



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL

Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - INPH

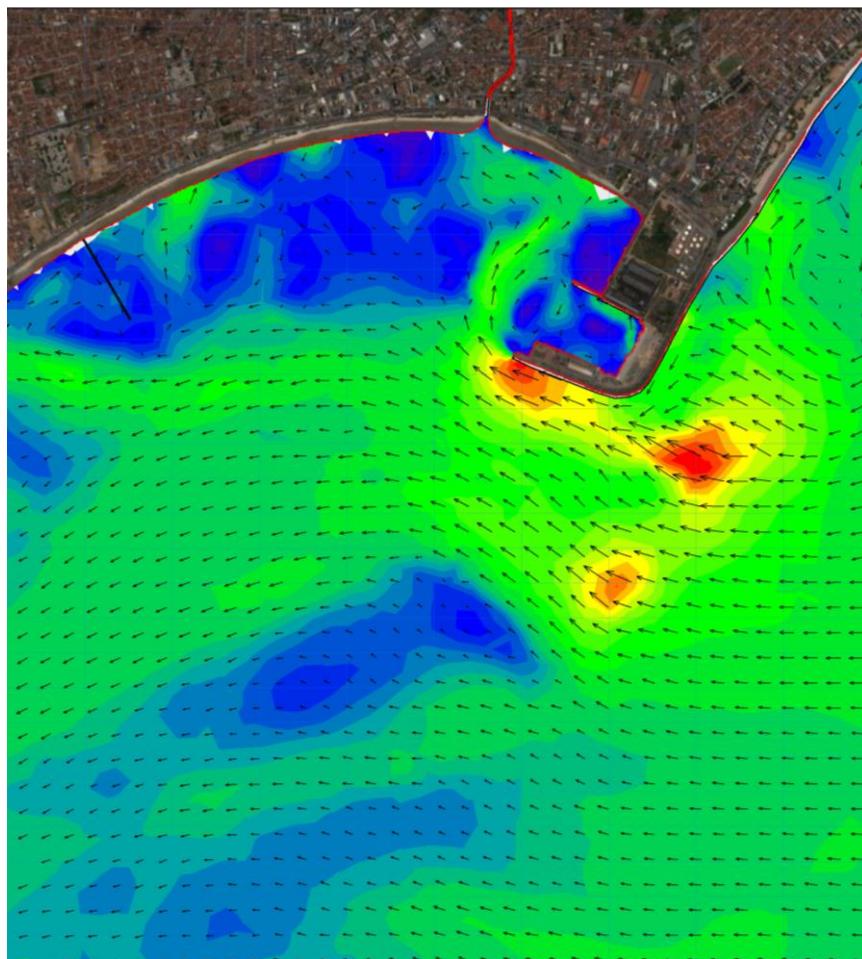


INPH : 024/ 2016 – Rev.01

CÓDIGO : Maceió - 900

## PROJETO BÁSICO

### DRAGAGEM DE APROFUNDAMENTO NO CANAL DE ACESSO, BACIA DE EVOLUÇÃO E BERÇOS DE ATRACAÇÃO PORTO DE MACEIÓ – AL



INPH

Rio de Janeiro  
Dezembro/2016



## APRESENTAÇÃO

O Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias – INPH apresenta o Projeto Básico de Dragagem para o Porto de Maceió, desenvolvido por este Instituto, subordinado ao Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, e elaborado com base em estudos ambientais, hidrodinâmicos, batimétricos, geofísicos e geotécnicos pretéritos, disponibilizados pela Administração do Porto de Maceió.

Fruto de uma reunião realizada em 08/06/2016, nas dependências da Secretaria de Portos da Presidência da República – SEP/PR, da qual participaram representantes da SEP/PR, do INPH e do Porto de Maceió – que buscou, como objetivo geral, compatibilizar alternativas de projeto às necessidades de dragagem nos portos brasileiros e, em particular, encontrar solução intermediária para este porto específico, frente à realidade econômica do País.

Sendo assim, tendo em vista o que ficou decidido naquela reunião, reforçado pelo teor do Ofício APMC N° 119/2016, de 13/06/2016, e reiterado no Ofício nº 246/2016, de 16/09/2016, recebidos do Porto de Maceió, diversas profundidades de projeto foram readequadas, definindo-se o aprofundamento do canal de acesso, bacia de evolução e Berço 7 do Terminal de Granéis Líquidos – TGL, para 11m; do Berço 8 do mesmo TGL, para 9m; do Cais Comercial e Terminal Açucareiro (Berços 2, 3, 4 e 6), para 10,5m e do Cais de Fechamento (Berço 1), para 10m.

Atenciosamente.

**DOMENICO ACCETTA**  
Diretor do INPH



## SUMÁRIO EXECUTIVO

O volume total a ser dragado no Porto de Maceió será de 1.157.003 m<sup>3</sup>, referente ao somatório de volumes de 854.080 m<sup>3</sup> e 302.923 m<sup>3</sup>, respectivamente a serem dragados por uma draga autotransportadora de cisterna com capacidade de 4700 m<sup>3</sup> e por uma draga do tipo Backhoe, associada a dois batelões de carga.

Comtemplam-se a dragagem do canal de acesso, bacia de evolução e Berço 7 do Terminal de Granéis Líquidos – TGL, para 11m; do Berço 8 do mesmo TGL, para 9m; do Cais Comercial e Terminal Açucareiro (Berços 2, 3, 4 e 6), para 10,5m e do Cais de Fechamento (Berço 1), para 10m.

<b>DRAGAGEM DO PORTO DE MACEIÓ - AL</b> <b>CRONOGRAMA FÍSICO</b> <i>Base: Julho / 2016</i>										
<b>ITENS</b>	<b>DISCRIMINAÇÃO</b>	<b>UNID.</b>	<b>QUANT.</b>	<b>MÊS 0</b>	<b>MÊS 1</b>	<b>MÊS 2</b>	<b>MÊS 3</b>	<b>MÊS 4</b>	<b>MÊS 5</b>	<b>MÊS 6</b>
<b>1 MOBILIZAÇÃO</b>										
1.1	Draga Autotransportadora 4.700 m	dias	19							
1.2	Draga Backhoe + 2 Batelões	dias	43							
<b>2 DRAGAGEM</b>										
2.1	Draga Autotransportadora 4.700 m	dias	34							
2.2	Draga Backhoe + 2 Batelões	dias	111							
<b>3 DESMOBILIZAÇÃO</b>										
3.1	Draga Autotransportadora 4.700 m	dias	17							
3.2	Draga Backhoe + 2 Batelões	dias	41							

<b>PREÇO TOTAL REFERENTE AO PORTO DE MACEIÓ - AL</b>		
<b>DRAGAGEM INICIAL</b>		
DRAGA AUTOTRANSPORTADORA 4,700 m <sup>3</sup>	10,180,630.64	R\$
DRAGA BACKHOE (Draga + Batelão de Carga + EA)	14,222,243.06	R\$
<b>TOTAL INICIAL</b>		<b>R\$ 24,402,873.70</b>
<b>MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO</b>		
DRAGA AUTOTRANSPORTADORA 4,700 m <sup>3</sup>	7,176,966.02	R\$
DRAGA BACKHOE (Draga + Batelão de Carga + EA)	5,671,953.23	R\$
<b>TOTAL MOB/DEMOB</b>		<b>R\$ 12,848,919.26</b>
<b>PREÇO TOTAL MACEIÓ</b>		<b>R\$ 37,251,792.96</b>



## EQUIPE TÉCNICA

### Coordenação Geral

Engº Domenico Accetta

- Diretor do INPH

Engº Antônio Paulo dos Santos Pinto

- Vice - Diretor do INPH

### Coordenação Técnica

Engº Paulo César da Silva Freire

- Coordenador de Pesquisas

### Equipe

Geol. Roberto Bianco

Geol. Roberta da Silva Moreno

Engº Luis Pedro Bicalho

M.Sc. Engº Felipe Chaves Martins

M.Sc. Ocn. Rafael Paes Leme Oliveira

M.Sc. Ocn. Reniel da Costa Dalbone

M.Sc. Ocn. Priscila Ferreira

M.Sc. Ocn. Jesuéliton Leis Ribeiro

Geog. Fernanda Godoy

Des. Karla Valente Boim

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DADOS AMBIENTAIS.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Maré e Níveis d'água .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Correntes de Marés .....</b>	<b>3</b>
<b>2.3. Ventos .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. Ondas .....</b>	<b>9</b>
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. Síntese Geológica da Área.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2. Histórico.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3. Dados Batimétricos .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4. Dados Sonográficos .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5. Dados Sísmicos.....</b>	<b>20</b>
<b>3.6. Dados Geotécnicos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.7. Análise Integrada de Dados Geológico-Geofísicos .....</b>	<b>26</b>
<b>4. DESCRIÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1. Modelo Hidrodinâmico - MIKE 21 FM HD .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2. Modelo de Transporte de Sedimentos Finos em Suspensão - MIKE 21 PA.....</b>	<b>31</b>
<b>5. MODELAGEM HIDRODINÂMICA .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1. Metodologia.....</b>	<b>34</b>
<b>5.2. Dados e aspectos utilizados no estudo em análise .....</b>	<b>34</b>
<b>5.2.1. Domínio de modelagem.....</b>	<b>34</b>
<b>5.2.2. Malha de discretização do domínio de modelagem .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2.3. Constantes Harmônicas de maré .....</b>	<b>39</b>
<b>5.2.4. Dados de ventos.....</b>	<b>42</b>
<b>5.2.5. Dados de ondas .....</b>	<b>45</b>
<b>5.3. Resultados e Análises .....</b>	<b>48</b>
<b>5.3.1. Comparação entre níveis e correntes .....</b>	<b>48</b>
<b>5.3.2. Circulação Hidrodinâmica .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3.3. Modelagem dos rejeitos de dragagem no bota-fora .....</b>	<b>54</b>
<b>6. TAXA DE ASSOREAMENTO .....</b>	<b>58</b>
<b>7. DIMENSIONAMENTO DO CANAL DE ACESSO AO PORTO DE MACEIÓ.....</b>	<b>60</b>
<b>7.1. NAVIO-TIPO DE PROJETO: Navio Tanque .....</b>	<b>60</b>
<b>7.2. Características Gerais .....</b>	<b>60</b>
<b>7.3. Determinação da Profundidade do Canal de Acesso .....</b>	<b>60</b>
<b>7.3.1- Movimentos Verticais .....</b>	<b>61</b>
<b>7.3.2 - Folga sob a quilha devido à natureza do solo .....</b>	<b>62</b>
<b>7.3.3 – Squat .....</b>	<b>63</b>
<b>7.3.4 - Cálculo da profundidade para o canal desabrigado (canal externo) considerando o Navio Graneleiro</b>	<b>64</b>
<b>7.4 - Determinação da Largura do canal de acesso .....</b>	<b>65</b>
<b>7.4.1 Largura necessária para Canal de acesso com via única .....</b>	<b>65</b>
<b>7.4.2 - Cálculo da largura para o canal desabrigado (Canal externo) considerando o Navio Tanque .....</b>	<b>66</b>



---

<b>8. QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME A SER DRAGADO.....</b>	<b>67</b>
<b>9. ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS A SEREM UTILIZADOS .....</b>	<b>68</b>
<b>10. CRONOGRAMA.....</b>	<b>69</b>

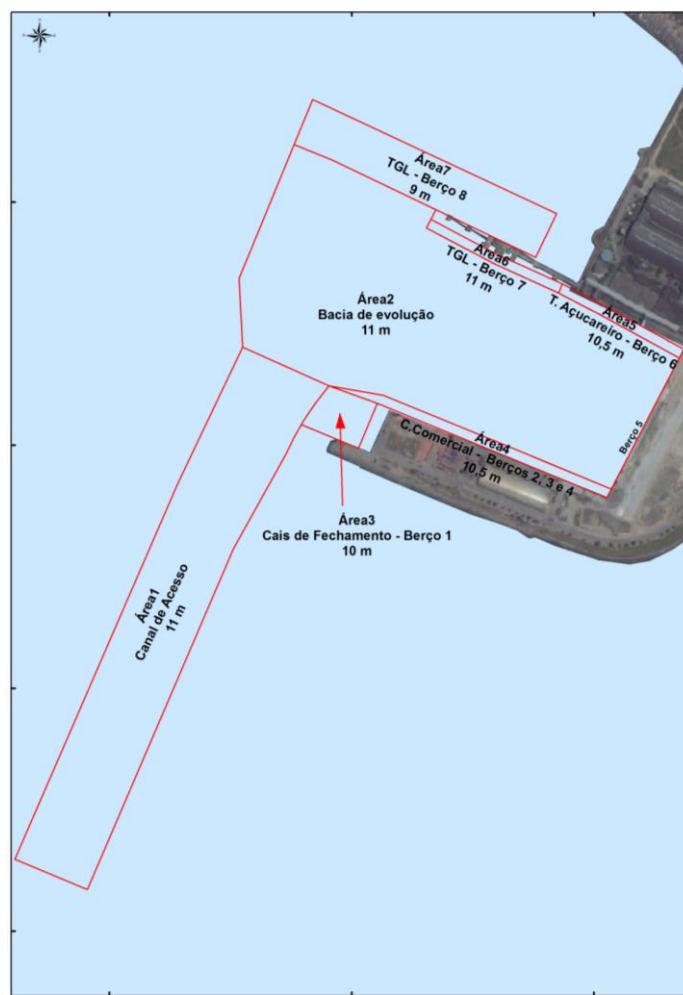
## **ANEXOS**

- OFÍCIOS
- PERFIS
- Planta INPH-220-13 A Rev01 - Levantamento Batimétrico
- Planta INPH-220-13 B Rev01 - Arranjo Geométrico
- Planta INPH-220-13 C Rev01 – Integração de Dados Geológico-Geofísicos
- Planta INPH-220-13 D Rev01 – Mapa de Resistências Máximas do Solo até a Profundidade de Projeto.
- Planta INPH-220-13 E Rev01 – Área de Despejo

## 1. INTRODUÇÃO

Este Projeto Básico foi elaborado a partir das informações contidas no Anteprojeto INPH 019/2016 - Revisão 03, onde os dados apresentados foram suficientes para uma análise conclusiva sobre a volumetria e características do material a ser dragado. As profundidades atuais situam-se entre 8,5 e 10,5 m e o projeto prevê a dragagem para a profundidade de 11m. A localização do canal e as profundidades de projeto podem ser vistas na Figura 1.1, e o projeto geométrico encontra-se em anexo, INPH-220-13 B Rev. 00 (Escala 1: 2.500).

O Projeto Executivo, que representa o estágio mais elaborado e detalhado, envolvendo, caso necessário, o levantamento de dados físicos adicionais, com objetivos de oferecer o suporte técnico necessário à definição do plano de ataque e ao desenvolvimento operacional da obra como um todo, estará sob responsabilidade da empreiteira responsável pela dragagem, após processo licitatório.



**Figura 1.1:** Localização das áreas de dragagem.

Para o planejamento do canal foram levados em consideração certos requisitos básicos de modo a orientar o arranjo geral. Os cálculos aqui executados resultam da consulta aos critérios apresentados nas seguintes publicações:

- Arranjo Geral e Requisitos Básicos (capítulo 5) do Comitê de Recomendações para Obras Portuárias - CROPOR da PORTOBRÁS;
- Waterway Design Considerations do NAVGUIDE (dezembro/93);
- Planejamento Portuário - Aspectos Náuticos da Comissão de Estudos e Planejamento Portuário do Comitê Brasileiro de Construção Civil da Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13246 ABNT (1995);
- Approach Channels - Preliminary Guidelines - First Report of the joint Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC and International Association of Ports and Harbors - IAPH (abril/1995);e
- Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects, U.S. Army Corps of Engineers (2006).

Quando ocorreram critérios diferentes, estes foram adotados de acordo com a situação específica da área de estudo.

## 2. DADOS AMBIENTAIS

É fator essencial para o projeto de qualquer obra de dragagem, o conhecimento do comportamento da região de estudo. Com este objetivo, recorre-se à análise de alguns aspectos físicos, tais como o relevo de fundo da área, as marés, os ventos, as correntes e outros.

Conforme solicitado pela antiga Secretaria de Portos - SEP, uma campanha de levantamento de dados junto à área do Porto de Maceió foi realizada em Janeiro de 2009, a fim de complementar o conhecimento dos fenômenos físico-oceanográficos da região, os quais afetam diretamente as operações de dragagem e operações portuárias. Estes dados estão descritos abaixo.

### 2.1. Maré e Níveis d'água

A maré da região é semidiurna, resultando assim em duas preamarés e duas baixamares. O nível médio encontra-se cerca de 1,2 m acima do nível de redução estabelecido pela DHN para a região (Carta Náutica 901).

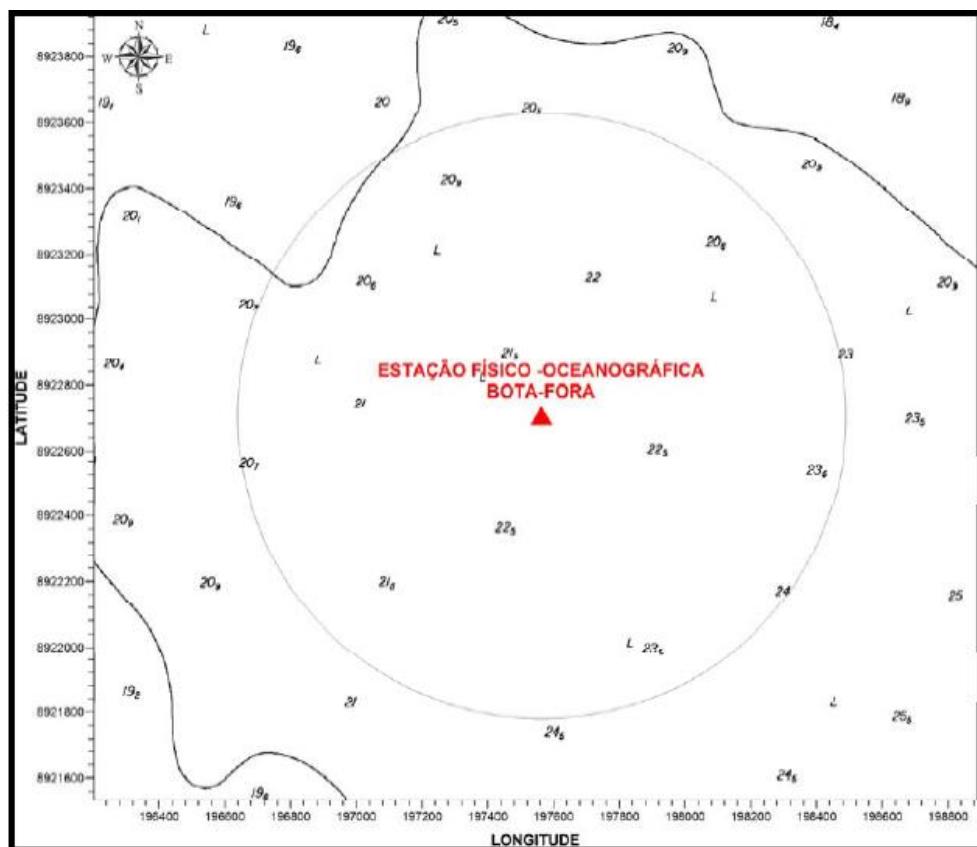
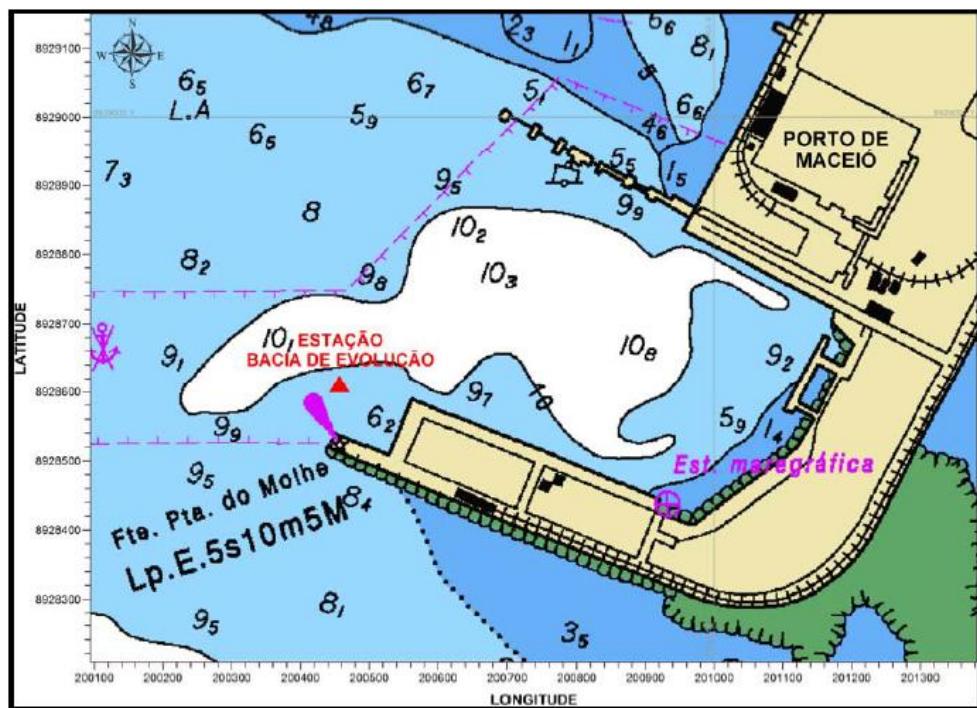
As principais características da maré são: (em relação ao NR da DHN)

- Preamar média de sizígia 2,2m.
- Preamar média de quadratura 1,6m.
- Baixamar média de sizígia 0,2m.
- Baixamar média de quadratura 0,8m.

### 2.2. Correntes de Marés

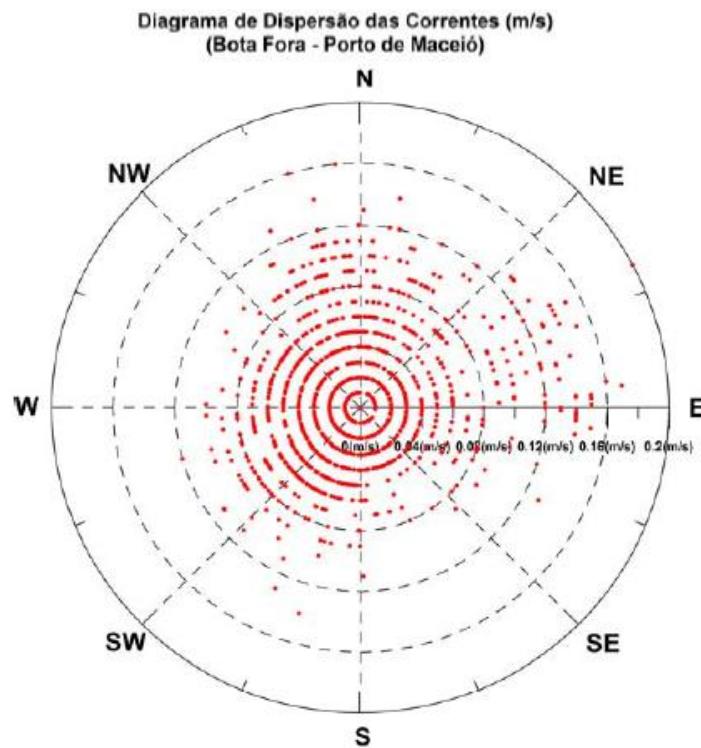
A região do Bota-Fora e a Bacia de Evolução do Porto de Maceió foram monitoradas no verão (período de 17 a 19 de janeiro de 2009), sendo analisados os seguintes parâmetros físicos: altura de coluna d'água, temperatura da água, intensidade e direção das correntes, ondas e turbidez.

Estas medições ocorreram em duas estações de medições, localizadas na Bacia de Evolução do Porto de Maceió ( $09^{\circ} 40' 53.045''$  S /  $35^{\circ} 43' 46.471''$  W) e a estação do Bota-Fora ( $09^{\circ} 44' 4.393''$  S /  $35^{\circ} 45' 22.877''$  W) (Fig. 2.1).



**Figura 2.1:** Localização das duas estações fixas de medição dos parâmetros físico-oceanográficos.

Os vetores de correntes na região do bota-fora ocuparam predominantemente os quadrantes S-SW e N-NE (Fig. 2.2). A intensidade absoluta de corrente variou entre 0,00 e 0,052 m/s nesta região. Observa-se também que as correntes de enchente e vazante foram relativamente mais simétricas.



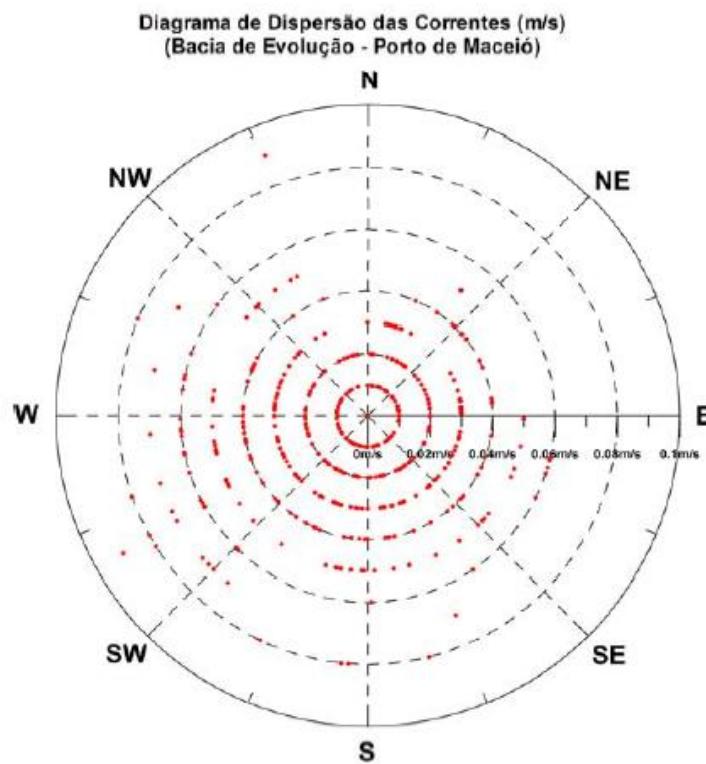
**Figura 2.2:** Diagrama de dispersão das correntes (m/s) para a região do bota-fora.

Durante a medição dos dados de correntes com o ADCP, fundeado na região do bota-fora, foi possível observar a correlação da direção da corrente com os 04 estágios de maré (preamar, baixamar, vazante e enchente). Estes dados de correntes na região do bota-fora foram medidos no período de 18/01/2009 às 15:43 horas até 19/01/2009 às 10:36 horas, fundeado em uma lâmina d'água de aproximadamente 22 metros na porção central da região do bota-fora.

A partir do diagrama de dispersão dos vetores de correntes da bacia de evolução do Porto de Maceió, podemos observar como a corrente de maré sofre uma refração ao se deslocar em direção à bacia de evolução Porto de Maceió, provavelmente causada pelo quebra-mar, posicionado no sentido E-W (Fig. 2.3).

