a erosão de dunas, devido às condições de tempestade. Finalmente, o UNIBEST CL + compreende dois modelos diferentes: o UNIBEST LT (*Longshore Transport*) e o UNIBEST CL (*Litoral*).

O UNIBEST LT é o módulo capaz de calcular o transporte de sedimentos ao longo da costa induzido por ondas e marés. UNIBEST CL é o módulo capaz de calcular a evolução da linha de costa, tendo em consideração o transporte de sedimentos calculado no modelo UNIBEST LT.

A fim de atender os objetivos do presente estudo, o módulo mais importante é UNIBEST CL +. Isso porque com o UNIBEST CL + é possível calcular o transporte de sedimentos ao longo da costa e, em seguida, com os resultados de saída, realizar a simulação da evolução da linha de costa.

#### 3.1.2.1. Módulo UNIBEST LT

O módulo UNIBEST LT calcula o transporte de sedimentos anual ao longo da costa. A metodologia UNIBEST LT utilizada para calcular o transporte longitudinal é baseada no ângulo de transporte de sedimentos, sendo dependente de alguns

fatores. Os dados de entrada necessários para realizar uma simulação no módulo UNIBEST LT são os dados de onda, os perfis transversais à costa, a fórmula de transporte, e seus respectivos parâmetros, coeficientes para a dissipação da energia de onda, e a orientação da linha de costa.

#### 3.1.2.2. Módulo UNIBEST CL

O UNIBEST CL é o módulo do UNIBEST que tem como objetivo a simulação da evolução da linha de costa em relação aos efeitos da quebra das ondas e das correntes de deriva litorânea governados por ondas, em combinação com as correntes de maré ao longo da costa. O UNIBEST CL pode realizar simulações para um período que varia de meses a décadas, utilizando uma abordagem de busca do equilíbrio em função das condições de onda e maré e das condições atuais da área de estudo. As condições de onda e as condições atuais para a área de estudo são importadas do módulo UNIBEST LT. O modelo também considera a presença de estruturas costeiras, como gabiões, quebra-mares acoplados à costa ou quebra-mares destacados.

#### 3.1.2.3. Propagação de Ondas

Quando ocorre a propagação de ondas do limite marítimo em direção à costa, o módulo UNIBEST LT assume localmente contornos retos e paralelos de profundidade. A propagação também leva em consideração a refração e o empilhamento da onda junto à costa.

#### 3.1.2.4. Parâmetros de Transporte

O módulo UNIBEST LT permite a escolha de quatro fórmulas de transporte: a fórmula van Rijn (1992), a fórmula Bijker (1967, 1971), a fórmula CERC (1984) e uma fórmula para partículas cascalhosas desenvolvidos por van der Meer e Pilarczyk. As fórmulas utilizadas no desenvolvimento deste estudo foram as de van Rijn (1992). Os parâmetros de entrada para a fórmula de transporte de van Rijn (1992) são:

- Fórmula Van Rijn (1992): diâmetro mediano de grão  $D_{50}$ , diâmetro de grão  $D_{90}$ , densidade dos sedimentos, rugosidade de fundo, velocidade de sedimentação, viscosidade e porosidade.

### 3.1.2.5. Raios de Transporte

A metodologia utilizada pelo módulo UNIBEST LT para calcular o transporte de sedimentos ao longo da costa são os raios de transporte. O raio de transporte é um raio perpendicular à linha da costa que define o transporte longitudinal como uma função da orientação da linha de costa. O transporte de sedimentos é descrito pela Equação 3.

$$Q_s = f(\alpha_e, c_1, c_2) \quad (3)$$

onde,  $C_1$  e  $C_2$  são os parâmetros de transporte e  $\alpha_e$  é o ângulo de equilíbrio litorâneo. O transporte de sedimentos em função do ângulo de costa,  $Q_s^a$ , pode ser aproximada pela Equação 4.

$$Q_s^a(\theta) = c_1 \theta_r e^{-(c_2 \theta_r)^2} \quad (4)$$

onde,

$$\theta_r = \theta - \theta_e \quad (5)$$

onde, o subscrito "e" representa o ângulo de equilíbrio da linha de costa. Os raios de transporte também fornecem a informação sobre a distribuição do transporte de sedimentos no perfil transversal de costa para os pontos de truncamento, 2%, 20%, 50%, 80% e 100% de transporte. Desta forma, é possível integrar o transporte de sedimentos ao longo do perfil transversal da costa, sendo especialmente importante no caso da existência de obstáculos, como esporões, em que uma função de derivação deve ser implementada.

### 3.1.2.6. Dados de Entrada

Para a execução dos modelos do módulo UNIBEST CL foram inicialmente escolhidos cinco perfis transversais à costa que se estenderam até a

profundidade de 15 metros, coincidente com o local do ponto de onda rasa transferido pela tecnologia do Hipercubo como demonstrado no item 3.1.1.1.3. Foi posicionado um perfil na porção central da saliência existente na praia de Miaí de Cima, área deste estudo, e dois perfis adicionais ao norte e ao sul da mesma, para caracterizar de forma completa o comportamento das ondas, das correntes ao longo da costa, e do transporte de sedimentos na área de instalação do Estaleiro EISA Alagoas (Figura 22).

O módulo UNIBEST LT utiliza os perfis batimétricos para a propagação dos casos de onda predominantes no local, para caracterizar o decaimento da energia da onda próximo da costa devido aos efeitos de refração, empolamento, e fricção junto ao fundo. Para cada perfil batimétrico foi extraído pelo modelo a profundidade a cada 50 metros, a partir da batimetria de detalhe que foi realizada para a região (Figura 13)

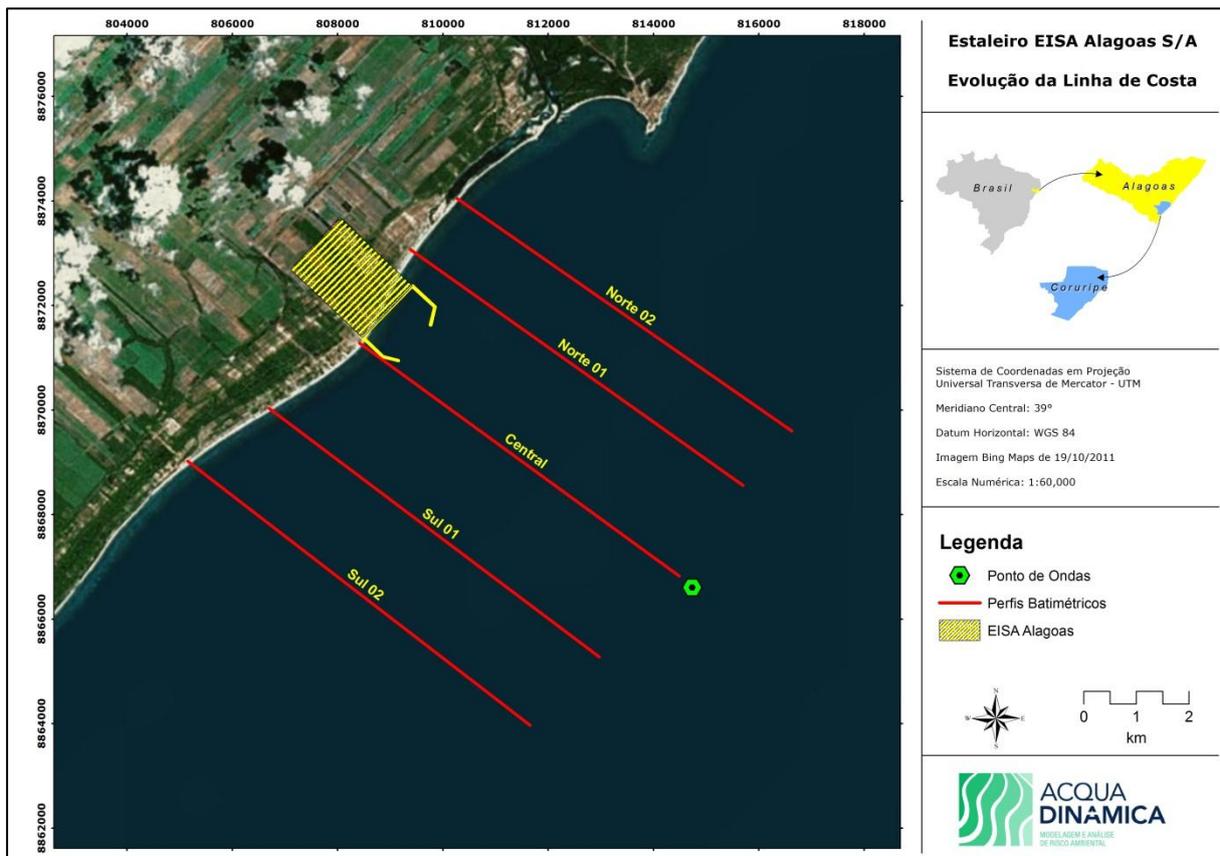


Figura 22. Perfis batimétricos utilizados como dado de entrada do módulo UNIBEST LT.

