

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CÊNCIAS DO MAR - LABOMAR  
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**



**UFC**

Anna Caroline Dantas Lino de Jesus

**ESTUDO DAS VARIÁVEIS OCEANOGRÁFICAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO  
TERMINAL MARÍTIMO DE PASSAGEIROS DO PORTO DE FORTALEZA –  
PRAIA MANSÁ, CEARÁ, BRASIL**

Fortaleza  
2014

Anna Caroline Dantas Lino de Jesus

Estudo das variáveis oceanográficas na área de influência do Terminal Marítimo de Passageiros do Porto de Fortaleza – Praia Mansa, Ceará, Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito final à obtenção do Título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais.

Área de concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Ozilea Bezerra Menezes.

Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lidriana de Souza Pinheiro

Fortaleza  
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Rui Simões de Menezes

---

J56m Jesus, Anna Caroline Dantas Lino de.

Estudo das variáveis oceanográficas na área de influência do Terminal Marítimo de Passageiros do Porto de Fortaleza- Praia Mansa, Ceará, Brasil./ Anna Caroline Dantas Lino de Jesus. – 2014.  
134 f.: il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2014.

Área de Concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.

Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Ozilea Bezerra Menezes.

Co-Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lidriana de Souza Pinheiro.

1. Forçantes oceanográficas. 2. Obra costeira – Mucuripe. I. Título.

---

CDD 551.457

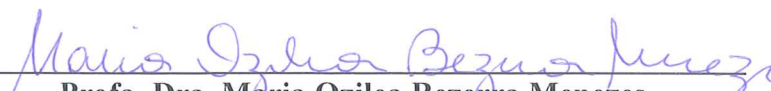
# ANNA CAROLINE DANTAS LINO DE JESUS


## “ESTUDO DAS VARIÁVEIS OCEANOGRÁFICAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO TERMINAL MARÍTIMO DE PASSAGEIROS DO PORTO DE FORTALEZA – PRAIA MANSA, CEARÁ, BRASIL”.

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR – Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais, área de concentração em Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.


Aprovada em, 18 de julho de 2014.

### BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Maria Ozilea Bezerra Menezes**  
UFC (Orientadora – Presidente)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira**  
UFC (Examinador Interno)

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro**  
UFC (Examinadora Interna)

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Alexandre Medeiros de Carvalho**  
UFC (Examinador Externa à Instituição)

## AGRADECIMENTOS

Quantos, por medo de parecerem tolos, abandonam ideias interessantes porém complicadas de se realizar? Teria o mundo avançado se todos os utópicos simplesmente abandonassem seus planos no meio do caminho?

Há bifurcações nas longas jornadas onde para cada escolha haverá uma renúncia. Algumas missões serão realizadas por um fio; um elo frágil que revela alguém que não desistiu.

A satisfação na conclusão desta etapa é saber que assim foi feito porque Deus ditou cada rumo e cada velocidade de avanço. Aprendi neste trabalho, que dimensionar o custo-benefício é trivial e que pedir é mais difícil do que ceder algo a alguém. Àqueles que me ajudaram sem que eu pedisse (os anjos), lhes ofereço a minha amizade eterna. Sintam-se aqui homenageados o financiador dos meus sonhos Moacir Lino (pai), a futura psicanalista Anna Angélica (mãe), solidária nas minhas aflições, o Prof. Joaquim Bento da CDC, que acredita no meu trabalho, as companheiras para horas mais calmas Natália Castro e Emili (Lúmen) e a doce e dedicada amiga Kenia –*in memoriam*.

Àqueles que não me negaram ajuda, mesmo que estivessem em momentos de aflição, ofereço a minha gratidão e minha ajuda para momentos de igual dificuldade. Cito aqui a gerontóloga, escritora e mãe adotiva Sávia Ferraz e a guerreira e irmã do coração Carolina Ferraz, o sempre gentil Gleidson, o disposto Diego do LabDic, a técnica Cida e a Dr<sup>a</sup> Mônica do LOG, o solidário Prof. Carlos Teixeira e os alunos dos cursos de Oceanografia e Ciências Ambientais (Carlos Cattony e Bruno Carvalho) que participaram de campanhas, mesmo que mareados por 13 horas, ou que realizaram análises de laboratório um pouco repetitivas. Aos que ajudaram mesmo sem querer, agradeço igualmente, pois a contribuição não foi menos importante do que aquelas que me foram dedicadas de coração.

À orientadora; diretora; tutora; professora e conselheira, desejo mais descanso e agradeço por ter insistido que eu finalizasse, nas muitas tentativas de desistência. Às instituições (FUNCEME) e professores que cederam equipamentos e dados e aos que financiaram o trabalho (Projeto Transaqua-FINEP e Plano Básico de Monitoramento da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Fortaleza–Labomar/CDC e ao CNPq pela bolsa concedida): obrigada pela confiança depositada! E aos funcionários que me receberam com um café bem quentinho, obrigada pelo carinho!

Mais do que acompanhar mudanças, fundamental é inspirá-las. A saga nordestina me rendeu três valiosas descobertas para a vida: 1- O seu grande amor não vai desistir de você; 2- O mestrado pode não ter sido uma escolha genial, mas descobrir minha real aptidão através dele foi mais do que genial. 3- Quem confia em Deus não precisa de sorte, mas precisa ter muita fé.

"A persistência é o menor caminho do êxito."

*Charles Chaplin*

## RESUMO

A sedimentação de canais de navegação, valas de dutos e portos frequentemente representa uma questão essencial no planejamento e projeto de novas estruturas ou melhoria das existentes. Nas costas arenosas com exposição a ondas moderadas ou fortes, o assoreamento associado à movimentação de sedimentos pode criar problemas de navegação, bem como gerar custos consideráveis de dragagem. O local estudado trata-se de uma praia formada à sombra de um molhe por efeito da refração de onda provocada pela alteração antrópica da dinâmica local. Os principais agentes dinâmicos que promovem a mudança no modelado da costa nordestina do Brasil são as ondas, as correntes e os ventos. A Praia Mansa situa-se na Enseada do Mucuripe, Fortaleza- Ceará, local de construção do Terminal de Passageiros do Porto de Fortaleza (início 2012) onde foi feito o monitoramento de variáveis oceanográficas, da sedimentologia e de padrões morfológicos da praia ao longo do período de construção. O objetivo principal deste trabalho é contribuir com dados oceanográficos e sedimentológicos que evidenciem a dinâmica hidrosedimentar que deve se estabelecer a partir das alterações morfológicas na Bacia Portuária. A coleta de dados foi estruturada em 4 campanhas terrestres e 10 campanhas oceanográficas em dois pontos, executadas de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2014. Foram coletadas 100 amostras de sedimento para análises de granulometria e teores de matéria orgânica e carbonato de cálcio e realizados 34 perfis de praia distribuídos nas campanhas terrestres. Nas campanhas oceanográficas foi realizado o monitoramento de ventos, ondas, marés e correntes e coletadas amostras de água em superfície (130 amostras) e fundo (117 amostras) de hora em hora durante um semiciclo de maré (13 horas). O método de processamento de dados consistiu basicamente na constituição de gráficos de séries temporais curtas (horas e dias). Quanto aos perfis de praia, foram selecionados alguns perfis para constituir células de praia que foram usadas para comparação qualitativa das variações ao longo do ano de 2012. Concluiu-se, de uma maneira geral, que as células de praia C1 e C3 tendem a apresentar características de praias dissipativas, enquanto C2 tende a apresentar características de praias intermediárias, uma vez que se apresenta mais exposta à incidência de ondas difratadas. Em termos sedimentológicos constatou-se pelos resultados uma inconsistência na fração granulométrica descrita (RIMA do Terminal) na região da face de praia da Praia Mansa que neste trabalho constatou-se ser areia fina e no estudo comparado foi apresentada areia média. Para teor de matéria orgânica obteve-se média de 0.87% e carbonato de cálcio 4.44%. Os ventos se apresentaram com velocidade média superior a 4.5m/s. A altura significativa de onda ficou com média 0.98m para a área exposta e 0.4m para a área abrigada. A amplitude média da maré ficou em 2.05m. As correntes apresentaram-se mais intensas em sua componente E-W, com direção predominante para W e o material em suspensão teve concentração média de 93mg/L na superfície e 83.4 mg/L no fundo para estação seca. Na estação chuvosa a concentração de MES ficou entre 71 e 80mg/L. Os resultados foram, no geral, condizentes com os valores já descritos na literatura.

**Palavras-chave:** forçantes oceanográficas, dinâmica, Enseada do Mucuripe.

## ABSTRACT

Sedimentation of navigation channels, ditches pipelines and ports often is a key issue in the planning and design of new structures or improvements of existing ones. The sandy shores exposed to moderate or strong waves, siltation associated with sediment movement can create navigation problems, as well as generate considerable costs of dredging. The studied area is in a beach formed in the shadow of a jetty by the effect of wave refraction caused by anthropogenic alteration of the local dynamics. The main dynamic agents that promote change in the shape of the northeastern coast of Brazil are the waves, currents and winds. The Mansa Beach is located in the cove of Fortaleza, Fortaleza, Ceará, construction site of the Passenger Terminal of the Port of Fortaleza (initiated 2012) where was made the monitoring of oceanographic variables, the sedimentology and morphological patterns of beach along the construction period. The main objective of this work is to contribute to oceanographic and sediment data showing the dynamics that should be established after the morphological changes in the Port Basin. Data collection was structured on 4 ground campaigns and 10 two points oceanographic campaigns, performed from February 2012 to February 2014. Exact 100 sediment samples were collected for analysis of particle size and organic matter content and calcium carbonate and played 34 profiles beach spread on land campaigns. In oceanographic monitoring the winds, waves, tides and currents was carried out and surface water samples (130 samples) and bottom (117 samples) collected each hour for a half cycle of tide (13 hours). The method of data processing consisted basically in setting up graphics of short time series (hours and days). As for the beach profiles, some profiles were selected to constitute beach cells that were used for qualitative comparison of the variations over the year 2012. It was concluded in a general manner, that the beach cells C1 and C3 tend to exhibit dissipative characteristics on the beach, while C2 tends to have intermediate beaches characteristics, which is more exposed to the effect the diffracted waves. In sediment terms, the results found an inconsistency in the size fraction described (Terminal's Environmental Impact Assessment) in the shoreface of Praia Mansa region found in this work to be fine sand and comparative study was presented medium sand. For organic matter content was obtained averaging 0.87% and 4.44% calcium carbonate. The winds were presented at an average speed greater than 4.5m/s. The significant wave height was 0.98m for the exposed area and 04m for sheltered area. The average amplitude of the tide came in 2.05m. The currents were more intense in its E-W component, with predominant direction for W and suspended material had an average concentration of 93mg/L in surface and 83.4 mg/L both at the dry season. In the rainy season the concentration of material in suspension was between 71 and 80mg/L. Results were in general consistent with the values described in the literature.

**Keywords:** oceanographic forcing, dynamics, cove of Mucuripe.



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Compilação de aerofotos e imagens de satélite de 1958 a 2012 com a evolução da forma e tamanho da Praia Mansa ao longo dos anos. Fonte: CDC.....   | 21 |
| Figura 2 Localização da área de estudo contendo imagem aérea do Porto do Mucuripe. Fonte: CDC.....  | 30 |
| Figura 3 Localização da Bacia Portuária do Mucuripe. Fonte: autor .....   | 31 |
| Figura 4 Imagem modificada do Google Earth, georreferenciada, contendo Bacia Portuária do Mucuripe e pontos de coleta de dados identificados como Ponto 1 e Ponto 2. Fonte: autor.....                                | 31 |
| Figura 5 Projeção da empresa ARCHITECTUS (2011), da localização do empreendimento sobre a área da Praia Mansa. Fonte: (CARUSO JR., 2011) . .....  | 32 |
| Figura 6 Shape da costa cearense contendo limites da navegação interior segundo normas da DPC. (Fonte: autor). .....  | 33 |
| Figura 7 Batimetria do Anteprojeto de Dragagem de Manutenção do Terminal de Passageiros. Fonte: modificado de (INPH/SEP, 2014). .....   | 33 |
| Figura 8 Imagem georreferenciada com os pontos amostrados na Campanha 1, com 29 amostras. Fonte: autor. ....  | 37 |
| Figura 9 Imagem georreferenciada com os pontos amostrados na Campanha 2, com 33 amostras. Fonte: autor. ....  | 38 |
| Figura 10 Imagem georreferenciada com os pontos amostrados na Campanha 3, com 19 amostras. Fonte: autor.....  | 39 |
| Figura 11 Imagem georreferenciada com os pontos amostrados na Campanha 4, com 19 amostras. Fonte: autor.....  | 40 |
| Figura 12 Representação dos pontos inicial P0 e reposicionamentos P1, P2 e P3 da embarcação Robmar na campanha hidrográfica de 14 de dezembro de 2012. (Fonte: autor).....  | 41 |
| Figura 13 Estação Total posicionada sobre referencial da Portobrás no Porto de Fortaleza com visada para a Praia Mansa onde estão o operador do prisma e os responsáveis pela coleta de amostras. (Fonte: autor)..... | 43 |
| Figura 14. Construção do Terminal de Passageiros, imagens de 06 de junho de 2012. Fonte: autor .....  | 44 |
| Figura 15 Construção do Terminal de Passageiros. À esquerda imagem datada de 27 de junho de 2012 sem alterações significantes e à direita em 25 de julho de 2012 com redução da faixa de praia. Fonte: autor. ....    | 44 |
| Figura 16 Ondógrafo RBR à esquerda, modelo TWR-2050, e acoplado à garateia à direita para fundeio. (Fonte: autor). .....  | 46 |
| Figura 17 Coleta de amostras de água para análise de material em suspensão na água em superfície e fundo com garrafa de Van Dorn. Fonte: autor.....   | 48 |
| Figura 18 Da esquerda para a direita: amostras no banco de amostras, amostras na estufa a 60°C para secagem e lavagem de amostra para remoção de sais (Fonte: autor).....   | 50 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 19 Agitador mecânico “Ro-Tap” à esquerda com sequência de 12 peneiras e à direita, balança de precisão utilizada na pesagem das frações retiradas das peneiras. Fonte: autor. ....             | 50 |
| Figura 20 Calcímetro de Bernard modificado para obtenção de teor de Carbonato de Cálcio no sedimento. Fonte: (BEZERRA L. J., 2009). ....  | 52 |
| Figura 21 À esquerda forno de mufla para calcinação das amostras em cadinhos de porcelana. À direita, balança de precisão com 3 casas decimais.(Fonte: autor). ....                                   | 53 |
| Figura 22 Filtragem de água para obtenção de material em suspensão das amostras de superfície e de fundo. (Fonte: autor). ....  | 55 |
| Figura 23 Equação para cálculo da Concentração de material em suspensão. Fonte: autor. ....   | 56 |
| Figura 24 Imagem georreferenciada da Praia Mansa com distribuição espacial aproximada dos perfis de praia por campanha terrestre. Fonte: autor. ....  | 57 |
| Figura 25 Célula de praia 1 (C1) composta de perfis bidimensionais sendo o perfil 2 da campanha de fevereiro e o perfil 2 da campanha de junho de 2012. Fonte: autor. ....                            | 58 |
| Figura 26 Célula de praia 2 (C2) composta de perfis bidimensionais sendo o perfil 5 da campanha 1, o perfil 8 da campanha 2, o perfil 3 da campanha 3 e o perfil 3 da campanha 4. Fonte: autor. ....  | 59 |
| Figura 27 Célula de praia 3 (C3) composta de perfis bidimensionais sendo o perfil 7 da campanha 1, o perfil 10 da campanha 2, o perfil 5 da campanha 3 e o perfil 6 da campanha 4. Fonte: autor. .... | 60 |
| Figura 28 Distribuição das fácies sedimentares na área do Porto do Mucuripe baseada em dados de 1969 e 1970. Fonte: MORAIS (1972). ....   | 62 |
| Figura 29 Mapa com distribuição de granulometria do sedimento da Enseada do Mucuripe e Praia Mansa. Fonte: CARUSO JR, 2011. ....  | 63 |
| Figura 30 Gráficos de Percentual de Areia Fina, Areia Média e outras frações, por amostra da Campanha 1. Fonte: autor. ....   | 64 |
| Figura 31 Gráficos de Percentual de Areia Fina, Areia Média e outras frações, por amostra da Campanha 2. Fonte: autor. ....   | 65 |
| Figura 32 Gráficos de Percentual de Areia Fina, Areia Média e outras frações, por amostra da Campanha 3. Fonte: autor. ....   | 66 |
| Figura 33 Gráficos de Percentual de Areia Fina, Areia Média e outras frações, por amostra da Campanha 4. Fonte: autor. ....   | 67 |
| Figura 34 Delimitação da área do Terminal e presença de vegetação de restinga na parte inalterada da praia. Fonte: (CARUSO JR., 2011). ....   | 68 |
| Figura 35 Gráficos do teor de matéria orgânica em percentual presente em cada amostra analisada por Campanha terrestre realizada. Fonte: autor. ....  | 69 |
| Figura 36 Gráficos do teor de carbonato de cálcio em percentual presente em cada amostra analisada das campanhas terrestres de fevereiro, outubro e dezembro de 2012. Fonte: autor. ....              | 71 |
| Figura 37 Gráfico da média da velocidade do vento durante as 12 horas medidas no dia 24 de outubro. Fonte: autor. ....  | 73 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 38 Gráfico da média da velocidade do vento durante as 13 horas (H1 a H13) medidas no dia 25 de outubro de 2013. Fonte: autor.....   | 74 |
| Figura 39 Gráfico das médias das velocidades do vento a 1 e 2 metros, durante as 13 horas (H1 a H13) medidas no dia 06 de janeiro de 2014. Fonte: autor.....   | 75 |
| Figura 40 Gráfico das médias das velocidades do vento a 1 e 2 metros, durante as 13 horas (H1 a H13) medidas no dia 07 de janeiro de 2014. Fonte: autor.....   | 76 |
| Figura 41 Registros de altura significativa e altura máxima de ondas dos dias 17 e 18 de outubro de 2013 na área abrigada (Ponto 1) e na área exposta (Ponto 2) respectivamente. Fonte: autor.....           | 78 |
| Figura 42 Registros de altura significativa e altura máxima de ondas dos dias 24 e 25 de outubro de 2013 na área exposta (Ponto 2) e na área abrigada (Ponto 1) respectivamente. ....                        | 80 |
| Figura 43 Registros de altura significativa e altura máxima de ondas dos dias 06 e 07 de fevereiro de 2014.....  | 81 |
| Figura 44 Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 17 de outubro de 2013. Fonte: autor e DHN.....  | 82 |
| Figura 45 Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 18 de outubro de 2013. Fonte: autor e DHN.....  | 83 |
| Figura 46 Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 24 de outubro de 2013. Fonte: autor e DHN.....  | 84 |
| Figura 47 Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 25 de outubro de 2013. Fonte: autor e DHN.....  | 85 |
| Figura 48 Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 06 de fevereiro de 2014. (Fonte: autor e DHN). ....   | 86 |
| Figura 49 Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 07 de fevereiro de 2014. (Fonte: autor e DHN). ....   | 87 |
| Figura 50 Registro da componente Leste-Oeste da velocidade ao longo do tempo em 14 e 20 de dezembro de 2012. Fonte: autor. ....  | 88 |
| Figura 51 Registros da componente Norte-Sul da velocidade ao longo do tempo em 14 e 20 de dezembro de 2012. Fonte: autor. ....   | 88 |
| Figura 52 Relação entre a variação do nível da água no tempo conforme previsão da DHN com as componentes Norte-Sul e Leste-Oeste da corrente para o dia 14 de dezembro de 2012. Fonte: autor. ....           | 89 |
| Figura 53 Relação entre a variação do nível da água no tempo conforme previsão da DHN com as médias das componentes Norte-Sul e Leste-Oeste da corrente para o dia 20 de dezembro de 2012. Fonte: autor..... | 90 |
| Figura 54 Rosas de intensidade e direção das correntes com velocidades em cm/s para as medições de superfície e fundo dos dias 14 e 20 de dezembro de 2012. Fonte: autor. ....                               | 91 |
| Figura 55 Registros da componente Leste-Oeste da velocidade ao longo do tempo em 18 e 24 de outubro de 2013. Fonte: autor. ....  | 92 |
| Figura 56 Registros da componente Norte-Sul da velocidade ao longo do tempo em 18 e 24 de outubro de 2013. Fonte: autor. ....  | 92 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 57 Relação entre as médias das componentes Leste-Oeste e Norte-Sul das correntes com a variação do nível da água ao longo do tempo para a campanha do dia 18 de outubro de 2013. Fonte: autor. ....           | 93  |
| Figura 58 Rosas de intensidade e direção das correntes com velocidades em cm/s para as medições de 18 e 24 de outubro de 2013. Fonte: autor. ....  | 94  |
| Figura 59 Relação entre as componentes Leste-Oeste e Norte-Sul das correntes com a variação do nível da água ao longo do tempo para a campanha do dia 24 de outubro de 2013. Fonte: autor. ....                      | 95  |
| Figura 60 Registros da componente Leste-Oeste da velocidade ao longo do tempo em 06, 07, 14 e 15 de fevereiro de 2014. Fonte: autor. ....  | 96  |
| Figura 61 Registros da componente Norte-Sul da velocidade ao longo do tempo em 06, 07, 14 e 15 de fevereiro de 2014. Fonte: autor. ....  | 97  |
| Figura 62 Rosas de direção e intensidade das correntes ao longo do tempo em 06, 07, 14 e 15 de fevereiro de 2014. Fonte: autor. ....   | 99  |
| Figura 63 Relação entre as componentes Leste-Oeste e Norte-Sul das correntes com a previsão da variação do nível da água ao longo do tempo para a campanha dos dias 06 e 07 de fevereiro de 2014. Fonte: autor. .... | 100 |
| Figura 64 Relação entre as componentes Leste-Oeste e Norte-Sul das correntes com a previsão da variação do nível da água ao longo do tempo para a campanha dos dias 14 e 15 de fevereiro de 2014. Fonte: autor. .... | 101 |
| Figura 65 Perfis de salinidade da coluna d'água em 25 de outubro de 2013, 06 e 15 de fevereiro de 2014. (Fonte autor). ....  | 103 |
| Figura 66 Perfis de temperatura da coluna d'água em 25 de outubro de 2013, 06 e 15 de fevereiro de 2014. (Fonte autor). ....   | 104 |
| Figura 67 Perfis de salinidade da coluna d'água em 24 de outubro de 2013, 07 e 14 de fevereiro de 2014. Fonte autor. ....  | 105 |
| Figura 68 Perfis de temperatura da coluna d'água em 24 de outubro de 2013, 07 e 14 de fevereiro de 2014. Fonte autor. ....   | 105 |
| Figura 69 Relação entre as concentrações de material em suspensão na superfície e no fundo com as correntes e relação do MES com a maré prevista pela DHN em 14 de dezembro de 2012. Fonte: autor. ....              | 107 |
| Figura 70 Relação entre as concentrações de material em suspensão na superfície e no fundo com as correntes e relação do MES com a maré prevista pela DHN em 20 de dezembro de 2012. Fonte: autor. ....              | 108 |
| Figura 71 Relação entre as concentrações de material em suspensão na superfície e no fundo com as correntes e relação do MES com a maré prevista pela DHN em 18 de outubro de 2013. (Fonte: autor). ....             | 109 |
| Figura 72 Relação entre as concentrações de material em suspensão na superfície e no fundo com a média das as correntes e relação do MES com a maré prevista pela DHN em 24 de outubro de 2013. Fonte: autor. ....   | 110 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 Dragagens contratadas pela Companhia Docas do Ceará segundo registros que constam no Projeto da 2ª Etapa da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Fortaleza/CDC. ....   | 23 |
| Tabela 2 Distribuição cronológica das campanhas terrestres e oceanográficas realizadas de fev/2012 a fev/2014. As campanhas oceanográficas foram feitas em dois pontos estrategicamente selecionados identificados como Ponto 1 e Ponto 2. Fonte: autor. .... | 35 |
| Tabela 3 Identificação das Campanhas no tempo com a quantidade de amostras de sedimento coletadas para análise. ....  | 36 |
| Tabela 4 Coordenadas do referencial Portobrás ( z=5m).....  | 42 |
| Tabela 5 Classificação granulométrica definida por Udden-Wentworth com valores expressos em mm e $\phi$ e terminologia traduzida por Suguio (1973). Fonte: (LEEDER, 1982). ....   | 51 |

## SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | INTRODUÇÃO .....                                      | 15 |
| 1.1   | Motivação.....  | 17 |
| 1.2   | Justificativa.....                                    | 19 |
|       | OBJETIVOS .....                                       | 20 |
| 2     | ESTADO DA ARTE .....                                  | 21 |
| 2.1   | Histórico do local e cenário científico .....         | 21 |
| 2.2   | O mundo e a dragagem .....                            | 23 |
| 2.3   | Dinâmica Costeira: forçantes meteoceanográficas ..... | 25 |
| 2.3.1 | Ventos .....  | 25 |
| 2.3.2 | Ondas .....   | 25 |
| 2.3.3 | Marés.....  | 27 |
| 2.3.4 | Correntes.....  | 27 |
| 2.4   | Caracterização hidrográfica.....                      | 28 |
| 2.4.1 | Peculiaridades da zona costeira.....                  | 28 |
| 2.4.2 | Salinidade.....                                       | 28 |
| 2.4.3 | Temperatura .....                                     | 28 |
| 3     | METODOLOGIA.....                                      | 30 |
| 3.1   | Caracterização da área de trabalho .....              | 30 |
| 3.1.1 | Localização do Empreendimento.....                    | 32 |
| 3.2   | Campanhas para Coletas de Dados .....                 | 34 |
| 3.2.1 | Campanhas Terrestres .....                            | 36 |
| 3.2.2 | Campanhas Oceanográficas .....                        | 41 |
| 3.3   | Dinâmica das Coletas de Dados .....                   | 42 |
| 3.3.1 | Campanhas terrestres .....                            | 42 |
| 3.3.2 | Campanhas Oceanográficas .....                        | 44 |
| 3.4   | Procedimentos para análises .....                     | 48 |
| 3.4.1 | Perfis de Praia .....                                 | 48 |
| 3.4.2 | Granulometria.....                                    | 49 |
| 3.4.3 | Teores de Carbonato de Cálcio.....                    | 52 |
| 3.4.4 | Teores de Matéria Orgânica .....                      | 52 |
| 3.4.5 | Ventos .....  | 53 |

|        |                                    |     |
|--------|------------------------------------|-----|
| 3.4.6  | Ondas .....                        | 54  |
| 3.4.7  | Marés.....                         | 54  |
| 3.4.8  | Correntes.....                     | 54  |
| 3.4.9  | Salinidade e Temperatura.....      | 55  |
| 3.4.10 | Material em suspensão .....        | 55  |
| 4      | RESULTADOS E DISCUSSÃO.....        | 57  |
| 4.1    | Campanhas Terrestres.....          | 57  |
| 4.1.1  | Perfis de Praia .....              | 57  |
| 4.1.2  | Sedimentos.....                    | 61  |
| 4.2    | Forçantes Meteoceanográficas ..... | 72  |
| 4.2.1  | Ventos .....                       | 72  |
| 4.2.2  | Ondas .....                        | 77  |
| 4.2.3  | Nível .....                        | 82  |
| 4.2.4  | Correntes.....                     | 87  |
| 4.3    | Caracterização Hidrográfica.....   | 102 |
| 4.3.1  | Salinidade e Temperatura.....      | 102 |
| 4.4    | Material em Suspensão.....         | 106 |
| 5      | CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....        | 112 |
| 5.1    | Conclusões gerais.....             | 112 |
| 5.2    | Comentários sobre o Terminal ..... | 114 |
| 5.3    | Sugestões .....                    | 115 |
|        | REFERÊNCIAS.....                   | 117 |
|        | APÊNDICES                          |     |

## 1 INTRODUÇÃO

Engenharia Costeira e Oceanográfica trata da interação mar-estrutura visando a um melhor dimensionamento de obras, assim como à avaliação de impactos ambientais causados pelas intervenções humanas na zona costeira. A mesma área de conhecimento analisa fenômenos como o espraiamento e o galgamento de obras pelas ondas, as pressões de impacto devidas às ondas na arrebatção e esforços sobre estruturas ao largo (COPPE/UFRJ, 2014). O estudo das Ciências Marinhas Tropicais possibilita caracterizar com parâmetros oceanográficos as áreas de interesse da Engenharia Costeira, tornando-se essencial na elaboração de projetos e principalmente para subsidiar a avaliação de impactos ambientais.

As obras de Engenharia Costeira existem sempre associadas a áreas onde se desenvolvem atividades humanas, em particular frentes urbanas de elevada densidade populacional, áreas portuárias e embocaduras de rios que, de alguma forma, se encontram ameaçadas pelo desenvolvimento natural dos processos costeiros. As funções das obras estão fundamentalmente relacionadas ao controle do recuo da linha de costa, ao avanço do mar em direção a terra, ao abrigo em relação à agitação e à estabilização de canais de navegação (ALFREDINI & ARASAKI, 2009). No Brasil, investimentos recentes em projetos de dragagem têm visado à ampliação da eficiência logística dos portos, incluindo obras de dragagem de aprofundamento, recuperação e melhoramento de vias de acesso, sendo imprescindível considerar os impactos positivos e negativos da atividade sobre o meio ambiente (CASTRO & ALMEIDA, 2012).

Os ambientes litorâneos são extremamente dinâmicos e sensíveis. Dentre esses se destacam as praias arenosas, que participam de constante retrabalhamento (SOUZA, 2012). O principal problema que se interpõe ao uso e ocupação da zona litorânea reside em suas condições ecodinâmicas fortemente instáveis e em sua alta vulnerabilidade (MUEHE, D.(org), 2006). Segundo Bird (1981), na década de 1980, cerca de 70% das costas arenosas do mundo já apresentavam-se em erosão. A tendência atual de aumento das áreas em risco de erosão costeira, decorrente principalmente da ocupação desordenada da zona



costeira, faz com que as comunidades tenham que se preocupar cada vez mais com o gerenciamento do problema.

Em termos gerais, independente da escala, a erosão costeira é produto da elevação do nível médio do mar e/ou do balanço sedimentar negativo do sistema praiial (SOUZA, 2012). Tessler & Goya (2005) ressaltam que o predomínio de processos erosivos nas linhas de costa pode estar relacionado a fatores de ação errática ou de forma cumulativa, sendo as variações relativas do nível do mar e as alterações do padrão dinâmico por variações naturais e/ou induzidas pelo homem os principais fatores.

A sedimentação de canais de navegação, valas de dutos e portos frequentemente representa uma questão essencial no planejamento e projeto de novas estruturas ou melhoria das existentes. Nas costas arenosas com exposição a ondas moderadas ou fortes, o assoreamento associado à movimentação de sedimentos pode criar problemas de navegação, bem como gerar custos consideráveis de dragagem. Tais problemas podem ser reduzidos através do alinhamento adequado do canal de acesso e do projeto cuidadoso da estrutura do litoral (DHI).

Neste trabalho, com o estudo das Ciências Marinhas Tropicais promove-se o a caracterização com parâmetros oceanográficos de uma área de atuação da Engenharia Costeira, matéria essencial na elaboração de projetos e principalmente para subsidiar a avaliação de impactos ambientais.

A dissertação apresenta o resultado dos estudos empíricos da condição dinâmica local que foi levantada em 10 campanhas oceanográficas e 4 campanhas em terra. O desenvolvimento do tema até as análises e interpretações dos dados obtidos foi organizada em 5 capítulos que abordam os seguintes temas

No Capítulo 2 são apresentados os Objetivos gerais e específicos do trabalho baseados nos elementos investigados.

No Capítulo 3, intitulado Referencial Teórico, enuncia-se o histórico de alterações no local, enquadra-se a atividade de dragagem como atividade atuante

no mundo e revisam-se os trabalhos que referenciam as comparações referentes às variáveis meteoceanográficas e características hidrográficas estudadas.

No Capítulo 4 ou Metodologia é feita a caracterização do local estudado, apresentado o planejamento das campanhas com os cronogramas das medições, a descrição dos equipamentos e procedimentos para análises de dados;

No Capítulo 5, intitulado Resultados e Discussão, os dados são apresentados para as campanhas terrestres e oceanográficas utilizando o recurso dos gráficos a partir dos quais são feitos os apontamentos e observações relevantes.

No Capítulo 6 ou Conclusões e Sugestões, são apresentadas as Conclusões Gerais sobre as variáveis estudadas, os Comentários referentes à construção do Terminal de Passageiros e sua importância no comportamento hidráulico da área e Sugestões para futuros trabalhos e para aplicação dos dados do trabalho em pauta.

O trabalho é finalizado com as Referências e Apêndices complementares ao corpo principal do trabalho que auxiliam na compreensão de algum elemento apresentado pelo autor do trabalho em decurso.

## **1.1 Motivação**

O interesse no assunto partiu da experiência brasileira com as atividades de dragagem. O crescimento econômico brasileiro aqueceu o comércio internacional, inspirando a Lei de Modernização dos Portos (8.630/93) e o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Com a Medida Provisória 393 (set/2007) que instituiu o Programa Nacional de Dragagem Portuária e Hidroviária (PND 1), os olhos do Estado se voltaram para a atividade.

A demanda é observada em portos localizados em cidades históricas, que apresentam dificuldades como áreas e instalações deficientes e o potencial de crescimento estancado em atividades como agregar carga industrial (BEZERRA, PINHEIRO, & MORAIS, 2007). Segundo estudos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), a carência de infraestrutura portuária e dos demais modais de transporte brasileiros poderá ser amenizada pelo PND, mas não será

solucionada em sua totalidade. Ambas as fases do programa devem atender 80% da demanda de dragagem, uma vez que os portos se encontram excessivamente assoreados (Revista Portos e Navios, 2011).

Em resposta às necessidades notáveis, o PND 1, instituído pela Lei 11.610/2007, foi criado para propor e desenvolver soluções para reduzir os gargalos que limitam os acessos marítimos aos portos brasileiros. A Lei de 2007 inaugurou o conceito de “dragagem por resultado”, que compreende a contratação das obras em caráter contínuo, com o objetivo de manter as condições de profundidade estabelecidas no projeto por até cinco anos.

O PND 1 teve como meta principal desassorear os portos, a partir da remoção de material submerso e escavação/derrocamento do leito, além da manutenção da profundidade e de ações de licenciamento ambiental. Os trabalhos foram importantes no sentido de mitigar limitações relevantes relacionadas ao assoreamento progressivo dos canais, bacias de evolução e berços de atracação nos portos que, se não dragados, podem resultar na redução do calado; insuficiência da capacidade operacional e logística dos portos para atender a crescente demanda de cargas e embarcações; altos custos de *demurrage* (multa por atrasos); aumento dos custos de fretes e seguros; e perda de competitividade (BRASIL, 2014).

No cenário atual, com o lançamento do Novo Marco Regulatório do Setor Portuário (Lei 12.815/13) em 2013 os portos brasileiros se encontram em momento favorável à modernização e aumento de eficiência. A Lei dispõe sobre a exploração direta e indireta de portos e instalações portuárias pela União e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários e substitui a Lei de Modernização dos Portos e a Medida Provisória 393, instituindo o Programa Nacional de Dragagem Portuária e Hidroviária II (PND 2). O Novo Marco Regulatório inclui, além da dragagem, os serviços de sinalização e balizamento; o monitoramento ambiental e o gerenciamento da execução dos serviços e obras (BRASIL, 2013).

Apesar de todos os esforços evidenciados anteriormente, na prática constatou-se que as obras de grande vulto descobriram lacunas de teor acadêmico/científico que se mostraram importantes para garantir a eficiência de tantas intervenções. O conhecimento das características oceanográficas e dos

mecanismos construtivos e destrutivos peculiares a cada local (morfodinâmica) promete trazer um melhor planejamento do uso do ambiente bem como agir no sentido de retrabalhar a dinâmica em benefício do usuário, garantindo resultados que se mantenham a médio e longo prazo.

## **1.2 Justificativa**

Selecionou-se um ambiente de formação relativamente recente (menos de 100 anos) que vem passando por transformações notáveis desde o início de sua formação. Por estar situada dentro da zona portuária, a Praia Mansa, localizada no Porto do Mucuripe – Fortaleza/CE é um ambiente de grande valor econômico. Conforme elucidado em Rebouças (2010) a área demanda estudos que a caracterizem e tragam, por efeito, uma melhor utilização do ambiente, fundamentada na compreensão do seu processo de formação.

Este trabalho sustentou a estratégia de coleta de dados em campanhas terrestres e hidrográficas uma vez que as forçantes oceanográficas que agem na costa tendem a imprimir seus efeitos dinâmicos nas características sedimentológicas e na morfologia da praia. Sob a mesma perspectiva de estudo dos ambientes costeiros, Muehe (1998) destaca que o perfil topográfico transversal a uma praia e a sua variabilidade é resultado, principalmente de sua granulometria e do clima de ondas, o que fundamentou a utilização de perfis topográficos para caracterização qualitativa da área em estudo.

A iniciativa federal de Construção do Terminal Marítimo de Passageiros no Porto de Fortaleza, um projeto com investimentos do PAC (2ª etapa), deu sequência às transformações da Praia Mansa. No primeiro momento (PAC 1), foi realizado o aprofundamento dos acessos navegáveis do porto, que passaram de 11,5m para 14m de profundidade, além das obras de pavimentação da retro área. Em 2010 as obras de aprofundamento prosseguiram e em 2011 (PAC 2), foi iniciada a Construção do Novo Terminal Marítimo de Passageiros na região da Praia Mansa, que prevê a dragagem para instalação de um novo berço de atracação de 13 metros de profundidade, cais acostável com 350m de comprimento e um pátio para armazenamento de contêiner. O momento configurou a última oportunidade de se

estudar a Praia Mansa e de acompanhar suas mudanças desde o estado “natural”, ou sem intervenção direta, até o final da construção.

## **OBJETIVOS**

De uma maneira geral, este estudo pretende contribuir com a compreensão e caracterização da dinâmica hidrosedimentar que deve se estabelecer a partir das alterações morfológicas na Baía Portuária e novo berço de atracação do Porto de Fortaleza com a construção do Novo Terminal Marítimo de Passageiros.

Em face do exposto, são objetivos específicos desse estudo:

- Monitorar células de praia compostas de perfis de praia na Praia Mansa em busca de alterações que contribuam na identificação dos processos de transporte dos sedimentos (erosão/assoreamento);
- Obter média da intensidade e direção dos ventos predominantes no período monitorado;
- Obter valores médios de altura significativa de ondas e alturas máximas durante o período monitorado.
- Obter direções e intensidades de correntes durante o período monitorado;
- Obter as características hidrológicas das águas costeiras;
- Quantificar em superfície e fundo da coluna d'água os teores de material em suspensão;
- Identificar possíveis processos causadores de assoreamento/erosão na área do Novo Terminal de Passageiros do Porto de Fortaleza;
- Propor estudos e medidas mitigadoras dos possíveis processos causadores de assoreamento/erosão na área do Novo Terminal de Passageiros do Porto de Fortaleza.

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 Histórico do local e cenário científico

O Porto de Fortaleza na enseada do Mucuripe (Fortaleza – Ceará) está localizado no nordeste brasileiro. “Os primeiros estudos para a implantação de um porto em Fortaleza foram feitos em 1985, através do projeto *Hawkshaw*, que resultou negativo, devido ao grande assoreamento resultante” (MORAIS, 1972). Em 1939, após uma década de estudos para a construção de um quebra-mar acostável, foi iniciado o projeto na enseada do Mucuripe cuja “[...] conclusão da obra previa a realização de dragagem para alcançar 8 m de calado (REBOUÇAS, 2010)”. Já em 2007, um estudo feito a partir de 5030 pontos de batimetria referentes ao canal de navegação do Porto do Mucuripe (CE), evidenciou que a profundidade média para esta região era de 10.11 m com presença de picos máximos na ordem de aproximadamente 14m e desvio padrão de 2.75 m (FARIAS & MAIA, 2012).

Rebouças (2010) pontua que “Nas praias de Fortaleza, os principais agentes dinâmicos que promovem a mudança no modelado da costa são as ondas, as correntes e os ventos.”. Na Figura 1, uma compilação de fotos aéreas mostra a formação da Praia Mansa. Em 1958 a área somava 8ha de área, vindo a atingir 13ha em 1972 e 17 há em 2010 (REBOUÇAS, 2010).