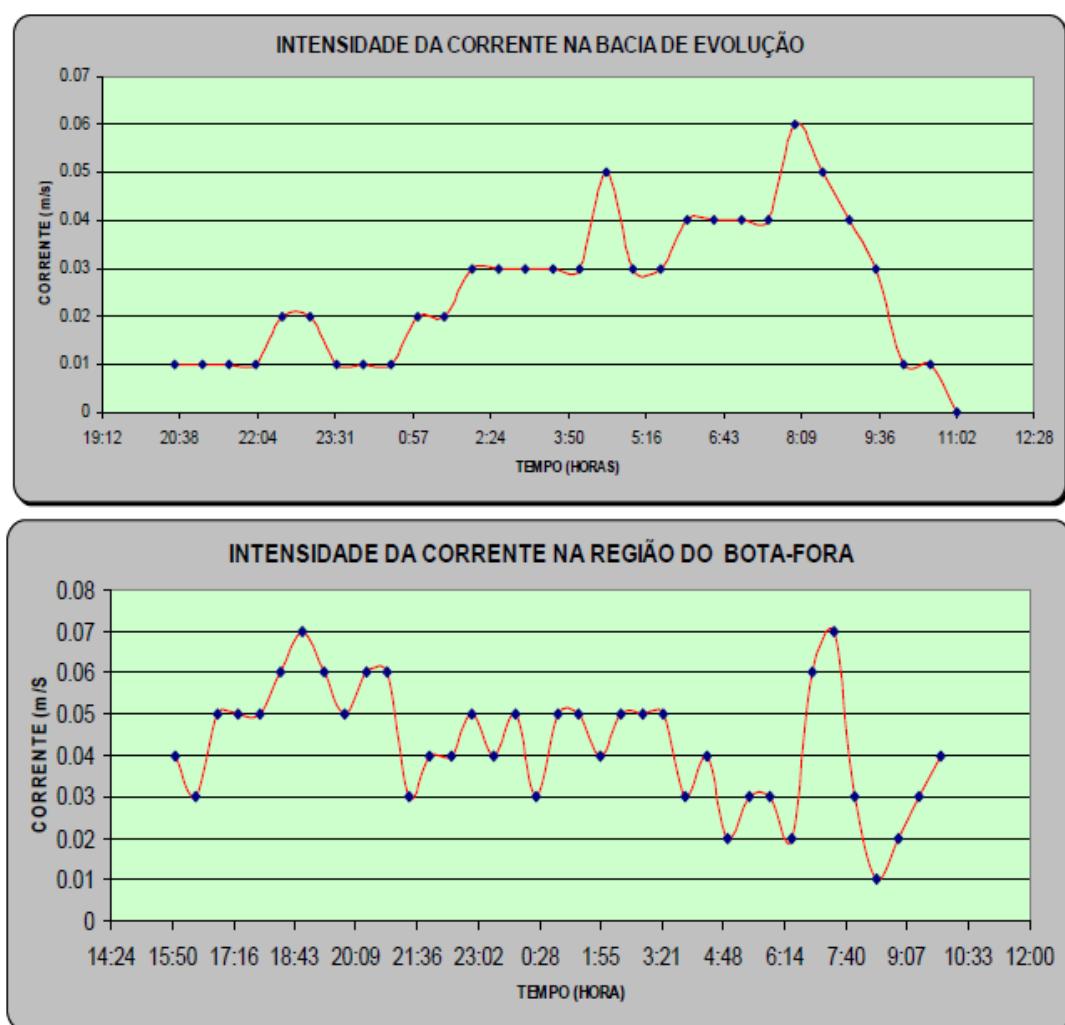
Valores negativos da Componente N-S, fluindo no sentido de maré de enchente, foram verificadas para direções de corrente entre cerca de 225° a 150°. Nesta Campanha de 2009, observou-se correntes de deriva tanto para Oeste como para Leste.

Podemos observar que ocorre uma refração da propagação da onda para o interior da bacia de evolução do Porto de Maceió, com direções provenientes dos quadrantes E-NE (enchente) e W-SW (vazante).



**Figura 2.3:** Diagrama de dispersão das correntes (m/s) para a bacia de evolução e canal de acesso ao Porto de Maceió.

Na Figura 2.4, podemos visualizar melhor a intensidade das correntes na região do bota-fora e na bacia de evolução do Porto de Maceió.



**Figura 2.4:** Intensidade da corrente de maré na área da bacia de evolução e do bota-fora do Porto de Maceió.

### 2.3. Ventos

A região nordeste do Brasil encontra-se localizada no cinturão de ventos alísios. Os ventos alísios que alcançam a costa do Estado de Alagoas são predominantemente provenientes de SE e NE e estas direções são controladas pelos movimentos da Zona de Convergência Intertropical.

A ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao Norte, no atlântico, para posição mais ao Sul, durante o verão austral. Os ventos alísios de Sudeste são mais intensos quando a ZCIT encontra-se ao Norte (agosto a outubro), diminuindo progressivamente com sua migração em direção ao Equador, para alcançar os mínimos anuais durante os meses de março e abril, quando os ventos de Sudeste são mais fracos.

O movimento para o Norte da ZCIT e a intensificação dos ventos de Sudeste que se inicia em maio, apresenta fortes efeitos no oceano, como as variações no padrão da circulação oceânica, variações do nível do mar e o aumento da velocidade das correntes costeiras (Philander & Pacanowski 1986a; Servain & Legler 1986; Molinari & Johns 1994). Além deste ciclo sazonal, o clima da região apresenta uma série de modificações interanuais geralmente associadas ao fenômeno El Niño, como a variação de maior magnitude do ano 1983, quando sofreu uma forte intensificação nos ventos zonais em função do El Niño (Philander & Pacanowski 1986b; Carlton & Shulka 1991).

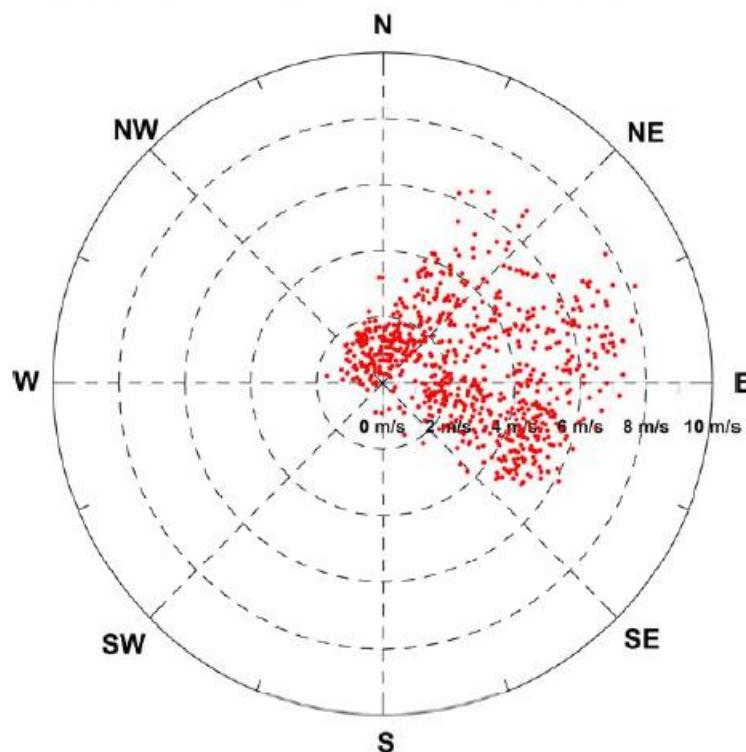
No litoral do Estado de Alagoas na cidade de Maceió os ventos sopram de Leste para Oeste, de Nordeste para Sudoeste e de Sudeste para Noroeste, o que fica claramente evidenciado pela disposição das dunas costeiras. Devido à presença constante e intensa dos ventos alísios, as massas de águas são bem misturadas sem a presença de qualquer estratificação.

A velocidade e direção dos ventos irão influenciar diretamente nos processos costeiros, seja na geração de ondas (que por sua vez irão gerar sistemas de circulação ou correntes costeiras), seja como importante agente na dinâmica sedimentar das praias, constituindo-se o principal responsável pela troca de areias entre as praias e as dunas.

A distribuição sazonal das direções dos ventos não apresenta grandes variações, ocorrendo apenas mudanças na frequência em função de grandes perturbações atmosféricas, cuja intensidade respeita o ciclo climatológico dos ventos na região equatorial.

As direções Leste-Oeste e Nordeste-Sudoeste dos ventos estão relacionadas à ação do Anticiclone Sul que diminui no Norte e Nordeste do Brasil, passando para a atuação da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT.

A partir dos dados de ventos processados para o mês de janeiro de 2009, notou-se que os ventos mais frequentes neste mês são de SE, E e NE. Ventos de Norte ou Sul, dificilmente atuam na região por muito tempo, e os ventos de Oeste, Sudoeste e Noroeste são muito pouco frequentes. O diagrama de dispersão dos vetores de ventos para o mês de janeiro de 2009, mostrado na Figura 2.5.

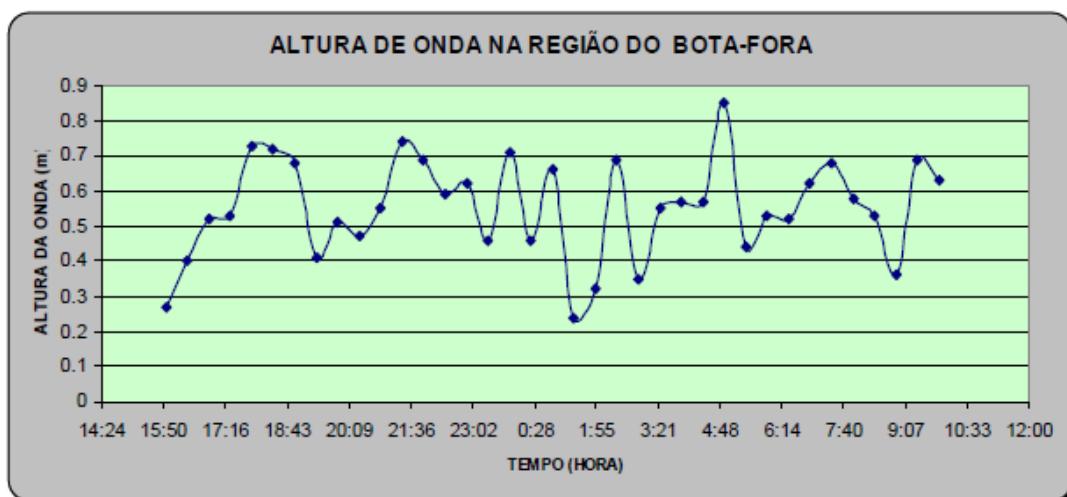
**Diagrama de Dispersão dos Vetores de Ventos (m/s) - Janeiro 2009****Figura 2.5:** Diagrama de dispersão dos vetores de ventos para janeiro de 2009.

## 2.4. Ondas

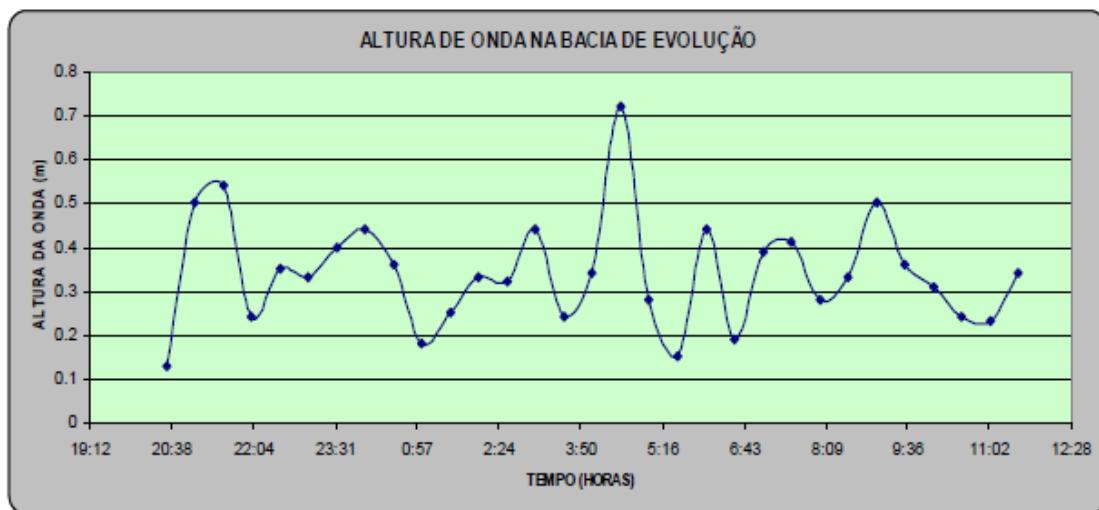
Foram analisados os dados sinóticos de direção e altura significativa ( $H_s$ ) das ondas, na região do bota-fora e na bacia de evolução do Porto de Maceió. Foram medidas a cada 0,5 s com ADCP da NORTEK fundeado nas duas estações fixas de medição.

De acordo com os dados (Fig. 2.6), foi observada a predominância de ondas com alturas significativas próximas a 0,55 metros e alturas máximas de 0,85 metros para a região do bota-fora.

Na bacia de evolução do Porto de Maceió ocorrem alturas mínimas de 0,13 metros, média de 0,34 metros e máximas de 0,72 metros (Fig. 2.7), evidenciando a situação de “bom tempo”, com predominância de mar local, durante todo o período amostrado.



**Figura 2.6:** Freqüência relativa das alturas significativas ( $H_s$ ) dos dados de onda para a região do bota-fora do Porto de Maceió.

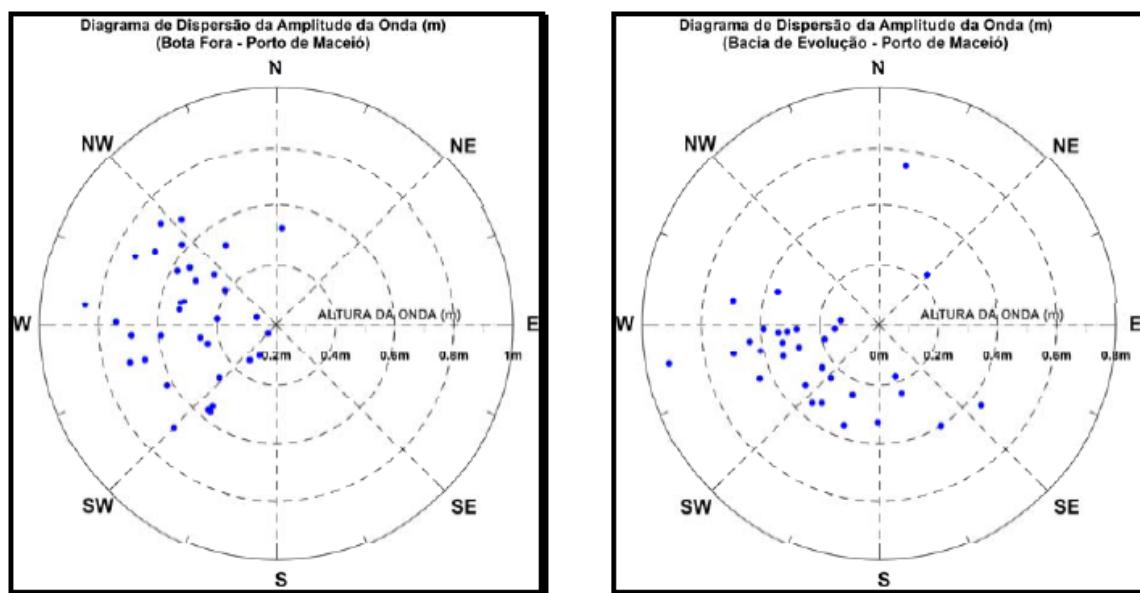


**Figura 2.7:** Freqüência relativa das alturas significativas ( $H_s$ ) dos dados de onda para a região da bacia de evolução do Porto de Maceió.

Conforme anteriormente mencionado, a análise espectral das ondas foi realizada com base num registro muito curto de medição e deve ser considerada com restrições. Apesar disso, foi possível estabelecer uma primeira caracterização do padrão de ondas na região do bota-fora e bacia de evolução do Porto de Maceió. Entretanto, recomenda-se que novas medições de altura de onda sejam efetuadas em todas as estações de medição, utilizando-se uma taxa amostral de 0,5 s e um período de registro de, no mínimo, 10 a 20 minutos. Estes registros devem ser repetidos a cada 30 a 60 minutos num período de monitoramento de pelo menos 15 dias.

O período de pico das ondas ( $T_p$ , s) apresentou mediana de 5,04 s, predominando ondas com  $T_p < 6$  s e alturas significativas ( $H_s$ ) inferiores a 0,30 m. Valores máximos e médios de  $H_s$  foram de 0,85 e 0,13 m, respectivamente.

De acordo com o diagrama de dispersão das alturas das ondas para a região do bota-fora e da bacia de evolução do Porto de Maceió (Fig. 2.8), onde as ondas com amplitude mais fraca vem geralmente do quadrante SE-E e de moderada a forte do quadrante E para a região do bota-fora localizado a cerca de 6 km em direção a offshore. Porém, na dispersão das ondas na bacia de evolução do Porto de Maceió, ocorre uma refração da propagação da onda alterando o sentido e altura da mesma, por exemplo, na Figura 2.8 observa-se que as ondas vêm do quadrante S-SW e do quadrante W, com menos intensidade e amplitude que na região do bota-fora (mar aberto).



**Figura 2.8:** Diagrama de dispersão das alturas de ondas para a região do bota-fora e bacia de evolução do Porto de Maceió.

### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

#### 3.1. Síntese Geológica da Área

De acordo com a literatura técnica, a região de Maceió é constituída, basicamente, por tipos litológicos da Formação Barreiras e de recifes em barreira, que ocorrem paralelamente à praia, formados por arenitos com cimentação calcífera.

Predominam, basicamente:

- *Sedimentos arenosos cinza claros*, nas planícies costeiras;
- *Sedimentos argilo-arenosos*, nos ambientes paludais;
- *Depósitos argilo-arenosos*, com incidência de cascalhos, nas planícies aluviais; e
- *Associações de arenitos e corais*, nos recifes e bancos arenosos.

O trecho do litoral, no qual se encontra a Cidade de Maceió, entre a foz do rio Persinunga e Pontal do Coruripe (Setores 1 e 2, seg. Figura 3.1), apresenta trechos com falésias ativas, esculpidas na Formação Barreiras e em rochas da Bacia Sergipe-Alagoas, além de inúmeros bancos de arenito e recifes de coral, que formam linhas alongadas e descontínuas, paralelas ou adjacentes à linha de costa.

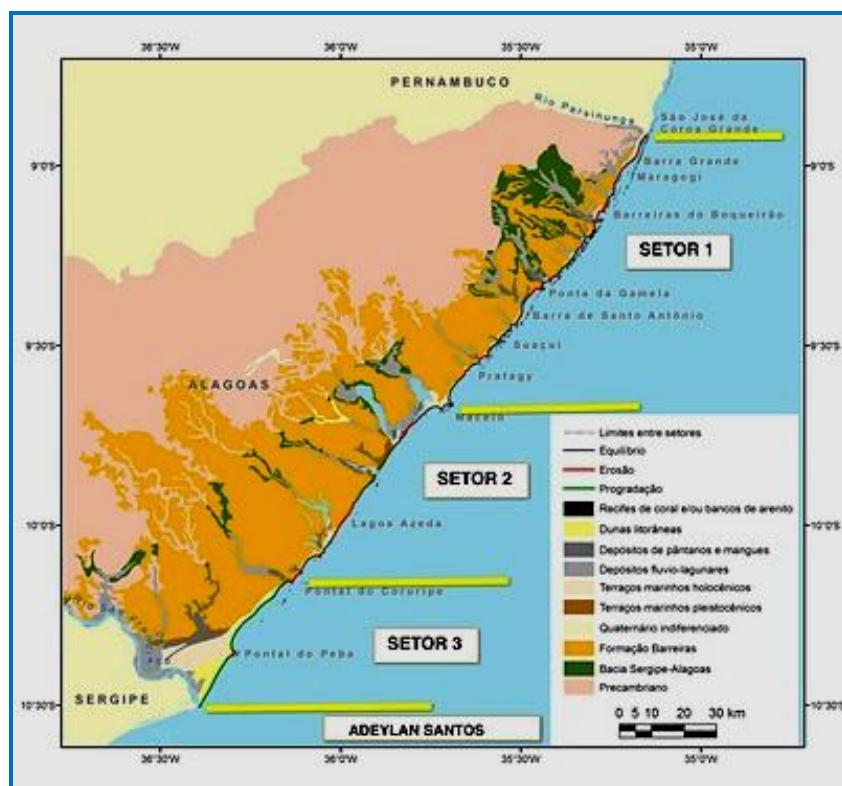
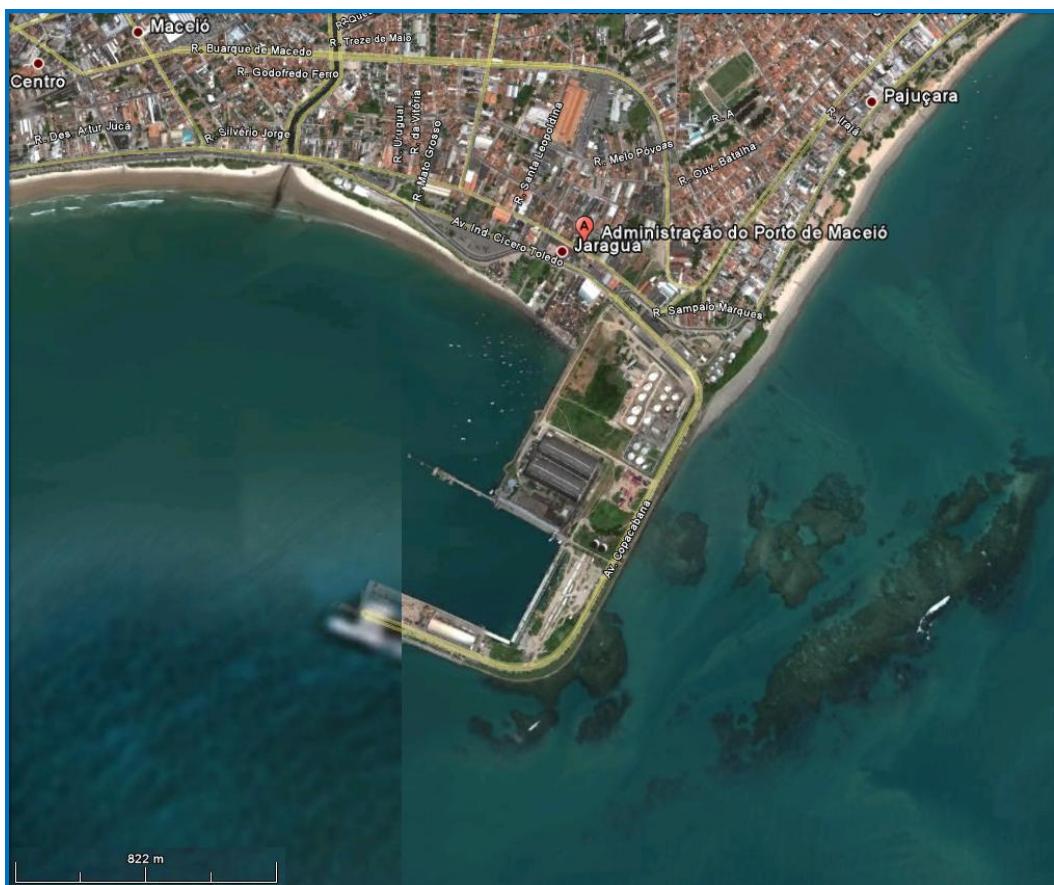


Figura 3.1: Mapa geológico-geomorfológico do estado de Alagoas (Santos, 2006).

Na região do Porto de Maceió ocorrem arenitos de praia, com a concentração de grande quantidade de recifes areníticos e coralígenos, localizados junto à linha de praia (recifes costeiros) ou em manchas recifais (Figuras 3.2 e 3.3).



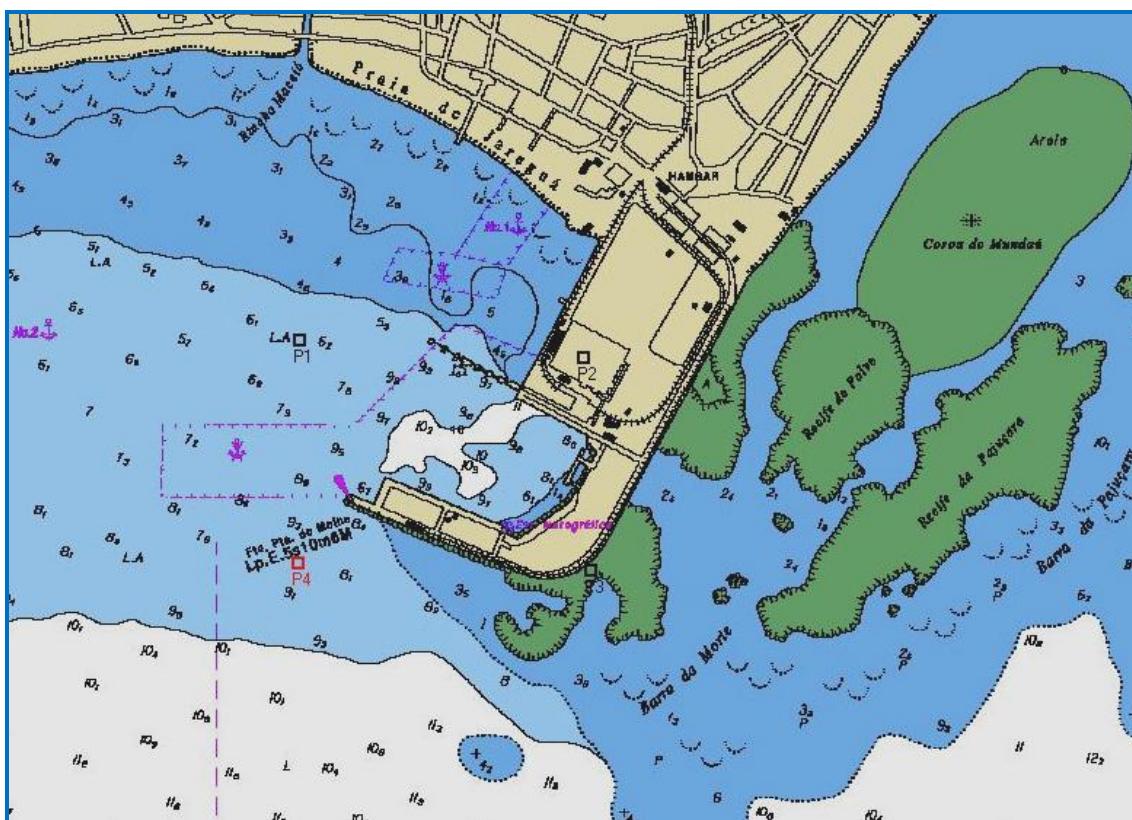
**Figura 3.2:** Localização do Porto de Maceió (Fonte: Google Earth).



**Figura 3.3:** Imagem aérea do porto de Maceió, mostrando os recifes de coral junto à linha de praia.

## **3.2. Histórico**

Originalmente, objetivando subsidiar os serviços de aprofundamento em seu canal de acesso, bacia de evolução e berços de atracação, bem como o projeto de reforço estrutural do cais para 14 metros (Figura 3.4), a Administração do Porto de Maceió – APMC desenvolveu estudos ambientais, geotécnicos e geofísicos, respectivamente realizados em Março/2009, pela empresa G2 MEIO AMBIENTE, em Maio/2010, pela empresa MASTERSOLOS, e em Agosto/2010, pela empresa GEOFFSHORE.



**Figura 3.4:** Porto de Maceió (Fonte: Carta Náutica DHN nº 901).

Os levantamentos geofísicos, executados por meio de batimetria monofeixe, sonografia e sísmica de reflexão com 3,5 KHz, apontaram inúmeros afloramentos rochosos, disseminados ao longo do canal de acesso, bacia e berços de atracação, insinuando possíveis dificuldades ao aprofundamento dessas áreas.

Já os estudos geotécnicos utilizados se referiam a sondagens a percussão, realizadas unicamente junto aos berços de atracação, com o objetivo precípuo de subsidiar o projeto de reforço estrutural desses berços para a profundidade de 14,0m.

Tais estudos geofísicos e geotécnicos, muito embora pudessesem constituir uma indicação viável, porém não obrigatória, sobre a natureza do substrato existente em toda a região, de forma alguma teriam condições de refletir a resistência e demais parâmetros de qualidade dessas rochas, ou, muito menos, afirmar a necessidade de derrocamento desses materiais, como metodologia mais adequada de remoção.

Ao receber e analisar os relatórios enviados pelo Porto de Maceió, que continham tais estudos, e ainda objetivando verificar, face ao tempo decorrido, eventuais modificações significativas na morfologia de fundo, até a profundidade máxima de projeto de 12,5m (DHN), o INPH sugeriu e realizou um levantamento batimétrico de atualização, utilizando, como base, a mesma configuração de área antes investigada pelas empresas GEOFFSHORE e G2.

Deve-se entender, ainda, que seria pouco conveniente tentar estabelecer, apenas com essas informações, o dimensionamento de um projeto de dragagem de aprofundamento, implicando, pelo imponderável envolvido, a possibilidade de um custo muito mais elevado do que seria necessário a tal obra, se forem considerados:

- A aludida carência de dados geotécnicos em todo o restante da extensão da área;
- O fato de que a sísmica de reflexão com 3,5 KHz não foi capaz de determinar, com a precisão desejada, a evolução, em profundidade, das formações rochosas, embora estas estivessem bem definidas lateralmente, nos sonogramas obtidos; e
- Que uma metodologia investigativa indireta, como a geofísica, definitivamente e apenas por si, não possui a capacidade de informar sobre a natureza e, sobretudo, a resistência de sedimentos e rochas, presentes no substrato marinho.