O perfil Central apresentou uma grande variação na sua morfologia devido a presença dos arenitos de praia localizados ao largo, como uma antiga linha de praia situada hoje como uma linha paralela à costa situada ao largo a aproximadamente 3 quilômetros da praia.

A profundidade máxima do Perfil Central foi de 12 metros na porção externa da linha de arenitos, e sua profundidade de fechamento interna de 6 metros, que é a profundidade até aonde ocorre o perfil ativo da praia e existe transporte de sedimentos influenciado pela quebra das ondas (Figura 23).

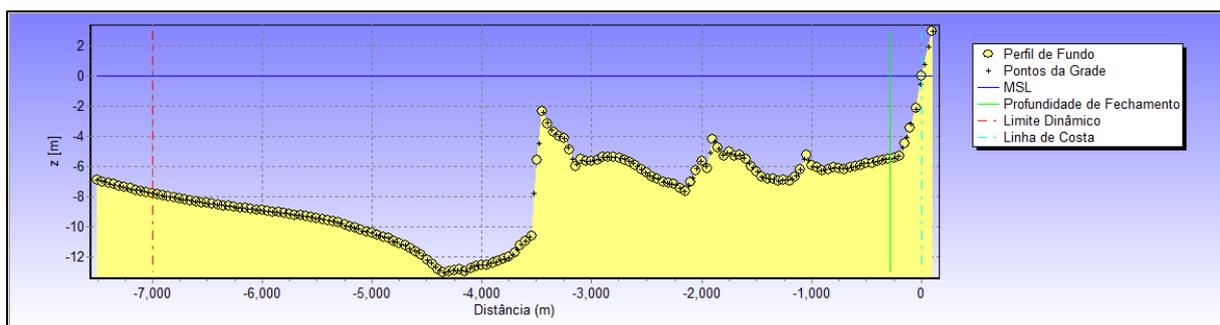


Figura 23. Perfil batimétrico Central localizado na porção central da saliência existente na praia de Miaí de Cima, Coruripe, AL.

O perfil Norte 1 apresenta uma topografia mais suave que o perfil Central devido a este estar posicionado em um local que apresenta menor proteção do sistema de arrecifes de arenito de praia. Apresenta uma profundidade de fechamento interna de 5 metros e uma profundidade máxima de 15 metros (Figura 24).

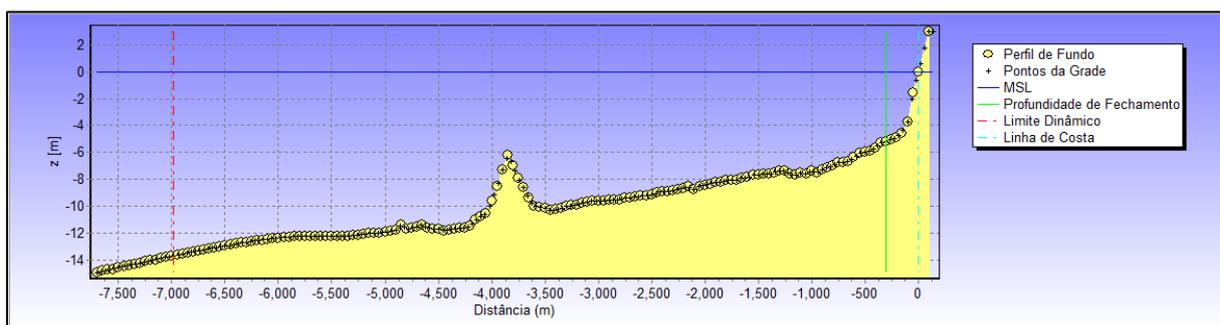


Figura 24. Perfil batimétrico norte 01 localizado ao norte do perfil Central, litoral de Coruripe, AL.

O perfil Norte 02 localiza-se ao norte do perfil Norte 01, e apresenta uma topografia com maiores variações devido a proteção dos arrecifes de arenito, e demonstra um perfil mais suave próximo à costa, devido a contribuição de

sedimentos provenientes do rio Coruripe, demonstrando uma profundidade de fechamento próxima a 8 metros (Figura 25).

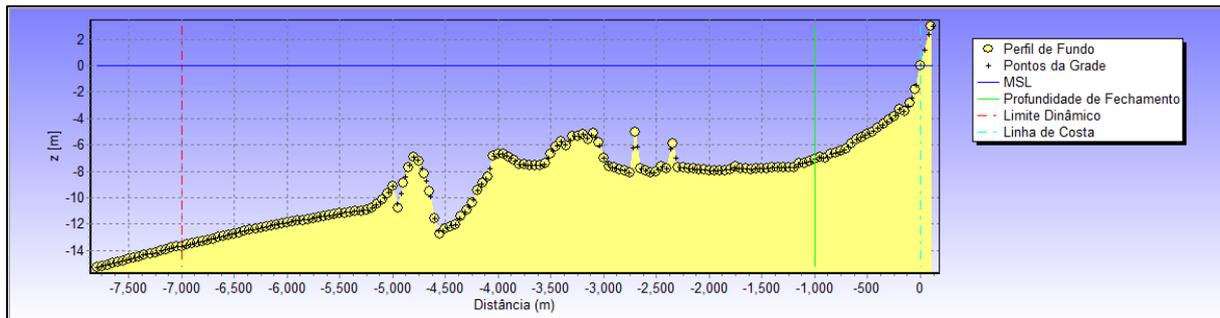


Figura 25. Perfil batimétrico Norte 02 localizado ao norte do perfil Norte 01, litoral de Coruripe, AL.

Ao sul da saliência presente na praia de Miaí de Cima foram posicionados dois perfis batimétricos, o perfil Sul 01 e o perfil Sul 02, que apresentaram uma morfologia mais suave que aqueles presentes na porção central e norte da saliência.

Esta morfologia mais suave é devido a esta área apresentar uma diminuição da proteção oferecida pelo sistema de arrecifes. O perfil Sul 01 ainda apresenta algumas variações morfológicas resultante da presença do sistema de arenitos, com uma profundidade de fechamento interna de 7 metros e uma profundidade máxima de 12 metros (Figura 26). Já o perfil Sul 02 apresenta uma profundidade máxima de 15 metros e uma profundidade de fechamento interna de 6 metros (Figura 27).