**Figura 1** Compilação de aerofotos e imagens de satélite de 1958 a 2012 com a evolução da forma e tamanho da Praia Mansa ao longo dos anos. (Fonte: CDC).

As obras de melhoramento dos portos do tipo “externas” como molhes, quebra-mares e espigões, são obras de abrigo estando, portanto, sujeitas às ondas e correntes. Quanto ao arranjo geral das obras portuárias, concebem-se obras portuárias encravadas na costa ou estuarinas, obras portuárias salientes à costa e protegidas por molhes e obras portuárias salientes à costa e protegidas por quebra-mar dentre outros tipos menos comuns (ALFREDINI & ARASAKI, 2009). O caso do Porto de Fortaleza (CE) se enquadra nas obras portuárias salientes à costa e

protegida por molhe assim como o Porto de Imbituba (SC), Porto de Suape (PE), Complexo Portuário de Tubarão da CVRD (ES) e Porto de Salvador (BA) dentre outros.

Através da análise de imagens, um estudo realizado por Bezerra e colaboradores (2007), verificou a contribuição de difração de onda ao grande volume de sedimentos depositados para o oeste, próximo ao cais do porto, formando a Praia Mansa. Um estudo realizado no Porto de Tubarão e Praia de Camburi em Vitória-ES, usou pontos abrigados e expostos para investigar a agitação, correntes induzidas por ondas e balanço sedimentar, semelhante ao que se propõe neste trabalho (MARQUEZ, 2009).

Segundo Pitombeira (1976), além de evitar a entrada de ondulações na enseada, o molhe da Ponta do Mucuripe (ponto de transição do alinhamento da costa), deveria impedir que o transporte litorâneo (Leste-Oeste) de sedimentos provocasse o assoreamento da bacia portuária. Moraes (1972) ressalta que a obra foi iniciada sem terem sido feitos os necessários estudos das condições oceanográficas e sedimentológicas da área adjacente, o que de fato produziu seus efeitos. Um efeito turbilhonar por difração das ondas no molhe deflagrou a deposição de material sedimentar em suspensão ao longo deste formando uma pequena praia, que mais tarde, ficou conhecida como Praia Mansa. As consequências, porém, ultrapassaram a formação de uma pequena praia de maneira que a corrente, destituída de material em suspensão e dotada de forte poder erosivo, refletiu-se na direção da Praia de Iracema causando a sua destruição (MORAIS, 1972).

A influência do molhe sobre o comportamento das ondas incidentes, além de alterar a dinâmica das praias situadas a barlar e a sotamar, repercutiu no cenário atual de obras na Bacia Portuária. É conhecido que sucessivas dragagens visam “Dotar o Porto de Fortaleza de acessos hidroviários compatíveis com as embarcações que hoje transitam na costa brasileira [...]” (CDC, 2010). A Tabela 1 evidencia que a partir do ano de 1995 as atividades não tiveram frequência inferior à bianual. O assunto tem sido recorrente em discussões de interesse público, uma vez no final dos anos 1980 houve uma intensa valorização das zonas de praia concomitante ao lançamento de políticas públicas voltadas para o turismo (ARILSON, 2008).

**Tabela 1 Dragagens contratadas pela Companhia Docas do Ceará segundo registros que constam no Projeto da 2ª Etapa da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Fortaleza/CDC.**

| <b>DRAGAGENS CDC 1991 A 2005</b> |                            |                         |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>Ano</b>                       | <b>Volume Dragado (m³)</b> | <b>Tipo de Dragagem</b> |
| 1991                             | 1.754.507                  | Manutenção              |
| 1995                             | 800.000                    | Manutenção              |
| 1996                             | 526.129                    | Manutenção              |
| 1998/99                          | 1.030.800                  | Manutenção              |
| 2001                             | 795.397                    | Manutenção              |
| 2002                             | 543.866                    | Manutenção              |
| 2004/05                          | 3.219.286                  | Aprofundamento          |
| <b>Total</b>                     | <b>8.669.985</b>           |                         |

## **2.2 O mundo e a dragagem**

Serviços de dragagem são comuns como obras de melhoramento de portos, podendo representar vultosos investimentos (ALFREDINI & ARASAKI, 2009). Atingir uma cota batimétrica necessária para a operação de determinada embarcação-tipo é essencial para a inserção do porto em sistemas logísticos vantajosos.

A atividade trata da escavação ou operação realizada ao menos parcialmente debaixo d'água, em águas marinhas rasas ou corpos de água doce, com o objetivo de recolher sedimentos de fundo e depositá-los em um local diferente. A draga é um dispositivo mecânico ou hidráulico usado para raspar o fundo do mar podendo ou não fazer sucção. Em termo genérico, a mesma palavra se refere a um navio ou um barco equipado com esses dispositivos (Nairaland Forum, 2013). Esta técnica é frequentemente usada para manter vias navegáveis e também como um meio de “engordar” algumas praias públicas, onde quantias expressivas de areia foram perdidas por efeito da erosão.

O desenvolvimento marítimo e a engenharia é o forte da Holanda, tanto no estrangeiro como ao nível nacional. O porto de Rotterdam, o quarto maior do mundo, continua a se modernizar tendo seu último projeto de expansão 1000 hectares de



espaço industrial e 750 hectares para recreação e ambiente. Os holandeses são conhecidos pela sua capacidade em conceberem e construir barreiras de impacto contra tempestades e diques, aproveitarem terra através de dragagem de alta tecnologia e por realizarem engenharia de áreas inteiras costeiras e portuárias com uma proposta ambientalmente sustentável. Por consequência, duas companhias holandesas detêm metade do mercado mundial de dragagem e têm realizado grandes projetos de aproveitamento de terra ao longo do Médio Oriente, Ásia, América e Europa (Reino dos Países Baixos).

As obras de dragagem encontraram grandes investimentos nas duas últimas décadas em todo o mundo. Num evento único organizado pela CEDA (*Central Dredging Association*) sobre dragagem sustentável e construção marítima em 2009 já se falava em adequar o Canal do Panamá ao navio tipo *post - 2014 Panamax-size*. Ao longo dos últimos 100 anos, o Canal do Panamá apresentou muitos desafios à indústria da dragagem e os renovou no projeto de expansão do Canal com custo estimado em US\$ 5,25 bilhões. A obra está entre os maiores projetos de engenharia do mundo e pode modificar a logística do continente como um todo facilitando também a rota rumo à Ásia (CEDA, 2009). A alteração prevê aumento do calado máximo de 14,5 metros para 24 metros. Quanto às dimensões do navio, antes da expansão, o Canal recebia navios com comprimento máximo de 266 metros e boca máxima de 32,29 metros, passando a ter capacidade para 366 metros de comprimento e 54 metros de boca. O impacto no transporte marítimo internacional deve ser representativo a partir da conclusão da obra, em 2014. Portos brasileiros como o Porto do Pecém – CE e Porto de Itaqui – MA poderão receber os navios pós-panamax entrando no circuito internacional do escoamento da produção de grãos (TERRA- Notícias, 2014).

Ainda ilustrando o panorama mundial da dragagem, cabe mencionar o plano de dragagem de três milhões de metros cúbicos de sedimentos do fundo marinho da Grande Barreira de Coral da Austrália, que prevê a posterior deposição do material no leito do parque onde se situa a Barreira, a 25 quilômetros do porto. O objetivo é aumentar a capacidade de exportação do porto de *Abbot Point* em 70%, transformando o terminal no maior porto de carvão do mundo (Público Porto, 2014). A obra envolve riscos e está sujeita a rígido controle ambiental uma vez que um estudo do governo australiano realizado em 2011 e publicado em 2013 revelou que,

nos últimos 28 anos, o recife perdeu metade dos seus corais e que a perda foi acentuada na última década (37% desde 2005).

### **2.3 Dinâmica Costeira: forçantes meteoceanográficas**

Será aqui apresentada uma revisão de trabalhos anteriores relacionados às quatro representantes das forças ambientais estreitamente associadas à dinâmica das regiões costeiras, sendo os *Ventos*, as *Ondas*, as *Marés* e as *Correntes Costeiras*.

#### **2.3.1 Ventos**

Em baixas latitudes os campos dos ventos de superfície no Oceano Atlântico são constituídos por dois anticiclones semi-permanentes, um no Atlântico Norte e outro no Atlântico Sul separados por uma região com ventos calmos onde ocorre a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (INNOCENTINI et al, 2005). As direções predominantes dos ventos no litoral cearense são de SE, ESE, E e NE. As médias de velocidade chegam a superar os 4,5 m/s nos meses mais secos (MEIRELES, 2008).

Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, a ocorrência dos ventos são controladas principalmente pelos alísios de NE e SE e pelo regime de brisas terrestres e marinhas, que é fortemente atuante no Ceará e alinhada aos alísios (AMARANTE et al., 2001). De acordo com o Anteprojeto de Dragagem de Manutenção do Terminal de Passageiros e Adequação do Acesso Aquaviário ao Porto de Fortaleza / CE, realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH), os alísios de SE dominam durante os períodos de inverno e primavera, enquanto que nos meses de verão e outono, o predomínio é de ventos de E, com ocorrências de SE, NE e uma parcela reduzida de noroeste (NW) (INPH/SEP, 2014).

#### **2.3.2 Ondas**

O clima de ondas, tido como essencial ao estudo da dinâmica sedimentar, é determinado pela ação dos ventos, que segundo Tessler &Goya (2005), na América

do Sul, são controlados por três grandes sistemas atmosféricos: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), responsável pela circulação do litoral mais ao norte do Brasil e pelas precipitações no norte e nordeste do país; o Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS), responsável pela origem dos ventos alísios; e Anticiclones Polares Migratórios (APM), responsáveis pela passagem dos sistemas frontais.

Martins (2000) destaca que os fenômenos de escala sinótica (tamanho dos sistemas migratórios de alta ou baixa pressão na mais baixa troposfera que considera área horizontal de várias centenas de quilômetros ou mais (INMET, 2011) são acompanhados da sazonalidade, o que permite dividir o litoral brasileiro em setores com sistemas de ondas incidentes comuns. A cidade Fortaleza (CE), está localizada no trecho entre o Cabo Calcanhar (RN) e o Oiapoque (AP), que apresenta ventos associados à ZCIT (alísios de SE), que geram ondas de leste e sudeste, com período curto; são as ondas do tipo vagas ou “sea”.

São observadas ainda outras ondulações oceânicas neste segmento costeiro, provenientes de tempestades formadas no hemisfério norte, caracterizando as ondas tipo marulho ou “swell”, com períodos de até 18 segundos, que ocorrem especialmente entre os meses de janeiro e março (TESSLER & GOYA, 2005). De acordo com Maia (1998) a linha de costa é dominada por períodos curtos de onda (6 a 8s) vindo de sudeste e gerada pela ação dos ventos alísios com alturas significativa de onda de 1,1 m.

O clima de ondas pode ser caracterizado ainda, segundo estudos realizados pelo INPH (1996 e 2002). Em 1996, num estudo partir de 8.632 registros de ondógrafo instalado nas proximidades do espigão da Praia do Futuro, observou-se que 95% das medições de altura significativa de onda situam-se entre 0,7m e 1,6m, das quais 62% estão entre 0,9m e 1,3m. A altura significativa máxima de onda atinge 2,1m (INPH, 1996). Em 2002 obteve-se que em 95% do ano, as ondas se aproximam de leste (90°), com alturas dominantes de onda significativas inferiores a 1,5 m e períodos de onda de menos de 10s. Ondas de nordeste podem ocorrer ocasionalmente (5% do tempo) com altura significativa maior que 1,5 m, e período médio de 12s (INPH, 2002).

### 2.3.3 Marés

Marés são perturbações da superfície do mar causadas pela interação gravitacional do sistema Terra-Lua-Sol, juntamente com a rotação da Terra. As escalas de tempo das marés são principalmente diurnas e semidiurnas.

O conhecimento do regime de marés astronômicas é fundamental para operações de navegação em portos, pois determinam a coluna de água disponível para o tráfego marítimo em escala de horas e podem ser previstas satisfatoriamente (SCHETTINI, MAIA, & TRUCCOLO, 2011). O regime de marés na costa cearense pode ser classificado como mesomaré, ou seja, sofre variações de amplitude média entre 2m e 4m (DAVIES, 1964). Maia (1998) caracterizou o regime de marés para o litoral cearense como de mesomarés e periodicidade semidiurna, com duas preamares e duas baixa-mares em um dia lunar.

Alguns trabalhos fazem menção à pouca atenção que se tem dado à influência das marés sobre os processos praias, entretanto, além de constituírem importantes mecanismos de transporte de sedimentos, os efeitos de meso e macromarés sobre a praia dizem respeito, principalmente, ao deslocamento periódico da posição da face praial, da zona de surfe e de deformação (*shoaling*) das ondas sobre o perfil praial (CALLIARI et al, 2003).

De acordo com o Roteiro Costa Norte (Publicação da Marinha do Brasil), a maré nos arredores do Porto de Fortaleza tem nível médio 1,6m acima do nível de redução da carta náutica nº701.

### 2.3.4 Correntes

As características das correntes, apresentadas no estudo que fundamentou o Projeto da 2ª Etapa da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Fortaleza (CDC, 2010), mostram que a velocidade das correntes medidas dentro da baía, influenciadas pelas marés do Porto de Fortaleza não ultrapassam 15cm/s, devido às linhas de fundeio estarem protegidas das correntes costeiras pela ação do molhe Titan. A direção predominante observada no Porto do Mucuripe é de N-NW, com variações entre W-SW e NNW (MAIA, 1998). No Relatório de Impacto Ambiental do Terminal Marítimo de Passageiros (RIMA), as direções predominantes das correntes

estão entre  $157,5^\circ$  a  $225,0^\circ$  (SSE–SW) com velocidade média de 4,7 cm/s, máxima de 12,9 cm/s e mínima de 0,14 cm/s (CARUSO JR., 2011).

Na enchente, a corrente de maré nas proximidades do porto tem a direção SE, com velocidade média de 0,5m/s; na vazante tem a direção WNW, com metade da velocidade média observada na enchente (Roteiro Costa Norte/DHN, 1993). Segundo estudos de Maia (1998), os dados obtidos na porção externa do porto indicaram a significativa influência das correntes costeiras na predominância do sentido Leste-Oeste das observações realizadas. Verificou-se ainda, através de estudos com flutuadores na Praia do Futuro, que a velocidade das correntes próximas à linha de costa de Fortaleza variam de 0,24 e 0,31 m/s (MAIA, 1998).

## **2.4 Caracterização hidrográfica**

### 2.4.1 Peculiaridades da zona costeira

As zonas costeiras são mais rasas do que as oceânicas e se estendem desde a margem da plataforma até a costa. Essas regiões têm padrões mais complexos de variações verticais devido a peculiaridades do ambiente costeiro. A camada superficial de mistura em águas rasas alcança o fundo e a existência de correntes de maré gera turbulência que apresenta efeitos sobre toda a coluna d'água. A barreira geográfica formada pela linha de costa induz ainda um transporte perpendicular de sedimentos em direção ao oceano (MARTINS A. S., 2013).

### 2.4.2 Salinidade

A salinidade média da água do mar em áreas fora da costa é de 35,5, com pequenas variações sazonais. O maior valor médio (37,2) é encontrado na costa Nordeste do Brasil (latitudes de  $4^\circ\text{S}$  a  $12^\circ\text{S}$ ) (DHN, 1993).

### 2.4.3 Temperatura

A temperatura na superfície da água do mar, ao longo da costa brasileira, varia entre  $20^\circ\text{C}$  e  $25^\circ\text{C}$ . O período mais frio ocorre no final de agosto e princípio de setembro e o mais quente em março. As águas costeiras são mais quentes do que

as de mar aberto, no verão, e geralmente um pouco mais frias no inverno. No clima tropical a temperatura média anual é superior a 26°C e a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C (DHN, 1993). Na costa Norte, que vai da Baía do Oiapoque ao Cabo Calcanhar, há nitidamente uma estação chuvosa, nos cinco primeiros meses do ano, e uma estação seca, no segundo semestre.

### 3 METODOLOGIA

Esta seção foi sistematicamente dividida em 5 subseções para melhor organização e sequência lógica do conteúdo. Inicia-se pela *Caracterização da área de trabalho* e apresentação da distribuição cronológica das *Campanhas para Coleta de Dados* que inclui subtópicos com critérios utilizados na escolha de pontos de amostragem. Em seguida descreve-se a *Dinâmica das Coletas de Dados* e finalmente os *Procedimentos para análises*.

#### 3.1 Caracterização da área de trabalho

O Porto de Fortaleza foi instalado na enseada do Mucuripe conforme apresentado na Figura 2, sendo também conhecido como Porto do Mucuripe. É classificado como porto marítimo artificial segundo Alfredini & Arasaki (2009) e está espacialmente centrado na posição geográfica de latitude  $03^{\circ}42'63\text{S}$  e longitude  $038^{\circ}28'5\text{W}$ , referenciada ao Datum WGS-84.



Figura 2 Localização da área de estudo contendo imagem aérea do Porto do Mucuripe. (Fonte: CDC).

Dentro da área de interesse, sendo esta a Bacia Portuária do Mucuripe (Figura 3) e suas adjacências, além da área terrestre e transicional entre mar e continente pertencente à região da Praia Mansa, foram selecionados dois pontos para coleta de dados oceanográficos (Figura 4).

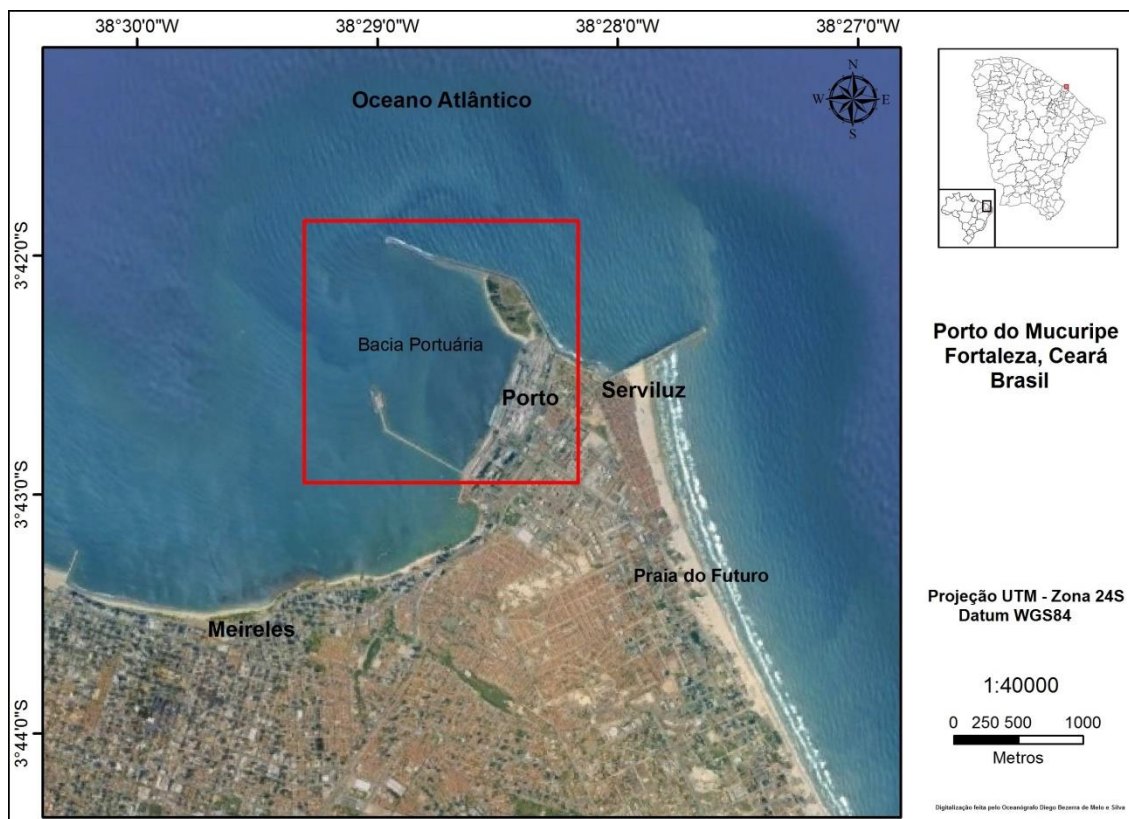


Figura 3 Localização da Baía Portuária do Mucuripe. (Fonte: autor).