Sendo assim, o INPH recomendou e acompanhou a execução de uma campanha de investigação geotécnica complementar no restante da área de projeto, baseada na realização de uma malha de 62 (sessenta e duas) sondagens a percussão sobre flutuante.

Tal campanha, executada pela empresa MASTERSOLOS, obteve resultados que foram analisados integralmente aos dados da batimetria mais atual, realizada pelo INPH, bem como aos elementos da sonografia executada pela empresa GEOFFSHORE.

Em face de possibilidades futuras, traduzidas no projeto de reforço estrutural dos berços para 14m e pelo anseio da Administração do Porto de Maceió e da própria comunidade portuária local, a sinalizar um eventual e futuro projeto de aprofundamento do acesso aquaviário também para 14m, foi orientada, na programação de tais sondagens geotécnicas, uma profundidade de investigação para 15m (DHN), a fim de se aproveitar, no mesmo evento de mobilização e obviamente a um custo relativo bem inferior, o trabalho que já teria que ser efetuado para a cota mínima de 13,5m.

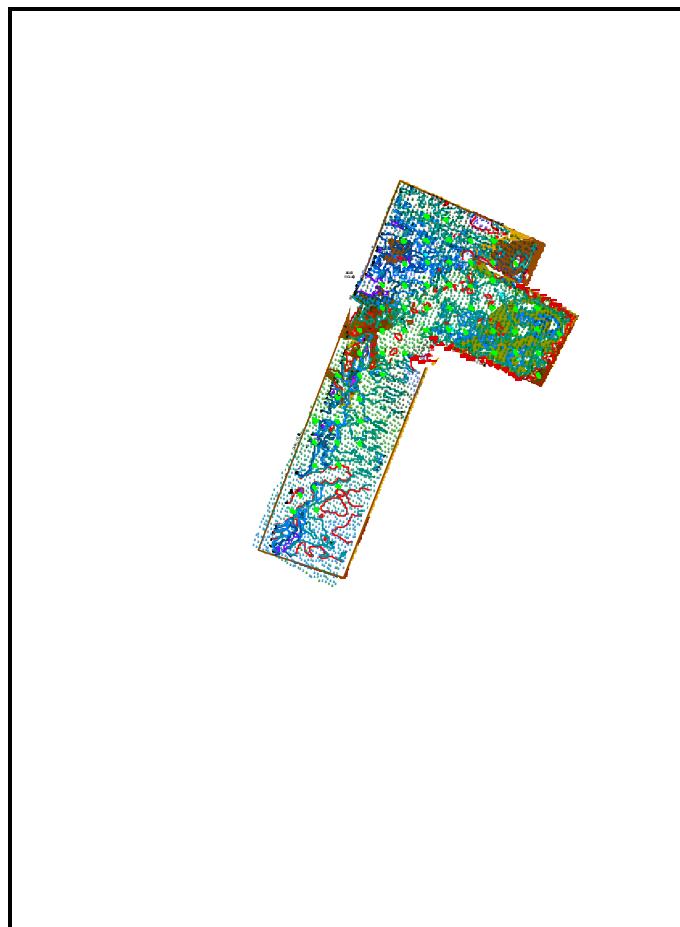
Em reunião, realizada em 08/06/2016, da qual participaram representantes da SEP, do INPH e do Porto de Maceió, estabeleceu-se, como objetivo específico – diante da realidade econômica do País –, compatibilizar o projeto às necessidades imediatas de dragagem para o Porto de Maceió, visando reduzir o custo final e, por conseguinte, viabilizar a obra.

Assim, considerando que nesse porto a profundidade de 10,5m (DHN) tradicionalmente tem se mostrado suficiente à demanda local e ainda em atendimento ao teor dos Ofícios APMC N° 119/2016, de 13/06/2016, e nº 246/2016, de 16/09/2016 do Porto de Maceió, as profundidades de projeto foram readequadas, de acordo com a tabela a seguir:

Área		Berço	Cota de Projeto (m)
1	<b>Canal de Acesso</b>	--	11,0
2	<b>Bacia de Evolução</b>	--	11,0
	<b>Cais de Múltiplo Uso</b>	5	11,0
3	<b>Cais de Fechamento</b>	1	10,0
4	<b>Cais Comercial</b>	2, 3 e 4	10,5
5	<b>Cais Açucareiro</b>	6	10,5
6	<b>TGL (Externo)</b>	7	11,0
7	<b>TGL (Interno)</b>	8	9,0

Entretanto, importa ressaltar, a eventualidade de qualquer projeto futuro, que envolva o aprofundamento do canal de acesso e bacia de evolução para os 14m anteriormente almejados, trará a necessidade de revisar o projeto ora apresentado, associando-o aos estudos complementares ainda necessários, e que sejam minimamente estendidos até as profundidades naturais de 14m, situadas na região mais externa do canal de acesso, a cerca de 3 km do porto (Figura 3.5).

No que concerne ao alinhamento de acesso náutico ao Porto de Maceió, anteriormente alertado pelo INPH, quanto à provável necessidade de adequação do ângulo de aproximação do canal, em busca de profundidades maiores do que 12,5m, tal questão, agora, resta como pouco relevante, em função da nova profundidade máxima de 11m adotada, conforme se pode observar na Carta Náutica nº 920 e na Figura 3.5, a seguir.



**Figura 3.5:** Profundidades naturais de 11m no canal externo não demandam necessidade de ajuste no ângulo de aproximação.

Este item reúne os dados geofísicos e geológicos, considerados de maior relevância e que são específicos à área do Porto, obtidos nas investigações realizadas, integrados sobre uma mesma base cartográfica, que gerou a “**Planta de Integração de Dados Geológico-Geofísicos**”, em anexo (Planta INPH-220-13 C - Rev.00).

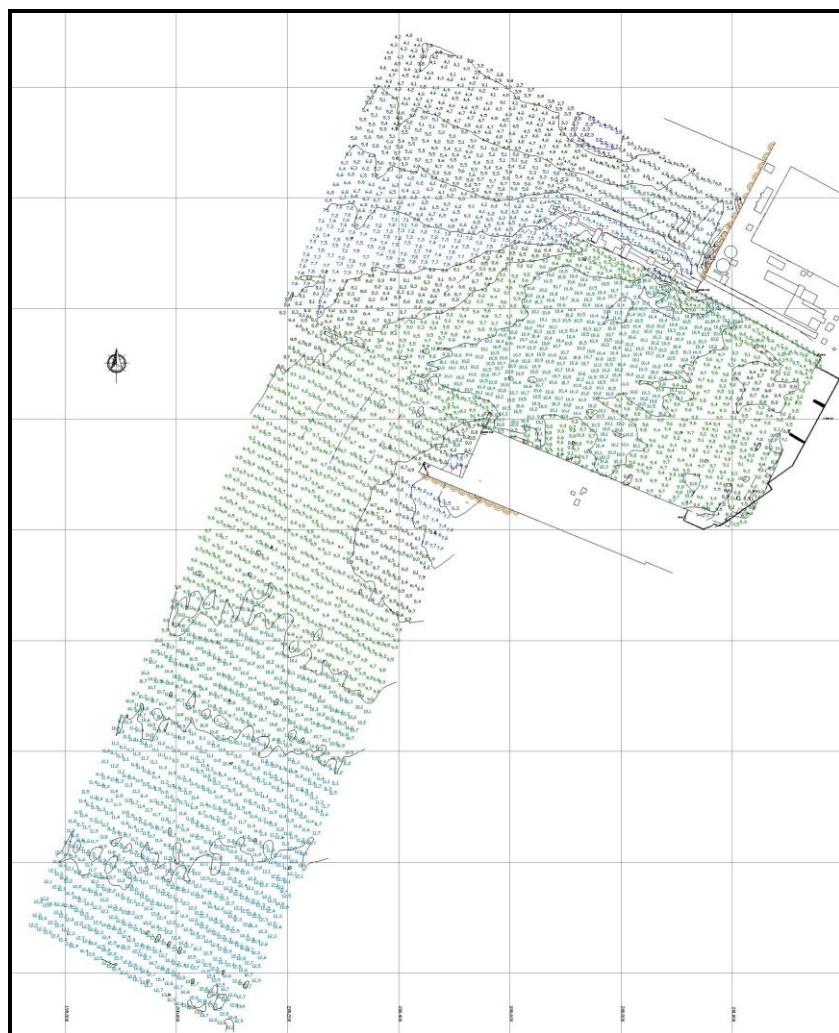
Tal produto serviu como ferramenta básica de avaliação e planejamento, com vistas à readequação do projeto – da profundidade máxima anterior de 12,5m para o máximo de 11,0m, neste momento –, utilizando-se, nas análises e/ou na composição final do desenho, além das informações constantes na literatura técnica, os seguintes elementos:

- Dados batimétricos;
- Dados sonográficos;
- Dados sísmicos; e
- Dados geotécnicos.

### 3.3. Dados Batimétricos

Dados de profundidades obtidas na área do Porto de Maceió, com base no levantamento executado pelo INPH, em Fevereiro/2012, como atualização daquele realizado pela empresa GEOFFSHORE, em Agosto/2010. (Anexo Planta Batimétrica INPH-220-13 A Rev. 00).

Estão representadas as profundidades e respectivas isóbatas, mostrando a morfologia do fundo marinho (figura 3.6).

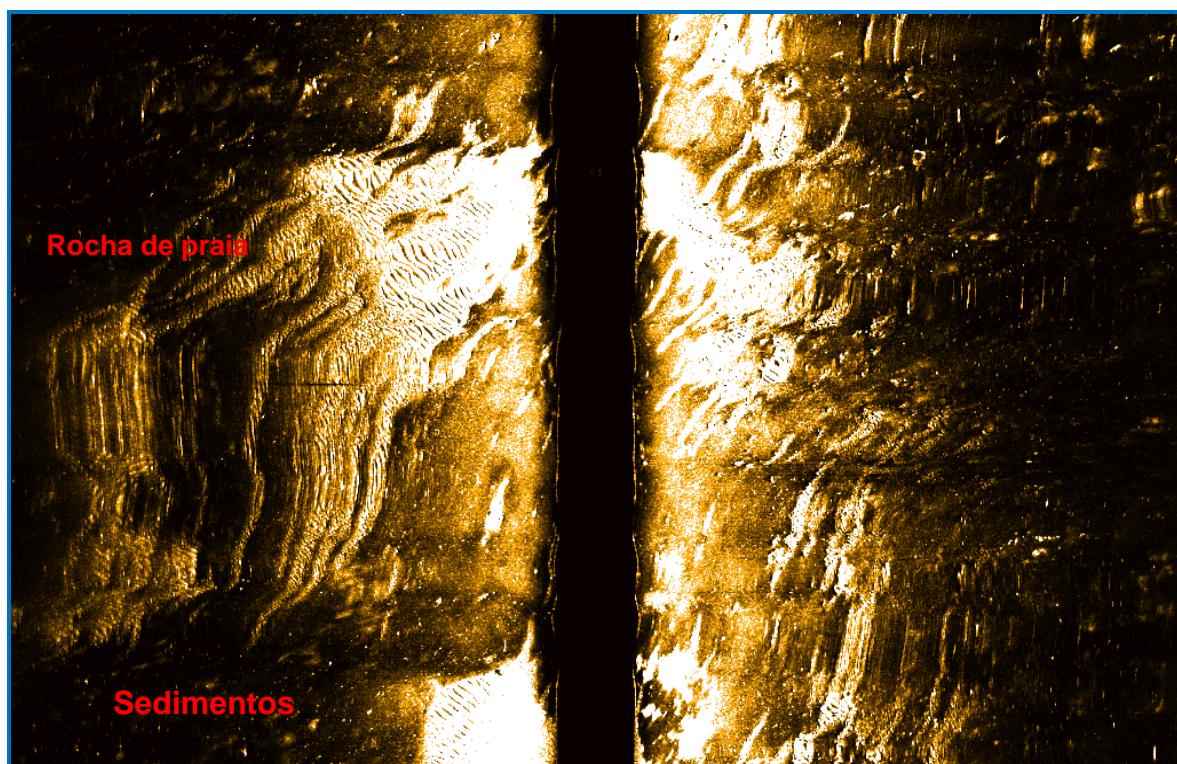


**Figura 3.6:** Batimetria realizada pelo INPH, em 2012.

### 3.4. Dados Sonográficos

Interpretação da faciologia do fundo marinho, como função dos diferentes padrões acústicos, observados nos registros sonográficos e correlacionados a amostragens superficiais de sedimentos de fundo, com base no levantamento com sonar de varredura lateral, executado pela GEOFFSHORE, em Agosto/2010.

Estão representados os diferentes padrões sonográficos, dos quais os mais importantes são aqueles associados a afloramentos rochosos.



**Figura 3.7:** Registro sonográfico típico da área.

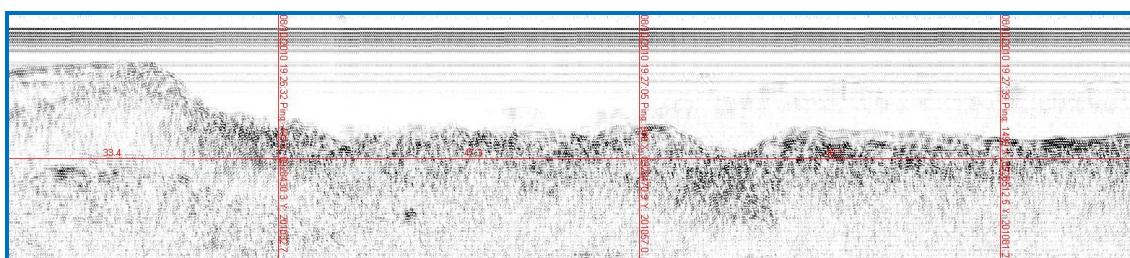
Com base nos padrões acústicos da sonografia, associados às amostragens realizadas, foi interpretada a seguinte composição do fundo marinho:

- Lamas silto-argilosas;
- Areias quartzosas de granulometria fina a média;
- Areias quartzosas finas a médias, associadas a fragmentos de rocha; e
- Afloramentos rochosos.

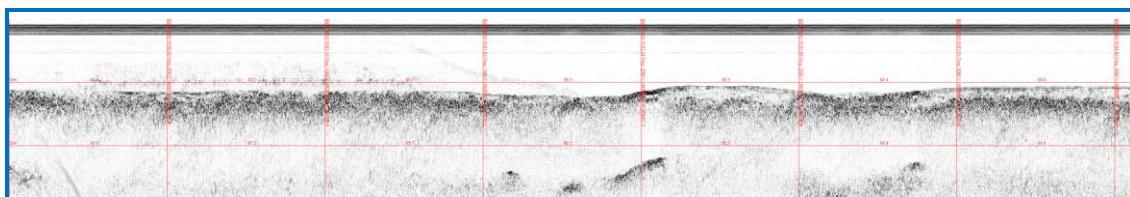
### 3.5. Dados Sísmicos

Em virtude da baixa qualidade dos registros sísmicos observados, basicamente fruto do substrato investigado e do tipo de equipamento utilizado (3,5KHz), os resultados da sísmica, embora verificados, foram pouco reveladores na avaliação sobre a geologia da área, razão pela qual não estão representados na planta final de integração de dados.

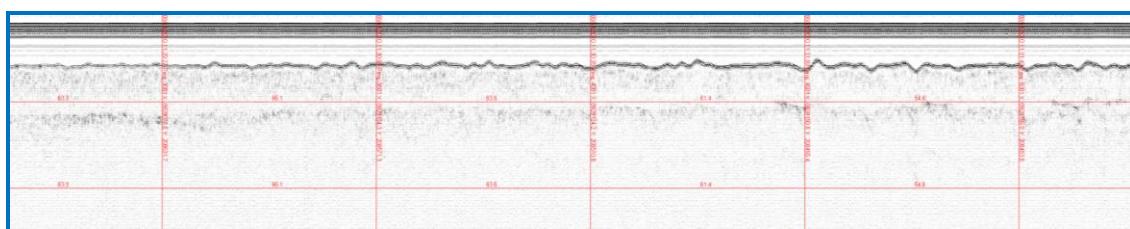
A seguir, são apresentados exemplos de registros sísmicos que mostram a predominância de uma resposta acústica pobre, com o aproveitamento de poucas informações em subsuperfície.



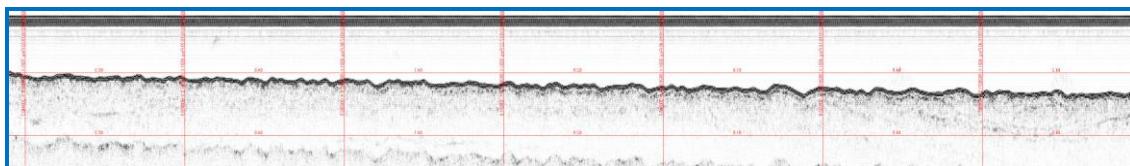
**Figura 3.8:** Trecho de seção sísmica ao longo dos berços de atracação (junto ao cais central).



**Figura 3.9:** Seção sísmica ao longo dos berços de atracação (cais açucareiro) e bacia de evolução.



**Figura 3.10:** Seção sísmica ao longo do 2º berço TGL (centro da área).



**Figura 3.11:** Seção sísmica representativa do canal de acesso (margem direita).

### 3.6. Dados Geotécnicos

Dados resultantes de 62 (sessenta e duas) sondagens geotécnicas a percussão sobre flutuante, executadas pela empresa MASTERSOLOS, em Janeiro/2013.

Na planta de integração, os furos estão identificados com a sua respectiva denominação, constando o índice de penetração (SPT) mais elevado até a cota de projeto, definida para o substrato de cada trecho da área investigada, ou seja, a mais alta resistência, em solo ou rocha, até alcançar a profundidade de projeto, analisada a partir dos boletins definitivos de sondagem, em anexo. A seguir, planilha de controle das sondagens executadas.

CONTROLE SOBRE A EXECUÇÃO DE SONDAZENAS GEOTÉCNICAS															
Empresa: MASTERSOLOS			Obra/Projeto: Projeto de Dragagem - Porto de Maceió (AL)			ATUALIZADO EM 04/02/2013									
Cronologia	Furo	Prof. DHN (m)	ESPESSURA PERFURADA (m)			PERCUSSÃO EM SOLO (Flutuante)			ROTATIVA EM ROCHA (Plataforma)			Posição Programada		Posição Definitiva	
			Solo	Rocha	Total	Início	Término	Status Atual	Início	Término	Status Atual	Datum WGS-84	Datum WGS-84	ESTE	NORTE
SP-01	-4,05	10,45	10,45		10,45	21/01/2013	21/01/2013					200,510,00	8,920,149,00	200,508,00	8,929,148,00
SP-02	-4,70	11,00	11,00	-15,70	21/01/2013	21/01/2013						200,610,00	8,920,140,00	200,596,00	8,929,134,00
SP-03	-4,70	10,45	10,45	-15,15	21/01/2013	21/01/2013						200,810,00	8,920,040,00	200,811,00	8,929,042,00
SP-04	-5,37	10,00	10,00	-15,37	19/01/2013	19/01/2013						200,710,00	8,920,040,00	200,708,00	8,929,039,00
SP-05	-5,00	10,45	10,45	-15,45	22/01/2013	22/01/2013						200,610,00	8,920,040,00	200,611,00	8,929,042,00
SP-06	-5,60	10,00	10,00	-15,60	22/01/2013	22/01/2013						200,510,00	8,920,040,00	200,509,00	8,929,040,00
SP-07	-6,65	9,00	9,00	-15,65	23/01/2013	23/01/2013						200,410,00	8,920,040,00	200,407,00	8,929,040,00
SP-08	-7,15	8,45	8,45	-15,65	23/01/2013	23/01/2013						200,410,00	8,920,940,00	200,411,00	8,928,939,00
SP-09	-6,75	9,00	9,00	-15,75	23/01/2013	23/01/2013						200,510,00	8,920,940,00	200,510,00	8,928,944,00
SP-10	-6,16	9,45	9,45	-15,65	23/01/2013	22/01/2013						200,610,00	8,920,940,00	200,610,00	8,928,942,00
SP-11	-7,75	7,45	7,45	-15,20	19/01/2013	19/01/2013						200,710,00	8,920,940,00	200,708,00	8,928,942,00
SP-12	-6,25	9,00	9,00	-15,25	18/01/2013	18/01/2013						200,810,00	8,920,940,00	200,807,00	8,928,941,00
SP-13	-4,16	11,00	11,00	-15,16	18/01/2013	18/01/2013						200,910,00	8,920,940,00	200,911,00	8,928,942,00
SP-14	-5,00	5,00	5,00	-15,60	16/01/2013	16/01/2013						200,710,00	8,920,940,00	200,708,00	8,928,939,00
SP-15	-11,58	5,00	5,00	-16,58	21/01/2013	26/01/2013						200,710,00	8,920,940,00	200,708,00	8,928,938,00
SP-16	-9,62	6,00	6,00	-15,62	24/01/2013	24/01/2013						200,610,00	8,920,940,00	200,611,00	8,928,942,00
SP-17	-9,85	6,00	6,00	-15,85	24/01/2013	24/01/2013						200,510,00	8,920,940,00	200,509,00	8,928,940,00
SP-18	-7,85	7,45	7,45	-15,30	24/01/2013	24/01/2013						200,410,00	8,920,940,00	200,412,00	8,928,941,00
SP-19	-8,00	8,00	8,00	-16,00	24/01/2013	24/01/2013						200,310,00	8,920,840,00	200,311,00	8,928,943,00
SP-20	-9,60	6,00	6,00	-15,60	26/01/2013	26/01/2013						200,310,00	8,920,740,00	200,310,00	8,928,942,00
SP-21	-9,35	6,00	6,00	-15,35	26/01/2013	26/01/2013						200,410,00	8,920,740,00	200,409,00	8,928,940,00
SONDAZENAS GEOTÉCNICAS NO CANAL E BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE MACÉIO															
Cronologia	Furo	Prof. DHN (m)	ESPESSURA PERFURADA (m)			PERCUSSÃO EM SOLO (Flutuante)			ROTATIVA EM ROCHA (Plataforma)			Posição Programada		Posição Definitiva	
			Solo	Rocha	Total	Início	Término	Status Atual	Início	Término	Status Atual	Datum WGS-84	Datum WGS-84	ESTE	NORTE
SP-22	-9,70	5,00	5,00	-14,70	28/01/2013	28/01/2013						200,510,00	8,920,740,00	200,510,00	8,928,740,00
SP-23	-10,40	5,00	5,00	-15,40	28/01/2013	28/01/2013						200,610,00	8,920,740,00	200,610,00	8,928,740,00
SP-24	-10,20	5,00	5,00	-15,20	26/01/2013	26/01/2013						200,710,00	8,920,740,00	200,711,00	8,928,738,00
SP-25	-10,66	5,00	5,00	-15,66	17/01/2013	17/01/2013						200,810,00	8,920,740,00	200,804,00	8,928,743,00
SP-26	-9,61	6,00	6,00	-15,61	15/01/2013	15/01/2013						200,910,00	8,920,740,00	200,911,00	8,928,738,00
SP-27	-9,24	6,45	6,45	-15,65	15/01/2013	15/01/2013						201,010,00	8,920,740,00	201,007,00	8,928,741,00
SP-28	-9,12	6,00	6,00	-15,12	12/01/2013	12/01/2013						201,110,00	8,920,640,00	201,105,00	8,928,628,00
SP-29	-8,90	6,45	6,45	-15,35	14/01/2013	14/01/2013						201,010,00	8,920,640,00	201,008,00	8,928,644,00
SP-30	-9,00	6,00	6,00	-15,00	15/01/2013	15/01/2013						201,110,00	8,920,640,00	201,108,00	8,928,642,00
SP-31	-8,70	5,45	5,45	-15,15	15/01/2013	16/01/2013						200,810,00	8,920,640,00	200,809,00	8,928,639,00
SP-32	-10,30	5,45	5,45	-15,75	17/01/2013	17/01/2013						200,710,00	8,920,640,00	200,697,00	8,928,634,00
SP-33	-10,41	5,00	5,00	-15,41	18/01/2013	18/01/2013						200,610,00	8,920,640,00	200,606,00	8,928,645,00
SP-34	-9,55	6,00	6,00	-15,55	25/01/2013	25/01/2013						200,510,00	8,920,640,00	200,508,00	8,928,642,00
SP-35	-10,10	5,45	5,45	-15,55	28/01/2013	28/01/2013						200,410,00	8,920,640,00	200,409,00	8,928,642,00
SP-36	-10,50	5,00	5,00	-15,50	28/01/2013	28/01/2013						200,310,00	8,920,640,00	200,309,00	8,928,639,00
SP-37	-9,50	6,00	6,00	-15,50	29/01/2013	29/01/2013						200,210,00	8,920,640,00	200,210,00	8,928,640,00
SP-38	-9,80	6,00	6,00	-15,80	29/01/2013	29/01/2013						200,210,00	8,920,540,00	200,208,00	8,928,542,00
SP-39	-9,60	6,00	6,00	-15,60	29/01/2013	29/01/2013						200,310,00	8,920,540,00	200,309,00	8,928,538,00
SP-40	-9,50	6,00	6,00	-15,50	25/01/2013	25/01/2013						200,410,00	8,920,540,00	200,409,00	8,928,540,00
SP-41	-10,14	5,00	5,00	-15,14	16/01/2013	16/01/2013						200,810,00	8,920,540,00	200,813,00	8,928,540,00
SP-42	-9,70	5,45	5,45	-15,03	14/01/2013	14/01/2013						200,910,00	8,920,540,00	200,909,00	8,928,543,00
SONDAZENAS GEOTÉCNICAS NO CANAL E BACIA DE EVOLUÇÃO DO PORTO DE MACÉIO															
Cronologia	Furo	Prof. DHN (m)	ESPESSURA PERFURADA (m)			PERCUSSÃO EM SOLO (Flutuante)			ROTATIVA EM ROCHA (Plataforma)			Coordenadas UTM (m)		Posição Definitiva	
			Solo	Rocha	Total	Início	Término	Status Atual	Início	Término	Status Atual	Datum WGS-84	Datum WGS-84	ESTE	NORTE
SP-43	-8,95	6,45	6,45	-15,40	11/01/2013	11/01/2013						201,010,00	8,920,540,00	201,011,00	8,928,542,00
SP-44	-8,40	7,75	7,75	-16,15	11/01/2013	11/01/2013						201,010,00	8,920,440,00	201,012,00	8,928,441,00
SP-45	-10,02	5,45	5,45	-15,47	25/01/2013	25/01/2013						200,310,00	8,920,440,00	200,312,00	8,928,447,00
SP-46	-10,13	5,45	5,45	-15,16	30/01/2013	30/01/2013						200,10,00	8,920,440,00	200,11,00	8,928,438,00
SP-47	-10,60	5,00	5,00	-15,00	30/01/2013	30/01/2013						200,110,00	8,920,440,00	200,111,00	8,928,438,00
SP-48	-10,57	4,45	4,45	-15,03	30/01/2013	30/01/2013						200,110,00	8,920,340,00	200,210,00	8,928,338,00
SP-49	-10,40	5,45	5,45	-15,85	29/01/2013	29/01/2013						200,210,00	8,920,240,00	200,211,00	8,928,237,00
SP-50	-10,06	5,00	5,00	-15,06	31/01/2013	31/01/2013						200,110,00	8,920,240,00	200,108,00	8,928,237,00
SP-51	-11,60	5,00	5,00	-15,60	30/01/2013	30/01/2013						200,010,00	8,920,240,00	200,008,00	8,928,240,00
SP-52	-11,15	4,00	4,00	-15,15	01/02/2013	01/02/2013						200,010,00	8,920,140,00	200,007,00	8,928,140,00
SP-53	-11,25	4,00	4,00	-15,25	01/02/2013	01/02/2013									

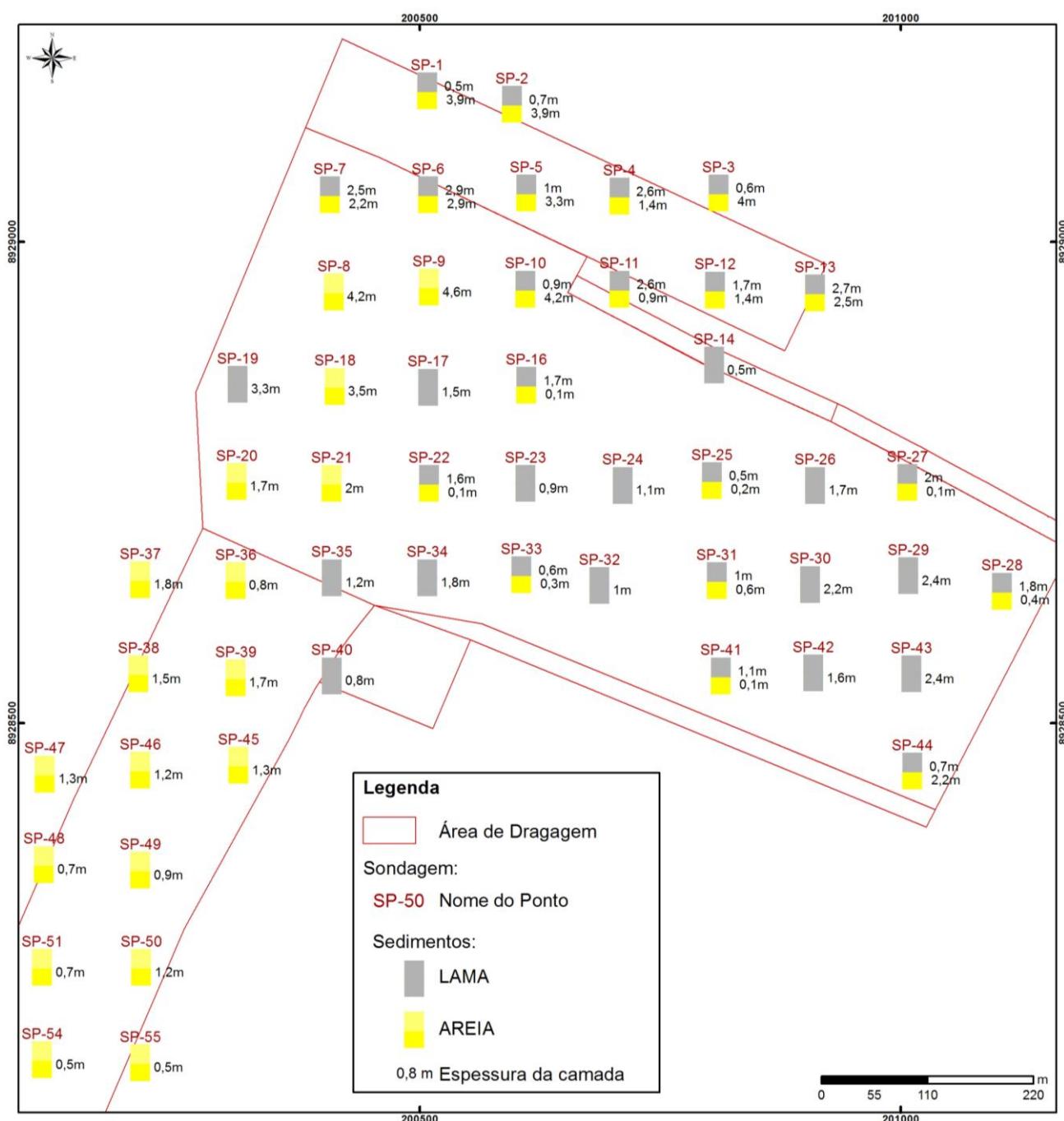
O resultado desses furos, executados ao longo do canal de acesso, bacia de evolução e berços de atracação do Porto de Maceió, mostra a forte ocorrência de solos arenosos e argilo-siltosos (Figura 3.13) – genérica e respectivamente denominados como AREIA e LAMA –, que se alternam verticalmente, em pacotes sedimentares, a partir da superfície do assoalho marinho e também em subsuperfície, por toda a extensão da área de projeto, ao longo do canal de acesso, bacia de evolução e berços de atracação.