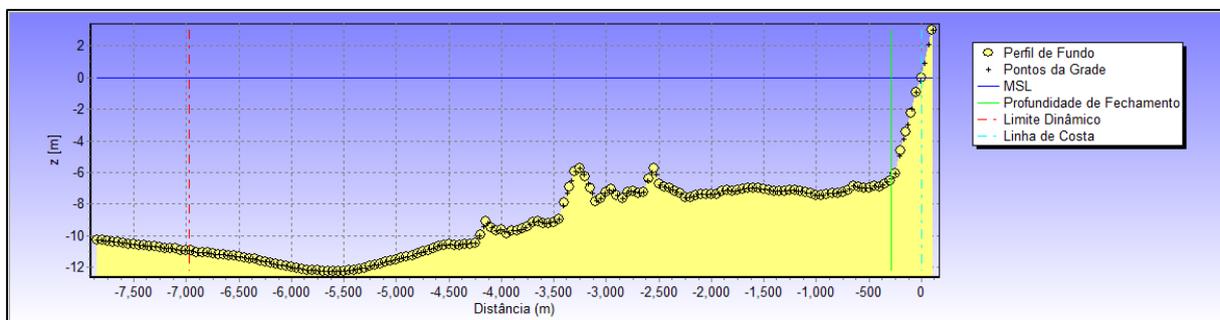


Figura 26. Perfil batimétrico Sul 01 localizado ao norte do perfil Norte 01, litoral de Coruripe, AL.

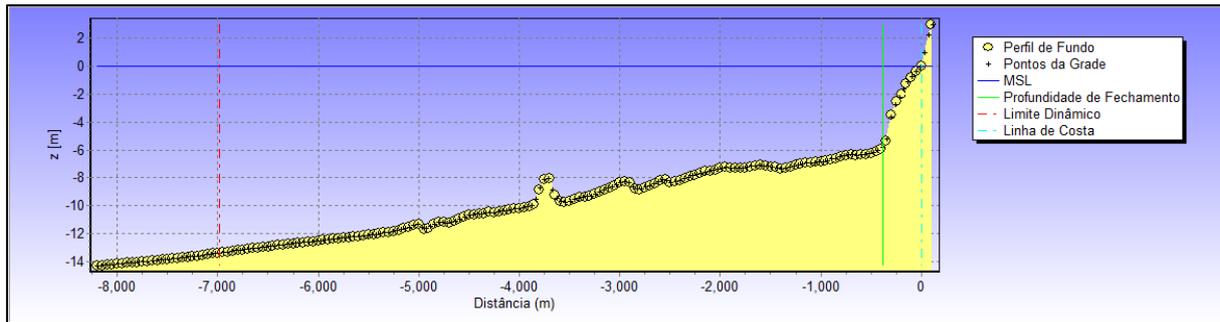


Figura 27. Perfil batimétrico Sul 02 localizado ao norte do perfil Norte 01, litoral de Coruripe, AL.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para analisar a influência da instalação das estruturas de mar do Estalério EISA Alagoas sobre a evolução da linha de costa ao longo da orla da praia de Miaí de Cima, e entorno, foi realizada uma modelagem de evolução da linha de costa de longo período. Nesse estudo se utilizou de cinco perfis batimétricos para simular o efeito da diminuição da energia das ondas junto à costa, calcular a corrente de transporte junto ao longo da costa e o transporte de sedimentos.

Os resultados serão apresentados separadamente para os modelos numéricos UNIBEST LT, que calcula o transporte de sedimentos ao longo da costa, e o modelo UNIBEST CL, que analisa a evolução da linha de costa de longo período, 10 anos no caso deste estudo.

### 4.1. Transporte ao longo da costa

Os resultados de transporte ao longo da costa serão apresentados para os cinco perfis batimétricos analisados separadamente, que servem para caracterizar o transporte litorâneo na região em estudo, o volume de sedimentos transportado ao longo da costa por cada perfil, e posteriormente é extrapolado para o cálculo do transporte total e a análise da evolução da linha de costa.

O perfil batimétrico Central apresentou uma predominância de transporte no sentido nordeste-sudoeste acompanhando a orientação natural da linha de costa (135°). O transporte total anual resultante para o perfil Central foi de aproximadamente 17.263 m<sup>3</sup>. Ao se analisar a distribuição do transporte ao longo do perfil praiial, até a profundidade de fechamento, verifica-se uma distribuição do transporte de sedimentos até uma distância da costa de aproximadamente 250 metros da praia (Figura 23), sendo que a maior porcentagem de transporte ocorreu entre os 100 metros e 250 metros da praia (Figura 28).

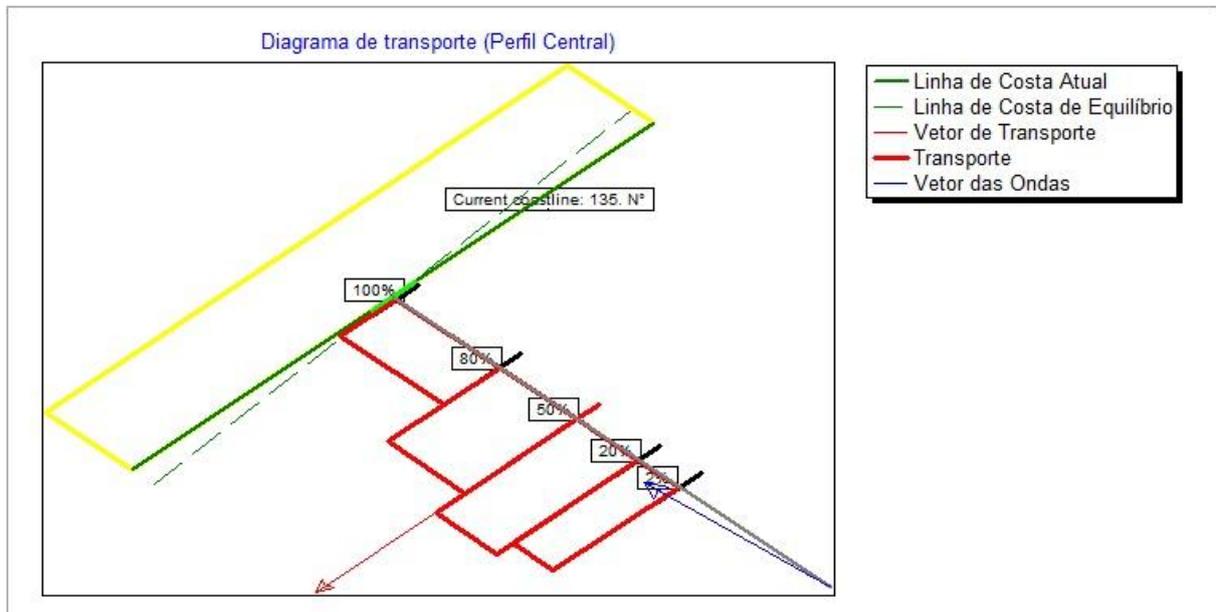


Figura 28. Taxa de transporte de sedimentos ao longo da costa para o perfil Central, litoral de Coruripe, AL.

O perfil batimétrico Norte 01 apresentou um transporte anual de aproximadamente  $58.980 \text{ m}^3$ , sendo que o transporte de sedimentos neste perfil se apresenta mais de três vezes superior ao perfil Central. Isso pode ser explicado devido a maior exposição deste perfil às ondas, pelo fato de haver uma diminuição na proteção do sistema de arrecifes de arenitos de praia neste ponto. O transporte ocorre, predominantemente, no sentido nordeste-sudoeste, acompanhando a orientação natural da linha de costa ( $135^\circ$ ), conforme os demais perfis. A Figura 29 demonstra que houve um deslocamento da maior porcentagem do transporte em direção à costa, provavelmente pela maior altura de onda neste perfil em relação ao perfil central, sendo que a maior porcentagem de transporte ocorreu entre os 100 metros e 200 metros da praia.

A Figura 30 apresenta o diagrama de transporte obtida pela modelagem numérica para o perfil batimétrico Norte 02, sendo este o perfil que apresentou a menor taxa de transporte anual, com aproximadamente  $13.950 \text{ m}^3$ . Isso é explicado pelo fato deste ser o perfil que possui a maior proteção gerada pela presença dos arrecifes de arenito de praia, e conseqüentemente, a menor altura de ondas dentre todos os perfis analisados. Da mesma forma que os perfis anteriormente analisados, o transporte de sedimentos ocorre no sentido nordeste-sudoeste.