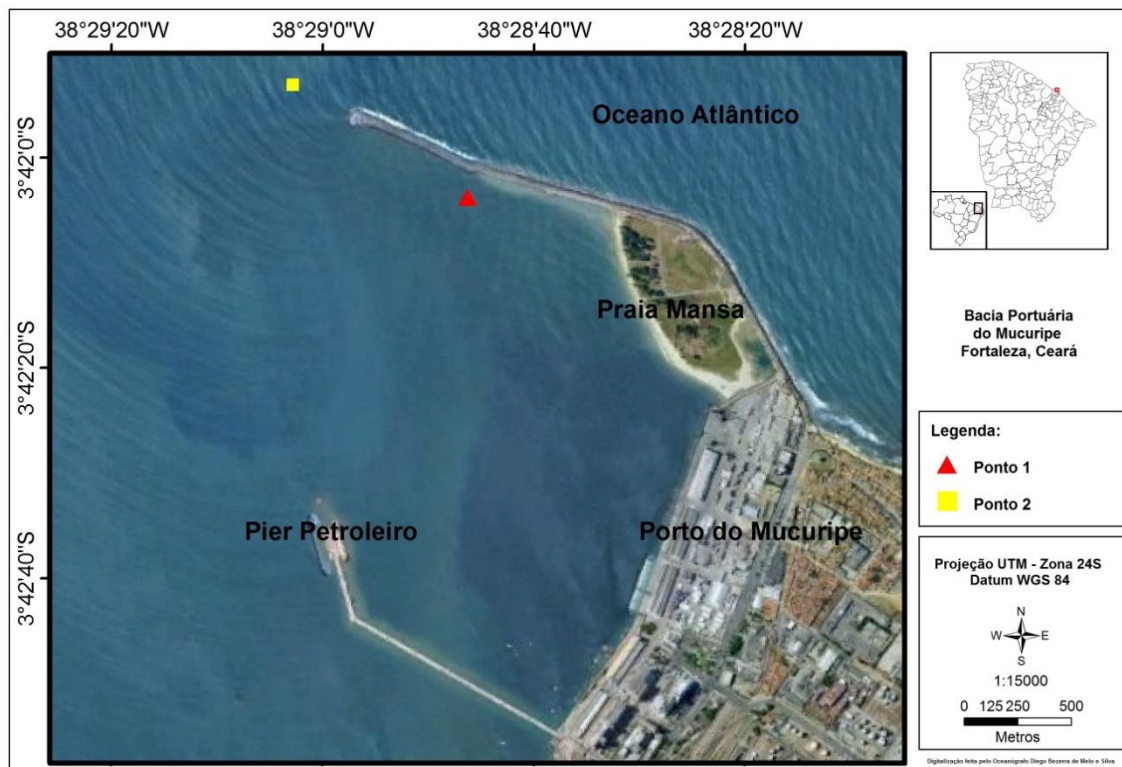


Figura 4 Imagem modificada do Google Earth, georreferenciada, contendo Baía Portuária do Mucuripe e pontos de coleta de dados identificados como Ponto 1 e Ponto 2. Fonte: autor.



A seleção dos pontos levou em conta a condição de agitação esperada na área e potencial para abrigar fenômenos relevantes referentes à dinâmica local. O Ponto 1, de coordenadas 3°42.052' S e 38°28.801'W, dentro da bacia do porto do Mucuripe, foi escolhido para representar a área abrigada, cuja condição de agitação esperada seria menos intensa. O Ponto 2, centrado nas coordenadas de 3°41.911'S e 38°29.089'W, próximo ao canal de navegação do porto e alinhado ao molhe da Ponta do Mucuripe (Molhe do Titan), foi o ponto escolhido para caracterizar as condições de mar aberto (área exposta), cuja agitação esperada seria mais intensa devido a fenômenos como difração e reflexão de ondas.

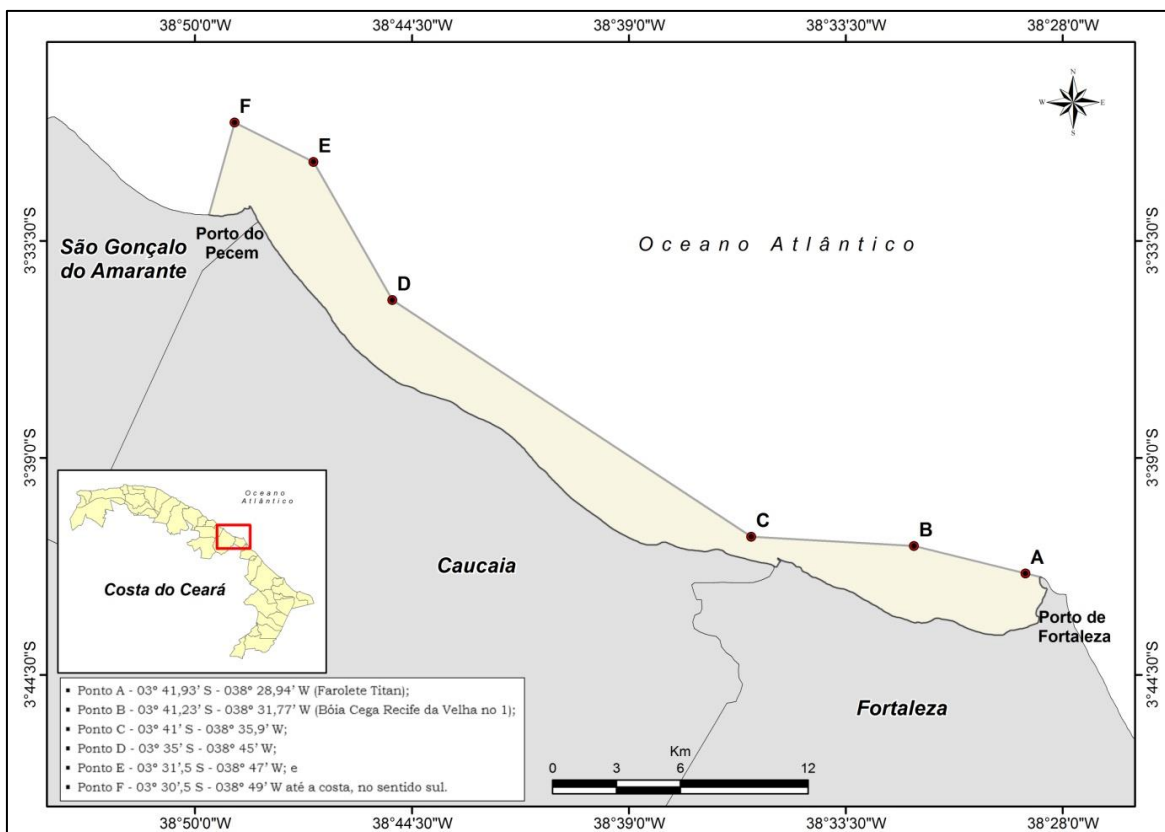
### 3.1.1 Localização do Empreendimento

A Praia Mansa possui uma extensão total de 12,7 ha. Para construção do terminal foi necessário ocupar 9,5 ha, dos quais 4,1 ha foram utilizados para instalação de um pátio de contêineres (Figura 5).



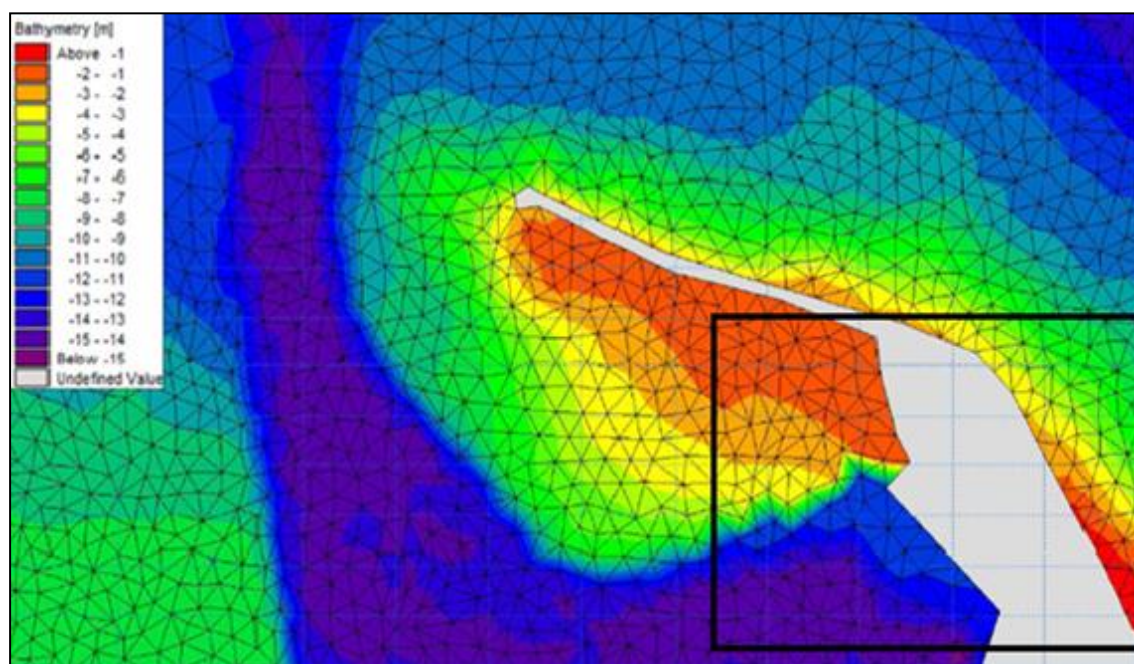
**Figura 3** Projeção da empresa ARCHITECTUS (2011), da localização do empreendimento sobre a área da Praia Mansa. Fonte: (CARUSO JR., 2011) .

A faixa de mar designada para o tráfego de embarcações e as informações sobre o tráfego de embarcações de uma região podem ajudar a dimensionar a importância dos estudos no local como contribuição para questões de segurança da navegação. No Ceará, área marítima considerada como navegação interior encontra-se no litoral dos Municípios de Fortaleza, Caucaia e São Gonçalo do Amarante, cujos limites são definidos como a linha imaginária que liga os pontos de “A” a “F” conforme Figura 6.



**Figura 4** Shape da costa cearense contendo limites da navegação interior segundo normas da DPC. (Fonte: autor).

A Figura 7 ilustra as cotas batimétricas da Bacia Portuária após o término da obra que estabeleceu profundidades entre 13 e 14 metros na área do berço.



**Figura 5** Batimetria do Anteprojeto de Dragagem de Manutenção do Terminal de Passageiros. Fonte: modificado de (INPH/SEP, 2014).

### **3.2 Campanhas para Coletas de Dados**

Foram realizadas 4 campanhas terrestres e 3 campanhas referidas como oceanográficas. As terrestres foram executadas no ano de 2012 com duas campanhas na estação chuvosa e duas na estação seca. As oceanográficas foram executadas em dezembro de 2012 (estação seca), em outubro de 2013 (estação seca) e em fevereiro de 2014 (estação chuvosa). A Tabela 2 contém os cenários e os equipamentos utilizados ao longo do período de obtenção de dados, com início em fevereiro de 2012 e fim em fevereiro de 2014.

Tabela 2 Distribuição cronológica das campanhas terrestres e oceanográficas realizadas de fev/2012 a fev/2014. As campanhas oceanográficas foram feitas em dois pontos estrategicamente selecionados identificados como Ponto 1 e Ponto 2. (Fonte: autor).

| DISTRIBUIÇÃO CRONOLÓGICA DAS CAMPANHAS |             |           |  |                     |           |      |            |           |              |   |
|--|-------------|-----------|--|---------------------|-----------|------|------------|-----------|--------------|---|
| LOCAL/PONTO                            | DATA        | CENARIOS  | EQUIPAMENTOS   |                     |           |      |            |           |              |   |
|  |             |           | Estação Total  | Garrafa de Van Dorn | Ondógrafo | ADCP | Anemômetro | Sonda YSI | Sonda Horiba |   |
| Campanhas Terrestres                   | Praia Mansa | 10-fev-12 | Estação chuvosa (fevereiro e junho)<br>Sizígia de Lua Cheia  | X                   |           |      |            |           |              |   |
|  |             | 06-jun-12 | Estação chuvosa (fevereiro e junho)<br>Sizígia de Lua Cheia  | X                   |           |      |            |           |              |   |
|  |             | 31-out-12 | Estação seca (outubro e dezembro).<br>Maré Equinocial<br>Sizígia de Lua Cheia  | X                   |           |      |            |           |              |   |
|  |             | 13-dez-12 | Estação seca (outubro e dezembro).<br>Sizígia de Lua Nova  | X                   |           |      |            |           |              |   |
| Campanhas Oceanográficas               | 1           | 14-dez-12 | Ciclos meteorológicos dos ventos:<br>Baixas intensidades março e abril.<br>Estação seca (outubro e dezembro).<br>Maré de Solstício<br>Sizígia de Lua Nova            |                     | X         | X    | X          |           |              | X |
|  | 1           | 20-dez-12 | Ciclos meteorológicos dos ventos:<br>Baixas intensidades março e abril.<br>Estação seca (outubro e dezembro).<br>Maré de Solstício<br>Quadratura de quarto crescente |                     | X         | X    | X          |           |              | X |
|  | 1           | 17-out-13 | Ciclos meteorológicos dos ventos:<br>Altas intensidades agosto e outubro<br>Estação seca (outubro e dezembro).<br>Maré Equinocial<br>Sizígia de Lua Cheia            |                     | X         | X    | X          |           | X            |   |
|  | 2           | 18-out-13 | Ciclos meteorológicos dos ventos:<br>Altas intensidades agosto e outubro<br>Estação seca (outubro e dezembro).<br>Maré Equinocial<br>Sizígia de Lua Cheia            |                     | X         | X    | X          |           | X            |   |
|  | 1           | 24-out-13 | Ciclos meteorológicos dos ventos:<br>Altas intensidades agosto e outubro<br>Estação seca (outubro e dezembro).<br>Maré Equinocial<br>Quadratura de Minguante         |                     | X         | X    | X          | X         | X            |   |
|  | 2           | 25-out-13 | Ciclos meteorológicos dos ventos:<br>Altas intensidades agosto e outubro<br>Estação seca (outubro e dezembro).<br>Maré Equinocial<br>Quadratura de Minguante         |                     | X         | X    | X          | X         | X            |   |
|  | 1           | 06-fev-14 | Ciclos meteorológicos dos ventos:<br>Baixas intensidades março e abril.<br>Estação chuvosa (fevereiro).<br>Quadratura de quarto crescente                            |                     | X         | X    | X          | X         | X            |   |
|  | 2           | 07-fev-14 | Ciclos meteorológicos dos ventos:<br>Baixas intensidades março e abril.<br>Estação chuvosa (fevereiro)<br>Quadratura de quarto crescente                             |                     | X         | X    | X          | X         | X            |   |
|  | 2           | 14-fev-14 | Ciclos meteorológicos dos ventos:<br>Baixas intensidades março e abril.<br>Estação chuvosa (fevereiro).<br>Sizígia de Lua Cheia                                      |                     | X         | X    | X          | X         | X            |   |
|  | 1           | 15-fev-14 | Ciclos meteorológicos dos ventos:<br>Baixas intensidades março e abril.<br>Estação chuvosa (fevereiro)<br>Sizígia de Lua Cheia                                       |                     | X         | X    | X          | X         | X            |   |

### 3.2.1 Campanhas Terrestres

Nas campanhas terrestres, foi monitorada a forma da praia por meio de perfis topográficos transversais e características dos sedimentos. Para melhor ilustrar as influências da sazonalidade, as campanhas do mês de fevereiro e início de junho representam o período chuvoso e as campanhas do final de outubro e primeira quinzena de dezembro representam o período seco. A quantidade de perfis bem como a extensão e distância entre eles variaram consideravelmente de campanha para campanha, uma vez que as alterações e ocupação da praia na ocasião da obra não permitiram o acesso aos pontos predeterminados por questões de segurança.

As coletas e análises de sedimentos ao longo dos perfis de praia, objetivam avaliar os possíveis origens dos sedimentos que compõem a praia e mudanças nas características granulométricas que poderiam sinalizar alterações na morfodinâmica do local. As amostras foram coletadas desde a pós-praia até a cota zero, ou cotas negativas quando possível.

Em quatro campanhas, foi coletado o total de 100 amostras associadas aos perfis topobatimétricos e distribuídas em quatro campanhas conforme Figuras 8, 9, 10 e 11. Em busca de uma padronização para facilitar o entendimento, convencionou-se nomear as campanhas terrestres conforme Tabela 3, sendo a Campanha 1 a primeira campanha de aquisição de dados realizada neste trabalho.

**Tabela 3 Identificação das Campanhas no tempo com a quantidade de amostras de sedimento coletadas para análise.**

| <b>AMOSTRAS DE SEDIMENTOS<br/>CAMPANHAS TERRESTRES</b> |              |                 |
|--|--------------|-----------------|
| <b>Identificação</b>                                   | <b>Data</b>  | <b>Amostras</b> |
| <b>Campanha 1</b>                                      | 10/fev/12    | 29              |
| <b>Campanha 2</b>                                      | 06/jun/12    | 33              |
| <b>Campanha 3</b>                                      | 31/out/12    | 19              |
| <b>Campanha 4</b>                                      | 13/dez/12    | 19              |
|  | <b>Total</b> | <b>100</b>      |



Figura 6 Imagem georreferenciada com os pontos amostrados na Campanha 1, com 29 amostras. Fonte: autor.

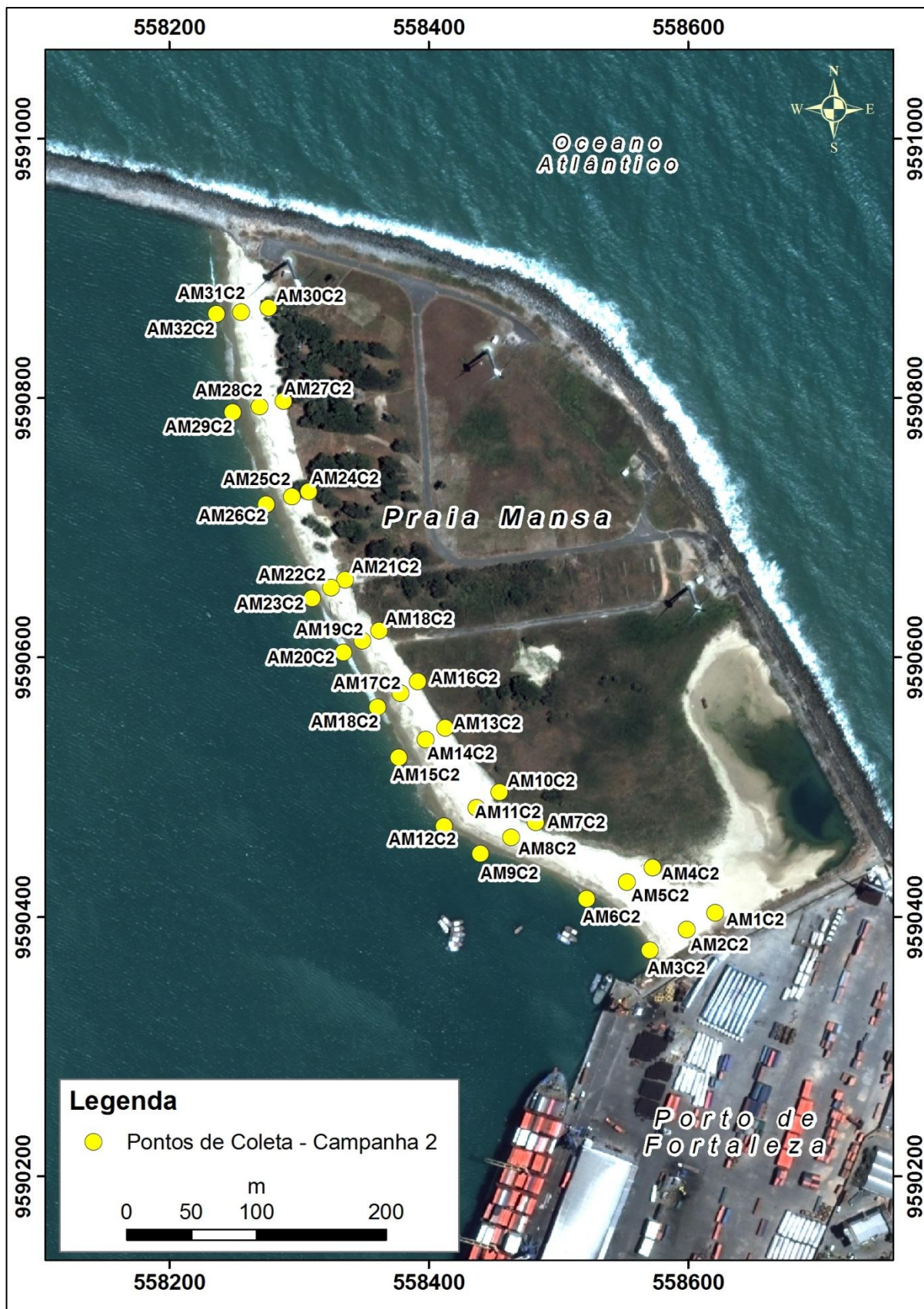


Figura 7 Imagem georreferenciada com os pontos amostrados na Campanha 2, com 33 amostras. Fonte: autor.