Importa lembrar que essas designações genéricas – AREIA e LAMA – são intimamente associadas às frações granulométricas mais citadas nas descrições dos boletins – ARGILA, SILTE, AREIA FINA e AREIA MÉDIA –, em composições diversas no total de cada amostra, que, embora não tenham sido devidamente quantificadas em ensaios granulométricos, subsidiam as modelagens de transporte/ressuspensão de sedimentos e o próprio dimensionamento da operação de dragagem, conforme planilha a seguir:

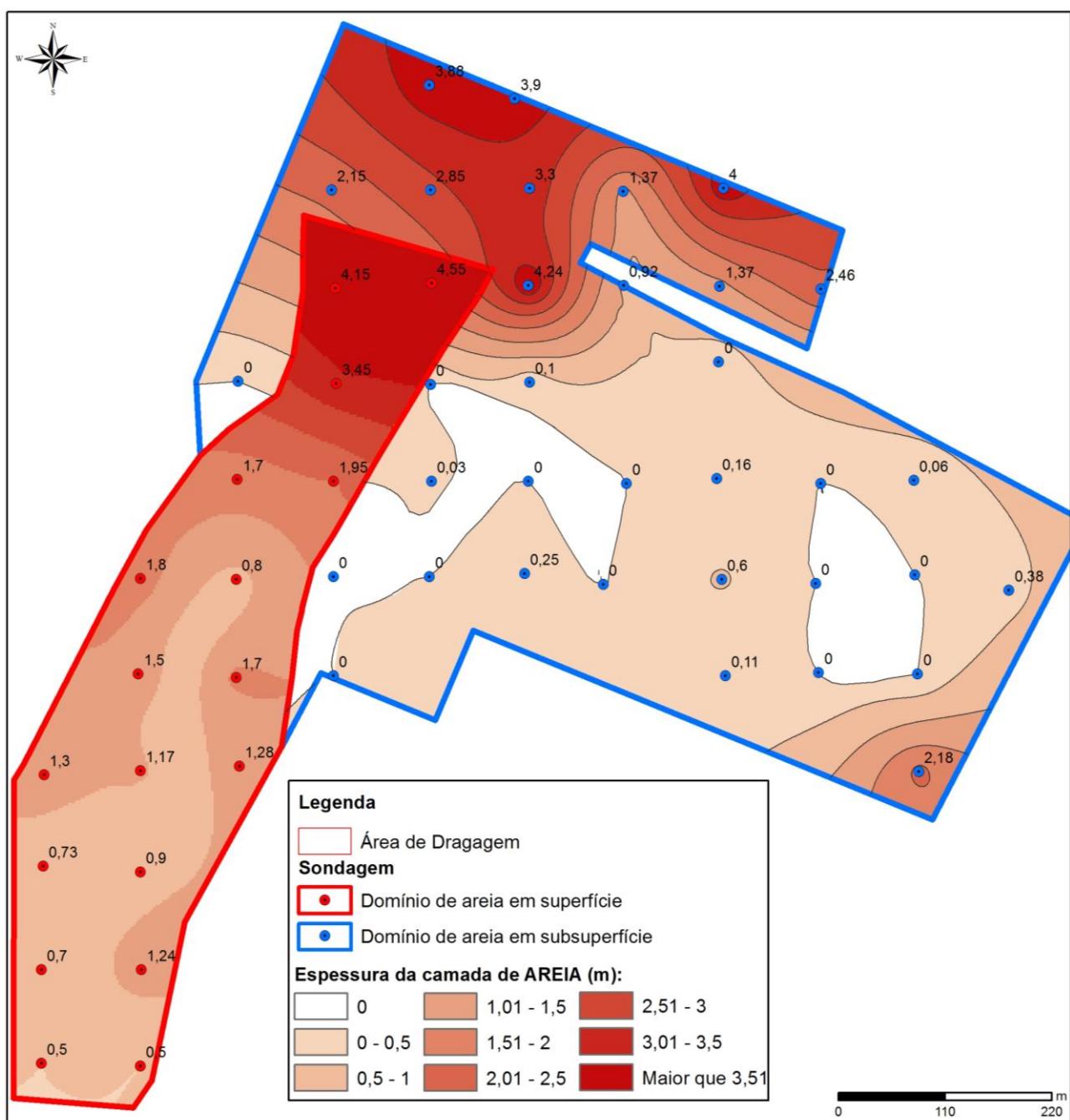
Designação Genérica	Fração Granulométrica
LAMA	Argila Silte
AREIA	Areia Fina Areia Média Areia Grossa

A partir da análise das descrições contidas nos boletins de sondagem, foi possível estimar o volume total de 1.156.655,23 m<sup>3</sup>, incluindo tolerância vertical de 0,30m, de sedimentos a serem dragados, que guardam proporção aproximada de 53% de AREIAS e 47% de LAMAS.

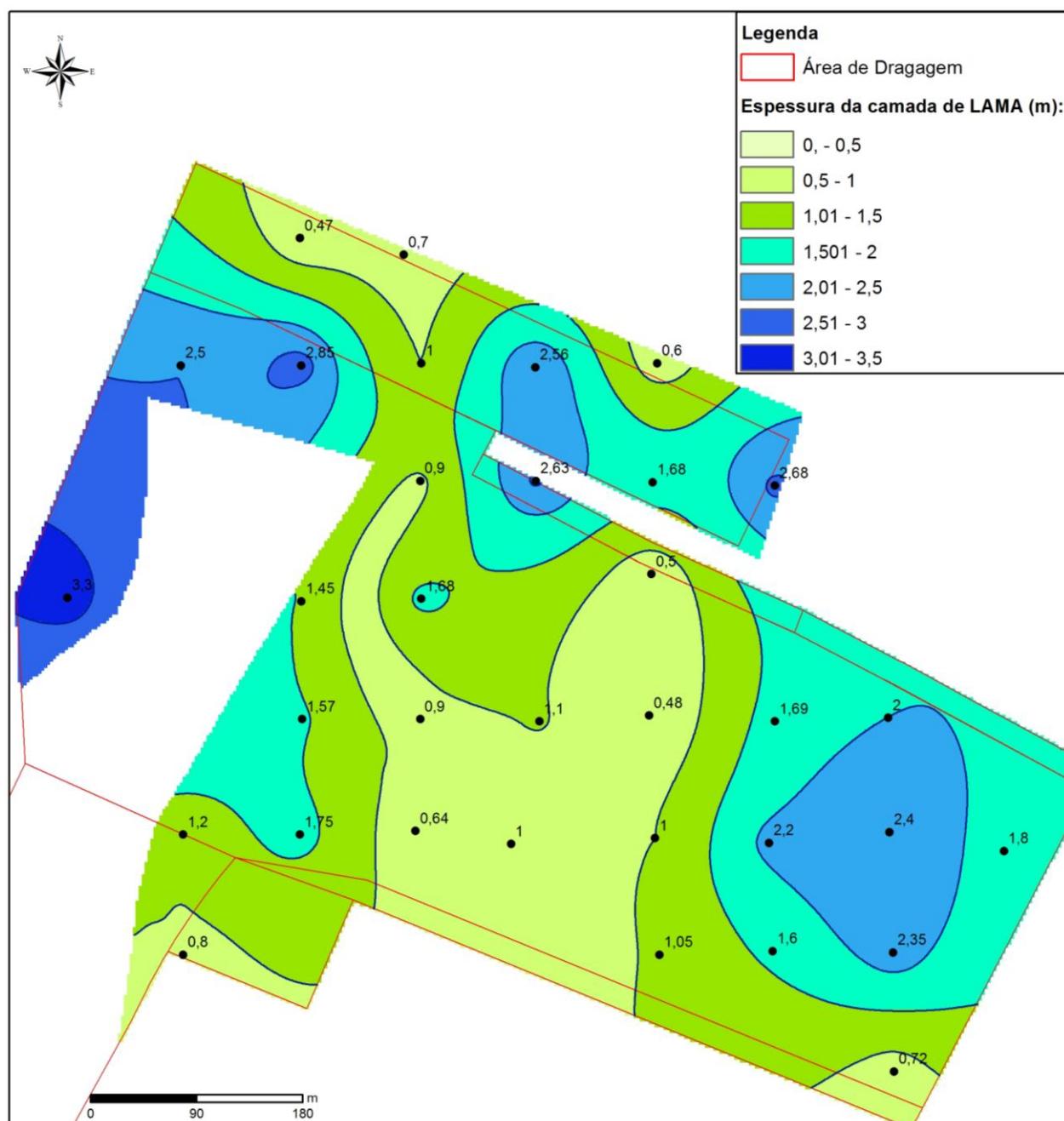
A seguir, as Figuras 3.13, 3.14 e 3.15, apresentam os mapas de distribuição de sedimentos, com base nas descrições das sondagens geotécnicas e de espessuras (isóplicas) de AREIA e LAMA, em superfície e subsuperfície.



**Figura 3.13:** Distribuição de espessuras das camadas de sedimentos lamosos e arenosos, em superfície e subsuperfície, até as profundidades de projeto de cada área, incluindo tolerância de 0,30m, com base nas sondagens executadas.



**Figura 3.14:** Mapa de espessuras de AREIA, em superfície e subsuperfície, limitadas às respectivas profundidades de projeto de cada área, incluindo tolerância vertical de 0,30m.



**Figura 3.15:** Mapa de espessuras de LAMA até as respectivas profundidades de projeto, em cada área, incluindo tolerância vertical de 0,30m.

### 3.7. Análise Integrada de Dados Geológico-Geofísicos

Com o objetivo principal de subsidiar a adoção de critérios válidos, para a elaboração de cálculos de volumes, a considerar eventuais variações na dificuldade de dragagem e, por conseguinte, no tipo de equipamento a ser empregado, os dados foram analisados integradamente, com auxílio dos elementos técnicos, na planta anexa (Figura 3.16).



Figura 3.16: Planta de integração de dados geológico-geofísicos.

Isto permitiu a confecção de um mapa de índices máximos de resistência do substrato marinho (Figura 3.17), até as diferentes profundidades de projeto, para cada área investigada, adotando-se o SPT de 10 golpes, como limite relativo de resistência entre materiais de fácil a difícil remoção. (Em anexo, **Mapa de Resistências Máximas do Solo até a Profundidade de Projeto**, Planta INPH-220-13 D- Rev.00).

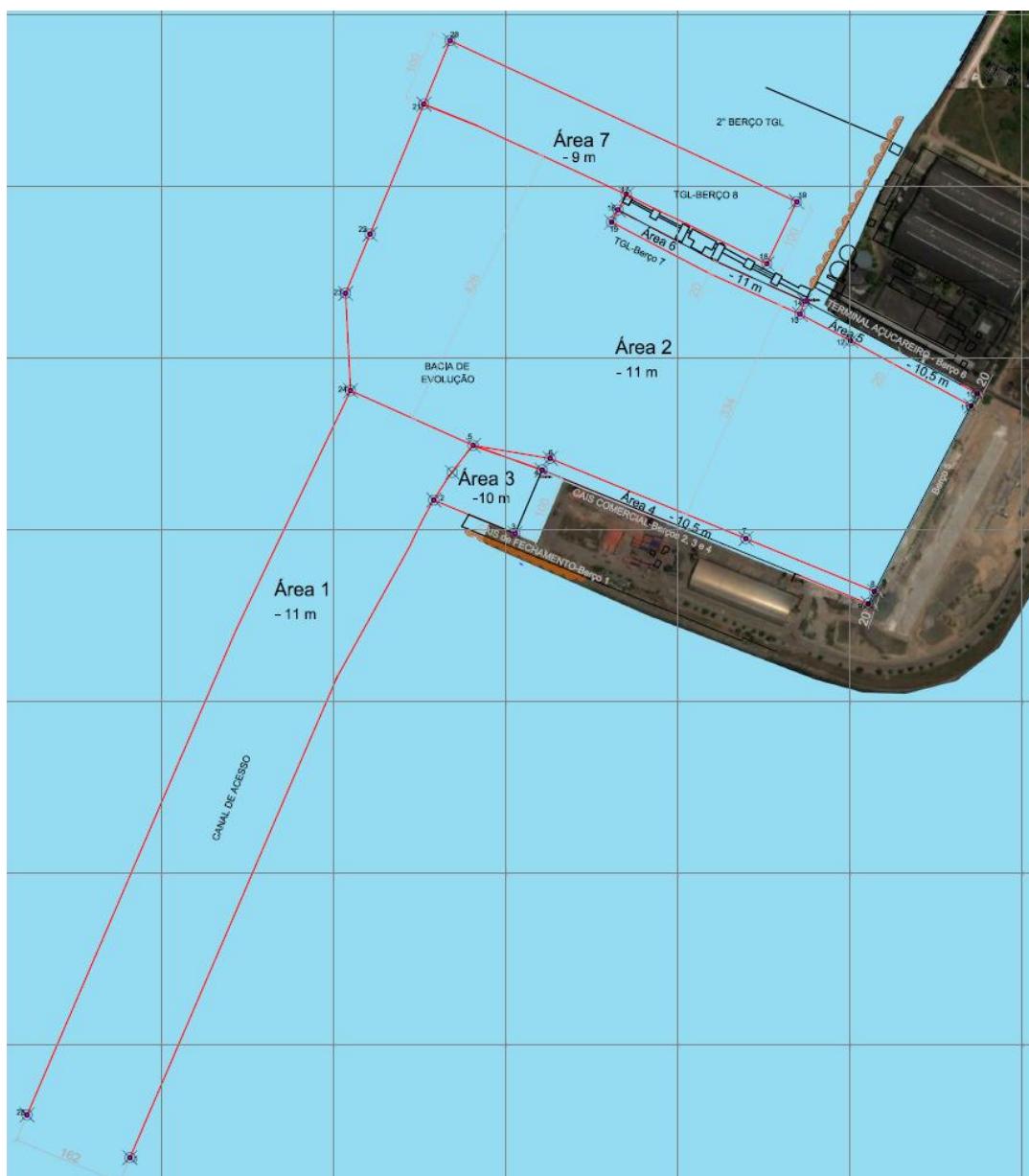


**Figura 3.17:** Mapa de índices máximos de resistência do substrato, até profundidade de projeto em cada área. Indicação de uma pequena região com  $SPT > 10$ , considerada crítica, do ponto de vista da operação de dragagem com draga hopper de médio porte.

Tal procedimento permitiu estimar uma maior facilidade para dragagem com equipamento hopper (draga autotransportadora) em toda a área do canal de acesso e bacia de evolução (Área 1), tanto em face da resistência e natureza dos solos, como também pela facilidade de manobra e operação.

Em contrapartida, como é possível observar na Figura 3.17 anterior, foi demarcada uma “área crítica”, com SPT>10, onde, mesmo não caracterizando necessidade de derrocamento, é possível esperar maior dificuldade relativa ao aprofundamento por uma draga autotransportadora de médio porte, em função dos sedimentos e rochas aí existentes, que embora de natureza branda, apresentam resistência mais elevada.

Da mesma forma, observou-se, como critério adicional de avaliação preliminar à maior dificuldade relativa de operação com draga hopper, o diminuto espaço para manobras junto aos berços de atracação, optando-se, nesses casos, por uma draga Back-Hoe, como equipamento mais apropriado a ser empregado.



**Figura 3.18:** Projeto geométrico, adotado para o Porto de Maceió, com visualização das áreas de dragagem.

## 4. DESCRIÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS

### 4.1. Modelo Hidrodinâmico - MIKE 21 FM HD

O MIKE 21 FM HD é o módulo básico do Sistema Computacional MIKE 21. Ele fornece a base hidrodinâmica para os cálculos computacionais realizados na maioria dos outros módulos, como o módulo de Advecção - Dispersão de Poluentes e o módulo de Transporte de Sedimentos.

O modelo simula as variações dos níveis d'água e dos fluxos, em resposta aos diversos esforços atuantes em lagos, estuários, baías e áreas costeiras (marés, ventos, descargas fluviais, tensões de radiação geradas pela propagação das ondas, etc.).

Os níveis d'água e os fluxos são resolvidos numa triangular não estruturada, de volumes finitos, cobrindo toda a área de interesse. As condições de contorno para o modelo matemático são a batimetria, os coeficientes de atrito no fundo, o clima de ventos, as condições hidrográficas no contorno do modelo, etc.

O MIKE 21 FM HD é aplicável à solução de uma vasta gama de fenômenos hidráulicos, tais como prismas e correntes de marés, redemoinhos e vórtices, seiches em portos, ondas de ruptura de barragens, tsunamis, correntes geradas pelas ondas (combinadas com correntes de maré e/ou correntes geradas pelos ventos, se relevantes), etc.

O módulo hidrodinâmico do MIKE 21 resolve as equações, integradas na vertical, da continuidade e da conservação da quantidade de movimento em duas dimensões horizontais, aplicando o esquema de volumes finitos, com precisão de segunda ordem. Os efeitos abaixo são possíveis de serem incluídos no modelo:

- termo convectivo e transversal da quantidade de movimento;
- tensão cisalhante no fundo;
- tensão cisalhante do vento na superfície;
- gradientes de pressão barométrica;
- tensões de radiação provenientes de campo de ondas;

- forças de Coriolis;
- dispersão da quantidade de movimento (viscosidade turbulenta);
- fontes e sumidouros (de massa e de quantidade de movimento);
- evaporação / precipitação;
- áreas que tanto podem ficar alagadas, quanto secas, durante a simulação.

Os níveis d'água e os fluxos instantâneos são obtidos a partir da solução das equações de continuidade e de momento. Variáveis tais como a elevação da superfície, velocidade e direção das correntes, e as componentes da velocidade nos eixos x e y, podem ser obtidas a partir dos dados de saída básicos do programa, mediante a utilização dos recursos de pré e de pós-processamento do MIKE 21.

O MIKE 21 HD foi desenvolvido para trabalhar com números de Courant até 5, sem problemas de estabilidade. No entanto, dependendo das características do corpo d'água, esse valor pode chegar até 20. As equações básicas do modelo são dadas por:

➤ **Continuidade:**

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

➤ **Conservação da Quantidade de Movimento em x:**

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q \\ - f V V_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \end{aligned}$$

➤ **Conservação da Quantidade de Movimento em y:**

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] + \Omega p \\ - f V V_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \end{aligned}$$

onde:

$h(x,y,t)$  - profundidade

$\zeta(x,y,t)$  - elevação da superfície livre

$p,q,(x,y,t)$  - densidades do escoamento nas direções x e y

$C(x,y)$  - coeficiente de Chezy

$g$  - aceleração da gravidade

$f(V)$  - fator de atrito do vento

$V,V_x,V_y(x,y,t)$  - velocidade do vento e de suas componentes nas direções x e y

$\Omega(x,y)$  - parâmetro de Coriolis

$p_a(x,y,t)$  - pressão atmosférica

$\rho_w$  - densidade da água

$x,y$  - coordenadas espaciais

$t$  - tempo

$\tau_{xx},\tau_{xy},\tau_{yy}$  - componentes da tensão de cisalhamento

#### **4.2. Modelo de Transporte de Sedimentos Finos em Suspensão - MIKE 21 PA**

O MIKE 21 PA (Advecção de Partículas) pertence ao grupo de módulos ambientais do Sistema Computacional MIKE 21. Ele simula o transporte e o destino final de substâncias em suspensão ou dissolvidas na água, quando elas são despejadas accidentalmente ou não em lagos, estuários, áreas costeiras ou no mar aberto.

No MIKE 21 PA o transporte da substância pode ser simulado a duas ou a três dimensões. A substância simulada pode ser um poluente de qualquer tipo, conservativo ou não conservativo. A pluma do poluente é tratada como sendo formada por partículas. A cada uma das partículas é associada uma massa, a qual pode mudar durante a simulação, como resultado do decaimento ou da deposição.

Os movimentos das partículas são definidos como a soma dos deslocamentos advectivos e dispersivos. A componente advectiva é determinada através do campo hidrodinâmico do escoamento (correntes) e a componente de dispersão como o resultado de processos randômicos (turbulência da água). A componente de dispersão está dividida em três categorias, chamadas de dispersão longitudinal ( $\Delta DL$ ), dispersão transversal ( $\Delta DT$ ) e dispersão induzida por efeitos de gravidade ( $\Delta Do$ ).

Processos de deposição, de decaimento e de ressuspensão estão incluídos no modelo. O módulo 3D inclui formulações de sedimentação e de ressuspensão tanto para sedimentos coesivos (silte e argila), quanto para sedimentos não coesivos (areia).

O modelo emprega uma formulação Lagrangiana, o que significa que a resolução da pluma do poluente não fica restrita ao tamanho da célula computacional imposta pelo modelo hidrodinâmico.

Para o instante de tempo  $i$ , a equação do transporte da partícula pode ser expressa como:

$$X_{i+1} = X_i + V \cdot \Delta t + D \cdot V + \gamma$$

Onde:

$$V = \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ -V_{sett} \end{pmatrix}, \quad U = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$$

$$D = \frac{1}{U} \begin{pmatrix} \Delta D_L & -\Delta D_T & 0 \\ \Delta D_L & \Delta D_T & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\gamma = \begin{pmatrix} \Delta D_o \\ \Delta D_o \\ \Delta D_{ow} \end{pmatrix}$$

Os deslocamentos devidos à dispersão são dados por:

- $\Delta D_L$ , dispersão longitudinal causada pela turbulência da água
- $\Delta D_T$ , dispersão transversal causada pela turbulência da água
- $\Delta D_o$ , dispersão induzida por efeitos de gravidade
- $\Delta D_{ow}$ , dispersão causada pela ação do vento sobre a superfície d'água

Onde:

$$\Delta D_L = \sqrt{6 \cdot D_L \cdot \Delta t} \cdot ([RND_1]_0^{1 - \frac{1}{2}}) \cdot 2$$

$$\Delta D_T = \sqrt{6 \cdot D_T \cdot \Delta t} \cdot ([RND_2]_0^{1 - \frac{1}{2}}) \cdot 2$$

$$\Delta D_o = \sqrt{6 \cdot D_o \cdot \Delta t} \cdot ([RND_3]_0^{1 - \frac{1}{2}}) \cdot 2$$

$$\Delta D_{ow} = \sqrt{6 \cdot (D_o + D_v) \cdot \Delta t} \cdot ([RND_4]_0^{1 - \frac{1}{2}}) \cdot 2$$

O campo hidrodinâmico do escoamento é considerado como sendo uma função da profundidade, de acordo com a lei logarítmica de Nikuradse.

$$\left| \frac{U_{HD}(x,y)}{U_f} \right| = 8.6 + 2.45 \cdot \ln \left( \frac{h}{k / 30} \right)$$

O campo do escoamento inclui a ação do vento através de

$$U(x,y,z) = U_{HD}(x,y,z) - \frac{1}{h_w} \int_0^{h_w} U_w(z) dz + U_w(z)$$

onde a distribuição de velocidades devida às tensões cisalhantes do vento na superfície livre é considerada como sendo dada por:

$$U_w(z) = C_w \cdot W \cdot \exp(-k_o z), \quad k_o = 3 / h_w$$

Os símbolos que aparecem nas equações anteriores correspondem a:

- $X_i$  : coordenadas tridimensionais da partícula no instante i (m)  
 $x, y, z$  : coordenadas da partícula (m)  
 $\Delta t$  : incremento de tempo (s)  
 $u_x, u_y$  : componentes horizontais da velocidade da corrente (m/s)  
 $V_{sett}$  : velocidade de queda (m/s)  
 $D_L$  : coeficiente de dispersão longitudinal (m<sup>2</sup>/s)  
 $D_T$  : coeficiente de dispersão transversal (m<sup>2</sup>/s)  
 $D_o$  : coeficiente de dispersão induzida por efeitos de gravidade (m<sup>2</sup>/s)  
 $D_w$  : dispersão devida ao vento (m<sup>2</sup>/s)  
[RND] : um número randômico uniformemente distribuído [0;1]  
 $U_f$  : velocidade de fricção (m/s)  
 $k$  : rugosidade do fundo (m)  
 $h_w$  : profundidade de influência do vento (m)  
 $h$  : lâmina d'água (m)  
 $C_w$  : coeficiente de fricção do vento (-)  
 $W$  : velocidade do vento (m/s)  
 $U_{HD}(x,y)$  : campo das velocidades das correntes integrado na vertical m/s)

## 5. MODELAGEM HIDRODINÂMICA

### 5.1. Metodologia

As condições hidrodinâmicas na área de estudo foram simuladas com o módulo hidrodinâmico do sistema de modelagem MIKE 21 Flow Model FM, desenvolvido pelo DHI Water & Health, da Dinamarca.