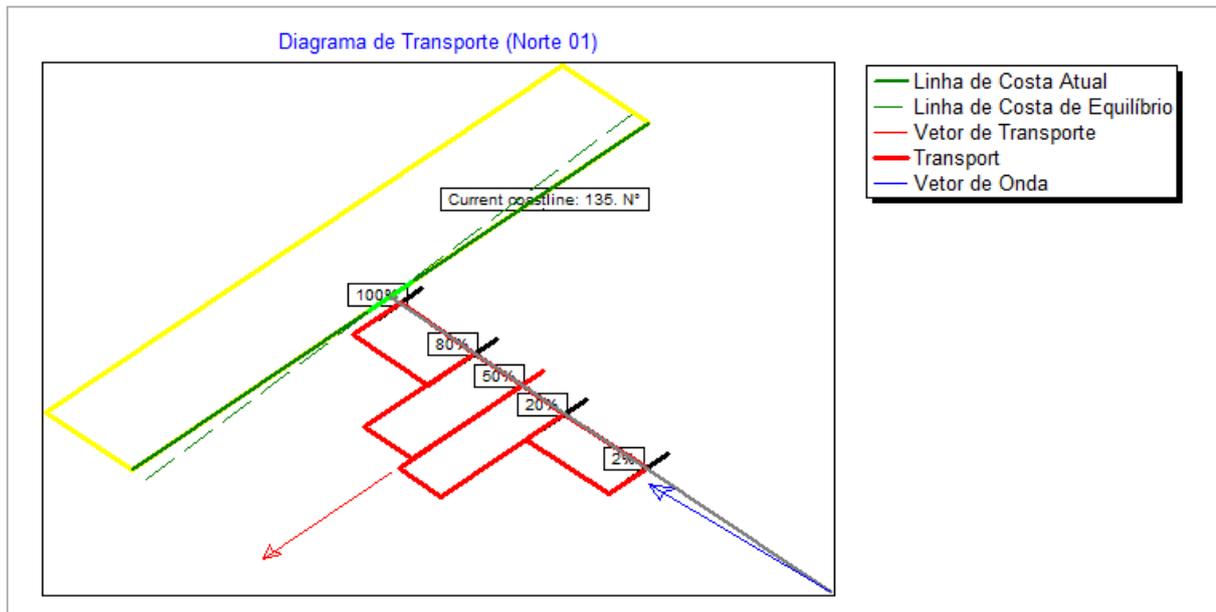


Figura 29. Taxa de transporte de sedimentos ao longo da costa para o perfil Norte 01, litoral de Coruripe, AL.

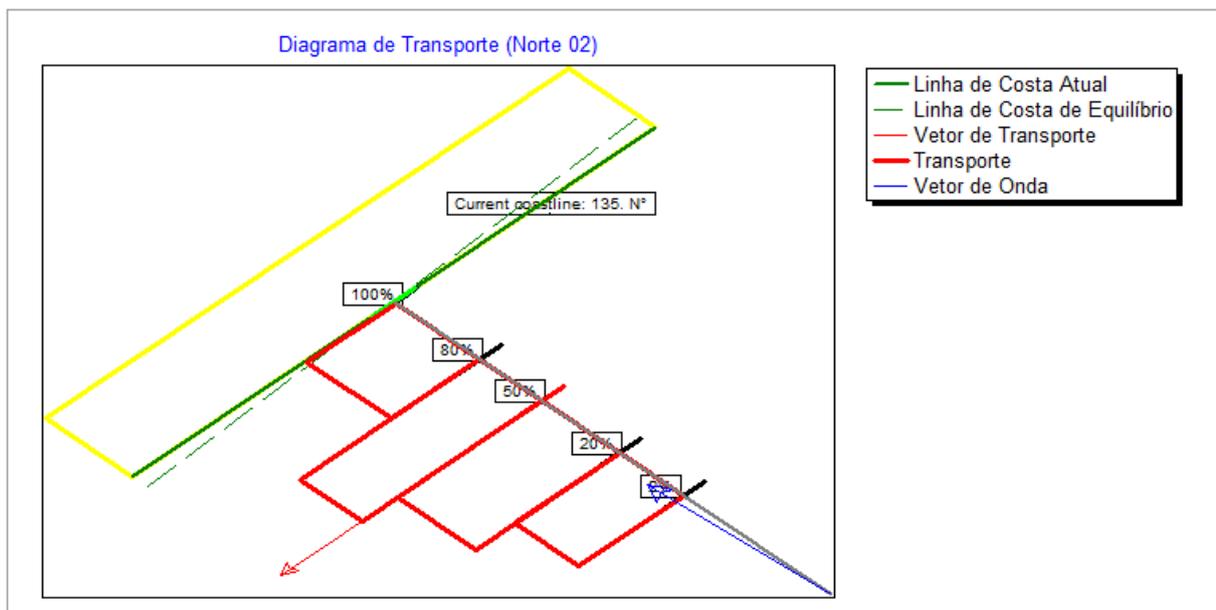


Figura 30. Taxa de transporte de sedimentos ao longo da costa para o perfil Norte 02, litoral de Coruripe, AL.

O perfil batimétrico Sul 01 apresentou um transporte anual de aproximadamente  $59.390 \text{ m}^3$ , sendo observado que o transporte de sedimentos neste perfil é o maior dentre os cinco perfis analisados. Entretanto, o transporte se apresenta de forma muito semelhante ao transporte observado no perfil Norte 01, demonstrando haver uma velocidade maior de transporte em ambos os lados da saliência. O transporte ocorre, predominantemente, no sentido nordeste-

sudoeste, acompanhando a orientação natural da linha de costa (135°), conforme observado nos demais perfis (Figura 31).

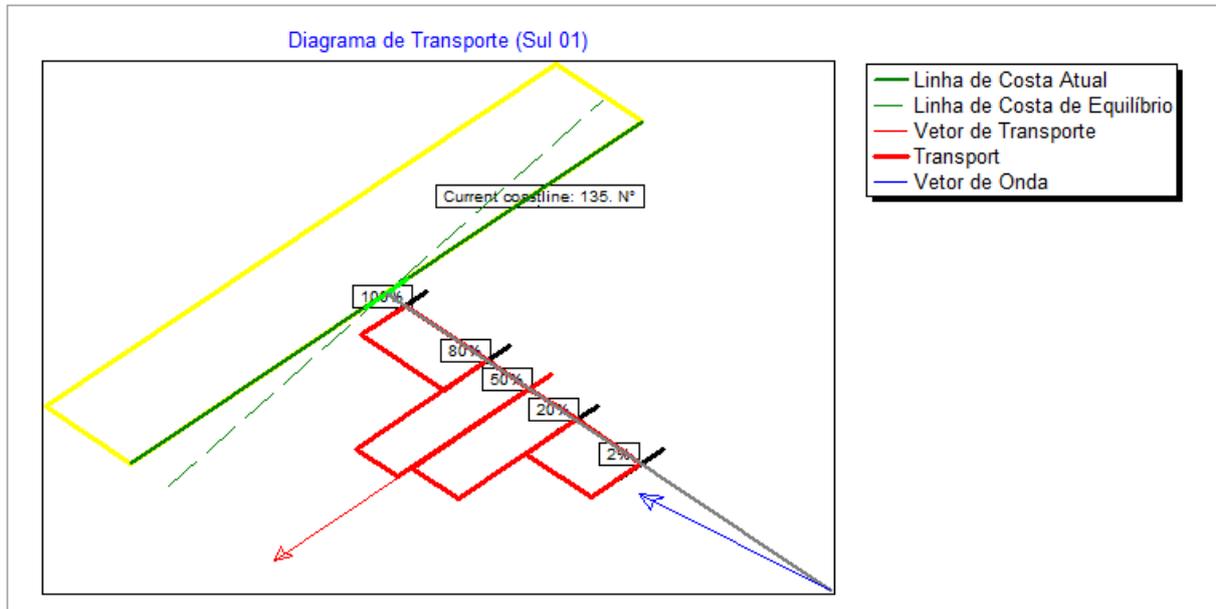


Figura 31. Taxa de transporte de sedimentos ao longo da costa para o perfil Sul 01, litoral de Coruripe, AL.