Figura 8 Imagem georreferenciada com os pontos amostrados na Campanha 3, com 19 amostras. Fonte: autor.



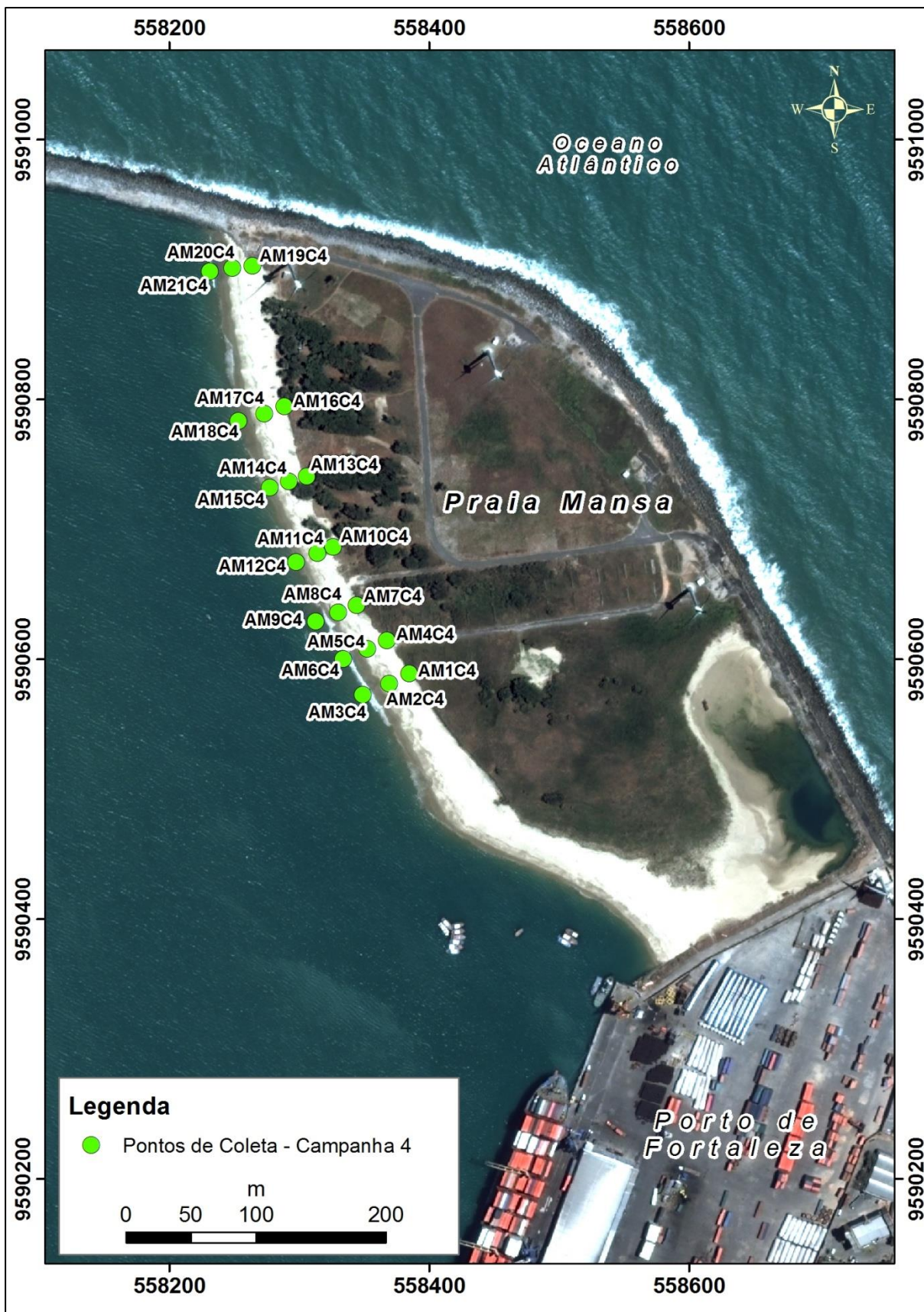
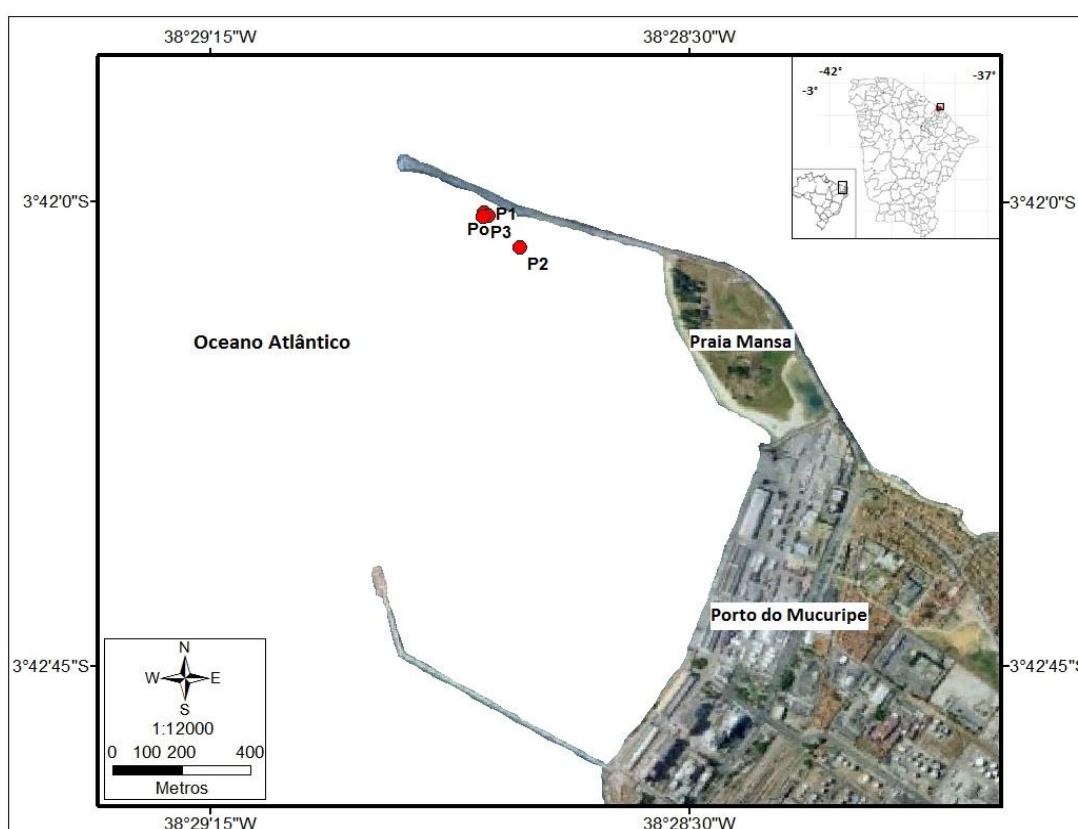


Figura 9 Imagem georreferenciada com os pontos amostrados na Campanha 4, com 19 amostras. Fonte: autor.

### 3.2.2 Campanhas Oceanográficas

As campanhas realizadas em 14 e 20 de dezembro de 2012 foram importantes para o reconhecimento da área e adaptação da rotina de trabalho. Neste período foi difícil o posicionamento da embarcação e somente o Ponto 1 (área abrigada) foi contemplado. O cenário levou ao reposicionamento da embarcação para atender aos procedimentos de segurança da navegação tanto nas condições de maré de sizígia como de quadratura. Na maré de sizígia, na qual a altura das ondas esperadas é maior, foi necessário reposicionar quatro vezes, tomando a embarcação às posições P0, P1, P2 e P3 conforme Figura 12.



**Figura 10** Representação dos pontos inicial P0 e reposicionamentos P1, P2 e P3 da embarcação Robmar na campanha hidrográfica de 14 de dezembro de 2012. (Fonte: autor).

Nas campanhas oceanográficas realizadas em 2013 e 2014 foram monitorados os ventos, as ondas, as marés e as correntes além das características de temperatura e salinidade da água. Foram feitas ainda amostras de água em superfície e fundo para análise de material em suspensão como efeito da agitação esperada. Foram distribuídas em períodos de marés de sizígia e de quadratura nos períodos seco e chuvoso, conforme descrito para o estado do Ceará, para permitir a

comparação dos cenários sob a influência da sazonalidade e das variações das alturas de maré por efeito astronômico.

### 3.3 Dinâmica das Coletas de Dados

Esta seção foi dividida por tipo de campanha (terrestre e oceanográfica) para organizar o desenvolvimento do texto. Os subtópicos apresentam as peculiaridades aplicadas a cada dia de coleta.

#### 3.3.1 Campanhas terrestres

O levantamento topográfico foi feito com Estação Total na região da Praia Mansa em condição de baixamar em maré de sizígia para preservar maior extensão do estirâncio descoberto. Foi feito o reconhecimento prévio da área de estudo com marcação de perfis espaçados de 25m, sendo em média 6 pontos por perfil e programada a coleta de, em média 3, amostras por perfil. Em campo a estratégia foi alterada uma vez que a extensão da faixa de praia de aproximados 620 metros acomodava bem 8 perfis. A faixa de praia foi medida através de caminhamento com *Global Positioning System* (GPS).

Para caracterização topográfica, a estação total é posicionada sobre um ponto de coordenada conhecida (Figura 13). O ponto utilizado foi o referencial da Portobrás, localizado na ponta do cais do Porto do Mucuripe que está 5m acima do zero hidrográfico segundo as coordenadas da Tabela 5. O Datum selecionado para o levantamento foi o WGS 84.

**Tabela 4 Coordenadas do referencial Portobrás ( z=5m)**

| Primeira Leitura | Segunda Leitura |
|------------------|-----------------|
| N 9590350        | N 9590348       |
| E 0558540        | E 0558538       |



**Figura 11 Estação Total posicionada sobre referencial da Portobrás no Porto de Fortaleza com visada para a Praia Mansa onde estão o operador do prisma e os responsáveis pela coleta de amostras. (Fonte: autor).**

A primeira amostra de cada perfil foi coletada próxima à duna frontal numa região conhecida pela terminologia pós-praia. Com uma pá foi removida a camada mais superficial (pedras e folhas), e coletado o material imediatamente abaixo desta. O material foi armazenado em sacolas plásticas devidamente lacradas, identificadas pelo número da amostra e encaminhado ao LOG, onde passou por análise de granulometria e teores de matéria orgânica e carbonato de cálcio.

#### *3.3.1.1 Campanha de 10 de fevereiro de 2012*

Na Campanha 1, foram selecionados 29 pontos por critério espacial para amostragem de sedimentos (Figura 8). A primeira linha (perfil) transversal à linha de costa teve 5 amostras para representar melhor as características do enraizamento da Praia Mansa no limite continental uma vez que este trecho é mais estreito e apresenta características de uma área de baixa energia.

#### *3.3.1.2 Campanhas de 06 de junho, 31 de outubro e 13 de dezembro de 2012*

A Campanha 2 foi executada aplicando-se o mesmo critério geral de coleta descrito para as campanhas terrestres e aplicado na campanha de fevereiro. Foram coletadas 33 amostras de sedimentos em toda a extensão da praia (Figura 9). Já na Campanha 3 (Figura 10) e na Campanha 4 (Figura 11), os pontos amostrais não foram distribuídos ao longo de toda a extensão da praia devido à fixação de estacas e progressão da obra que veio a ocupar metade da área tanto emersa como imersa (Figuras 14 e 15).



Figura 124 Construção do Terminal de Passageiros, imagens de 06 de junho de 2012. Fonte: autor.



Figura 15 Construção do Terminal de Passageiros. À esquerda imagem datada de 27 de junho de 2012 sem alterações significativas e à direita em 25 de julho de 2012 com redução da faixa de praia. Fonte: autor.

### 3.3.2 Campanhas Oceanográficas

As campanhas foram executadas a bordo das embarcações Robmar e Atlas Diver. A primeira se refere a um barco pesqueiro simples para 12 pessoas e a segunda se trata de um trimarã com capacidade para dez passageiros e dois tripulantes. O embarque foi feito por meio das bateiras, que são pequenas jangadas sem vela e com propulsão a remo, que transportam turistas ou passageiros para embarcações fundeadas ao largo da enseada (NPCP, 2013).

#### 3.3.2.1 Equipamentos utilizados

Os parâmetros monitorados pontualmente foram ventos, ondas, marés e correntes. Para salinidade e temperatura foram feitos perfis com as profundidades. Para obter concentração de material em suspensão, foram coletadas amostras de superfície e de fundo de hora em hora para posterior filtragem em laboratório. A coleta de dados foi executada durante um período de 13 horas, equivalente a meio ciclo de maré.

#### 3.3.2.1.1 Ventos

Anemômetro é um instrumento fabricado para medir a velocidade do ar. Existem anemômetros baseados em vários princípios de funcionamento, tais como: tipo concha ou Robinson, hélice ou ventoinha, pelo método do fio quente, por ultrassom e por laser (Impac). Neste trabalho utilizou-se um termoanemômetro digital modelo IP720 da marca Impac destinado a medir a velocidade do ar em movimento (vento) através de sua ventoinha.

As velocidades foram registradas por gravação em vídeo durante 2 minutos, de hora em hora, durante meio ciclo de maré (13 horas). Apesar de não ser direcional, o equipamento é adequado para o trabalho por apresentar boa precisão. A taxa de atualização da leitura dos dados varia entre 0,6 e 2,2 leituras por segundo conforme a unidade de medição de velocidade do ar selecionada.

O modelo usado pode apresentar a velocidade do vento em três unidades diferentes, sendo metros por segundo (m/s), quilômetros por hora (km/h) e nós (knts). Nas referidas Campanhas foi usada a unidade m/s cuja taxa de amostragem é de 0,6 segundos aproximadamente.

#### 3.3.2.1.2 Ondas

Os dados de ondas foram obtidos por ondógrafo submersível de medição automática da RBR modelo TWR 2050 que fornece dados referentes à altura e período significativos da onda, elevação máxima e mínima da onda, tempo médio, e nível do mar. O equipamento foi programado para iniciar a gravação num intervalo de horas que antecederam os dias de Campanha e foi fundeado por treze horas, enquanto armazenou dados em intervalos de 5 minutos, possibilitando a

caracterização quase contínua da dinâmica das ondas e da variação do nível da água no período estudado (Figura 16).



Figura 13 Ondógrafo RBR à esquerda, modelo TWR-2050, e acoplado à garateia à direita para fundeio. (Fonte: autor).

#### 3.3.2.1.3 Maré

As curvas de maré foram registradas pelo ondógrafo TWR-2050 da fabricante RBR. O ondógrafo mediu a elevação em função de profundidades positivas, logo as curvas ficaram invertidas de maneira que a cava representa o momento da preamar. Os gráficos foram exportados do *software* Ruskin da RBR para planilha eletrônica do *software Microsoft Excel* onde foram feitos gráficos de elevação do nível da água ao longo do tempo registrado.

As previsões de maré, com alturas máximas e mínimas diárias em metros, foram obtidas através de consulta à Tábua de Marés disponível no sítio eletrônico da DHN, cujas informações disponibilizadas são fornecidas pela seção de Marés do CHM. As consultas são feitas a partir da inserção do “PORTO DE MUCURIBE (ESTADO DO CEARÁ)” no campo destinado, o mês e o ano de interesse.

As Campanhas terrestres foram sempre executadas em dias de maré de sizígia enquanto as campanhas oceanográficas foram programadas para as marés de sizígia e de quadratura.

As campanhas de outubro de 2013 (período seco) e fevereiro de 2014 (início do período chuvoso) foram realizadas nos Pontos 1 e 2, representando as condições da área abrigada e de mar aberto, respectivamente.

#### 3.3.2.1.4 Correntes

Para medição de corrente utilizou-se o *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) *SonTek* acoplado à embarcação. Devido à embarcação utilizada ser um Trimarã (três cascos), o equipamento foi acoplado na proa desta em uma posição na qual independente das condições do mar ele estaria satisfatoriamente submerso durante todo o período de operação.

O ADCP pode ser classificado quanto à instalação e tipo de medição. Nas campanhas aqui referidas, apesar de ter permanecido aproximadamente no mesmo local, a classificação é dinâmica quanto à instalação e quanto ao tipo de medição, uma vez que o equipamento mediu vazão, velocidades e direção de correntes num mesmo ponto aproximado.

O *software* utilizado para aquisição de dados foi o *CurrentSurveyor*, um programa elaborado para funcionar em sistema operacional *Windows* em tempo real que permite pós-processamento de dados (SonTek).

#### 3.3.2.1.5 Salinidade e Temperatura

Para caracterizar a coluna d'água quanto à salinidade e a temperatura, utilizou-se um refratômetro portátil e duas sondas multiparâmetro. Nas campanhas de dezembro de 2012 foi utilizada a sonda Horiba e nas campanhas de outubro de 2013 e fevereiro de 2014 utilizou-se a sonda YSI modelo 6920.

Nas oito campanhas realizadas em outubro de 2013 e fevereiro de 2014, foram realizados perfis da coluna d'água de hora em hora por 13 horas. A sonda foi programada para coleta de dados a cada 5 segundos até meio metro acima da superfície do fundo a cada imersão.



### 3.3.2.1.6 Material em Suspensão

A coleta de água para análise de material em suspensão foi feita com garrafa coletora do tipo *Van Dorn* horizontal de 10 litros (Figura 17). As amostras de superfície e fundo foram coletadas a cada hora por 13 horas, a aproximadamente 0,5 metro de profundidade em relação à superfície e ao fundo e armazenadas em garrafas tipo PET (politereftalato de etileno) com capacidade de 600mL devidamente identificadas.



**Figura 14** Coleta de amostras de água para análise de material em suspensão na água em superfície e fundo com garrafa de Van Dorn. Fonte: autor

## 3.4 Procedimentos para análises

Nesta seção serão apresentados os procedimentos operacionais de processamento dos dados com a devida descrição para cada tipo de *software* ou método analítico utilizado.

### 3.4.1 Perfis de Praia

Na Campanha 1, realizada em 10 de fevereiro de 2012, foram feitos 8 perfis. Na Campanha 2, em 6 de junho do mesmo ano, a praia se apresentava com mais

inflexões, nas quais a praia parecia estar mudando sua direção devido às alterações da obra, portanto foram realizados 11 perfis. Ambas as campanhas contemplaram toda a extensão da praia (aproximados 620 metros).

As Campanhas 3 e 4 foram realizadas no trecho de aproximados 270 metros restantes da praia, não inclusos no projeto do Terminal de Passageiros que apresenta 350 metros de cais acostável. Neste trecho remanescente de praia, 7 perfis foram distribuídos com o critério de pontos de inflexão.

No total foram feitos 33 perfis nas 4 campanhas, iniciados sempre do sentido do continente para o mar. A não coincidência em suas posições geográficas não permitiu a comparação sobreposta dos perfis. Para observar a evolução morfológica da praia ao longo do período monitorado foram selecionados 3 trechos ao longo da praia que foram identificados como células de praia C1, C2 e C3. Os perfis bidimensionais que compõem cada célula foram postos em sequência para comparação e discussão das alterações ao longo do ano de 2012.