O sistema de modelagem MIKE 21 FM emprega uma aproximação baseada numa malha flexível, a qual permite a adoção de diferentes níveis de resolução espacial, que vão desde uma resolução mais grosseira, apropriada para áreas mais afastadas, até uma resolução mais fina, usada nas áreas de maior interesse. É ideal para aplicações em ambientes oceânicos, costeiros e estuarinos.

O módulo hidrodinâmico, que é a base para os demais módulos do sistema, simula os níveis de água e as velocidades das correntes em função de uma combinação de marés, ventos, ondas e descargas fluviais.

A Figura 5.1 mostra a batimetria gerada no modelo através da interpolação de dados de profundidade retirados das cartas náuticas, somados aos dados de Levantamentos disponíveis.

### 5.2. Dados e aspectos utilizados no estudo em análise

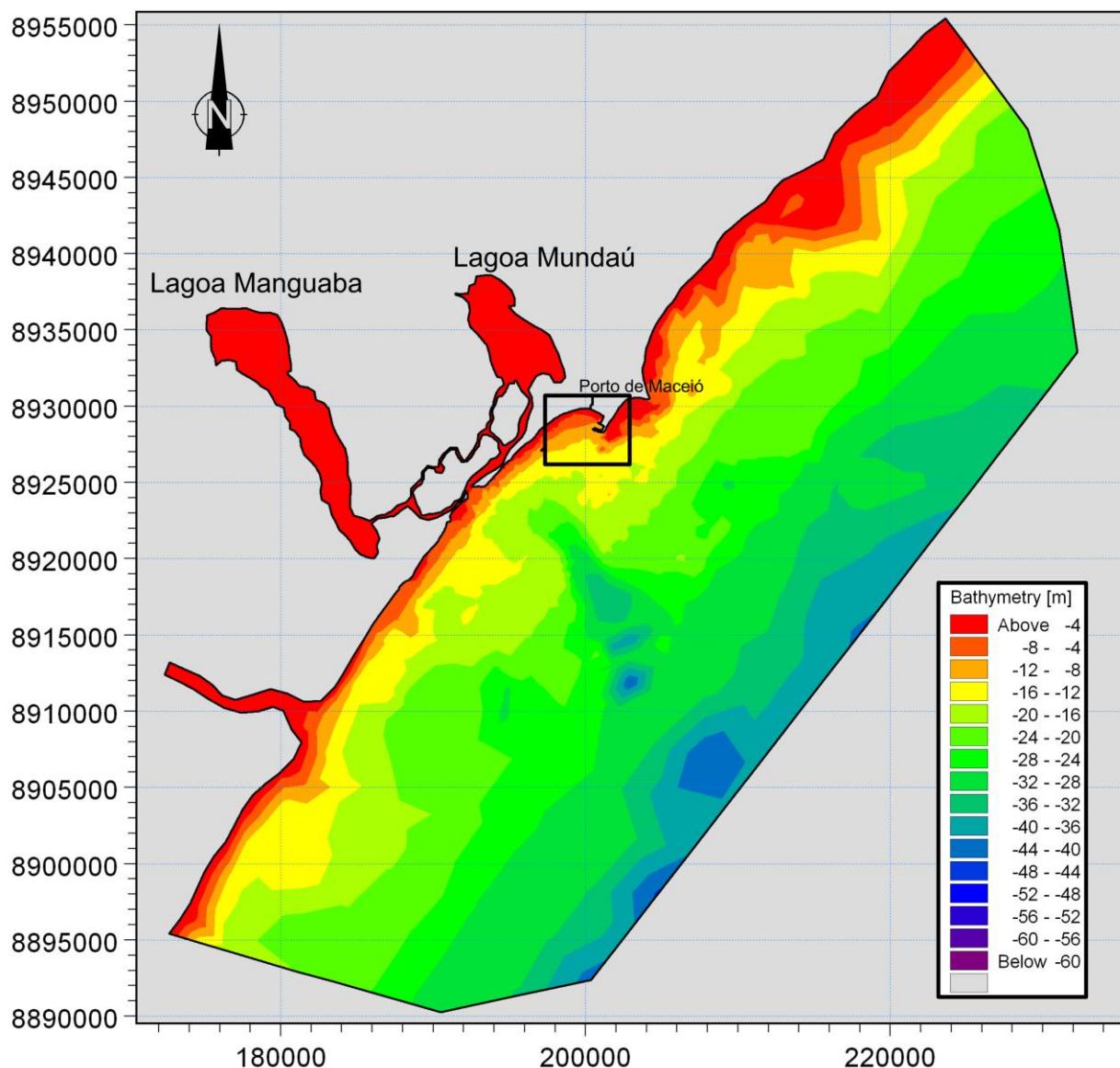
#### 5.2.1. Domínio de modelagem

Para a realização da caracterização da área de estudo, utilizou-se o domínio da região costeira da área central de Maceió, abrangendo toda plataforma continental, as lagunas de Mundáu e Manguaba, desde o município de Jequiá da Praia até ao município de Pescaria. Este domínio está apresentado na Figura 5.1

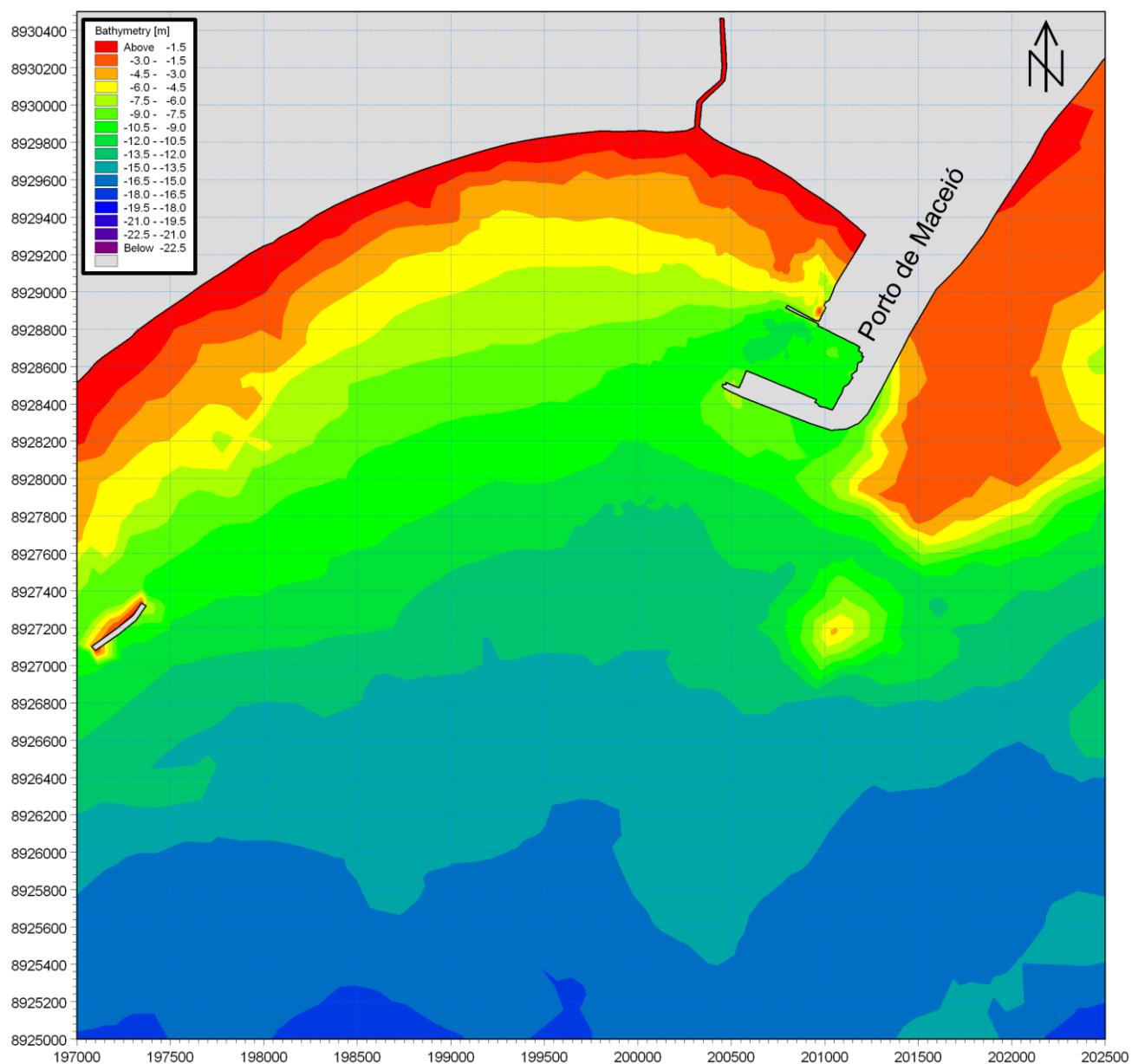
A região detalhada do Porto de Maceió pode ser visualizada na Figura 5.2 com a batimetria fornecida através dos estudos realizados e através da carta náutica da região.

Foram simuladas as condições hidrodinâmicas representando as condições atuais e pós-dragagem da área de estudo através das forçantes mais importantes no local, a maré, os ventos e as ondas incidentes na costa. Para a representação e abrangência das diferentes épocas do ano, foram simuladas duas condições, uma representando a situação de verão e outra de inverno.

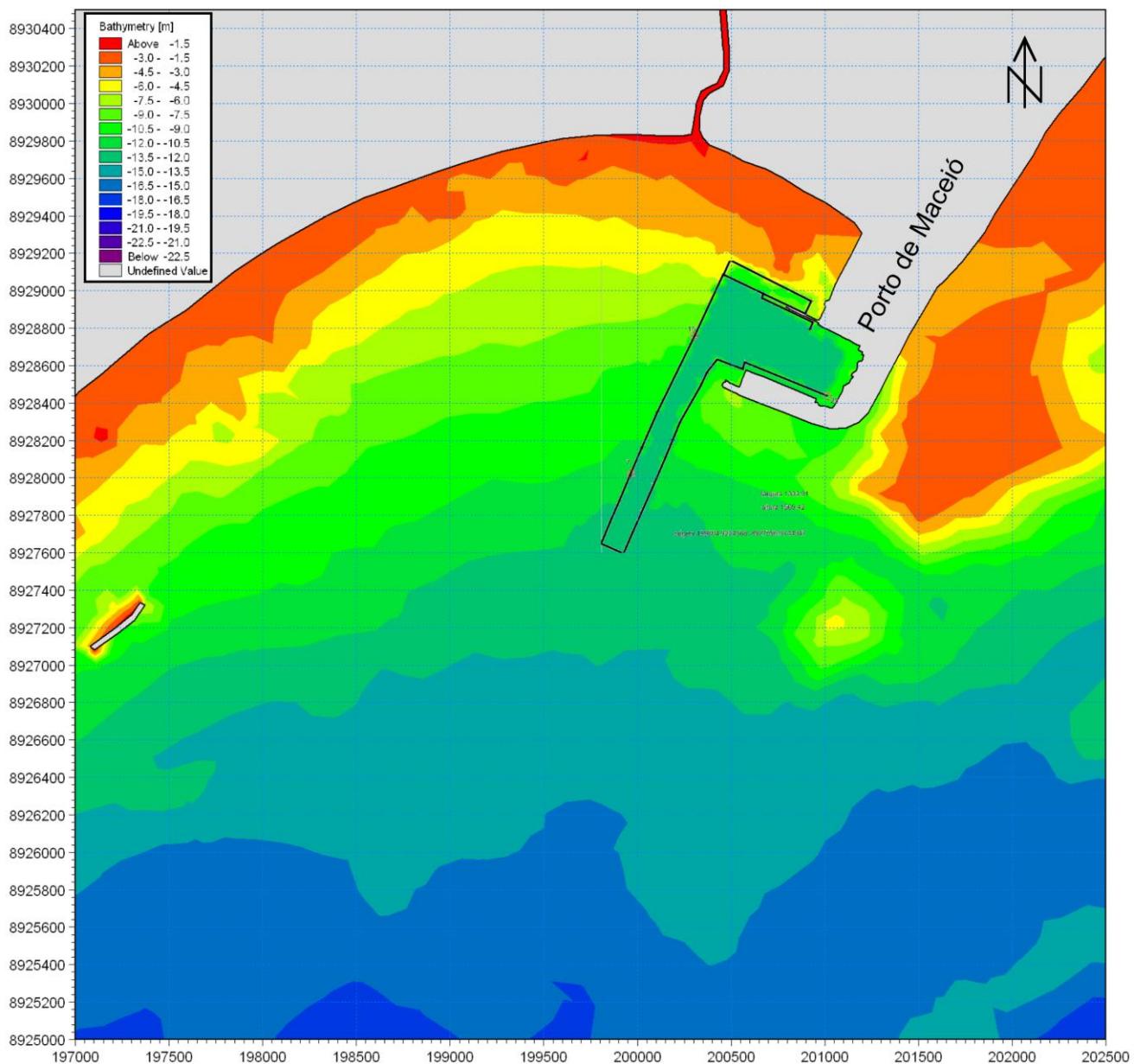
A Figura 5.3 ilustra a batimetria pós-dragagem que foi utilizada nas simulações juntamente com o canal geométrico.



**Figura 5.1:** Mapa geral do domínio de modelagem juntamente com a batimetria utilizada nas simulações. A Figura 4.2 mostra maior detalhe da área demarcada pelo quadro preto.



**Figura 5.2:** Região de interesse do estudo de modelagem de forma ilustrativa assim como a batimetria local, retratando a situação atual.

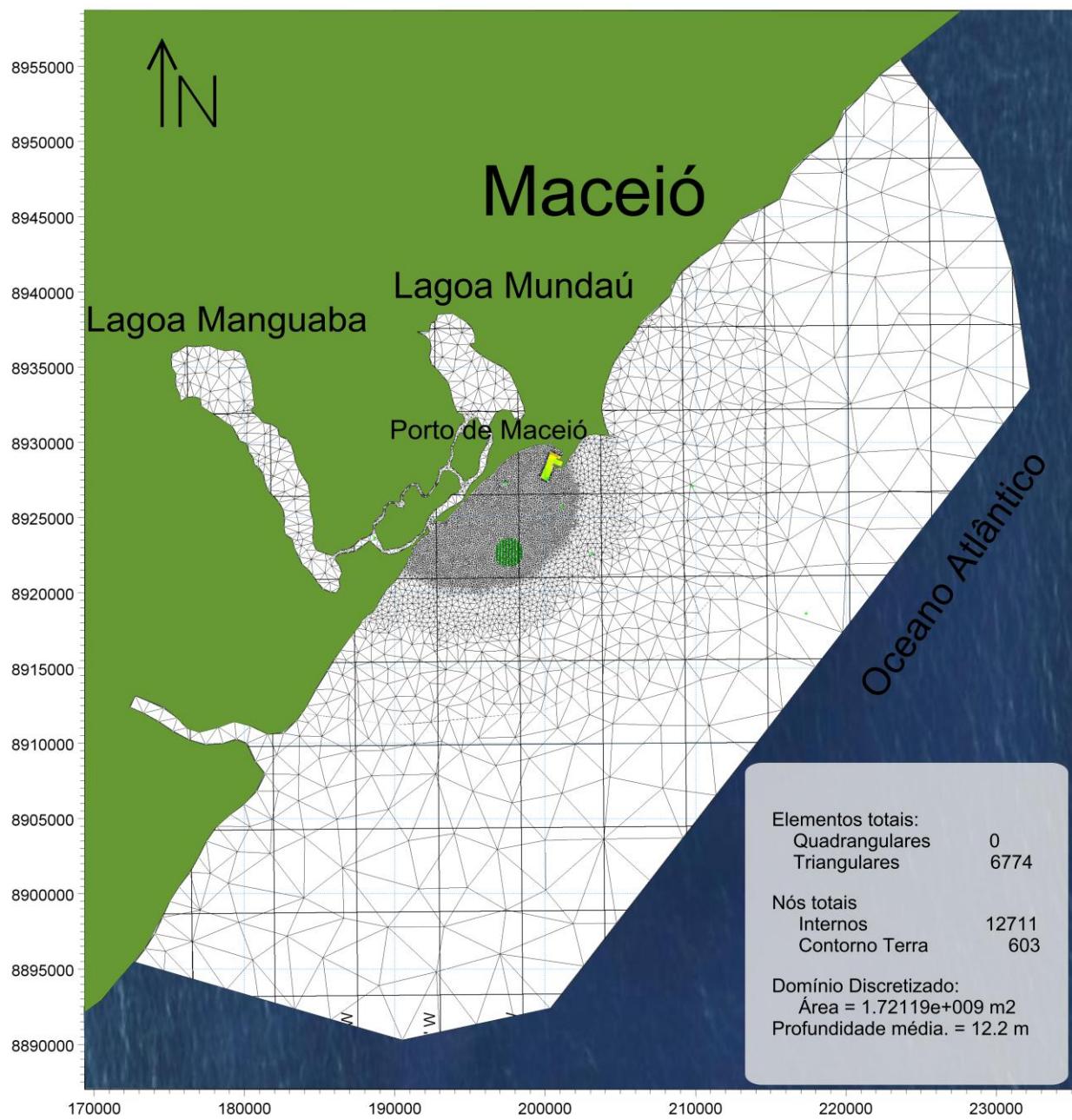


**Figura 5.3:** Região de interesse do estudo de modelagem de forma ilustrativa assim como a batimetria local, retratando a situação pós dragagem.

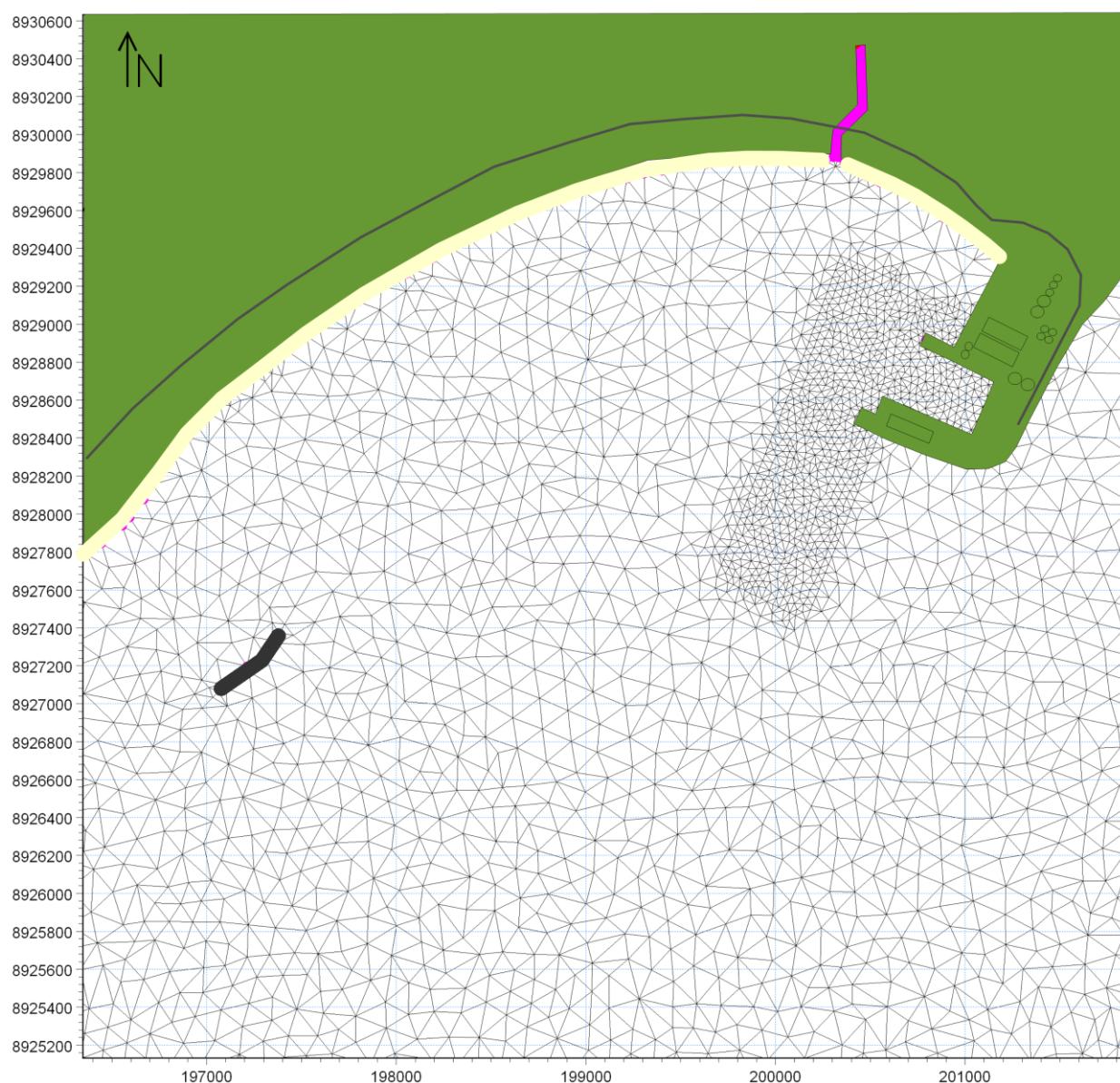
### 5.2.2. Malha de discretização do domínio de modelagem

A discretização espacial do modelo foi baseada numa malha flexível, a qual permite a adoção de diferentes níveis de resolução espacial, que vão desde uma resolução mais grosseira, apropriada para áreas mais afastadas, até uma resolução mais fina, usada nas áreas de maior interesse. É ideal para aplicações em ambientes oceânicos, costeiros e estuarinos.

A Figura 5.4 mostra a malha computacional utilizada nas simulações do modelo hidrodinâmico bidimensional na horizontal - 2DH, com variáveis promediadas ao longo da coluna d'água. A malha abrange toda a área de estudo – Porto de Maceió e mediações – e parte do oceano aberto. Na área do projeto foi usada uma resolução maior para descrever adequadamente os fenômenos físicos que ali ocorrem. A Figura 5.5 mostra uma aproximação da área de estudo.



**Figura 5.4.** Domínio de modelagem discretizado pela malha computacional com elementos triangulares, com detalhamento na área de estudo. Um detalhamento está descrito na Figura 5.5.



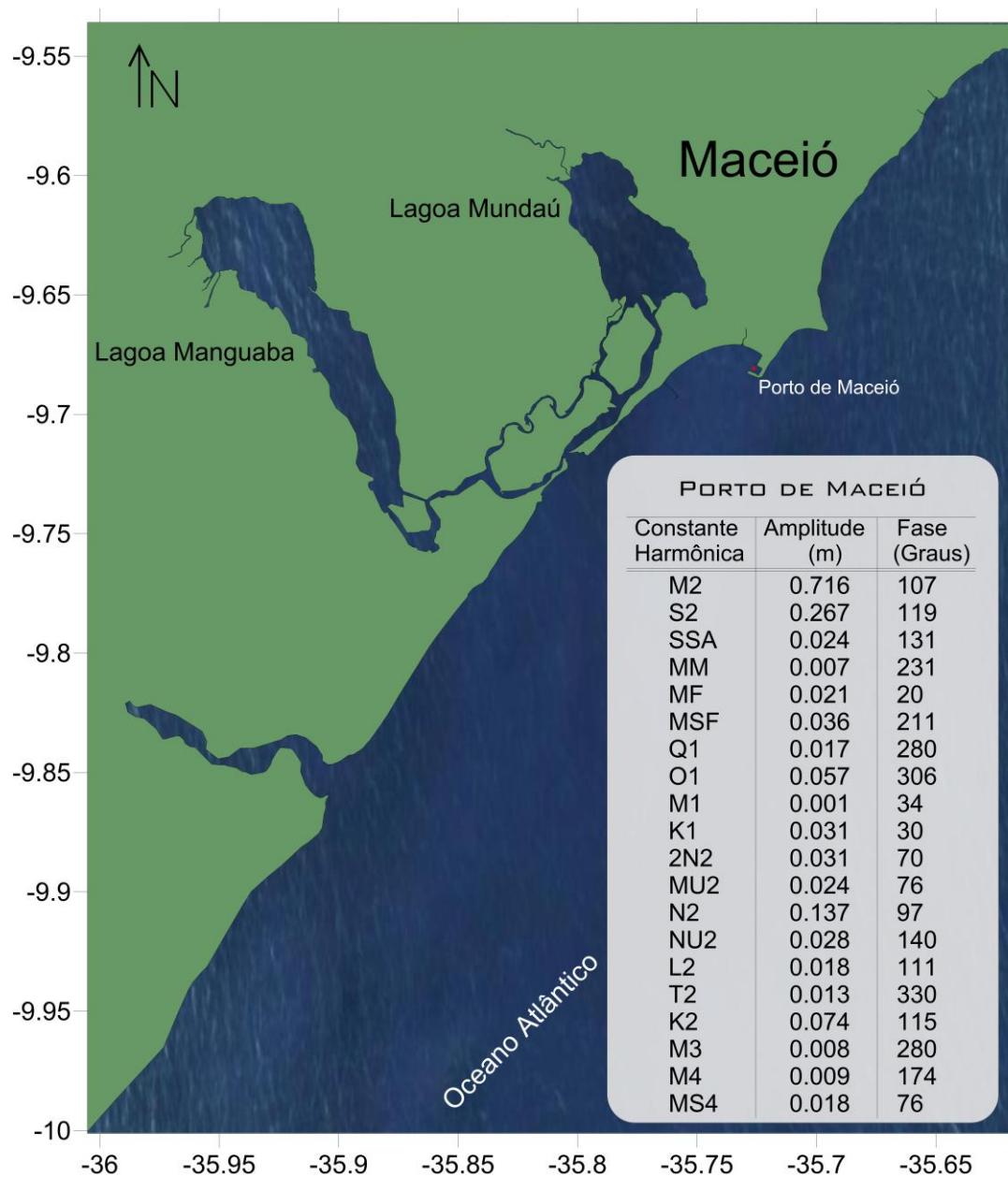
**Figura 5.5.** Detalhe do refinamento da malha computacional na área de estudo. Em destaque o Porto de Maceió.

### 5.2.3. Constantes Harmônicas de maré

As oscilações de nível utilizadas como entradas no modelo hidrodinâmico, foram extraídas a partir de um modelo global, contido dentro do próprio modelo. Esse modelo tem ampla validação em áreas oceânicas e serviram de entrada na borda leste do mesmo.

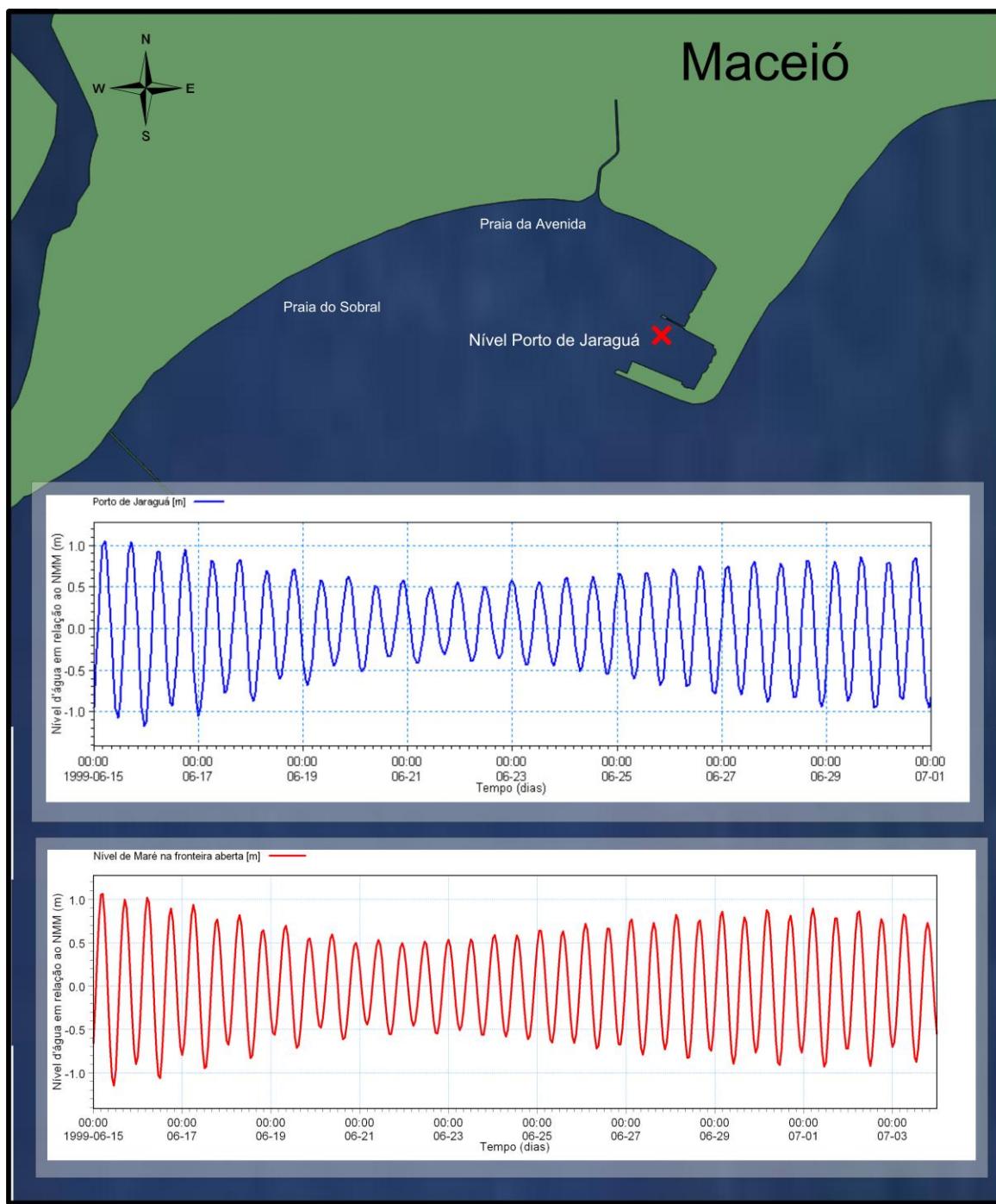
Para a calibração dos dados obtidos através das simulações foram utilizadas as constantes harmônicas obtidas da Tábua de Marés da FEMAR – Fundação de Estudos do Mar para a estação Maregráfica do Porto de Maceió. A Figura 5.6 apresenta as

constantes harmônicas que foram utilizadas para obtenção do nível no porto, assim como para calibração do modelo hidrodinâmico.