O perfil batimétrico Sul 02 apresentou uma predominância de transporte no sentido nordeste-sudoeste, acompanhando a orientação natural da linha de costa (135°). O transporte total anual resultante para o perfil Sul 02 é de aproximadamente 20.412 m<sup>3</sup>, sendo que se observando a distribuição do transporte de sedimentos ao longo do perfil praial, até a profundidade de fechamento, verifica-se uma distribuição do transporte de sedimentos até uma distância da costa de aproximadamente 400 metros da praia (Figura 23). A maior porcentagem de transporte ocorreu entre os 300 metros e 400 metros da praia (Figura 32).

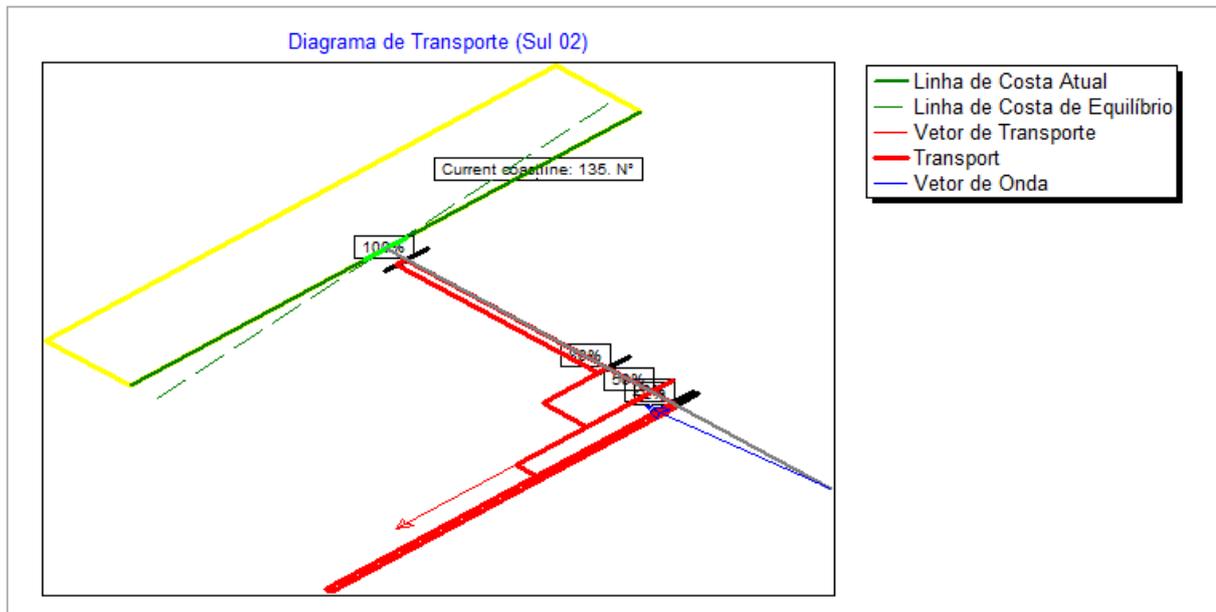


Figura 32. Taxa de transporte de sedimentos ao longo da costa para o perfil Sul 02, litoral de Coruripe, AL.

#### 4.2. Evolução da linha de costa

A análise da evolução da linha de costa para a o trecho de praia onde se prevê a instalação do Estaleiro EISA Alagoas foi realizada através do módulo UNIBEST - CL para um período de 10 anos. Para tanto, foram utilizados os dados de transporte de sedimentos ao longo da costa obtidos através do módulo UNIBEST LT.

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que as taxas de retração e progradação da linha de costa apresentaram valores máximos de -7,42 m/ano e 3,14 m/ano, respectivamente. A área de retração da linha de costa é observada ao longo de 1.600 metros, enquanto que a área de progradação ocorre em duas áreas, a primeira ao norte do Estaleiro com aproximadamente 2.300 metros de extensão e a segunda área está localizada ao sul da área de retração com 3.500 metros de linha de costa (Figura 33).

As maiores taxas de retração são observadas imediatamente ao sul do quebra-mar sul do empreendimento, devido ao fato das estruturas de mar se comportarem como uma barreira artificial ao transporte de sedimentos ao longo

da costa, como anteriormente demonstrado nos resultados. Este "barramento" implica em um déficit de sedimentos neste local e, conseqüentemente, nesta retração da costa (Figura 33). Observa-se que a área de erosão se estende a uma distância de 1.600 metros ao sul da área de instalação do Estaleiro EISA Alagoas, sendo que a retração da linha de costa diminui de -7,42m/ano na porção exatamente ao sul do quebra-mar sul, e para -0,90 m/ano, na porção mais distante, a 1.600 metros (Figura 34).

Os cálculos de retração e progradação da linha de costa, da morfologia do perfil praiar (batimetria), da sedimentologia e da orientação da linha de costa, foram baseados no clima de ondas de mais de 13 anos para a região. Entretanto, pelo fato da área de estudo se tratar de uma região protegida por arrecifes de arenitos de praia, que favorece o desenvolvimento de uma saliência litorânea (BLACK, 2003), onde se evidencia o depósito de sedimentos finos, espera-se que a taxa de retração da linha de costa seja inferior à demonstrada pelo modelo, e que com o passar do tempo a linha de costa sofra uma readequação, diminuindo os processos de retração no local.

A taxa de progradação da linha de costa para área analisada pode ser observada ao norte da área de instalação do Estaleiro EISA Alagoas, devido as estruturas de mar "barrarem" o transporte de sedimentos para o sul do mesmo. Nesta região, portanto, é observada uma variação acrescional máxima de 2,22 m/ano (Figura 33). É ainda importante destacar que também é observada uma área de progradação imediatamente ao sul da área de retração da linha de costa, onde se observa uma taxa de progradação máxima de 3,14 m/ano, sendo que este local é alimentado pelo sedimento retirado da área de retração observada imediatamente ao norte deste local (Figura 33).

A Figura 33 apresenta a linha de costa resultante para um período de simulação de 10 anos, sendo que na Figura 34 pode-se observar em detalhe a linha de costa resultante na área próxima ao Estaleiro EISA Alagoas, onde está prevista a maior taxa anual de retração da linha de costa.

Em ambas as figuras (Figura 33 e Figura 34) observa-se áreas de progradação, que são sucedidas de uma área de retração da linha de costa e novamente uma área de progradação. Isto ocorre devido a primeira área de progradação ser resultado do “barramento” da deriva litorânea pela estrutura de mar do Estaleiro EISA Alagoas. A segunda área de progradação ocorre devido a esta receber sedimentos retirados da área de retração da linha de costa, sofrendo desta forma uma progradação da linha de costa, no setor mais a sul, podendo este sedimento também estar sendo transportado de regiões mais ao norte pela deriva litorânea presente na região.