#### 3.4.2 Granulometria

O método utilizado para análise dos sedimentos foi granulometria por peneiramento (gravimetria). Não foi feito o processo de sedimentação para os tamanhos de silte e argila uma vez que o percentual destes se apresentou inferior a 2% do total da amostra para todas as amostras.

As amostras foram descongeladas em temperatura ambiente (média 26 °C) e colocadas em estufa para secagem a 60°C. Secas, as amostras foram resfriadas também em temperatura ambiente. Quando frias, as amostras passaram por homogeneização, quarteamento manual e pesagem para peneiramento úmido (lavagem) de uma quantia de 100g de cada amostra. Para possibilitar a eventual repetição das análises em caso de erro, uma quantia de 250g de cada amostra seca foi armazenada em laboratório à exceção das amostras do mês de junho de 2012 (33 amostras).



Figura 15 Da esquerda para a direita: amostras no banco de amostras, amostras na estufa a 60°C para secagem e lavagem de amostra para remoção de sais (Fonte: autor).

A lavagem foi feita em peneira de malha 0,005 micras para remoção de sais e devolvidas à estufa em vasilhas de vidro conforme Figura 18.

Após nova secagem o sedimento está pronto para o peneiramento numa sequência de doze peneiras com malhas variando de -2,00 a 4,00 phi, segundo a escala de Wentworth (1922) apresentada na Tabela 5.

Cada amostra com aproximados 100g, é depositada na peneira de maior malha da sequência (4 mm ou -2 phi) e o conjunto é colocado no agitador mecânico “Ro-Tap Sieve Shaker” onde permanece por 10 minutos (Figura 19). Em seguida, o resíduo remanescente em cada uma das peneiras é pesado em balança de precisão e tem seu valor anotado numa planilha.



Figura 16 Agitador mecânico “Ro-Tap” à esquerda com sequência de 12 peneiras e à direita, balança de precisão utilizada na pesagem das frações retiradas das peneiras. Fonte: autor.

Tabela 5 Classificação granulométrica definida por Udden-Wentworth com valores expressos em mm e  $\phi$  e terminologia traduzida por Suguio (1973). Fonte: (LEEDER, 1982).

| Nome   | Limites de classe(mm) | Limites de classe( $\phi$ ) |
|--|-----------------------|-----------------------------|
| Matação ( <i>boulder</i> )                     | 4096 a 256            | -12 a -8                    |
| Bloco ( <i>cobble</i> )                        | 256 a 64              | -8 a -6                     |
| Seixo ( <i>pebble</i> )                        | 64 a 4,0              | -6 a -2                     |
| Grânulo ( <i>granule</i> )                     | 4,0 a 2,0             | -2 a -1                     |
| Areia muito grossa ( <i>very coarse sand</i> ) | 2,0 a 1,0             | -1 a 0                      |
| Areia grossa ( <i>coarse sand</i> )            | 1,0 a 0,5             | 0 a 1                       |
| Areia média ( <i>medium sand</i> )             | 0,5 a 0,25            | 1 a 2                       |
| Areia fina ( <i>fine sand</i> )                | 0,25 a 0,125          | 2 a 3                       |
| Areia muito fina ( <i>very fine sand</i> )     | 0,125 a 0,0625        | 3 a 4                       |
| Silte grosso ( <i>coarse silt</i> )            | 0,0625 a 0,031        | 4 a 5                       |
| Silte médio ( <i>medium silt</i> )             | 0,031 a 0,0156        | 5 a 6                       |
| Silte fino ( <i>fine silt</i> )                | 0,0156 a 0,0078       | 6 a 7                       |
| Silte muito fino ( <i>very fine silt</i> )     | 0,0078 a 0,0039       | 7 a 8                       |
| Argila ( <i>clay</i> )                         | 0,0039 a 0,00006      | 8 a 14                      |

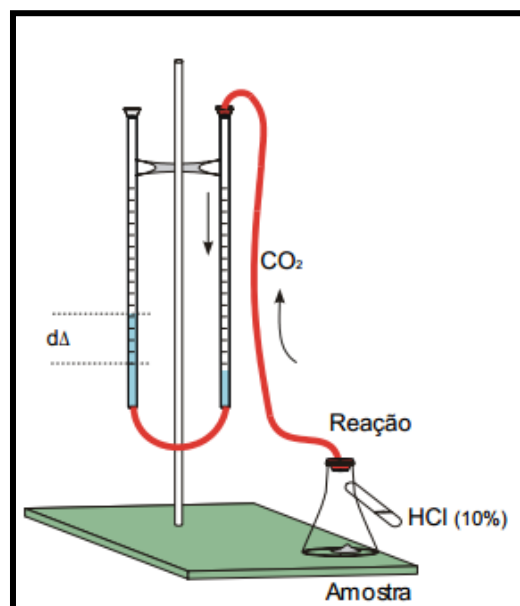
Os pesos das frações retidas em cada uma das 12 peneiras foram utilizados numa análise preliminar da distribuição de frequência das frações granulométricas feita a partir da construção de gráficos de colunas 100% empilhadas em *Microsoft Office Excel 2007*. Uma vez que o peso total analisado da maioria dominante das amostras esteve distribuído nas classes de Areia Fina e Areia Média, os gráficos da análise preliminar foram gerados em função destas duas classes, sendo o restante do peso referente a cascalho, areia muito grossa, areia grossa e areia muito fina somados e incluídos na coluna com a designação “Outros (%)”.

Em seguida, foi feito o processamento de amostras no *software Anased* para definir grau de seleção e classificação segundo Folk e Ward pela média e pela mediana com a finalidade de confirmar as conclusões inferidas da análise preliminar.

### 3.4.3 Teores de Carbonato de Cálcio

A quantificação dos carbonatos nos sedimentos foi realizada para as amostras das campanhas terrestres dos meses de fevereiro, outubro e dezembro de 2012 (67 amostras). Para determinação de carbonatos totais utilizou-se o Método Bernard modificado. O princípio se baseia no desprendimento de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) a partir de uma reação do ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ) diluído a 10% com um sedimento que contenha carbonatos dentro de um dispositivo fechado de vasos comunicantes (Calcímetro de Bernard modificado) conforme Figura 20.

Comparam-se os volumes desprendidos de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) por pesos conhecidos de amostra (0,5 gramas) com aquele liberado pelo carbonato cálcico puro nas mesmas condições de temperatura e pressão atmosférica (RODRIGUEZ, 2012).



**Figura 17** Calcímetro de Bernard modificado para obtenção de teor de Carbonato de Cálcio no sedimento. Fonte: (BEZERRA L. J., 2009).

O sedimento é inicialmente seco à  $60^\circ\text{C}$  em estufa, fracionado e acondicionado num *Erlenmeyer* adaptado a um tubo de ensaio, ligado a um sistema de provetas onde há uma certa porção de água. O gás  $\text{CO}_2$  desprendido pela reação  $\text{HCl} + (\text{Amostra} + \text{CaCO}_3)$  faz com que a coluna d'água dentro das provetas se desloque. É admitido um valor máximo de deslocamento para uma amostra de 99% de  $\text{CaCO}_3$ .

Os teores de carbonato de cálcio calculados em percentual foram inseridos em gráficos do tipo histograma em *Microsoft Office Excel 2007* por amostra e por campanha, sendo 3 campanhas realizadas contempladas.

### 3.4.4 Teores de Matéria Orgânica

A matéria orgânica dos solos influi decisivamente em suas propriedades físicas (retenção de água, estruturação e aeração do solo), químicas e biológicas. A quantidade de matéria orgânica nos solos depende da matéria vegetal e da textura

do solo (percentual de argila) e do pH (RODRIGUEZ, 2012). Citando somente algumas propriedades das substâncias húmicas tem-se: alta capacidade de retenção de água, com importante papel regulador para evitar processos erosivos.

Todas as 100 amostras foram submetidas à análise de teor de matéria orgânica pelo método da Calcinação do sedimento seco para determinação do carbono orgânico. Os procedimentos de análise de carbono total geralmente recuperam todas as formas de carbono orgânico, envolvem a conversão de todas as formas para CO<sub>2</sub> por meio de combustão seca ou úmida (SILVA, TORRADO, & ABREU, 1999). Os teores foram quantificados pela combustão de 2g do sedimento previamente seco em mufla a 450°C (Figura 21) e o valor percentual calculado.



**Figura 18** À esquerda forno de mufla para calcinação das amostras em cadinhos de porcelana. À direita, balança de precisão com 3 casas decimais. (Fonte: autor).

#### 3.4.5 Ventos

Os dados de velocidade dos ventos foram aplicados em gráficos de linhas em *Microsoft Office Excel 2007* com velocidade em m/s na coordenada e tempo em horas medidas na abscissa. Nas campanhas oceanográficas de 24 e 25 de outubro de 2013 o parâmetro foi medido em apenas uma altura (1metro da superfície) resultando em gráficos com apenas uma linha. Os resultados das campanhas de 06 e 07 de fevereiro de 2014 apresentam 2 linhas, referentes às medições feitas a 1 e 2 metros da superfície.

Foram gerados gráficos das médias diárias, com as horas medidas nas coordenadas, padronizadas em rótulos de H1 a H13 (onde H1 se refere à primeira hora válida medida e assim por diante).

#### 3.4.6 Ondas

Dos parâmetros medidos pelo ondógrafo foram selecionados para análise neste trabalho a altura de onda significativa ( $H_s$ ) e altura máxima de onda ( $H_{max}$ ). A altura significativa de onda comumente é adotada como a média de 1/3 das maiores elevações de onda de uma série temporal (PICCININI, 2007). Os gráficos foram gerados em *Microsoft Excel*.

#### 3.4.7 Marés

As curvas de elevação referentes às marés, obtidas com sensor de pressão, foram representadas em gráficos gerados em *Microsoft Excel*. Foi analisada neste trabalho a amplitude da maré (diferença em elevação da crista para a cava de um semiciclo de maré). Comparou-se a amplitude máxima de maré registrada em cada campanha com a amplitude máxima respectiva esperada, consultada nas previsões da DHN.

#### 3.4.8 Correntes

O tratamento dos dados brutos foi feito inicialmente no *CurrentSurveyor*. Aplicou-se técnica de suavização dos registros por remoção de elementos de alta frequência através da aplicação do filtro Gaussiano (passa-baixa) nas componentes Leste-Oeste que compõem o vetor velocidade. O filtro foi utilizado somente na componente horizontal, com largura de 13 células. Os dados foram adquiridos com um intervalo médio de 5 segundos. Foi feita correção para Declinação Magnética de -21.86 (referente à posição da costa Cearense) nas configurações do ADCP.

Em seguida, em ambiente MATLAB R2011b, foram gerados gráficos com oscilações médias das componentes do vetor velocidade no tempo e gráficos da média da direção e intensidade de corrente em cm/s contendo o percentual das

frequências observadas, sendo a direção predominante das correntes referenciada ao Norte Magnético (NM).

#### 3.4.9 Salinidade e Temperatura

Os dados foram tratados com linguagem de programação Python no qual foram gerados perfis das médias de temperatura e salinidade para cada dia de campanha sendo um gráfico de temperatura e um de salinidade para cada dia.

No processamento os dados foram lidos na íntegra. Foi calculada a média dos perfis de temperatura e salinidade sem interpolação. Foram considerados ruídos as medidas de pressão acima de 50 metros. Na remoção de valores atípicos (“*spikes*”) foram eliminados dados que apresentaram valor de mais de 2 vezes o desvio padrão dos 50 valores mais próximos (dentro da média). Valores de salinidade abaixo de 30 foram desconsiderados. Os dados foram promediados em caixas de 0.5m.

#### 3.4.10 Material em suspensão

Para determinar o material particulado em suspensão utilizou-se procedimento de filtragem com um filtro de sucção a vácuo de mercúrio com capacidade para 500 ml de amostra. As membranas utilizadas eram de microfibras de vidro, sem resina com 47 mm de diâmetro do tipo AP40, que foram pesadas uma a uma antes da filtragem (Figura 22).



**Figura 19** Filtragem de água para obtenção de material em suspensão das amostras de superfície e de fundo. (Fonte: autor).

As amostras analisadas foram anteriormente descongeladas a temperatura ambiente por um período de 12 horas. Após a filtragem as membranas contendo o



material particulado secaram à temperatura ambiente e foram pesadas. Para calcular a concentração do material em suspensão utilizou-se a equação apresentada na Figura 23.

|  |
|--|
| <p>Cálculo Concentração de material em suspensão em mg.dm-3 :</p> $S \text{ (mg.dm-3)} = \frac{(\text{peso filtro com amostra corrigido} - \text{peso filtro vazio}) \times 1000}{\text{Volume filtrado}}$ |
|--|

**Figura 20 Equação para cálculo da Concentração de material em suspensão. Fonte: autor.**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Campanhas Terrestres

#### 4.1.1 Perfis de Praia

Os perfis transversais à linha de praia foram usados na composição de 3 células compostas segundo a Figura 24 e nomeadas Célula de Praia 1 (C1), Célula de Praia 2 (C2) e Célula de Praia 3 (C3).

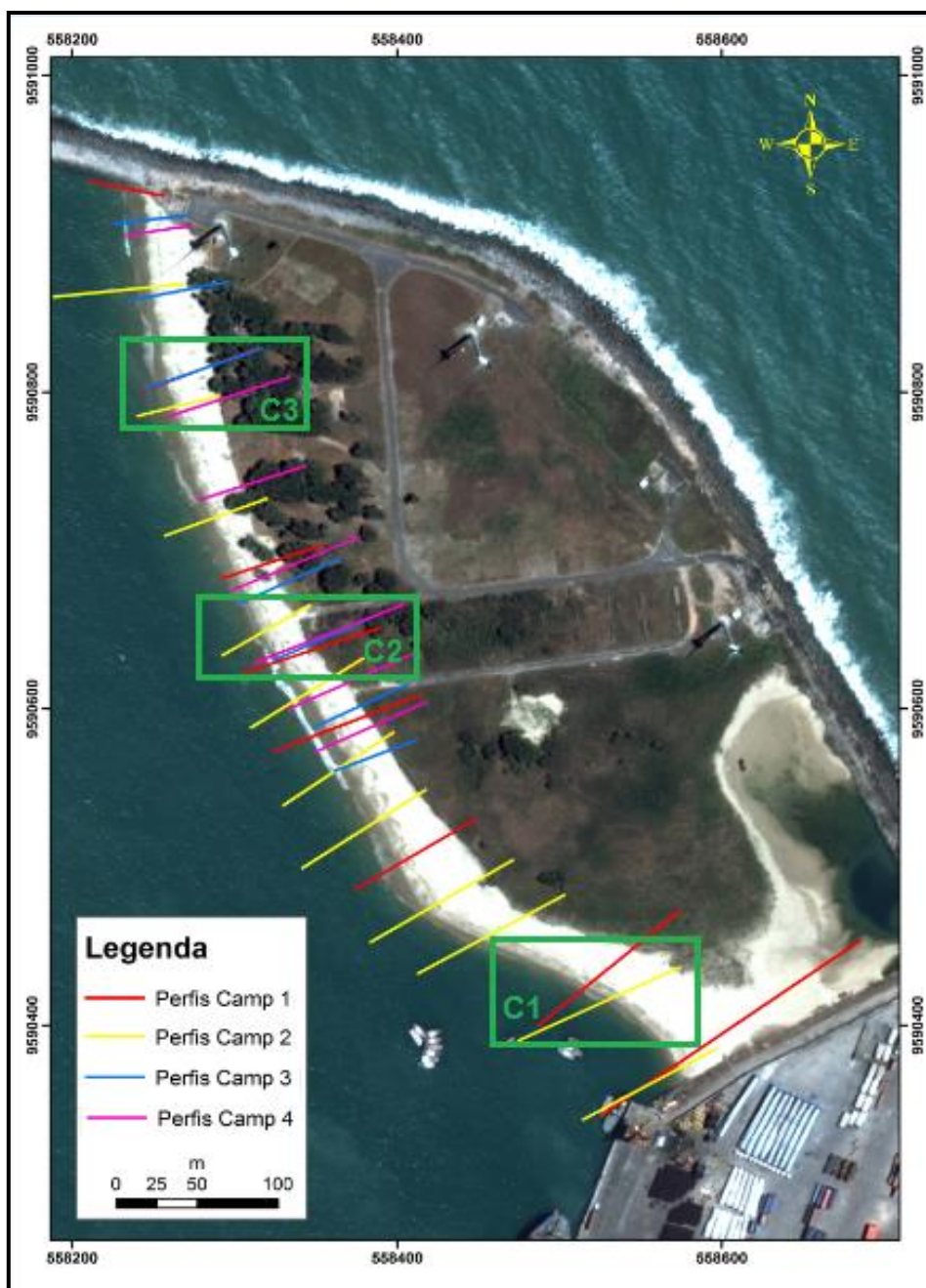
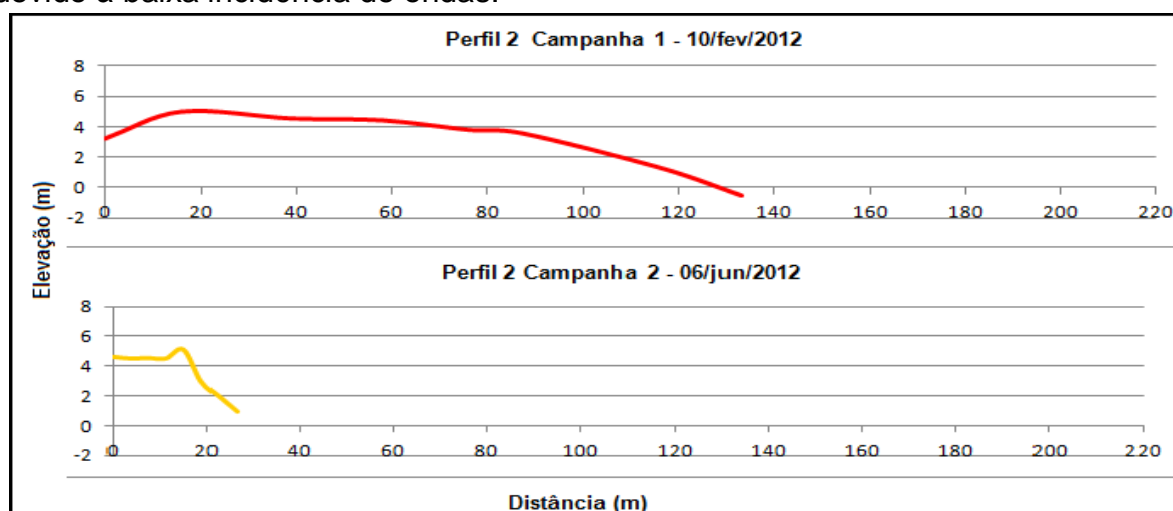


Figura 21 Imagem georreferenciada da Praia Mansa com distribuição espacial aproximada dos perfis de praia por campanha terrestre. Fonte: autor.

Todos os perfis elaborados foram apresentados no APÊNDICE A para visualização geral das formas encontradas na extensão da praia, porém somente os perfis selecionados e apresentados como células serão discutidos neste trabalho.