**Figura 5.6.** Constantes harmônicas utilizadas para obtenção do nível no Porto de Maceió.

A Figura 5.7 mostra o nível obtido através do modelo global e o nível obtido através das constantes harmônicas da FEMAR. A maré local é classificada como semidiurna.



**Figura 5.7.** Em azul, o nível obtido através das constantes harmônicas da FEMAR. Em vermelho, o nível obtido através do modelo global utilizado na fronteira aberta do modelo. Ambos estão representados por uma série temporal de 15 dias, englobando a maré de sizígia e de quadratura. Note que a maré local possui, na sizígia, alturas de aproximadamente 2 metros, enquanto na quadratura esta possui cerca de 1 metro.

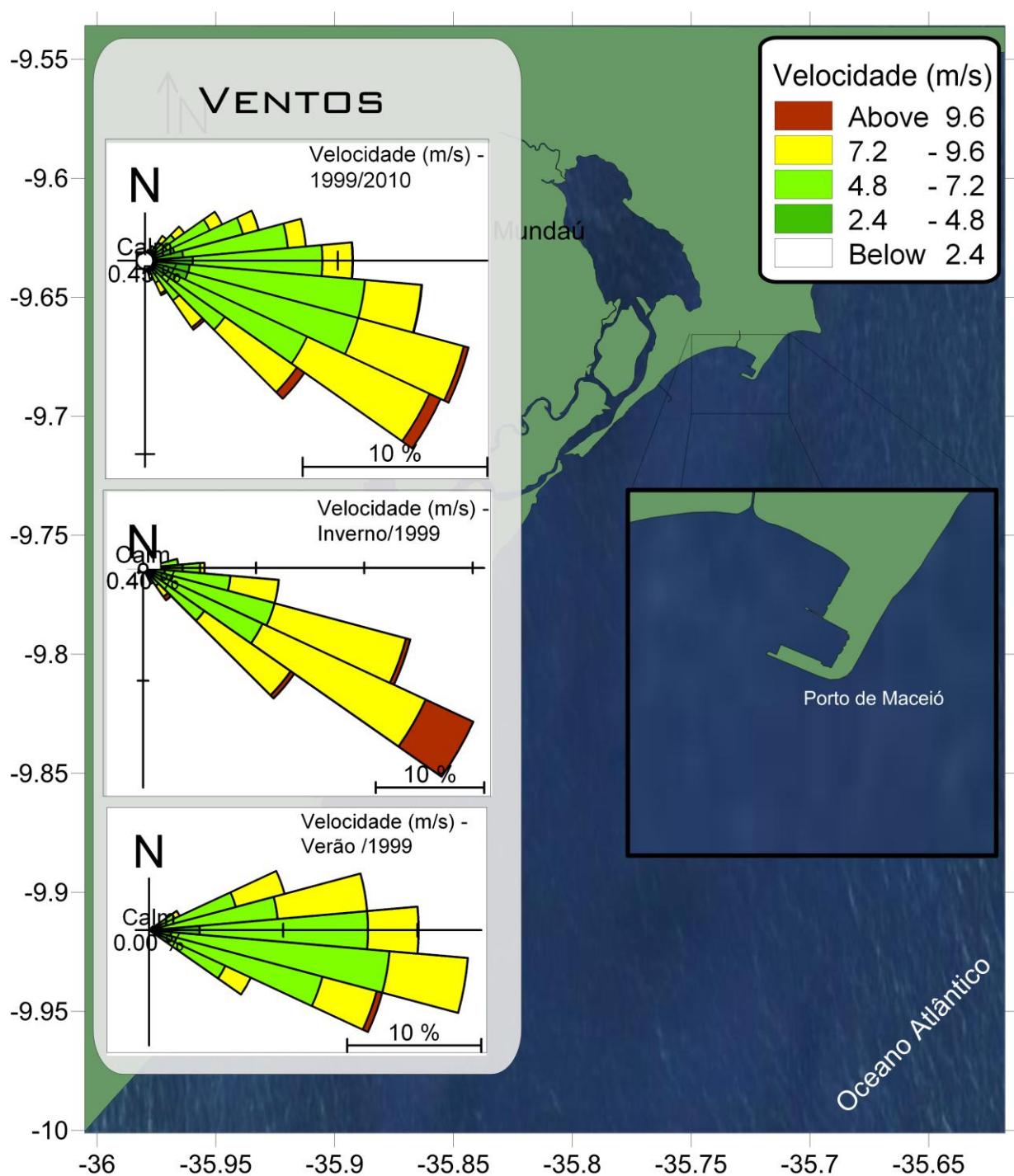
#### 5.2.4. Dados de ventos

Visando caracterizar o estado de vento na área de estudo, foram utilizados os dados do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Esse projeto tem como objetivo produzir análises globais diárias do estado atmosférico, terrestre e dos oceanos, com resolução espacial de 1,5°.

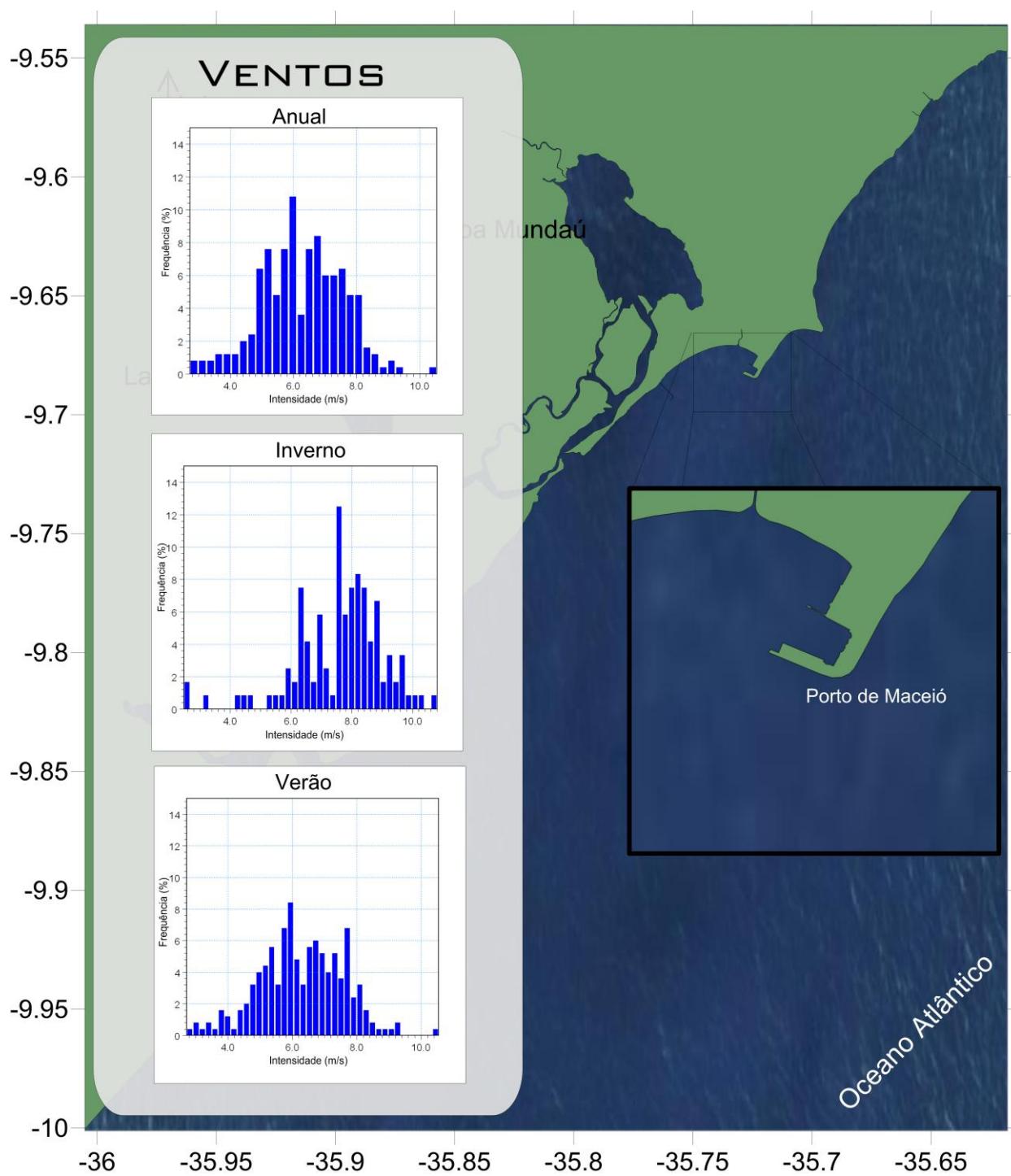
Para a análise e caracterização do vento local, foi obtida uma série temporal de 11 anos de ventos simulados pelo modelo global. A Figura 5.8 mostra a rosa de ventos em três situações: representando o vento anual e representando os meses de inverno e de verão.

Note que para a representação anual o vento reinante, de maior freqüência, é o vento de sudeste, porém há uma parcela de ventos de leste e até mesmo de Nordeste. Através de uma filtragem para os meses de inverno e verão pode-se notar que no inverno há predominância de ventos de sudeste, enquanto no verão há predominância de ventos de Leste.

A Figura 5.9 mostra a freqüência da intensidade dos ventos nas três situações descritas anteriormente. Note que a intensidade reinante no local está entre 5 e 8 m/s durante o ano inteiro com uma pequena parcela superior a 9.6 m/s. Pode-se notar, conforme o histograma, que as maiores intensidades dos ventos são encontrados nos meses de inverno, ultrapassando 10 m/s. Já nos meses de verão as intensidades giram em torno de 6 m/s.



**Figura 5.8.** Rosa dos ventos para representação anual, para representação dos meses de inverno e de verão para a área de estudo. Note que as direções variam entre NE e SE com predominância de SE nos meses de inverno e ESE nos meses de verão.



**Figura 5.9.** Estatística de vento anual, no período de inverno e de verão. Note que as maiores intensidades dos ventos são encontradas nos meses de inverno.

### 5.2.5. Dados de ondas

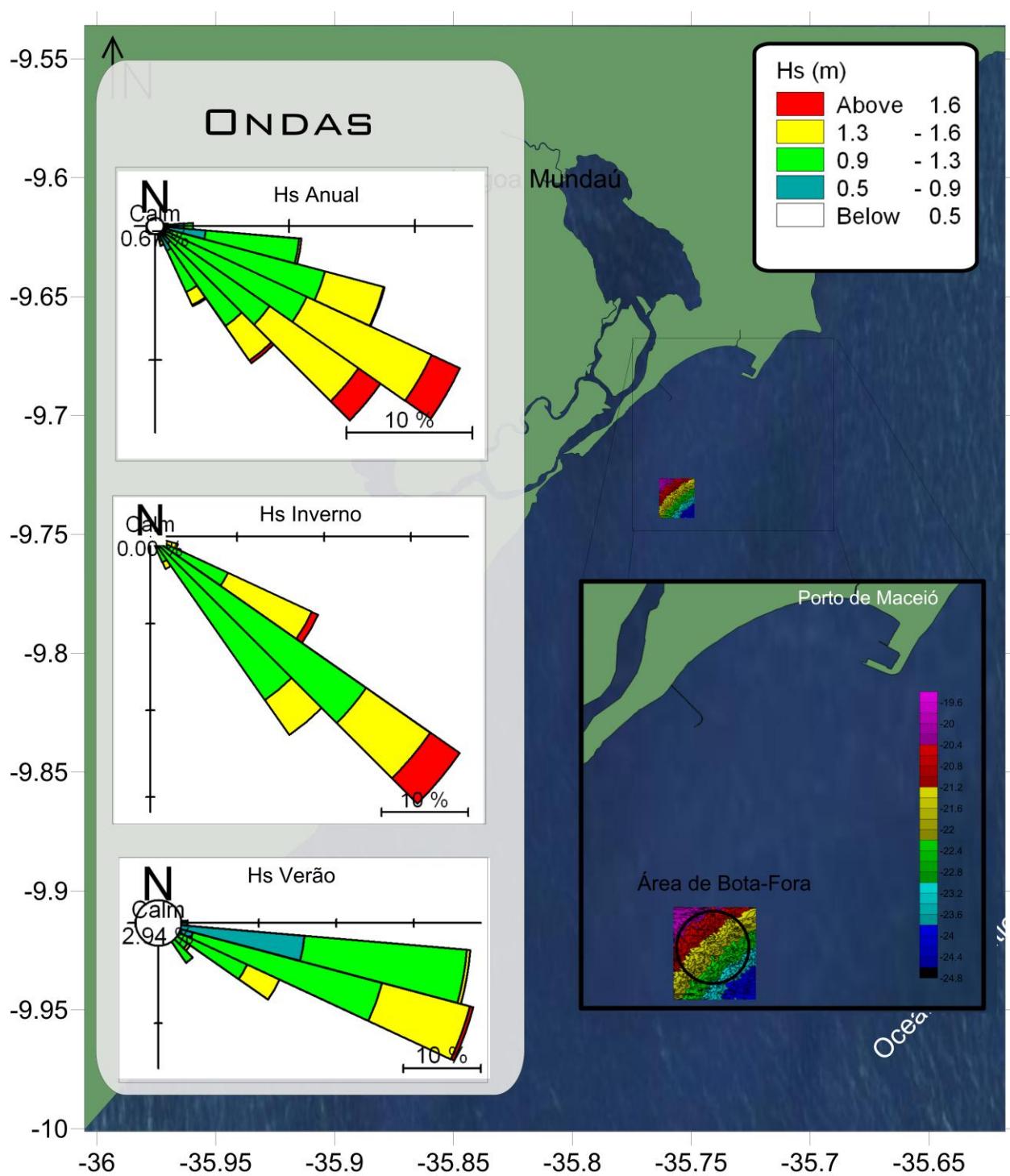
O estudo de caracterização do clima de ondas de uma região é dependente do período de coleta de dados, que deve ser suficiente para abranger meteorológicas e oceanográficas da região e de possíveis áreas de geração de tempestades e ondulações vindas de outras regiões.

Visando concluir a caracterização da agitação marítima na área de estudo, foram utilizados os dados do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Para o estudo foram utilizados dados de altura significativa (Hs), direção média (Dm) e período médio (Tm).

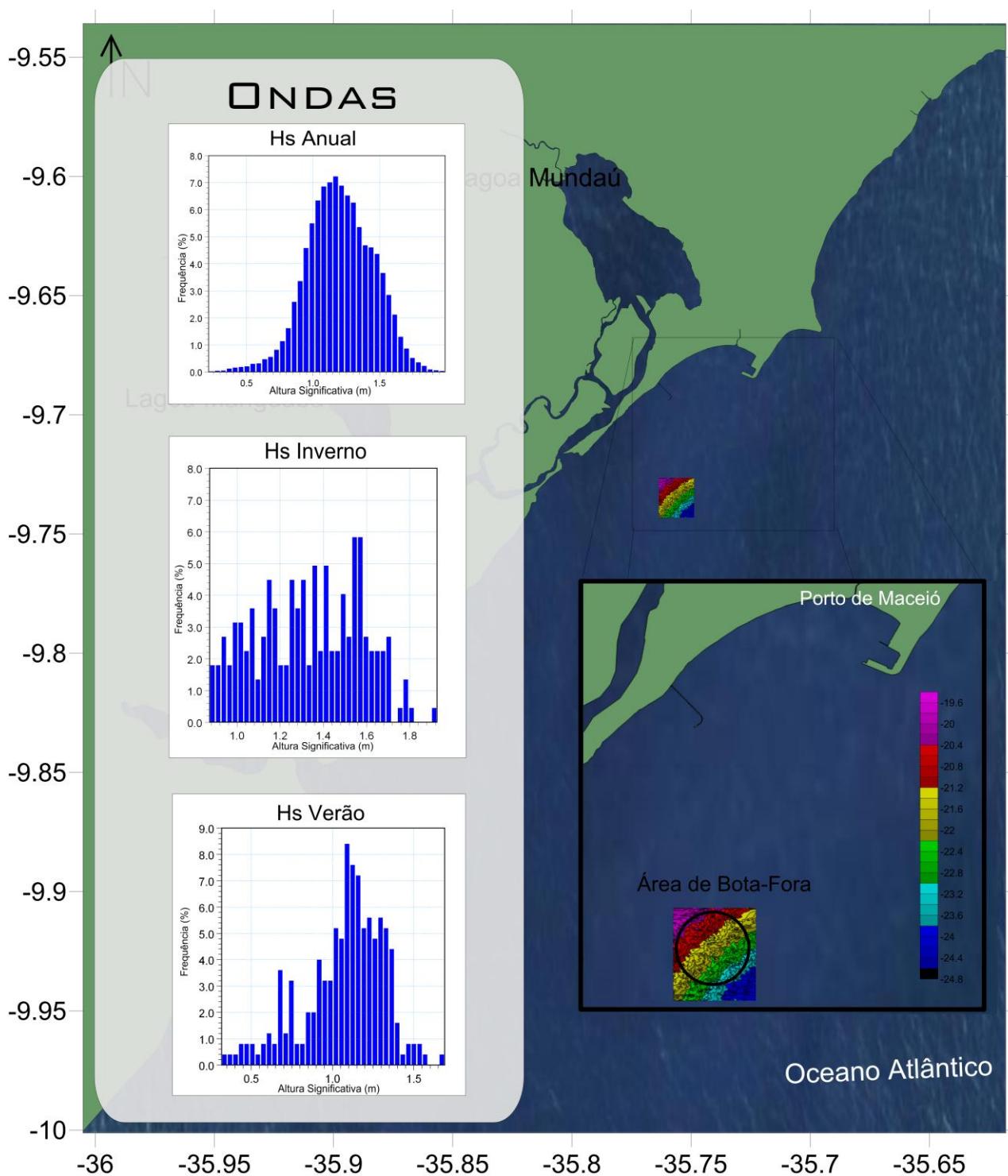
Através do modelo MIKE21 SW foi possível fazer um estudo de propagação de ondas oceânicas para a área de estudo, visando obter dados de entrada para o modelo hidrodinâmico.

A Figura 5.10 mostra os resultados de altura significativa de ondas (Hs) juntamente com as direções predominantes obtidas nas simulações do modelo de propagação para um período de 11 anos. Também está apresentada uma caracterização de ondas para os meses representativos de inverno e verão. Ambos os resultados foram retirados da área de bota-fora na batimétrica de 19 metros.

A Figura 5.11 apresenta a freqüência da altura significativa das ondas para a representação anual da área de estudo e também para os meses representativos de inverno e verão.



**Figura 5.10.** Caracterização da região de estudo com direção e altura significativa de ondas. Observa-se que há uma predominância de ondas vindas de SE, havendo direções de E e SSE.



**Figura 5.11.** Estatística de altura de ondas anual, para o período de inverno e de verão. Note que as maiores alturas de ondas são encontradas nos meses de inverno, ultrapassando 1,8 m.

### 5.3. Resultados e Análises

Neste item serão apresentados os seguintes resultados.

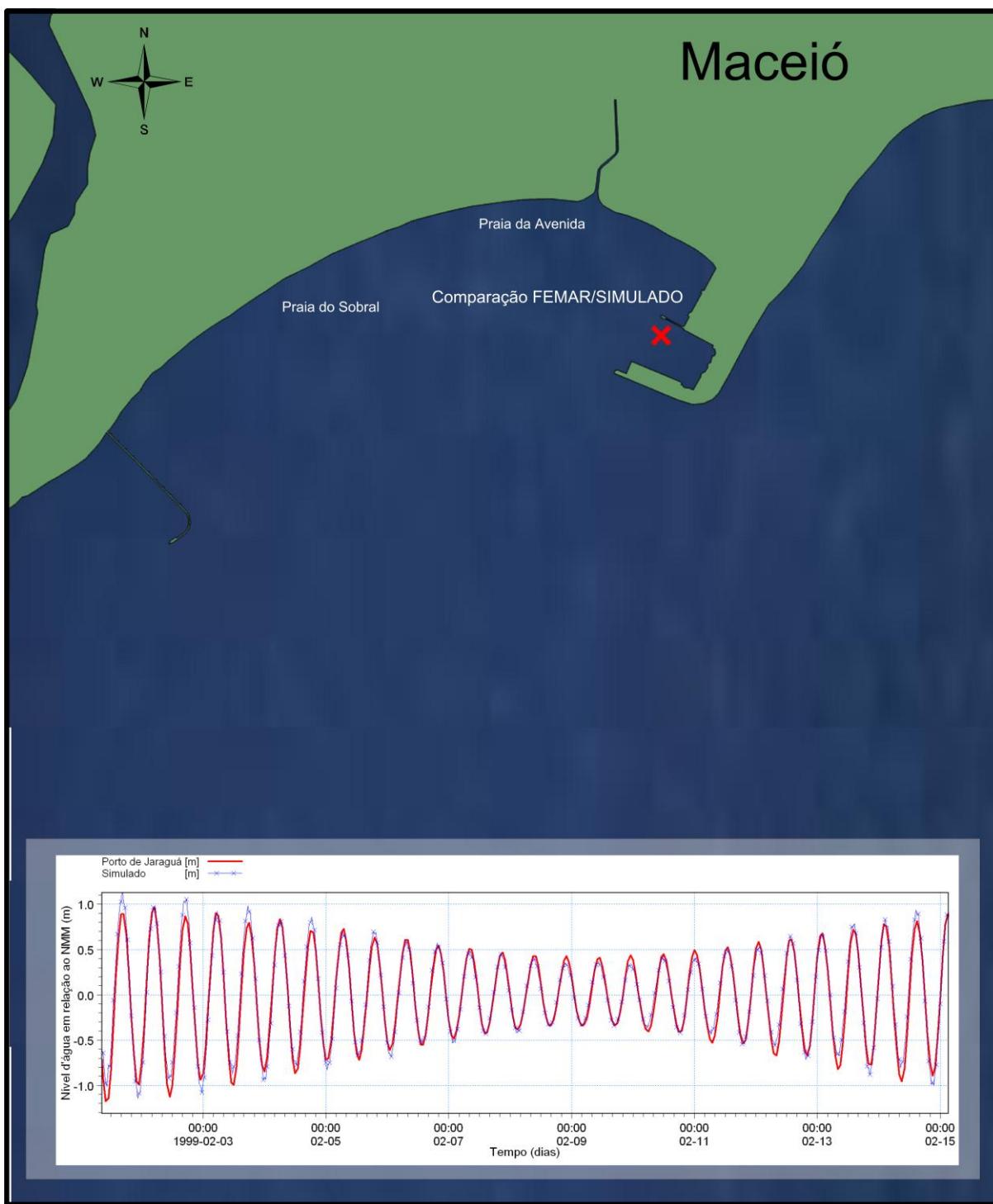
- Comparação entre o nível simulado e o nível obtido através das constantes harmônicas da FEMAR.
- Comparação entre as correntes simuladas na situação atual e na situação pós projeto na coordenada descrita.
- Mapas de padrões de circulação hidrodinâmica, considerando as situações de maré encheante e vazante, ambas de sizígia.

#### 5.3.1. Comparação entre níveis e correntes

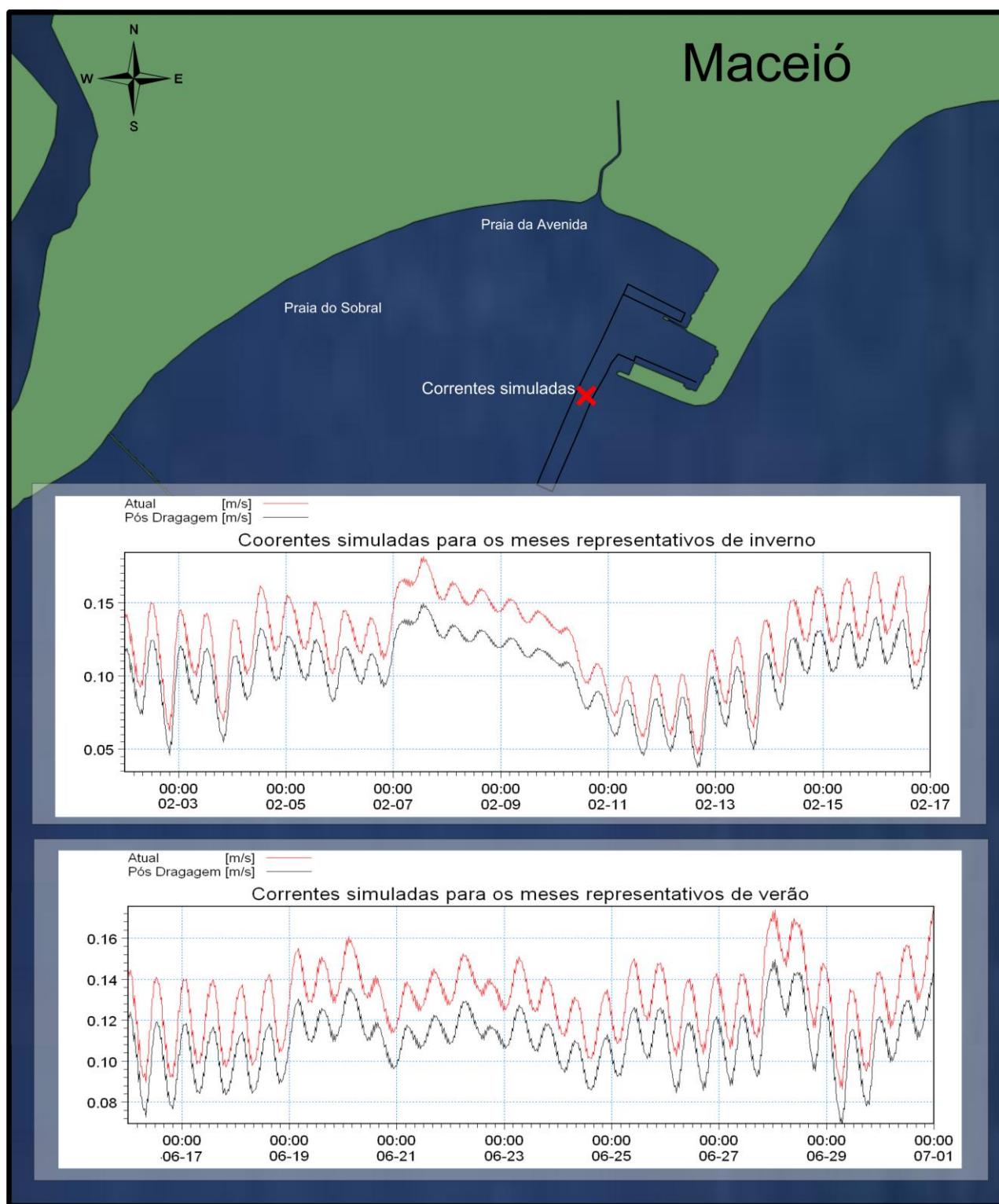
A Figura 5.12 mostra a comparação entre os níveis simulados e obtidos através das constantes harmônicas na FEMAR. Vale salientar que o nível obtido através das constantes harmônicas da FEMAR considera apenas fatores astronômicos, ou seja, a maré astronômica. Dessa forma, o nível obtido pelas simulações é uma junção de fatores meteorológicos e astronômicos, enquanto o nível da FEMAR, apenas meteorológico.