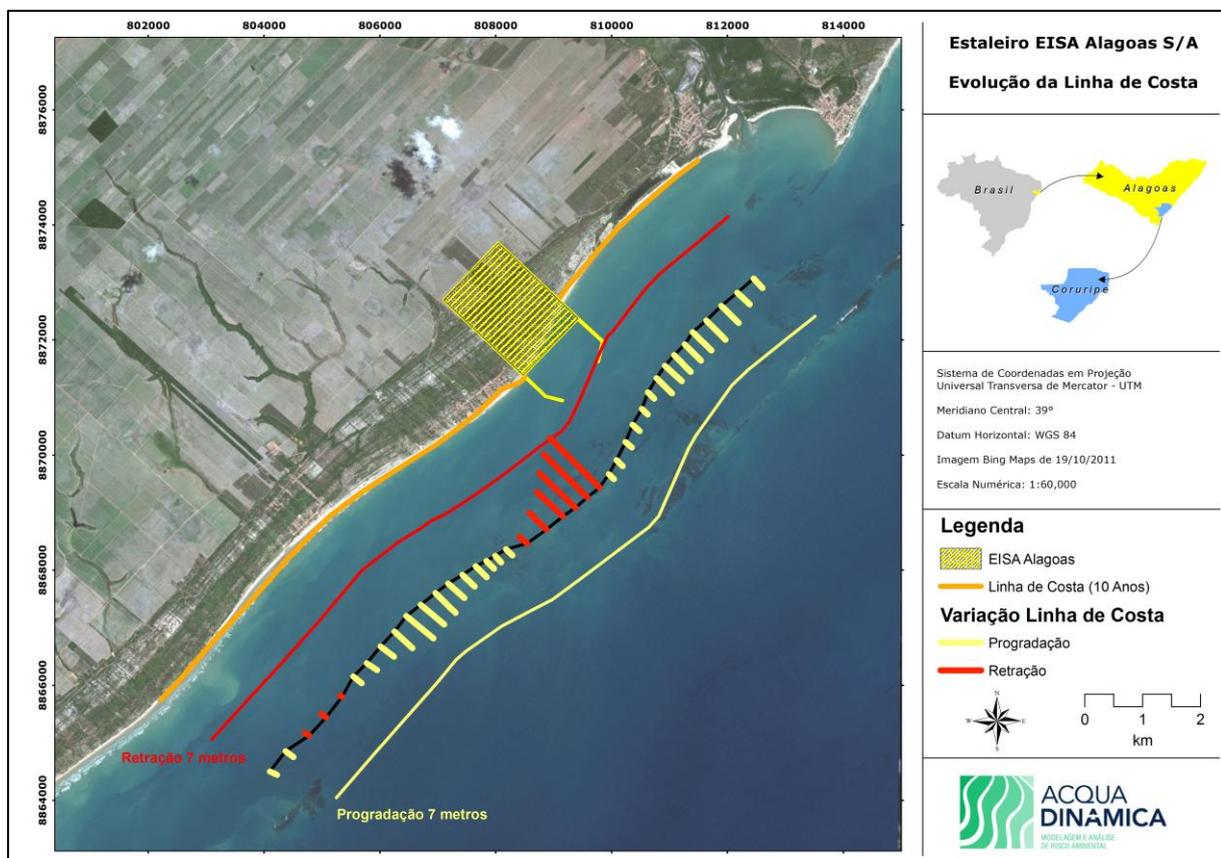


Figura 33. Taxas de variação da linha de costa para a área próxima ao local de instalação do Estaleiro EISA Alagoas, litoral de Coruripe, AL, onde a linha vermelha representa uma retração máxima de 7 metros e a linha amarela uma progradação máxima de 7 metros.

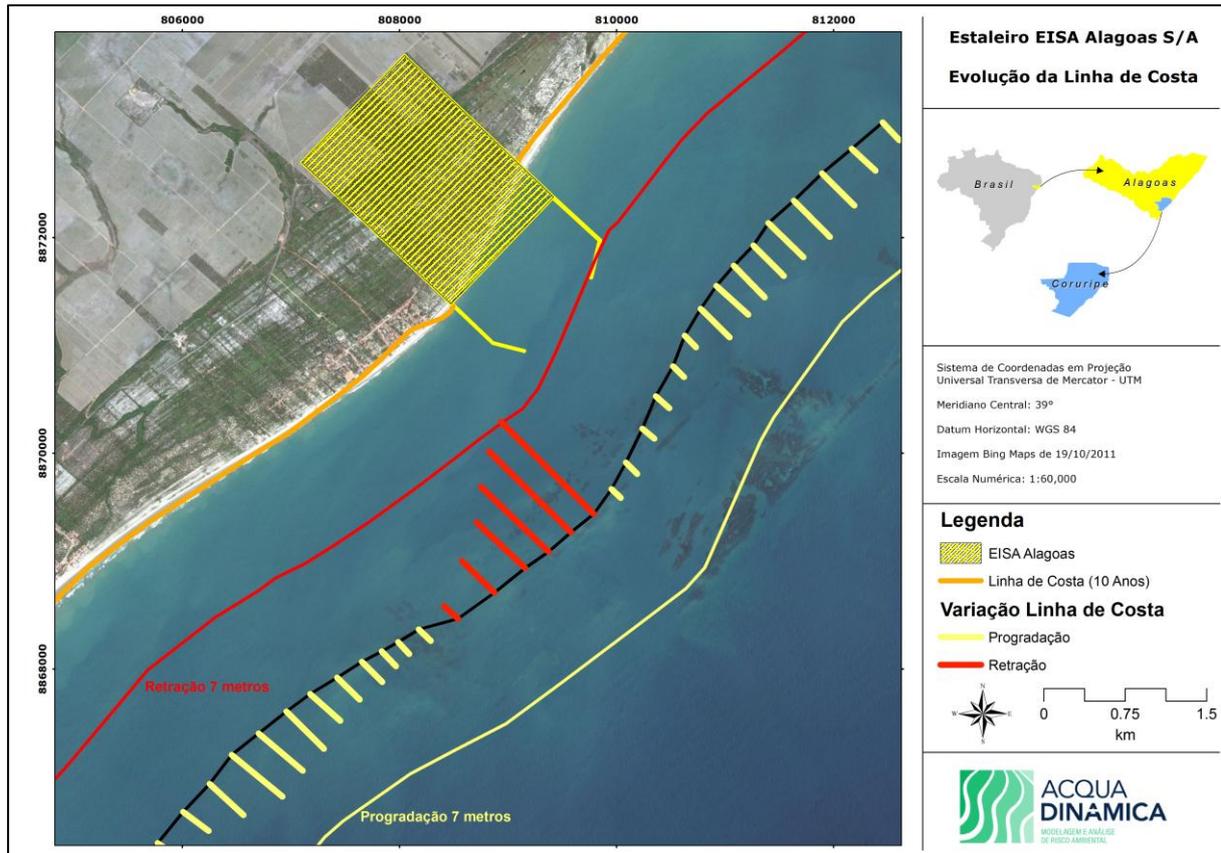


Figura 34. Detalhe da taxa de variação anual da linha de costa para a área próxima ao local de instalação do Estaleiro EISA Alagoas, litoral de Coruripe, AL, onde a linha vermelha representa uma retração máxima de 7 metros e a linha amarela uma progradação máxima de 7 metros.

### 4.3. Alternativas para a Transposição de Sedimentos

Com o intuito de minimizar o impacto no transporte de sedimentos ao longo da costa e na evolução da linha de costa causados pela instalação das estruturas de mar do Estaleiro EISA Alagoas, sugere-se que seja realizada uma transposição de sedimentos da porção norte dos quebra-mares do empreendimento para a porção sul do segmento praial. O volume sugerido para evitar o processo de retração da linha de costa é de que seja realizada uma transposição de 44.000 m<sup>3</sup>/ano. Este valor foi calculado pelo modelo numérico, a partir das taxas de retração da linha de costa (-0,90 a 7,42 m/ano), multiplicado pela extensão da linha de costa aonde ocorre o processo de retração (1.600 metros), e depois multiplicado pelo prisma de sedimentos ativos da praia (8 metros), referente a profundidade de fechamento interna do perfil praial (-6m), somada a altura do berma da praia (2 metros).

Destaca-se que o modelo não demonstrou que o sedimento seja transportado indefinidamente para sul após a área de retração, isso ocorre devido a existência de outra saliência localizada na porção extrema sul da área analisada.

Esta saliência caracteriza outra zona de proteção das ondas fazendo com que a energia de transporte diminua e o sedimento seja depositado na região entre as duas saliências, como demonstrado na Figura 33.

Existem vários tipos de sistemas de transposição artificial de sedimentos, podendo estes serem agrupados em três grupos distintos quanto à sua mobilidade e períodos de funcionamento: (1) sistemas fixos; (2) sistemas móveis; e (3) sistemas semi-móveis. Os sistemas fixos estão normalmente associados a uma utilização contínua de modo a maximizar o rendimento, enquanto os sistemas móveis ou semi-móveis estão normalmente associados a uma utilização periódica (BODGE, 2003).