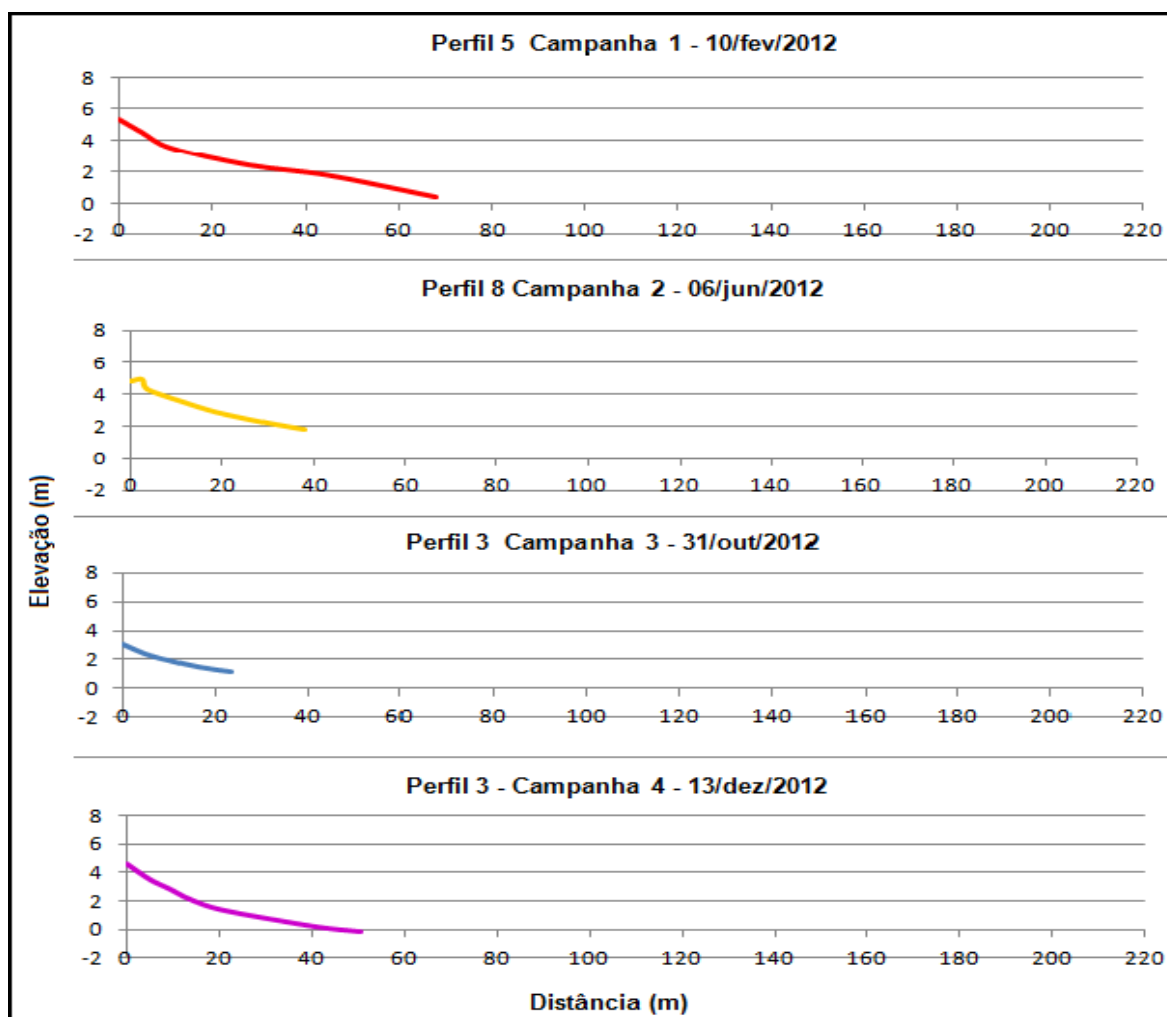
Na célula 1 (C1), foram apresentados 2 perfis de praia, o Perfil 2 da Campanha 1 e o Perfil 2 da Campanha 2 conforme apresentado na Figura 25. Os perfis se encontram posicionados a aproximados 50 e 70 metros do enraizamento do molhe no continente, numa área caracterizada como sendo de baixa energia devido à baixa incidência de ondas.



**Figura 22** Célula de praia 1 (C1) composta de perfis bidimensionais sendo o perfil 2 da campanha de fevereiro e o perfil 2 da campanha de junho de 2012. Fonte: autor.

É evidente que de uma campanha para a outra houve um encurtamento do perfil em aproximados 100 metros. Essa alteração é atribuída à execução da terraplanagem para alcançar a cota de projeto e nivelar o terreno. A presença de estacas na parte subaquosa também impediu o acesso aos pontos de cotas mais baixas, localizadas na zona de estirâncio e na antepraia. Observa-se uma maior declividade na face da praia e também a “barreira frontal artificial” que se assemelha a uma duna frontal bem desenvolvida, com cerca de 4 metros de altura próxima à linha d’água.

A célula 2 (C2) foi composta de um perfil de cada campanha terrestre realizada (Figura 26), assim como a célula 3 (C3) conforme Figura 28. Compõem C2 o perfil 5 da Campanha 1, o perfil 8 da Campanha 2, o perfil 3 da Campanha 3 e o perfil 3 da Campanha 4. Esta célula encontra-se na porção mediana da praia, onde termina a área de instalação do Terminal e inicia a área de praia que se manteve inalterada.



**Figura 23** Célula de praia 2 (C2) composta de perfis bidimensionais sendo o perfil 5 da campanha 1, o perfil 8 da campanha 2, o perfil 3 da campanha 3 e o perfil 3 da campanha 4. (Fonte: autor).

Na face de praia, do limite interno da zona de surfe a até a linha de preamar na base de uma duna frontal ou limite da ação do *swash*, as ondas sofrem interrupção em sua propagação por dissipação ou reflexão (SHORT, 2000). Nas células C2 e C3 observou-se o desenvolvimento de ondas tubulares (mergulhantes) em todas as campanhas na maré enchente até atingir a preamar. O gradiente de inclinação do fundo e a geometria da onda influenciam na forma da quebra (CEM-UFPR, 2005). O vento também é um fator que influencia diretamente no tipo de quebra que a onda vai ter na arrebentação (SHORT, 2000). Até uma determinada intensidade, os ventos direcionados da terra para o mar (vento terral) sobre as ondas na arrebentação, favorecem a formação de ondas do tipo mergulhante já o vento do mar para a terra (vento maral) favorece a quebra do tipo deslizante.

O tamanho do sedimento, junto com as ondas, controlam a forma da praia e sua dinâmica. A areia fina produz baixo gradiente da zona de espraiamento (*swash*), em torno de  $1^\circ$  a  $3^\circ$ , alargando a zona de surfe, com alta mobilidade potencial da areia. A areia média a grossa produz gradiente maior, de  $5^\circ$  a  $10^\circ$ , uma zona de surfe mais estreita e menor mobilidade da areia (SHORT, 2000).

Antes da intervenção, Praia Mansa apresentava 3 regiões com características diferentes ao longo de sua extensão. O trecho mais continental (C1), iniciado no enraizamento do molhe, era caracterizado pelo baixo gradiente do fundo e pouca influência das ondas. O trecho intermediário (C2), a cerca de 350 metros de distância do enraizamento do molhe, apresentava-se mais inclinado com notável influência das ondas difratadas pela ponta do molhe.

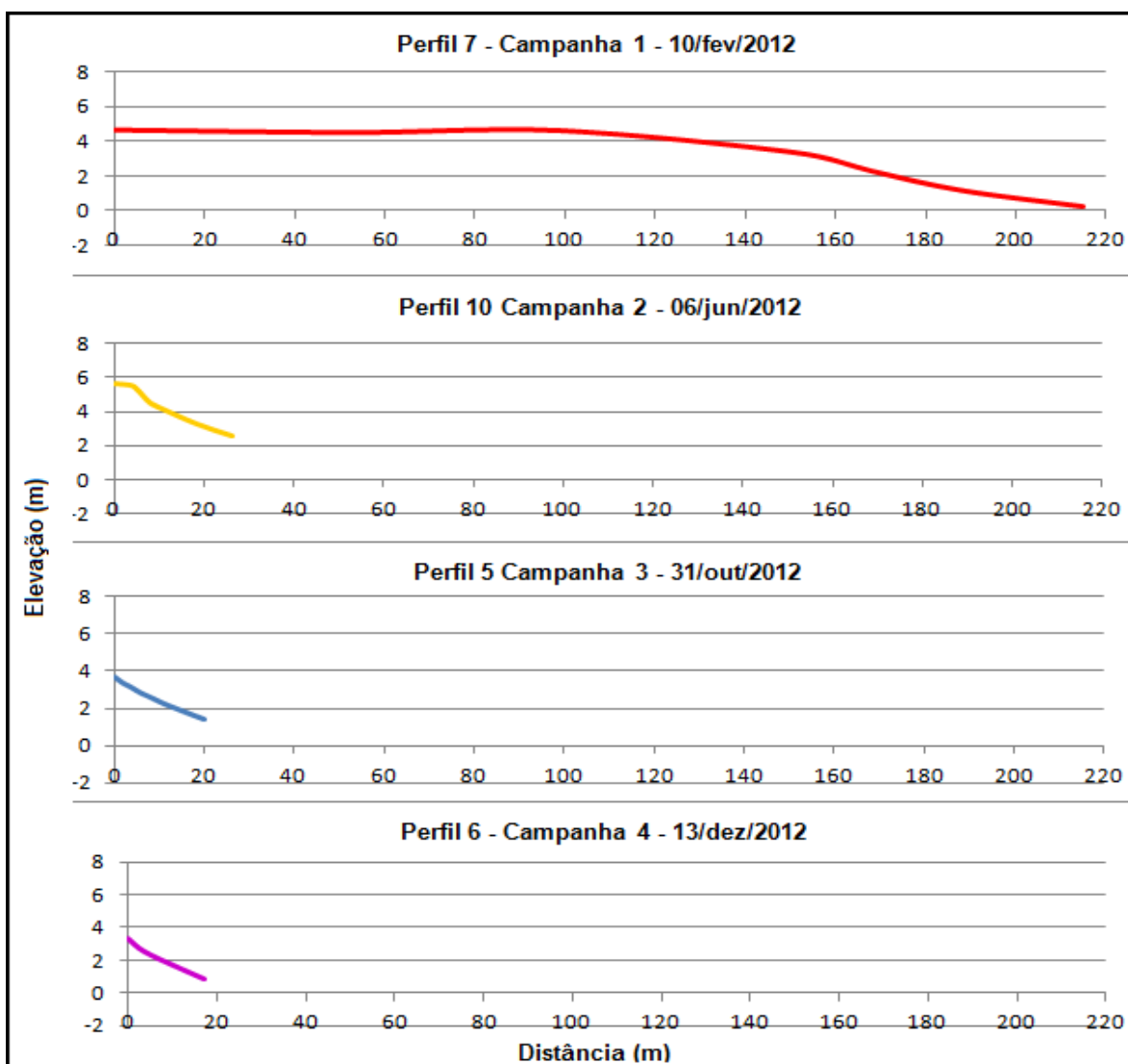


Figura 24 Célula de praia 3 (C3) com perfis bidimensionais, sendo o perfil 7 da campanha 1, o perfil 10 da campanha 2, o perfil 5 da campanha 3 e o perfil 6 da campanha 4. Fonte: autor.

O trecho final (C3) contido na Figura 27, mais afastado do continente, apresentava características semelhantes às do trecho mais continental, porém com faixa de praia de menor comprimento. Nos trechos compreendidos em C2 e C3 se observou que em maré alta a água chega a erodir a duna frontal expondo as raízes da vegetação de restinga o que explica a pequena escarpa nos perfis 8 e 10 da Campanha 2.

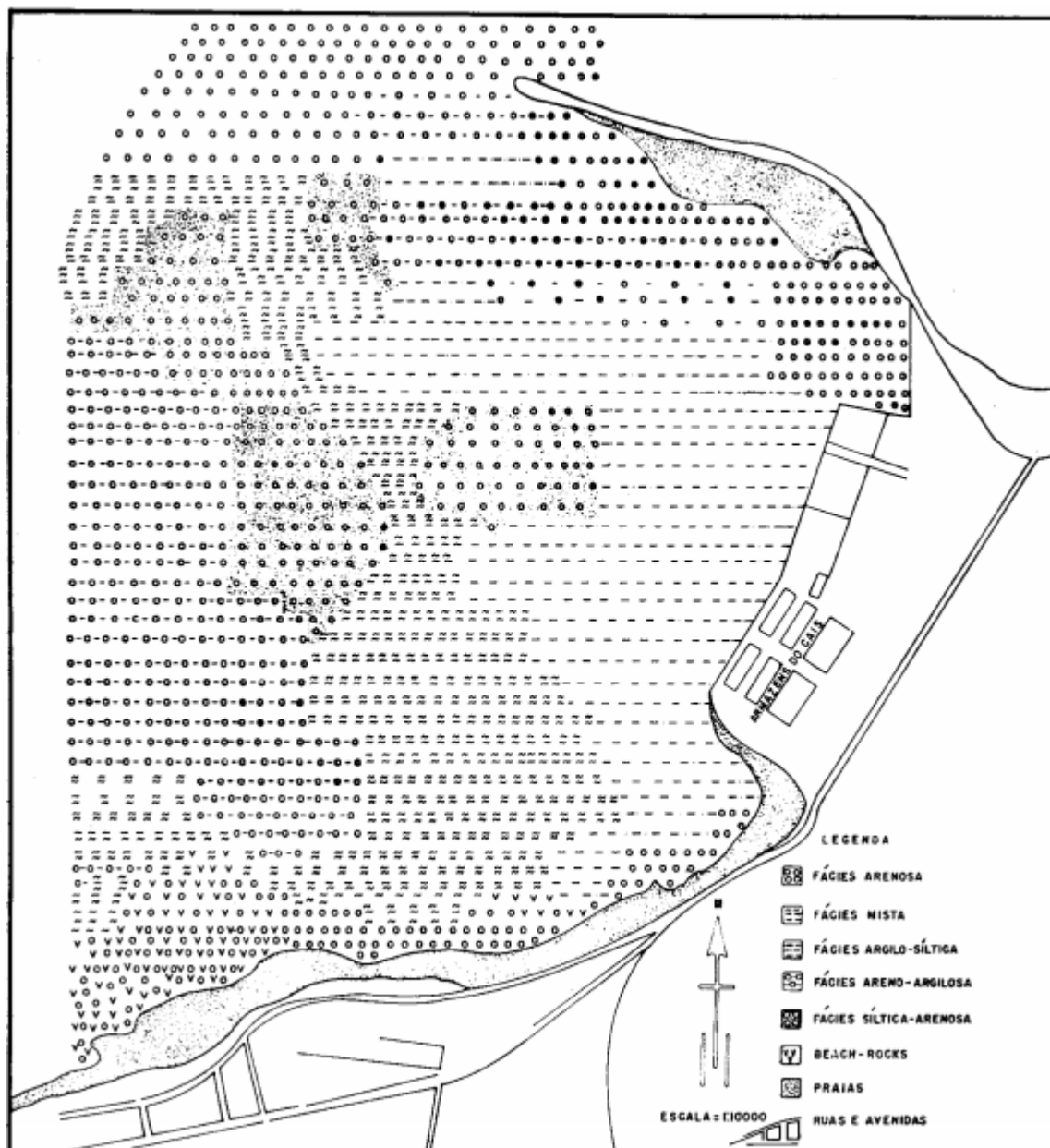
A resposta do perfil à ação das ondas está em função da profundidade, de maneira que conforme se aproxima da praia (profundidades rasas) mais rápida é a resposta (BOSBOOM & STIVE, 2012). Na área compreendida pelas células C2 e C3 se observou uma diferenciação na distribuição granulométrica das amostras da Campanha 3 para a Campanha 4, com aumento das frações de areia média, acompanhada de um leve aumento de inclinação dos perfis de outubro para dezembro, período de fortes ventos e portanto forte influência das ondas no modelado da costa.

#### 4.1.2 Sedimentos

Esta seção foi subdividida em Granulometria, Teor de Matéria Orgânica e Teor de Carbonato de Cálcio. Para padronização dos rótulos das amostras analisadas criou-se um código iniciado pelas letras “AM” referente a “amostra”, seguida de um número referente ao número da amostra coletada numa determinada campanha identificada pela letra “C” mais o número da campanha de 1 a 4 conforme determinado na Tabela 3.

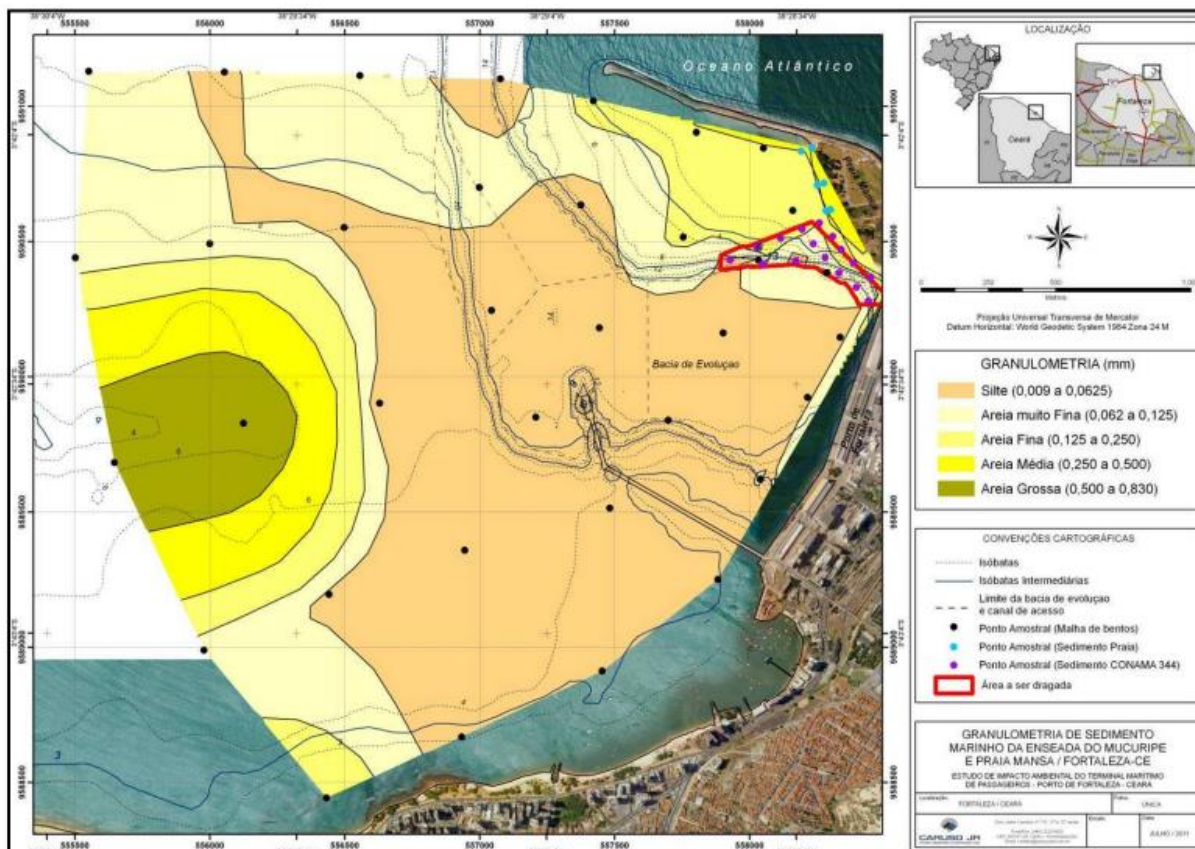
##### 4.1.2.1 Granulometria

O primeiro autor a descrever a bacia portuária do Mucuripe em termos sedimentológicos após a construção do molhe da Ponta do Mucuripe e formação da Praia Mansa foi MORAIS (1972). No estudo dos Processos de assoreamento do Porto do Mucuripe o autor elaborou um mapa com a distribuição de fácies sedimentológicas apresentado na Figura 28.



**Figura 25** Distribuição das fácies sedimentares na área do Porto do Mucuripe baseada em dados de 1969 e 1970. Fonte: MORAIS (1972).

Um segundo o mapa de distribuição de sedimento marinho da Enseada do Mucuripe foi apresentado em 2011 pela empresa de Consultoria responsável pelo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) da obra do Terminal Marítimo de Passageiros (Figura 29). Os resultados granulométricos do RIMA apontam que aproximadamente 88% dos sedimentos analisados são constituídos por areia, 10.2% por silte, 1.81% por argila. No mapa apresentado, a faixa de praia da Praia Mansa apresenta essencialmente areia média (0.250 a 0.500mm) e conforme descrito no relatório: “Nota-se que próximo a Praia Mansa predominam os sedimentos de areia fina e um cordão de areia média junto à face da Praia” (CARUSO JR., 2011).



**Figura 26** Mapa com distribuição de granulometria do sedimento da Enseada do Mucuripe e Praia Mansa. Fonte: CARUSO JR, 2011.

Os gráficos no presente trabalho, elaborados a partir do processamento das 29 amostras da Campanha 1, realizada em 10 de fevereiro do ano de 2012, já apresentam uma evidente predominância em torno da Classe Areia Fina (Figura 30).