Portanto, as possíveis divergências entre os níveis podem ser explicadas pelos fatores descritos acima.

A Figura 5.13 mostra as comparações entre as intensidades de correntes nas situações atuais e pós-dragagem do projeto, para a situação representativa de inverno e verão. Note que em ambas as simulações as correntes no local demarcado não ultrapassam 0.20 m/s.



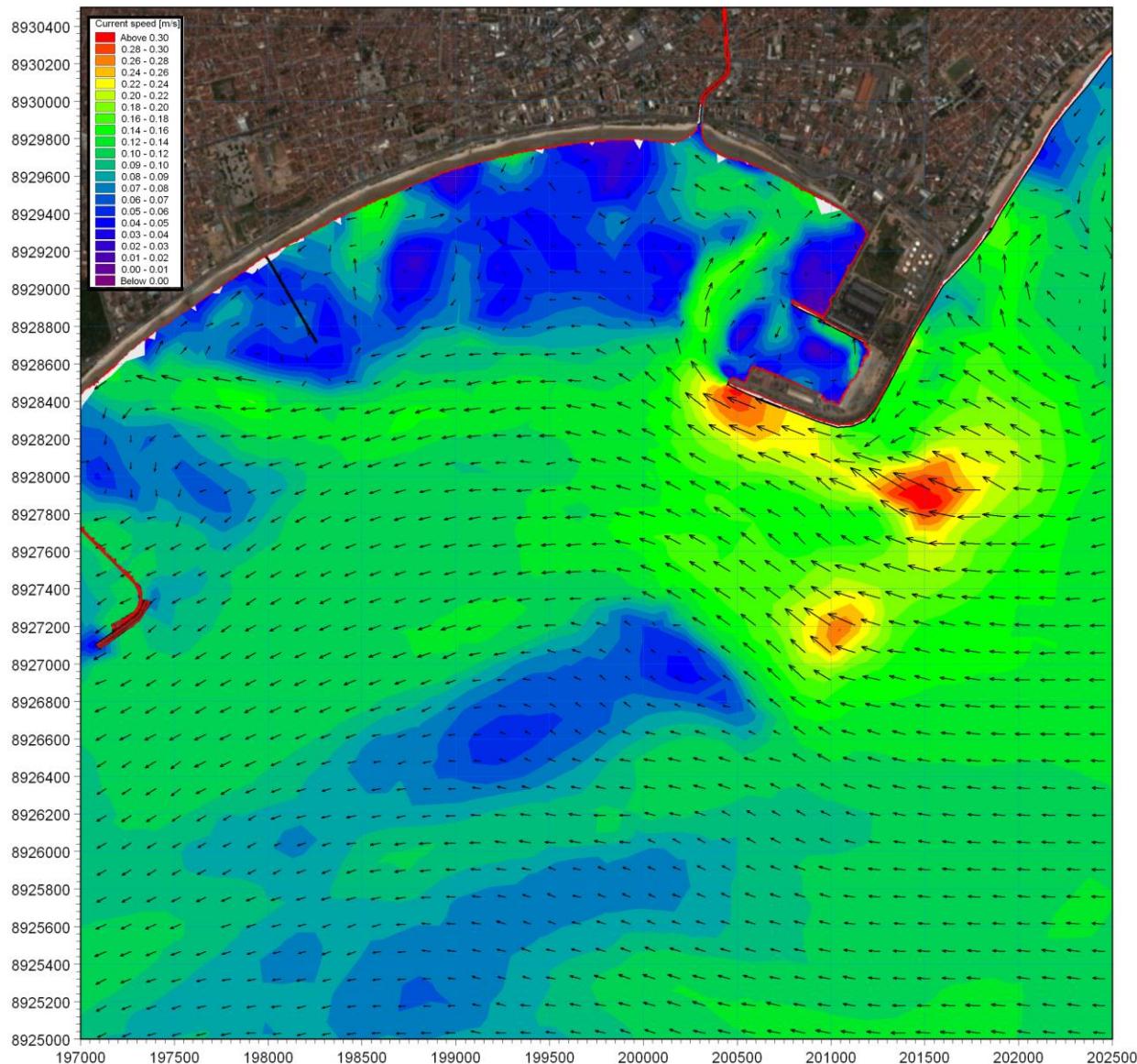
**Figura 5.12.** Comparação entre os níveis simulados pelo modelo hidrodinâmico (Azul) e o nível da FEMAR, em vermelho. Note que na maior parte os níveis se equiparam, porém em alguns pontos o nível é maior ou menor. Na figura há uma representação de 15 dias mostrando a maré de sizígia e maré de quadratura.



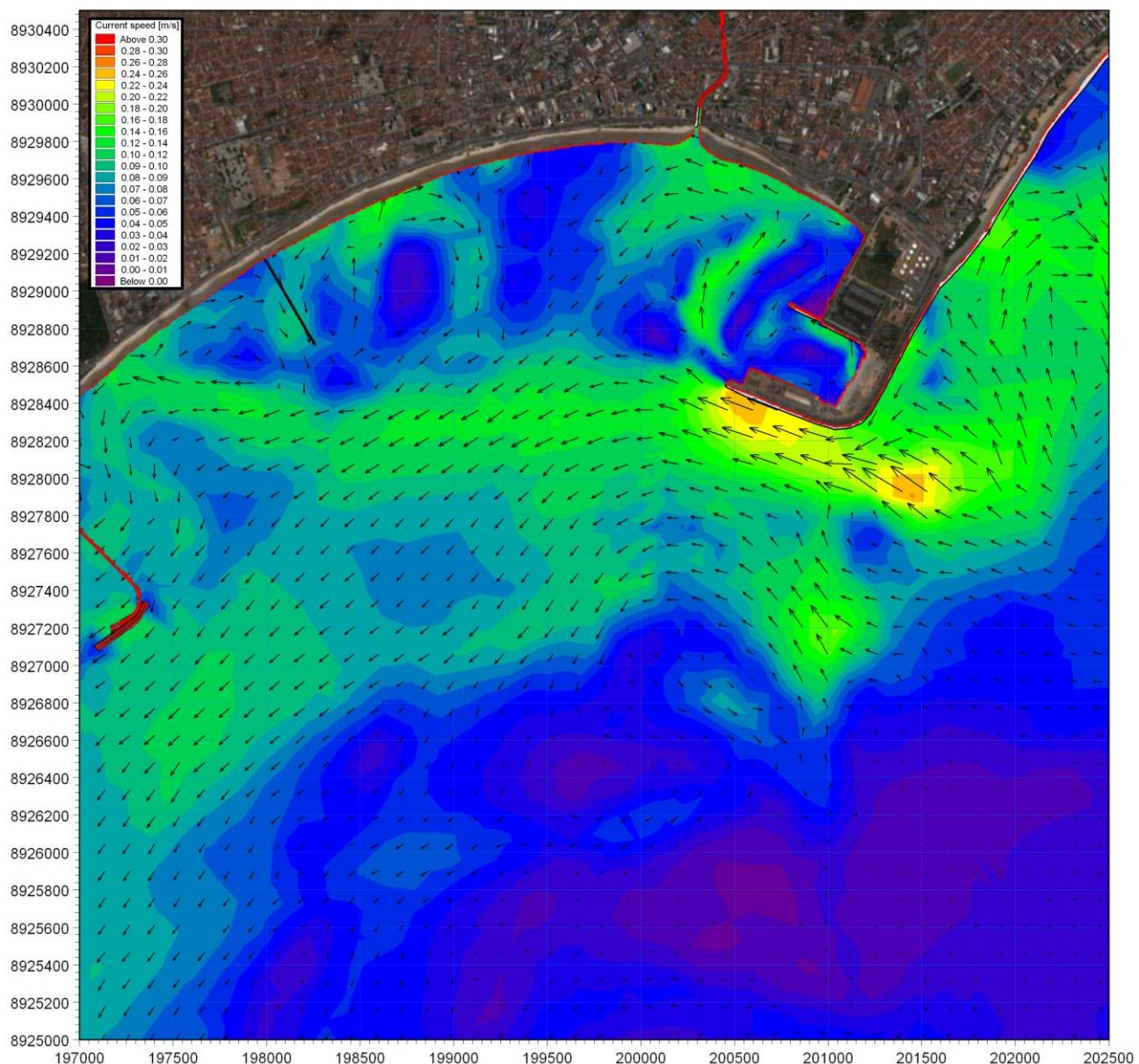
**Figura 5.13.** Comparação entre as intensidades de correntes simuladas para a situação atual e pós projeto nos meses representativos de inverno e verão. Note que em ambas as simulações há uma diferença de cerca de 0.04 m/s. Essa diferença não traz mudanças significativas na região.

### 5.3.2. Circulação Hidrodinâmica

As figuras a seguir apresentam os resultados obtidos através das simulações realizadas para a hidrodinâmica local. As Figuras 5.14 e 5.15, mostram os padrões de circulação nas proximidades do Porto de Maceió para a situação de enchente e vazante, respectivamente, nos meses representativos de verão.

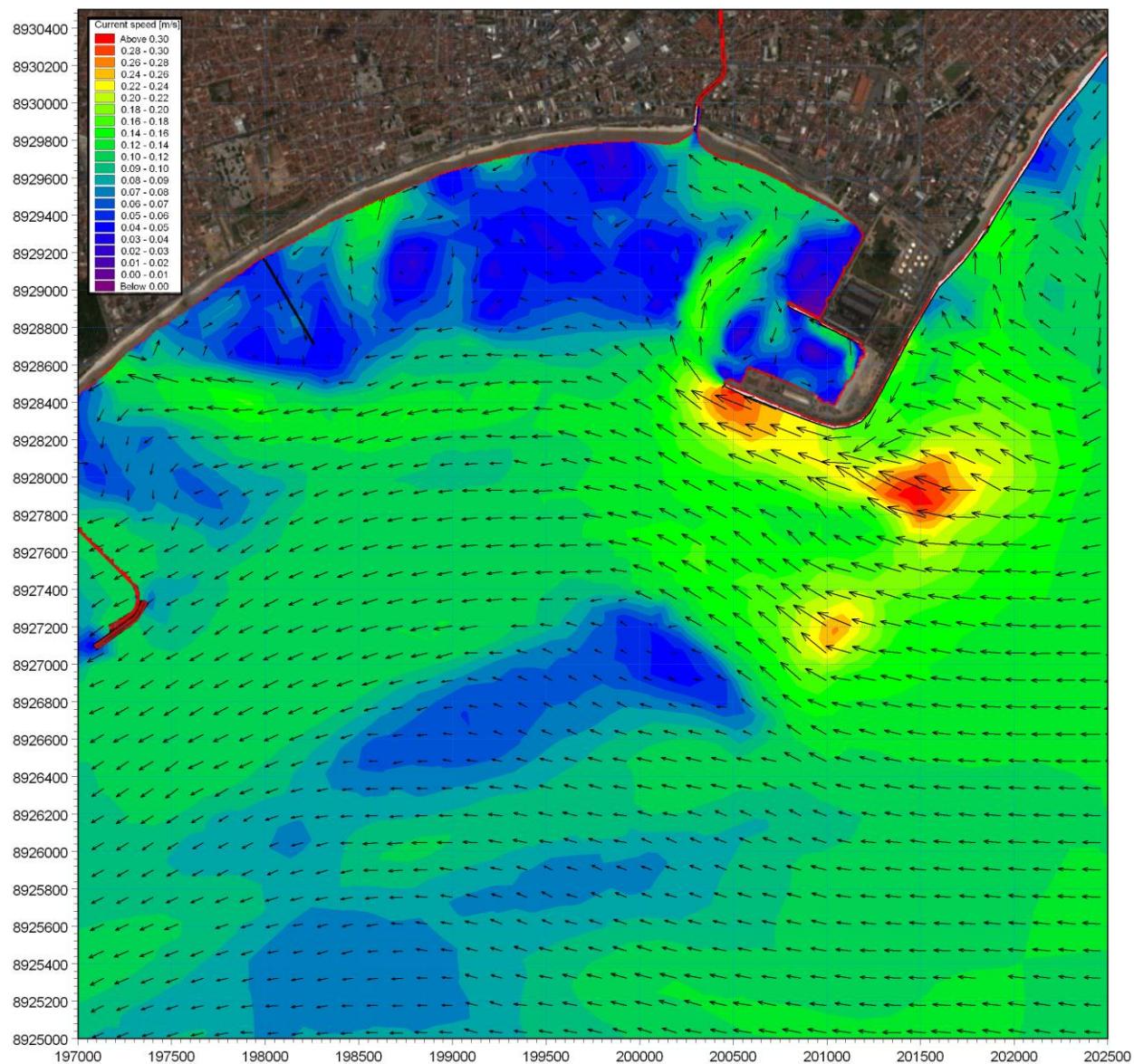


**Figura 5.14.** Padrão de circulação hidrodinâmica de uma maré de sizígia em uma situação de meia maré enchente para os meses representativos de verão. Para permitir uma boa visualização, a densidade de setas é muito inferior à dos pontos de cálculo. Note que as maiores intensidades estão por volta de 0.30 m/s junto ao Porto.

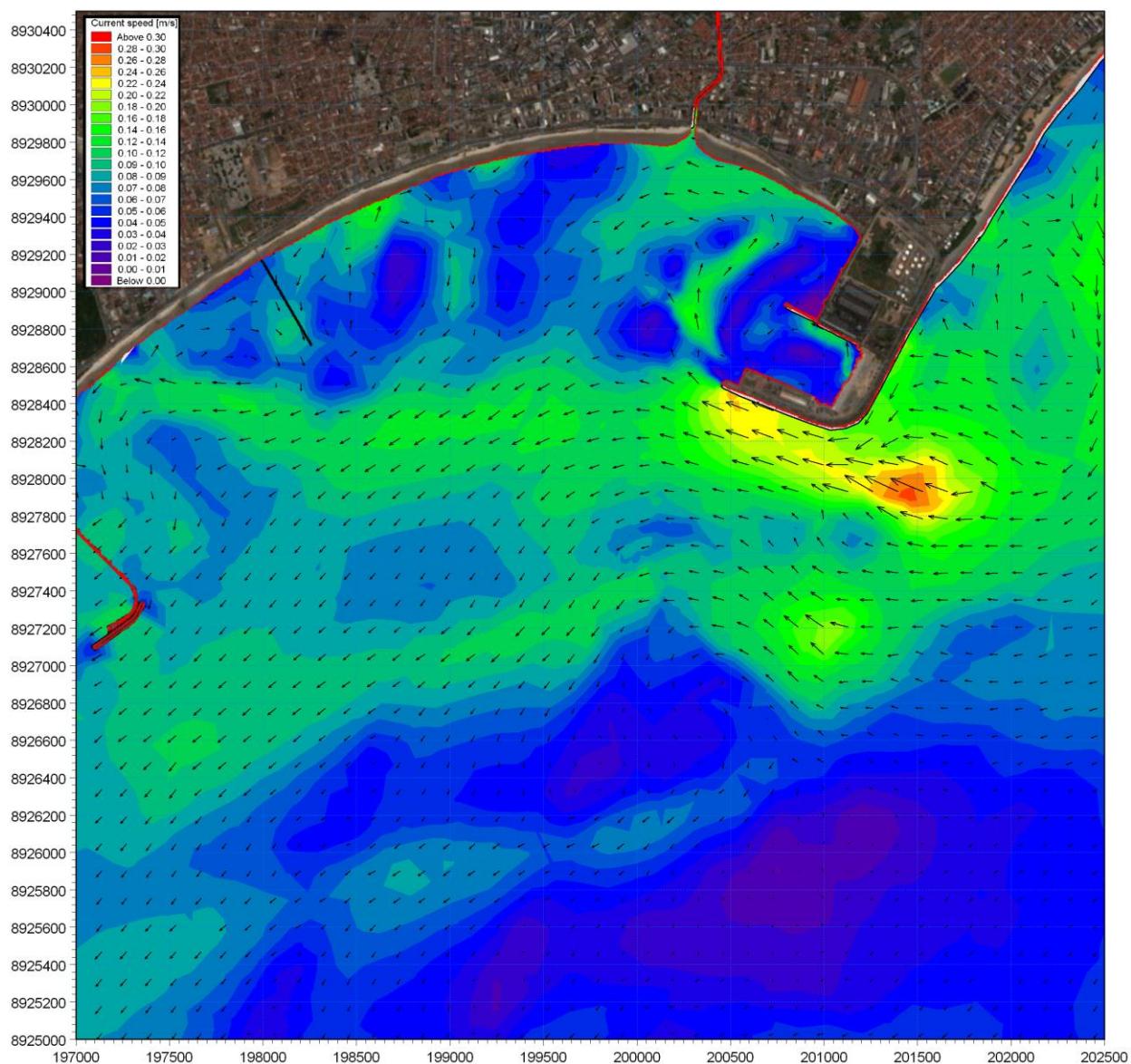


**Figura 5.15.** Padrão de circulação hidrodinâmica de uma maré de sizígia em uma situação de meia maré vazante para os meses representativos de verão. Para essa situação as correntes atingem velocidades em torno de 0.25 m/s na região do Porto. Note também que para ambas as situações, seja enchente ou vazante, as correntes têm um padrão de leste para oeste.

As Figuras 5.16 e 5.17, mostram os padrões de circulação nas proximidades do Porto de Maceió para a situação de enchente e vazante, respectivamente, nos meses representativos de inverno.



**Figura 5.16.** Padrão de circulação hidrodinâmica de uma maré de sizígia em uma situação de meia maré enchente para os meses representativos de inverno. Para permitir uma boa visualização, a densidade de setas é muito inferior à dos pontos de cálculo. Note que não há diferença significativa no padrão de correntes entre as duas estações do ano. As maiores intensidades estão por volta de 0.30 m/s junto ao Porto.



**Figura 5.17.** Padrão de circulação hidrodinâmica de uma maré de sizígia em uma situação de meia maré enchente para os meses representativos de inverno. Note que as maiores intensidades estão por volta de 0.24 m/s junto ao Porto.

### 5.3.3. Modelagem dos rejeitos de dragagem no bota-fora

Nesse tópico será mostrado o efeito das correntes sobre os sedimentos a serem descartados na área de bota-fora.

As características dos sedimentos utilizadas nas simulações foram obtidas com base nas amostras descritas em 62 (sessenta e dois) boletins de sondagem a percussão, elaborados pela empresa MASTERSOLOS, no ano de 2013, e nas observações contidas no item **3.6. Dados Geotécnicos**, neste relatório.

O resultado dos furos, executados ao longo do canal de acesso, bacia de evolução e berços de atracação do Porto de Maceió, mostra forte ocorrência de sedimentos arenosos e argilo-siltosos, com a presença mais destacada das frações ARGILA, SILTE, AREIA FINA e AREIA MÉDIA, em composições diversas no total de cada amostra.

A partir da análise das descrições contidas nos boletins de sondagem, adotou-se, para as simulações, a proporção de 53% de AREIA FINA e 47% de ARGILA, considerando as frações granulométricas mais favoráveis à ressuspensão e transporte, com base nas categorias genéricas identificadas e conforme planilha extraída do mencionado item **3.6.**

**Dados Geotécnicos**, a seguir:

Designação Genérica	Fração Granulométrica
LAMAS/FINOS	Argila Silt
AREIAS	Areia Fina Areia Média Areia Grossa

Considerando que a principal draga a ser utilizada será do tipo autotransportadora, munida de cisterna com capacidade para 5.000 m<sup>3</sup>, adotou-se nas simulações as seguintes premissas:

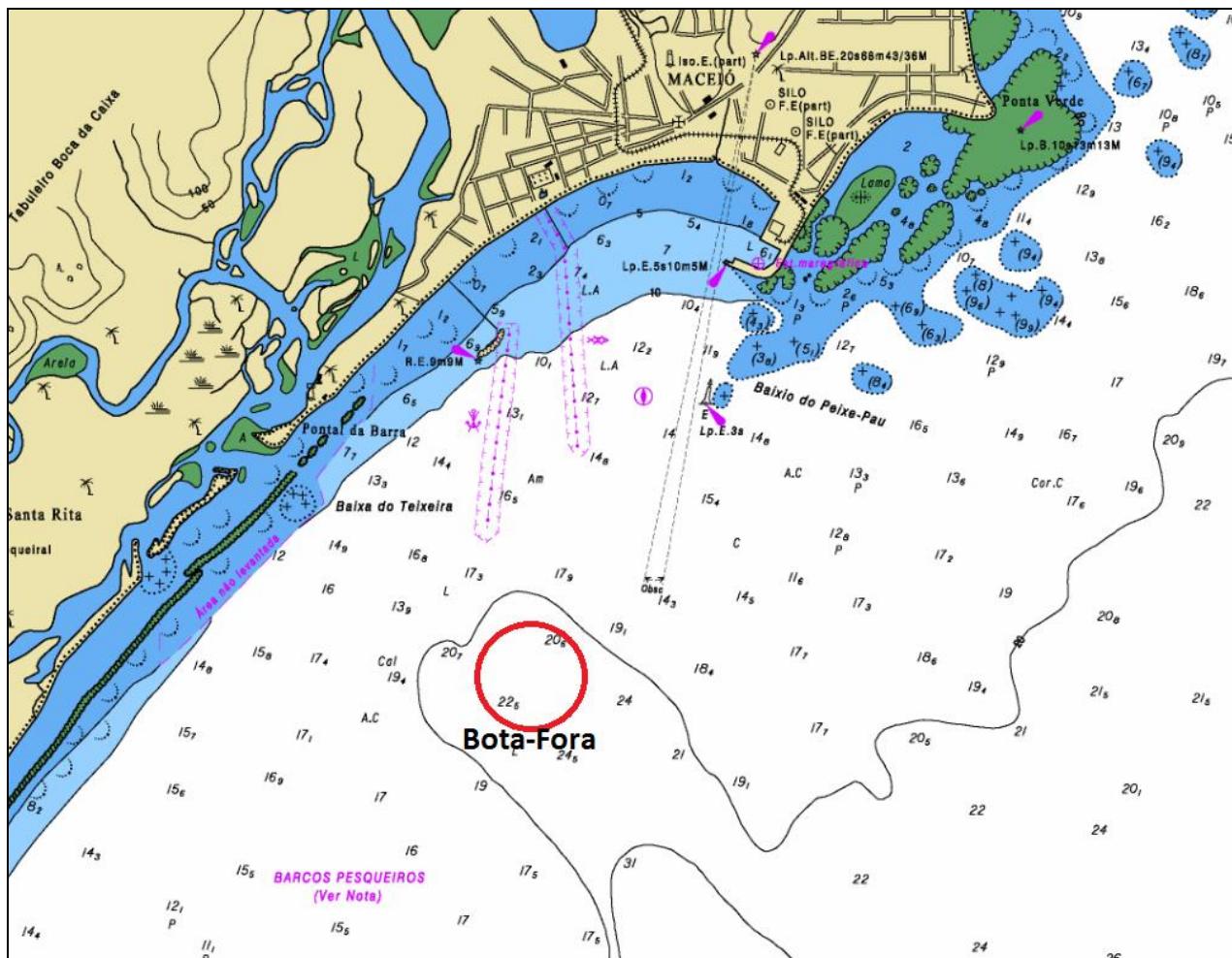
- 3.000 m<sup>3</sup> de material carregado em cada viagem da draga;
- densidade média do material a ser dragado = 1,7 ton/m<sup>3</sup>;
- massa total de 5.100 ton (3.000 m<sup>3</sup> x 1,7 ton/m<sup>3</sup>);

As simulações tiveram duração de 10 dias, com ciclos de lançamento a cada 4 horas, totalizando 60 lançamentos, ocorrendo em períodos de maré de quadratura e de maré de sizígia. O período simulado foi durante o mês de Julho, no inverno, estação onde ocorreram as maiores velocidades de correntes, devidos as maiores alturas de ondas que alcançam a região do porto.

O local do bota-fora está apresentado sobre a Carta Náutica DHN 901 na Figura 5.18. Observa-se que a profundidade média da área do bota-fora é de cerca de 22m e está situada sobre uma espécie de “canyon” submarino, região mais profunda do que as regiões adjacentes. A área de descarte possui 1 milha náutica de diâmetro e está

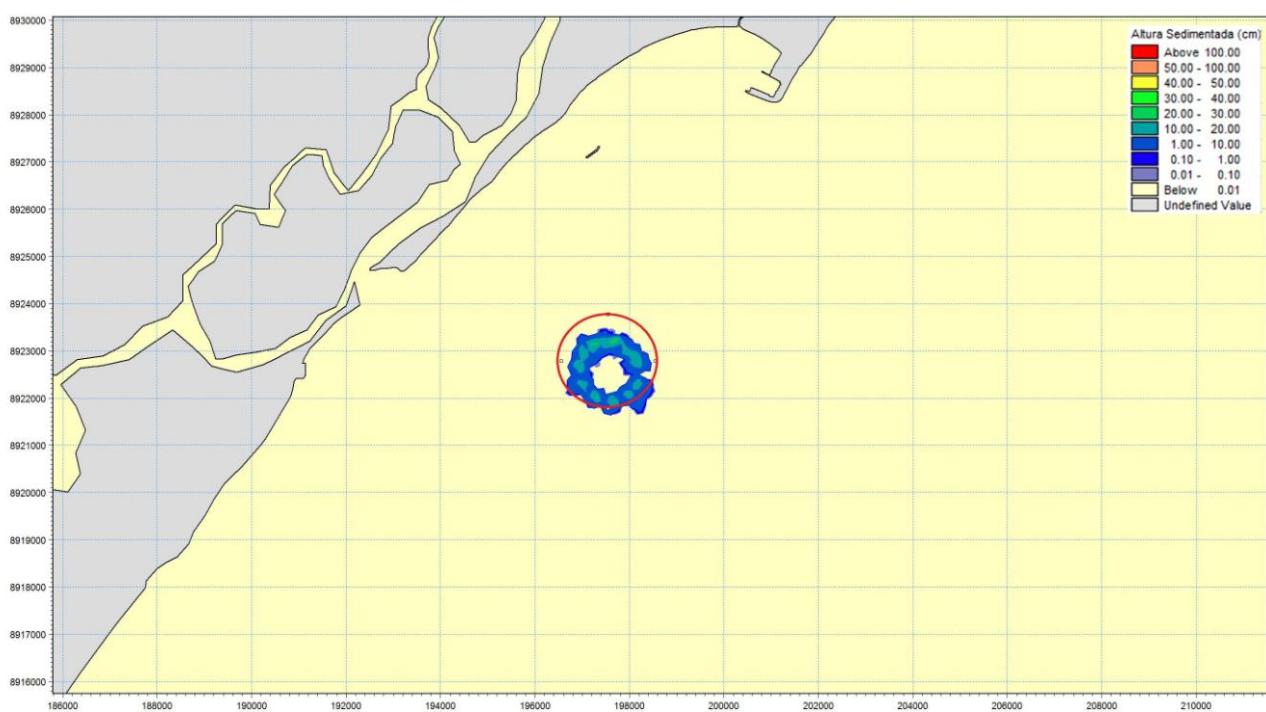
centrada no ponto de coordenadas UTM 197550 E e 8922780 N, conforme Planta INPH-220-13-E-Rev01, em anexo.

Os resultados das simulações de transporte de partículas estão apresentados nas Figuras 5.19 e 5.20. Na Figura 5.19 está o resultado de altura de sedimentação após os 60 ciclos simulados para a fração de areia, e na Figura 5.20 o resultado após o fim da sedimentação da porção de finos.