#### **4.3.1. Sistemas Fixos**

Este método de transposição artificial de sedimentos envolve dragagens ou escavação de sedimentos. Também está associado a transferências contínuas de sedimentos. Este método traduz-se no uso de dragas que operam instalados de forma permanente numa determinada localização, como por exemplo nos quebra-mares. Este tipo de transposição artificial de sedimentos necessita de algumas máquinas além das dragas, para a realização do transporte do sedimento. No caso do transporte ser feito por terra, são necessários caminhões para o transporte dos sedimentos e, no caso desse transporte ser feito por mar, embarcações próprias para o transporte de sedimentos, tais como barcaças.

#### **4.3.2. Sistemas Semi-Móveis**

Os sistemas semi-móveis envolvem normalmente o uso de bombas ou dragas, que são colocadas num local durante um determinado período de tempo e depois são movimentadas para outro local (Figura 35). O transporte da areia extraída pode ser feito por barcaças ou caminhões.

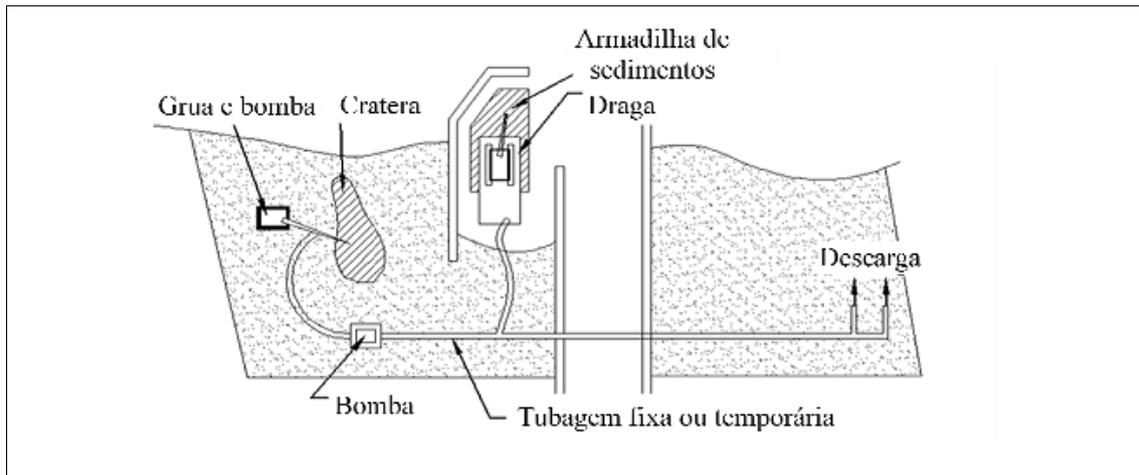


Figura 35. Esquema de um sistema semi-móvel de transposição artificial de areias (adaptado de BODGE, 2003).

### 4.3.3. Sistemas Móveis

Os sistemas móveis (Figura 36) englobam dispositivos de dragagem flutuante ou sistemas colocados na zona costeira, que são utilizados para retirar (dragar) o sedimento de um local e transportá-lo para uma área de despejo.

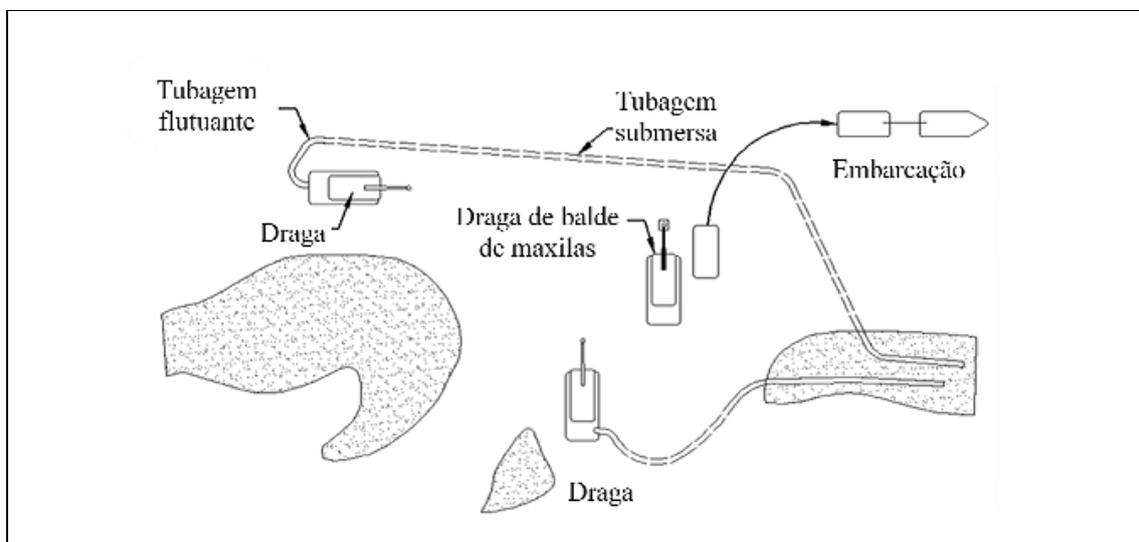


Figura 36. Esquema de um sistema semi-móvel de transposição artificial de areias (adaptado de BODGE, 2003).

O uso de dispositivos flutuantes permite, normalmente, a transferência de grandes quantidades de sedimentos e uma grande mobilidade. As soluções implementadas na costa transferem quantidades menores de sedimentos, requerem um acesso através da praia e têm menos exigências em relação à proteção marítima.

#### 4.3.3.1. Equipamentos de Transporte

Em sistemas móveis os sedimentos extraídos podem ser armazenados em barcaças, fluidificados com água limpa e posteriormente depositados nas praias através de um sistema de tubagens (VELOSO-GOMES, 2001). Outra forma de descarga dos sedimentos extraídos é através da abertura dos porões da barcaça de transporte (Figura 37), que faz a descarga direta dos sedimentos, em zonas submersas, desde que haja profundidade suficiente para a barcaça se movimentar. Sendo que os sedimentos sendo depositados na porção ativa do perfil praial (zona de surfe), a ação das ondas tenderá a redistribuir este sedimento naturalmente ao longo do perfil e recomporá a praia.

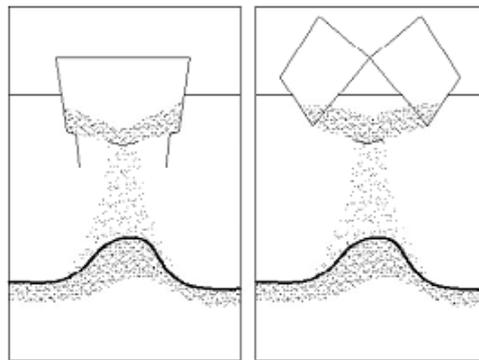


Figura 37. Descarga de sedimentos através da abertura dos porões (adaptado de CEM, 2003).

Outros sistemas de descarga muito usados em operações de transposição artificial de areias são os sistemas de descarga em arco-íris (Figura 38). São sistemas hidráulicos que consistem numa descarga em forma de jato, em que o sedimento é projetado através de um tubo montado na barcaça. A mistura de areias e água é assim depositada nas praias em forma de arco. Este tipo de embarcação permite um alcance de projeção dos sedimentos na ordem dos 100 metros (BODGE, 2003).



Figura 38. Sistema de descarga em arco-íris (VAN OORD, 2013).

A descarga de sedimentos recorrendo a meios terrestres também é uma solução, em que o material, extraído de forma hidráulica ou mecânica, é transportado por caminhão. Esta solução tem algumas limitações, pois necessita de acessos adequados que permitam o deslocamento do caminhão e é viável apenas para pequenos volumes de transposição.

#### **4.3.4. Transposição de sedimentos para o Estaleiro EISA Alagoas**

Para a transposição dos sedimentos do Estaleiro EISA Alagoas sugere-se que seja realizada uma dragagem na porção ao norte da estrutura do mar do Estaleiro, em um volume aproximado de 44.000 m<sup>3</sup>/ano, e que este sedimento seja depositado imediatamente ao sul da estrutura de mar, para que posteriormente este sedimento seja redistribuído naturalmente pela deriva litorânea, recompondo o ambiente praiar.

Outra alternativa seria a retro-alimentação dos sedimentos da área de progradação existente imediatamente ao sul da área de retração e a colocação deste sedimento ao lado do quebra-mar sul do Estaleiro. Esta alternativa poderia facilitar a reposição do sedimento e minimizar os custos de dragagem e transpasse da área ao norte.

Sugere-se que seja realizada a transposição através de dragagem e transporte através de barcas para disposição do sedimento na região da zona de surfe para recomposição do perfil praiar e minimizar os processos de retração da linha

de costa. O processo de transposição deve ser realizado, inicialmente, com uma frequência de três vezes ao ano (quadrimestral), com um volume aproximado de 15.000 m<sup>3</sup> para cada campanha de transposição de sedimentos.

Adicionalmente à transposição de sedimentos, é importante observar a importância de se realizar um monitoramento da praia através de perfis praias mensais, em uma distância mínima de 3 quilômetros ao norte e ao sul do Estaleiro EISA Alagoas. Assim, será possível realizar o eficiente acompanhamento dos processos de retração e progradação ocorrentes da linha de costa, bem como readequar o processo de transposição de sedimentos, caso necessário, diminuindo ou aumentando a frequência de operações de transposição de sedimentos.

## 5. CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou os resultados de simulação da evolução da linha de costa para um período de 10 anos, com o intuito de analisar a influência da instalação das estruturas de mar do Estaleiro EISA Alagoas, ao longo da linha de costa da praia de Miaí de Cima, no litoral do Município de Coruripe, sul de Alagoas.

Os resultados do transporte de sedimentos ao longo da costa foi realizado através da realização de estudo de modelagem numérica utilizando o módulo UNIBEST LT. Para a caracterização do clima de ondas junto à costa, da deriva litorânea e do transporte de sedimentos, foram utilizados cinco perfis batimétricos que posteriormente foram extrapolados para toda a área de estudo no módulo UNIBEST CL, que possibilita o cálculo da evolução da linha de costa.

O cálculo dos volumes de sedimentos transportados ao longo da costa para cada perfil topográfico modelado variou entre 13.590 m<sup>3</sup>/ano, para o perfil Norte 02, localizado na porção mais protegida da praia ao norte, e 59.390 m<sup>3</sup>/ano no perfil Sul 01, localizado próximo ao quebra-mar sul do Estaleiro EISA Alagoas, onde foi evidenciada a maior retração da linha de costa.

A evolução da linha de costa para um período de 10 anos foi realizado através do modelo UNIBEST CL utilizando os resultados do modelo UNIBEST LT e dados de ondas de 13 anos e 10 meses obtidos de uma reanálise do modelo *WAVEWATCH* III. Os resultados mostraram a ocorrência de uma taxa de retração máxima de 7,47 m/ano para a porção localizada imediatamente ao sul do quebra-mar do Estaleiro EISA Alagoas, sendo que a área de retração se estende até 1.600 metros ao sul, aonde a retração alcançou o valor mínimo de 0,90 m/ano.

A taxa de progradação da linha de costa para área analisada pode ser observada ao norte da área de instalação do Estaleiro EISA Alagoas, devido as estruturas de mar "barrarem" o transporte de sedimentos para o sul do mesmo. Nesta região, portanto, é observada uma variação acrescional máxima de 2,22 m/ano, que se

estende por aproximadamente 2.300 metros da linha de costa. É ainda importante destacar que também é observada uma área de progradação imediatamente ao sul da área de retração da linha de costa, onde se observa uma taxa de progradação máxima de 3,14 m/ano, sendo que este local é alimentado pelo sedimento retirado da área de retração observada imediatamente ao norte deste local, e se estende por 3.200 metros de linha de costa.

Destaca-se que o modelo demonstra que o sedimento não é transportado indefinidamente para sul após a área de retração. Isso ocorre devido a existência de outra saliência localizada na porção extrema sul da área analisada. Esta saliência caracteriza a existência de outra zona de proteção das ondas, fazendo com que a energia de transporte diminua e o sedimento seja depositado na região entre as duas saliências.

Para a transposição dos sedimentos do Estaleiro EISA Alagoas sugere-se que seja realizada uma dragagem na porção ao norte da estrutura do mar do Estaleiro, em um volume aproximado de 44.000 m<sup>3</sup>/ ano, e que este sedimento seja depositado imediatamente ao sul da estrutura de mar do Estaleiro EISA Alagoas, para que posteriormente este sedimento seja redistribuído naturalmente pela deriva litorânea, recompondo o ambiente praiial.

Outra alternativa seria a retro-alimentação dos sedimentos da área de progradação existente imediatamente ao sul da área de retração e a colocação deste sedimento ao lado do quebra-mar sul do Estaleiro EISA Alagoas. Esta alternativa poderia facilitar a reposição do sedimento e minimizar os custos de dragagem e transpasse da área ao norte.

Sugere-se que seja realizada a transposição através de dragagem e transporte através de barcaças para disposição do sedimento na região da zona de surfe para recomposição do perfil praiial, e também, minimizar os processos de retração da linha de costa. O processo de transposição deve ser realizado, inicialmente, a com uma frequência de três vezes ao ano (quadrimestral), com

um volume aproximado de 15.000 m<sup>3</sup> para cada campanha de transposição de sedimentos.

Adicionalmente à transposição de sedimentos, salienta-se a importância de se realizar um monitoramento da praia através de perfis praias mensais, em uma distância mínima de 3 quilômetros ao norte e ao sul do Estaleiro EISA Alagoas. Este monitoramento possibilitaria o acompanhamento dos processos de retração e progradação da linha de costa, assim como também, readequar o processo de transposição de sedimentos, caso necessário, o que poderia indicar a diminuição ou aumento da frequência das operações de transposição de sedimentos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Battjes, J. ; J. Janssen. Energy loss and set-up due to breaking of random waves".Em: Proceedings 16th International Conference Coastal Engineering, ASCE, 569-587. 1978.

Bonanata, R., Medina, R., Silveira, L., Benedet, L. Metodologia para la caracterización del clima marítimo en un punto acerca de la costa a partir de una serie de datos em aguas profundas. Em: VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria. Seminario Latinoamericano "Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina". Buenos Aires, Argentina, 1-14 p. 2010.

Bodge, K. (2003); Coastal Engineering Manual, Part V, Sediment Management at Inlets, Chapter V-6, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C., 209 pág.

Booij, N.; R. C. Rs, L. H. Holthuijsen. A third-generation wave model for coastal regions model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 1999.

Carpinteiro, F.U.A. Transposição artificial de areias na barra de Aveiro. Dissertação. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal, 2009.

CEM Coastal Engineering Manual, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (6 volumes), 2003.

Hasselmann, K. Measurement of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Deutsch Hydrogr. Inst.*, 1973.

Phillips, O. M. The dynamics of upper ocean. 2. ed. Cambridge University Press, 1980.

Pinheiro, J.P.T. Avaliação dos Processos de Transposição Artificial de Sedimentos em Embocaduras. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

Sprovieri, F. C. Experimentação numérica do potencial hidrodinâmico e do transporte de sedimentos na praia do cassino e quebra-mar oeste da barra de Rio Grande (RS), utilizando métodos do hiper-cubo, fluxo de energia e modelo SMC. Dissertação de Mestrado, FURG, 2011.

Van Oord Dredging and Marine Contractors, site consultado em maio de 2013. <http://www.vanoord.com/>, 2013.

Veloso-Gomes, F. ; Situação da Costa Nova/Vagueira, Alimentação Artificial e Duna Artificial, FEUP, Instituto da Água, 2001.