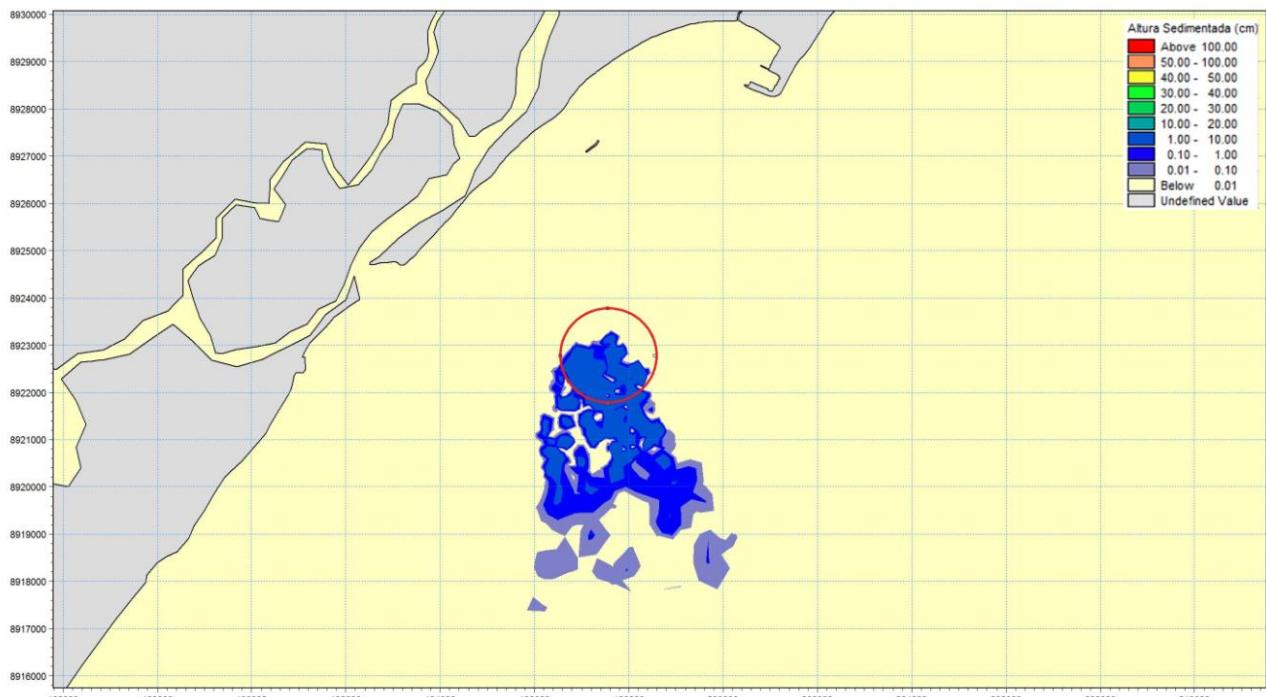


**Figura 5.18.** Localização do bota-fora.

Observa-se que os sedimentos descartados na região do bota-fora não se aproximam da linha de costa. A sedimentação da fração mais grosseira (areia fina) se deposita sob a área de descarte e os sedimentos mais finos presentes na simulação (argila) seguem o caminho na direção predominante das correntes, depositando-se a Sudoeste deste local. Desta forma, o descarte na região do bota-fora não gera impactos hidráulico-sedimentológicos na região costeira.



**Figura 5.19.** Altura de sedimentação da fração de areia lançada na região do bota-fora.



**Figura 5.20.** Altura de sedimentação da fração de finos lançado na região do bota-fora.

## 6. TAXA DE ASSOREAMENTO

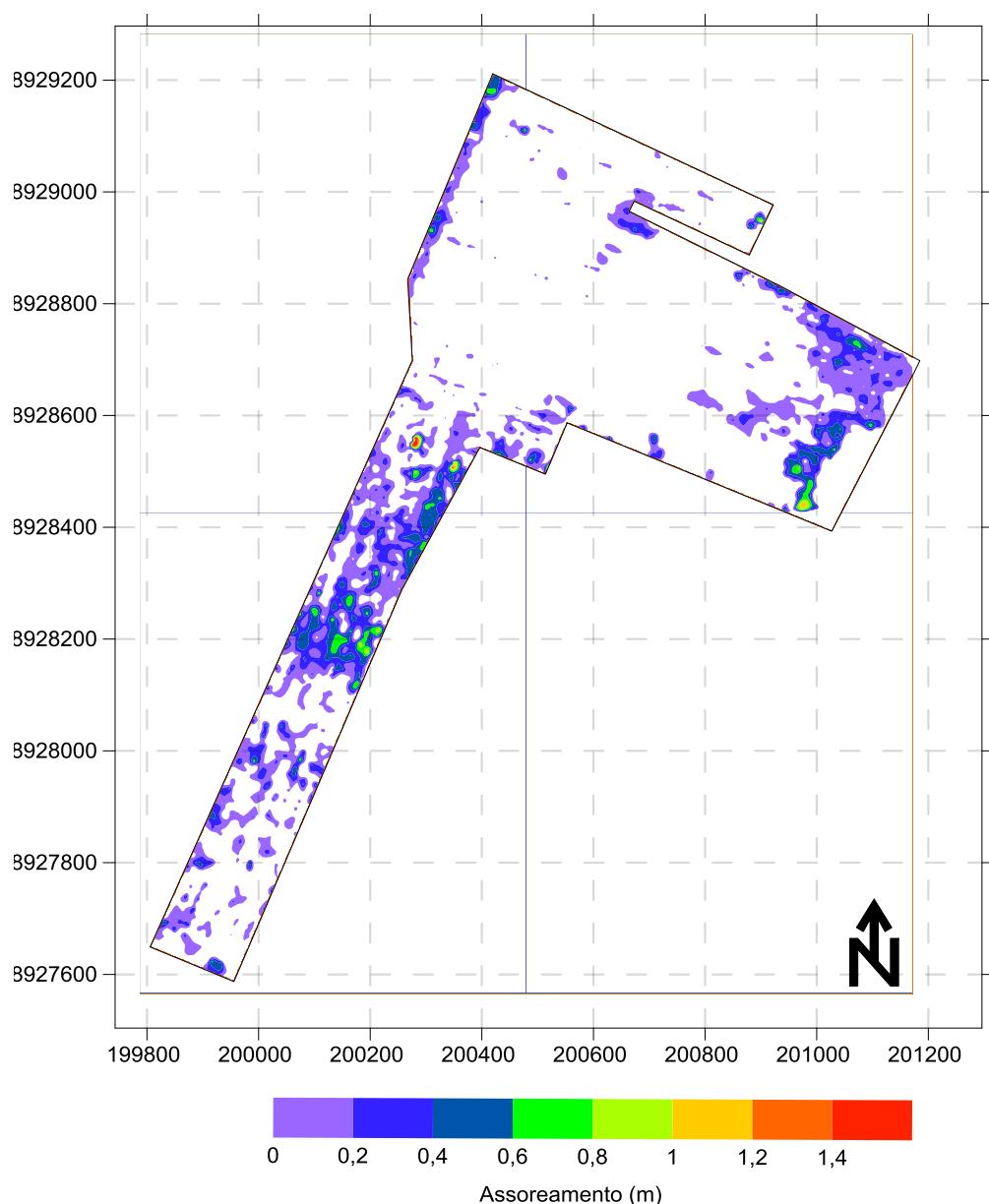
Para a estimativa da taxa de assoreamento anual no canal de navegação do Porto de Maceió foram analisados dois levantamentos batimétricos realizados em agosto de 2010 e fevereiro de 2012.

Os levantamentos batimétricos subsequentes foram comparados, e através das diferenças, foram calculados os volumes que se depositaram durante o intervalo de tempo analisado em cada uma das áreas. A Tabela 6.1 a seguir apresenta o volume assoreado para o período de tempo analisado e uma estimativa do assoreamento anual para o porto de Maceió.

**Tabela 6.1. Valores de assoreamento determinados a partir das análises de duas batimetrias, e as estimativas de assoreamento anual para o canal de navegação.**

Áreas	Volume assoreado ( $m^3$ ) entre agosto de 2010 e fevereiro de 2012	Estimativa de assoreamento anual ( $m^3$ ) para o canal de navegação
Área 1	20.654	
Área 2	798	
Área 3	384	
Área 4	6.685	
Área 5	636	
Área 6	416	
Área 7	806	
Área 8	1.584	
Total	31.963	<b>20.187,158</b>

A Figura 6.1 ilustra espacialmente o assoreamento calculado entre as batimetrias ao longo do canal de navegação.



**Figura 6.1. Assoreamento determinado ao longo do canal de navegação por diferença de batimetria.**

Diante das estimativas acima, o INPH indica como taxa de assoreamento anual o valor de **20.187,158m<sup>3</sup>** tornando desnecessário a dragagem de manutenção do canal de acesso. Cabe ressaltar que este valor corresponde ao assoreamento na caixa, isto é, desconsiderando o assoreamento no talude e na tolerância.

## 7. DIMENSIONAMENTO DO CANAL DE ACESSO AO PORTO DE MACEIÓ

### 7.1. NAVIO-TIPO DE PROJETO: Navio Tanque

O dimensionamento geométrico, feito a partir dos critérios que serão apresentados a seguir, faz uso das dimensões dos navios-tipo como base para os cálculos.

As características (porte, LOA, boca e calado) dos navios-tipo foram obtidas no site da Empresa de Praticagem de Maceió, “Maceió Pilots”.

**Tabela 7.1-** Principais dimensões dos navios-tipo.

Navio	Porte (TPB)	Comprimento (m)		Boca (m)	Calado (m)	Cb
		LOA (m)	Lpp (m)			
Tanque (Celso Furtado)	50.000	183	173	32,2	8	0,8
Graneleiro (Celso DiFrancisco)	40.000	183	173	27	9,8	0,8

### 7.2. Características Gerais

A Tabela 7.2 apresenta um resumo dos valores dos dados ambientais que foram utilizados para o dimensionamento do canal de acesso marítimo ao porto de Maceió.

**Tabela 7.2-** Resumo dos valores dos dados ambientais.

Tipo de Dado	Resultado
Baixa Maré (Bm) (m)	- 0,2
Onda (m)	Hs = 1,25 e L = 46
Fundo	Arenoso
Forma	Laterais taludadas e com banco de areia
Tipo	Desabrigado
Vento Transversal (nós)	<= 30
Corrente Transversal (nós)	<=0,5
Corrente Longitudinal (nós)	<=1,5

### 7.3. Determinação da Profundidade do Canal de Acesso

Segundo PIANC/IAPH o valor da profundidade requerida por um navio de projeto deve ser determinado pela adição ao calado do navio de projeto, de parcelas características, representativas da influência dos movimentos verticais das embarcações, do efeito squat e folga sob a quilha.

Cabe destacar que o calado do navio de projeto deve ser considerado com seu valor máximo.

### 7.3.1- Movimentos Verticais

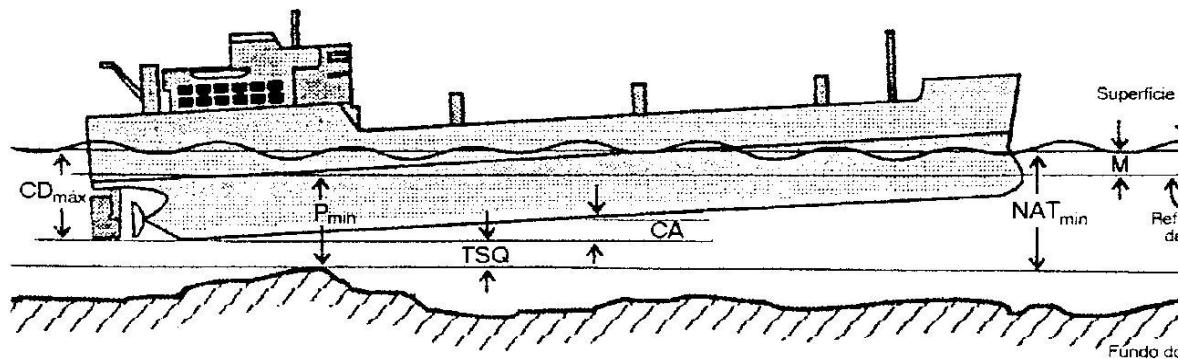
Considerando que em águas rasas os navios provocam uma superfície de abatimento sobre a água ao longo de seu perfil, acarretando aumento em sua imersão (squat) e que sob a ação das ondas movem-se também no plano vertical, tolerâncias devem ser observadas.

A tolerância sob a quilha (TSQ) se torna um fator crítico na navegação segura e eficiente, uma vez que a sua determinação imprecisa para navios de grande calado, entrando ou saindo de portos com profundidade limitada, pode ter sérias consequências econômicas e ambientais. Muitas empresas de navegação possuem normas claras regulando esta questão, podendo o comandante “gerenciar” a TSQ de seu navio de duas formas:

- (1) tomando ações que afetam o calado dinâmico (ex.: mudando a velocidade do navio), e
- (2) programando o horário da rota planejada de modo a assegurar que haverá lâmina d’água suficiente para uma passagem segura nos locais de profundidade restrita.

Ao fazer isto, o comandante deve dispor de informações precisas em tempo real e de previsão, o que justifica a implantação de sistema maregráfico no Porto, com moderna tecnologia de obtenção de dados na forma digital, ligado on-line com a área de programação/operação.

A tolerância sob a quilha é a diferença entre o nível d’água total mínimo (NATmin) no local menos o calado dinâmico máximo (CDmax) do navio. O calado dinâmico é a distância da superfície da água até o ponto mais baixo do navio (quilha ou hélice) quando em movimento. Cada um destes componentes tem vários elementos (Figura 7.1).



Fonte: Parker e Huff (1998)<sup>1</sup>

**Figura 7.1- Elementos da tolerância sob a quilha**

TSQ = Nível d'água total mínimo (NAT<sub>min</sub>) - Calado dinâmico máximo (Cd<sub>máx</sub>)

$$\text{TSQ} = \{ P_{\min} + M \} - \{ CE + S + CA \}$$

Onde:

- $P_{\min}$  : profundidade mínima da carta
- $M$  : altura da maré sobre o nível de referência (maré astronômica + maré meteorológica)
- $CE$  : calado estático (devido à carga e densidade da água)
- $S$  : squat (devido à velocidade do navio)
- $CA$  : calado adicional (devido à mudanças no trim/adernamento por curvas e/ou efeitos de ondas)

### 7.3.2 - Folga sob a quilha devido à natureza do solo

Quando o leito for constituído de material mole, como lama ou areia, de tal forma que um leve toque do navio não provoque avarias, a tolerância deve situar-se em valores inferiores aos de fundos rochosos, pois estes podem provocar avarias perigosas.

De acordo com a NBR nº 13.246/95 recomenda-se: até 0,3m para solo lodoso, de 0,3 a 0,5m para solo Arenoso, e no mínimo 1 m para solo rochoso.

<sup>1</sup> PARKER, B.B. e HUFF, L.C., 1998. Modern Under-keel Clearance Management. The International Hydrographic Review. Vol. LXXV No. 2. September, 1998. Monaco

### 7.3.3 – Squat

O Squat é a tendência de imersão do navio à velocidade, acompanhado por um trim seja pela proa ou pela popa. Este é um efeito que é mais pronunciado quando a profundidade da água é menor que 1,5 vezes o calado estático, resultando numa folga menor que a esperada.

Deverá ser acrescentado ao calado mais 1,0 m, nos projetos preliminares. Para os projetos definitivos, o acréscimo deverá ser calculado de acordo com o navio de projeto. O valor do squat aumenta aproximadamente com o quadrado da velocidade, de modo ser este um fator importante em sua determinação. Outros fatores que vão afetar o valor do squat incluem: o coeficiente de bloco do navio, a razão profundidade de água/calado do navio, e o trim estático.

Apesar de existirem inúmeras formulações teóricas e empíricas sobre a determinação do Squat, utilizaremos a recomendada por PIANC/IAPH (Equação 7.1)

$$\text{Squat (m)} = 2,4 \times \frac{\Delta}{L_{pp}^2} \times \frac{Fr^2}{\sqrt{(1 - Fr^2)}} \quad (7.1)$$

Onde:

$\Delta$  : Cb x Lpp x B x T : Volume de deslocamento

Lpp: Comprimento da embarcação entre perpendiculares

B: Boca

T: Calado estático

Cb: Coeficiente de Bloco

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times h}}$$

Onde:

V: Velocidade da embarcação (m/s)

h: Profundidade do canal (T+10%)

g: Aceleração da gravidade local (9,81 m/s<sup>2</sup>)

### 7.3.4 - Cálculo da profundidade para o canal desabrigado (canal externo) considerando o Navio Graneleiro

Sendo assim de acordo com PIANC o cálculo da profundidade do canal é obtido a partir da equação 7.2

$$P = Bm + T + Squat + efeito\ onda + folga\ quilha \quad (7.2)$$

Onde:

P = Profundidade

Bm (baixamar) = 0,0 m, de acordo com a Tabela 7.2

Squat = Equação 7.1

Efeito onda = Se o comprimento do navio for menor que o comprimento da onda (L) então efeito onda = (altura da onda (Hs))/2 caso contrário será zero.

Folga quilha = de acordo com a natureza do solo, no caso de solo arenoso o valor varia de 0,3 a 0,5 m. Como queremos a pior situação utilizaremos o valor de 0,5 m

Sendo assim, obteve-se:

$$\Delta = Cb \times Lpp \times B \times T = 0,80 \times 173 \times 27 \times 9,8 = 36.620,64$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times h}} = \frac{3,60}{\sqrt{9,81 \times (9,8 * 1,1)}} = \frac{3,60}{\sqrt{105,7518}} = \frac{3,60}{10,2836} = 0,3501$$

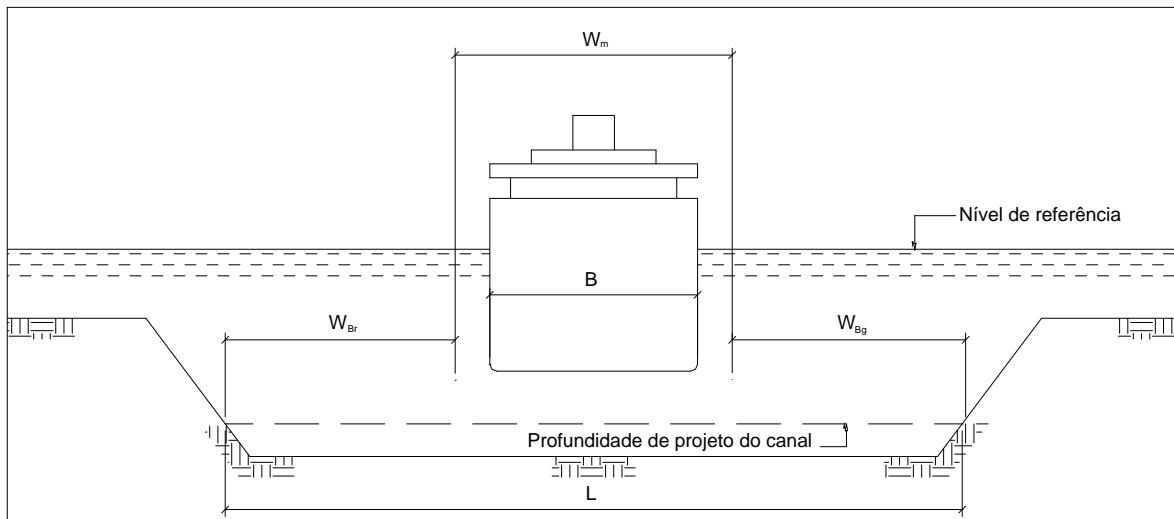
$$Squat = 2,4 \times \frac{\Delta}{Lpp^2} \times \frac{Fr^2}{\sqrt{(1 - Fr^2)}} = 2,4 \times \frac{36620,64}{173^2} \times \frac{0,3501^2}{\sqrt{(1 - 0,3501^2)}} \cong 0,39$$

Substituindo os valores encontrados na equação 7.2 temos:

$$P = 0,0 + 9,8 + 0,39 + 0 + 0,5 = 10,69 \text{ m} \cong 11 \text{ m}$$

## 7.4 - Determinação da Largura do canal de acesso

A publicação do PIANC/IAPH define a largura dos canais de acesso nos trechos retilíneos como um somatório da largura da faixa de navegação, mais as diversas larguras adicionais que dependem dos fatores que serão mencionados adiante. O valor da largura, então, varia em função de cada caso. A Figura 7.2 ilustra os elementos que determinam a largura de um canal de acesso em única via em função de um navio tipo de projeto.



**Figura 7.2:** Canal de via única com talude normal.

### 7.4.1 Largura necessária para Canal de acesso com via única

A Equação 7.3 determina o valor da largura do canal de acesso com via única:

$$\text{Largura do canal: } W = W_{BM} + \sum_{i=1}^n W_i + W_{BR} + W_{BG} \quad (7.3)$$

onde:

**W<sub>BM</sub>**: pista de manobra básica

**W<sub>BR</sub> = W<sub>BG</sub>**: larguras adicionais por efeito dos taludes laterais, para uma velocidade da embarcação

**W<sub>i</sub>** : influências nas larguras dos trechos retos de canal, conforme a seguir:

- ação da velocidade
- ventos transversais
- correntes transversais
- correntes longitudinais
- alturas de ondas
- auxílios à navegação
- superfície de fundo
- profundidade da via navegável
- periculosidade da carga

#### 7.4.2 - Cálculo da largura para o canal desabrigado (Canal externo) considerando o Navio Tanque

**W<sub>BM</sub>** : pista de manobra básica, considerada boa = 1,3 B

**W<sub>BR</sub> = W<sub>BG</sub>** : larguras adicionais por efeito dos taludes laterais e com banco de areia, para uma velocidade da embarcação lenta (6 nós) = 0,5 B

**W<sub>i</sub>** : influências nas larguras dos trechos retos de canal, conforme a seguir:

- ação da velocidade da embarcação (lenta, de 5 a 8 nós)	=	0,0 B
- ventos transversais fracos e velocidade da embarcação lenta	=	0,4 B
- correntes transversais moderadas e velocidade da embarcação lenta	=	0,3 B
- correntes longitudinais fracas e velocidade da embarcação lenta	=	0,0 B
- alturas de ondas Hs e comprimento da onda L	=	0,5 B
- auxílios à navegação (bons)	=	0,1 B
- superfície do canal (Profundiade < 1,5T e lisa e macia)	=	0,1 B
- profundidade do canal < 1,15 T	=	0,2 B
- periculosidade da carga (média – petróleo)	=	0,5 B <b>2,1B</b>

Substituindo-se os valores na Equação 7.3, teremos:

$$W = 1,3(32,2) + 2,1(32,2) + 0,5(32,2) + 0,5(32,2) \approx 142 \text{ m}$$

A Tabela 7.3 apresenta os resultados obtidos para o dimensionamento do canal de acesso em via única para os navios-tipo Tanque e Graneleiro, com boias com raio de giro de 10m, conform a IALA:

##### Argumentação IALA (Guideline 1078) para raio de giro.

The AtoN should be surveyed and positioned with at least the same accuracy as the nautical chart. This is determined in the IHO Standards for Hydrographic Surveys (S-44) 5<sup>th</sup> Edition February 2008 with accuracies of:

- 2 m for fixed aids (5 m when depth more than 100m);
- 10 m for floating aids (20 m when depth more than 100m).

Tabela 7.3. Resultados obtidos no dimensionamento do canal.

PROFUNDIDADE (m)	LARGURA CALCULADA (m)	GIRO DA BOIA	LARGURA MÍNIMA (m)
11,0	142,0	20,0	162,0

## 8. QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME A SER DRAGADO

Em função dos estudos realizados foram quantificados os volumes a dragar através do software *Surfer*. O local dos serviços de dragagem foi dividido em áreas distintas, segundo os critérios mencionados no item 3.7. Análise Integrada dos Dados e conforme detalhado na respectiva Figura 3.18.

O quadro, a seguir, mostra as premissas básicas de projeto utilizadas e os respectivos volumes calculados, por cada área do Porto de Maceió.

Área		Berço	Cota de Projeto (m)	Talude	Largura (m)	Extensão (m)	Tolerância Vertical (m)	Volume de Projeto (m <sup>3</sup> )	Volume Tolerado (m <sup>3</sup> )	Volume Final (m <sup>3</sup> )
1	<b>Canal de Acesso</b>	--	11,0	1:4	162	1.150	0,3	128.773	38.787	<b>167.599</b>
2	<b>2.1. Bacia de Evolução</b>	--	11,0	1:4	Variável	890	0,3	591.358	95.163	<b>686.520</b>
	<b>2.2. Cais de Múltiplo Uso</b>	5	11,0	0			0,3	19.951	3.725	<b>23.676</b>
3	<b>Cais de Fechamento</b>	1	10,0	1:4	100	120	0,3	13.486	3.462	<b>16.947</b>
4	<b>Cais Comercial</b>	2, 3 e 4	10,5	0	20	553	0,3	10.517	3.089	<b>13.606</b>
5	<b>Cais Açucareiro</b>	6	10,5	0	20	281	0,3	3.770	1.499	<b>5.269</b>
6	<b>TGL - Interno</b>	7	11,0	0	20	304	0,3	18.499	3.011	<b>21.509</b>
7	<b>TGL - Externo</b>	8	9,0	1:4	95	552	0,3	202.324	19.591	<b>221.915</b>
<b>TOTAL (m<sup>3</sup>)</b>										<b>1.157.003</b>

O volume a ser dragado é de **1.157.003 m<sup>3</sup>** (Hum milhão cento e cinquenta sete mil e três metros cúbicos).

## 9. ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS A SEREM UTILIZADOS

De acordo com as características da área sugere-se a utilização da Draga Autotransportadora – AT e da Draga Backhoe com Batelão de Carga Autopropulsado tipo “Split”, com condições de dragar as profundidades previstas, e devem estar devidamente autorizados pela autoridade marítima. Serão alocados equipamentos com capacidades adequadas de forma a garantir produção mínima e prazos máximos estipulados. As dragas deverão ser dotadas com equipamento a bordo que proporcione o posicionamento eletrônico das mesmas.

### • DRAGA AUTOTRANSPORTADORA

A Draga Autotransportadora executará seus serviços na área 1 e 2.1 com volume total estimado em 854.080 m<sup>3</sup>.

#### Características

Capacidade nominal da cisterna: 4.700 m<sup>3</sup>.

Velocidade média de transporte: 8 MN/h

Potência total instalada: 7.850 kW

Trecho	Produção mensal (m <sup>3</sup> /mês)	Prazo
1	745.636,86	7 dias
2.1	745.636,86	28 dias

### • DRAGA BACKHOE + 1 BATELÃO DE CARGA

A Draga Backhoe executará seus serviços nas áreas: 2.2, 3, 4, 5, 6e 7 com volume total estimado em 302.923 m<sup>3</sup>.

#### Características (1 Draqa Backhoe )

Capacidade nominal da caçamba: 11 m<sup>3</sup>

Potência total instalada: 900 kW

#### Características (1 Batelão de Carga Autopropulsado)

Capacidade nominal da cisterna: 400 m<sup>3</sup>.

Velocidade média de transporte: 6 MN/h

Potência total instalada: 270 kW

Trecho	Produção mensal (m <sup>3</sup> /mês)	Prazo
2.2, 3, 4, 5, 6 e 7	82.152	111 dias

## 10. CRONOGRAMA

Os serviços terão o prazo total de aproximadamente 4 meses, excluídos os prazos de mobilização e desmobilização dos equipamentos. A Tabela 10.1 apresenta o cronograma físico da obra.

Tabela 10.1 – Cronograma físico das obras de dragagem no Porto de Maceió - AL.

<b>DRAGAGEM DO PORTO DE MACEIÓ - AL</b> <b>CRONOGRAMA FÍSICO</b> <i>Base: Julho / 2016</i>										
<b>ITENS</b>	<b>DISCRIMINAÇÃO</b>	<b>UNID.</b>	<b>QUANT.</b>	<b>MÊS 0</b>	<b>MÊS 1</b>	<b>MÊS 2</b>	<b>MÊS 3</b>	<b>MÊS 4</b>	<b>MÊS 5</b>	<b>MÊS 6</b>
<b>1 MOBILIZAÇÃO</b>										
1.1	Draga Autotransportadora 4.700 m	dias	19							
1.2	Draga Backhoe + 2 Batelões	dias	43							
<b>2 DRAGAGEM</b>										
2.1	Draga Autotransportadora 4.700 m	dias	34							
2.2	Draga Backhoe + 2 Batelões	dias	111							
<b>3 DESMOBILIZAÇÃO</b>										
3.1	Draga Autotransportadora 4.700 m	dias	17							
3.2	Draga Backhoe + 2 Batelões	dias	41							



## **ANEXOS**



# OFÍCIOS



# PERFIS



# PLANTAS