Um total de nove das 29 amostras (31%), bem distribuídas ao longo da extensão da praia, teve um percentual de areia fina maior que 70%, sendo 81,66% (AM17C1) a maior percentagem encontrada numa única amostra, e a menor 23,31% (AM18C1). Vinte e duas amostras (75,86%) das 29 amostras coletadas apresentou percentual de areia fina maior que 50%.



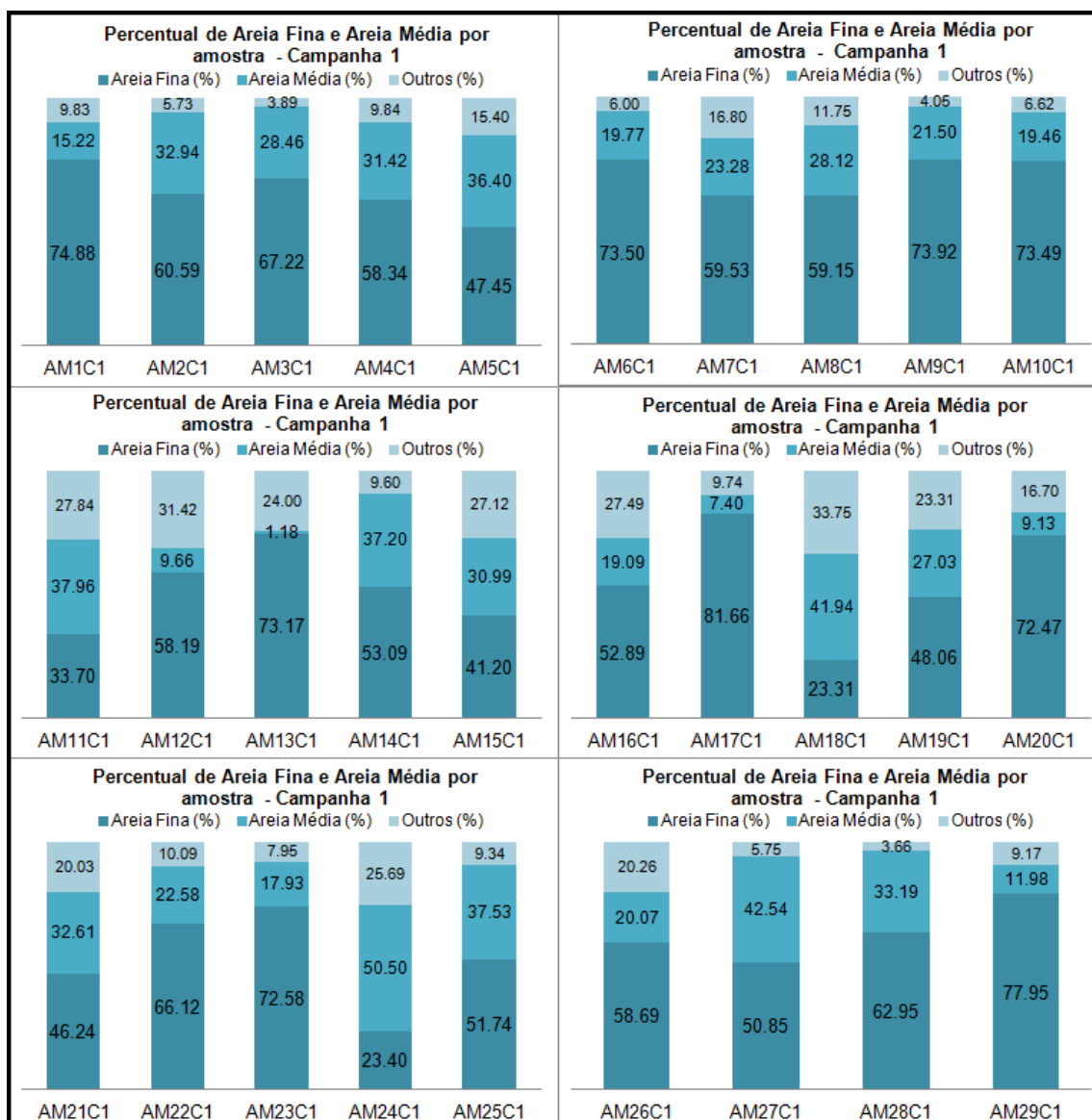


Figura 27 Gráficos de Percentual de Areia Fina, Areia Média e outras frações, por amostra da Campanha 1. Fonte: autor.

A Campanha 2, realizada também no primeiro semestre do ano de 2012, no mês de junho, foi a campanha terrestre na qual foi coletada a maior quantidade de amostras totalizando 33 (Figura 31), das quais 20 (60.6%) tiveram percentual de areia fina maior que 70%. O maior percentual da classe de areia fina numa única amostra foi de 88.98% (AM4C2) e a menor de 31% (AM19C2). Um percentual de 78.78% (26 amostras) do total das amostras coletadas no dia apresentou mais de 50% de areia fina, o que dá mais respaldo à hipótese de que a classe de areia fina é predominante na área da Praia Mansa.

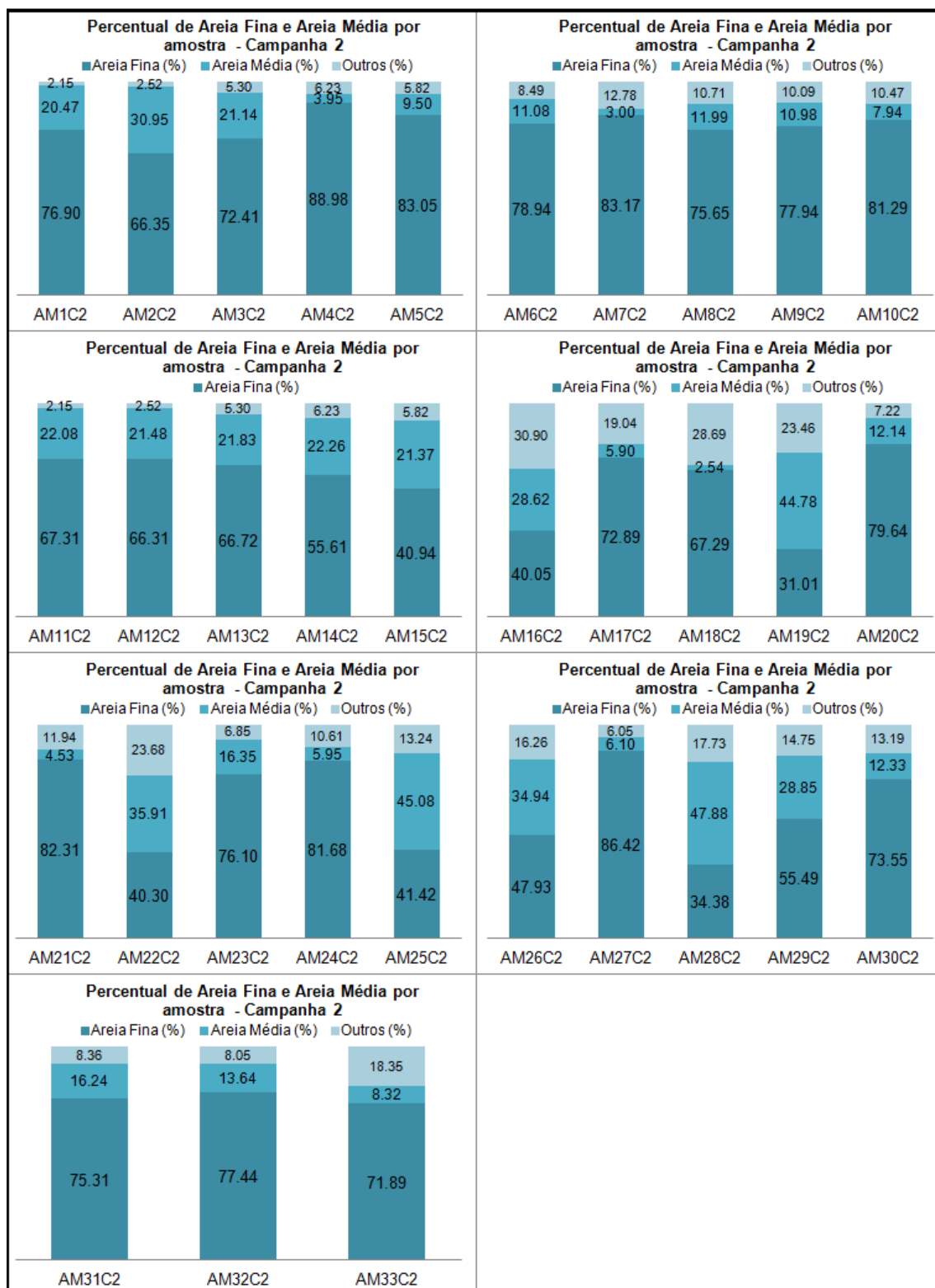


Figura 28 Gráficos de Percentual de Areia Fina, Areia Média e outras frações, por amostra da Campanha 2. (Fonte: autor).

Nas Campanhas 3 e 4, ambas realizadas no período de estiagem (segundo semestre), foi coletado o mesmo número de amostras por campanha (19 amostras) na porção da praia não incluída na obra do Terminal de Passageiros. Na Campanha 3, mais da metade das amostras (10 amostras) apresentou quantidade de areia fina

superior a 70% (Figura 32). O maior percentual da classe de areia fina numa única amostra foi de 85,77% (AM2C3) e a menor de 18,37% (AM13C3). Um percentual de 57,89% (11 amostras) do total das amostras coletadas no dia apresentou mais de 50% de areia fina.

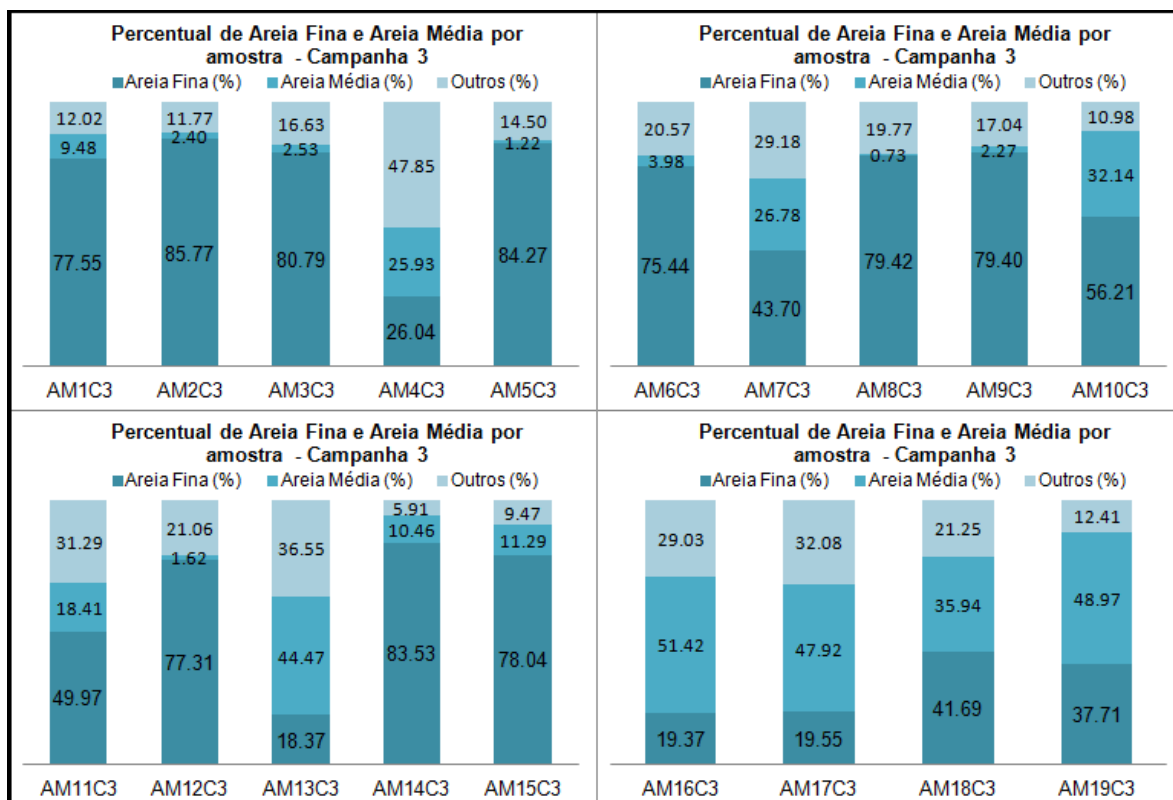
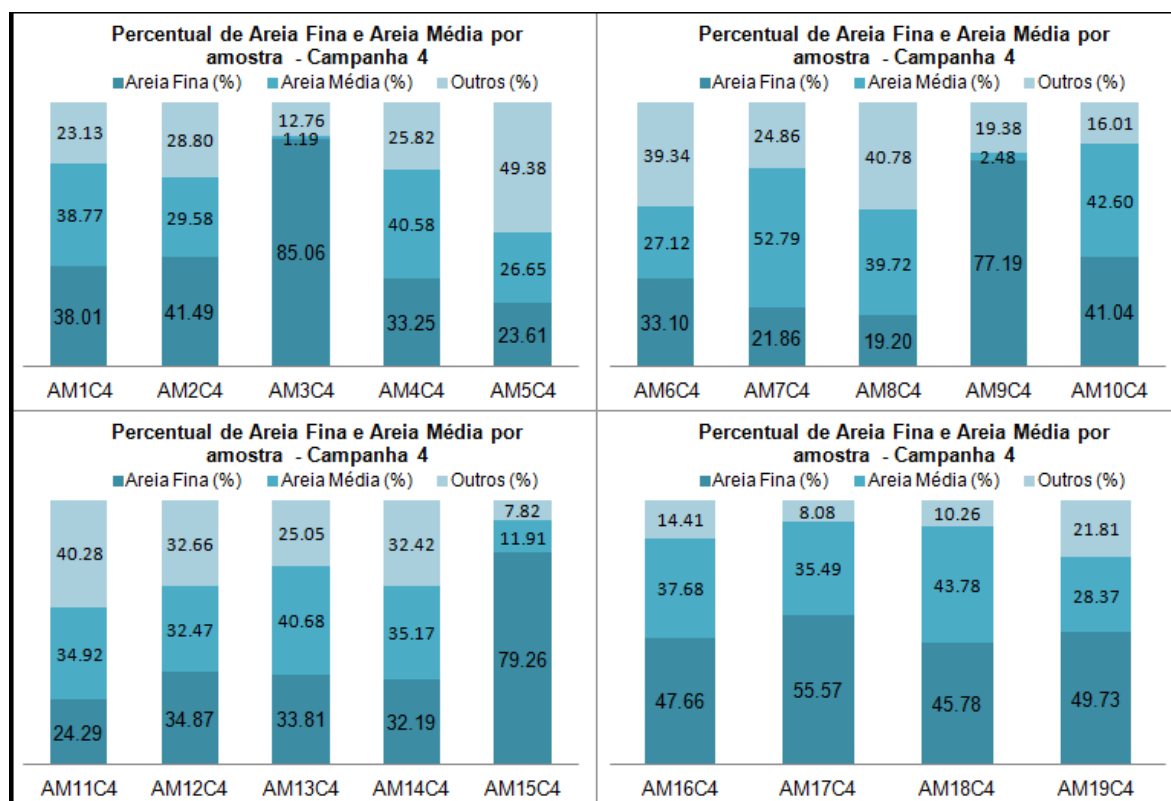


Figura 29 Gráficos de Percentual de Areia Fina, Areia Média e outras frações, por amostra da Campanha 3. (Fonte: autor).

A Campanha 4 foi a que apresentou o menor percentual médio de areia fina (43%) distribuída nas amostras 3 comparada aos 67,17% encontrados na Campanha 2 e aos aproximados 58% calculados para as Campanhas 1 e 3. Somente 3 amostras apresentaram quantidade de areia fina superior a 70% (Figura 33). O maior valor percentual da classe de areia fina numa única amostra foi de 85,06% (AM3C4) e o menor 19,2 % (AM8C4). Um total de 7 (36,84%) das 19 amostras coletadas no dia apresentou percentual de areia média superior ao percentual de areia fina e os valores percentuais das outras classes de sedimentos mostraram-se mais expressivos. A fração “Outros (%)” chegou a representar 30% do total da amostra em 6 amostras analisadas, onde foram verificadas quantidades expressivas de areia grossa (entre 0,5 e 1mm na Tabela 10).



**Figura 30** Gráficos de Percentual de Areia Fina, Areia Média e outras frações, por amostra da Campanha 4. (Fonte: autor).

Os resultados do processamento das amostras pelo *software Anased* evidenciou a predominância do grau “moderadamente selecionado” nos sedimentos amostrados totalizando 66 amostras. O grau “bem selecionado” foi o segundo mais expressivo com 26 amostras, seguido do “pobrememente selecionado” com 7 amostras e apenas uma amostra bem com grau “bem selecionado”. O grau de seleção se refere à medida da variação de tamanhos de grãos em uma rocha ou sedimento e aumenta com a distância de transporte. Sedimentos bem selecionados foram submetidos à ação prolongada da água ou vento e sedimentos pobrememente selecionados ou não tiveram um transporte prolongado ou foram depositados por geleiras.

Quanto à classificação dos sedimentos segundo Folk e Ward, obteve-se 55 amostras de Areia fina contra 45 de Areia Média valendo-se da média como parâmetro estatístico. Usando a mediana, obteve-se 68 amostras de Areia Fina e 32 amostras de Areia Média, o que nos permite inferir que a Areia Fina é dominante na faixa de praia monitorada.

Para o volume estimado de dragagem previsto na obra do Terminal (500.000 m<sup>3</sup>) foram coletadas 17 amostras segundo as normas do CONAMA 344/04 para elaboração do estudo que fundamentou o RIMA. Na Praia Mansa, foram coletadas 5 amostras, não inclusas na quantidade de amostras determinada pelo CONAMA 344/04.

#### 4.1.2.2 *Matéria Orgânica*

As estruturas costeiras que protegem portos e terminais comprometem o balanço, transporte e deposição de sedimentos tornando necessárias as dragagens. Dentre o material que é transportado e depositado nessas áreas, a matéria orgânica é um importante carreador geoquímico, onde contaminantes podem estar a ela



**Figura 31** Delimitação da área do Terminal e presença de vegetação de restinga na parte inalterada da praia. Fonte: (CARUSO JR., 2011).

associados por diferentes processos (MOREIRA et al, 2010).

A média dos teores de MO (Figura 35) no total das amostras analisadas (100 amostras) foi 0.87%. A Campanha 1 foi a que apresentou maior média de teor de matéria orgânica, calculado em 1.15%, sendo o maior valor obtido 2.91% (AM1C1) e o menor 0.29%

(AM24C1). Este resultado pode ser atribuído ao fato desta campanha ter sido realizada antes da limpeza do terreno pelas escavadeiras, num período marcado por chuvas, de maneira que resíduos da vegetação local ainda não haviam sido removidos da área de implantação do Terminal (Figura 34) e puderam ser carreados por lixiviação para a faixa de praia analisada. Vale observar ainda que os perfis, nesta campanha em especial, foram bastante extensos em relação às demais campanhas. Na Campanha 2, a média de MO por amostra caiu para 0.77% sendo o maior valor encontrado de 2.17% (AM24C2) e o menor 0.15% (AM28C2) . No

momento de realização desta campanha, em junho de 2012, a área de implantação da obra já havia passado pela limpeza do terreno, na qual foram removidas as fontes potenciais de MO como galhos, raízes e folhagens da vegetação local.



Figura 32 Gráficos do teor de matéria orgânica em percentual presente em cada amostra analisada por Campanha terrestre realizada. Fonte: autor.

As Campanhas 3 e 4 apresentaram médias percentuais de MO de, respectivamente, 0.67% e 0.80%. Na Campanha 3 o maior valor foi de 2.03%

(AM9C3) e o menor 0.04% (AM1C3). Já na Campanha 4 o maior valor foi de 2.74% (AM9C4) e o menor de 0.12% (AM6C4). A média geral para as 100 amostras analisadas foi calculada em 0.84% com o maior valor encontrado na Campanha 1 (2.91%) e o menor valor na Campanha 3 (0.04%).

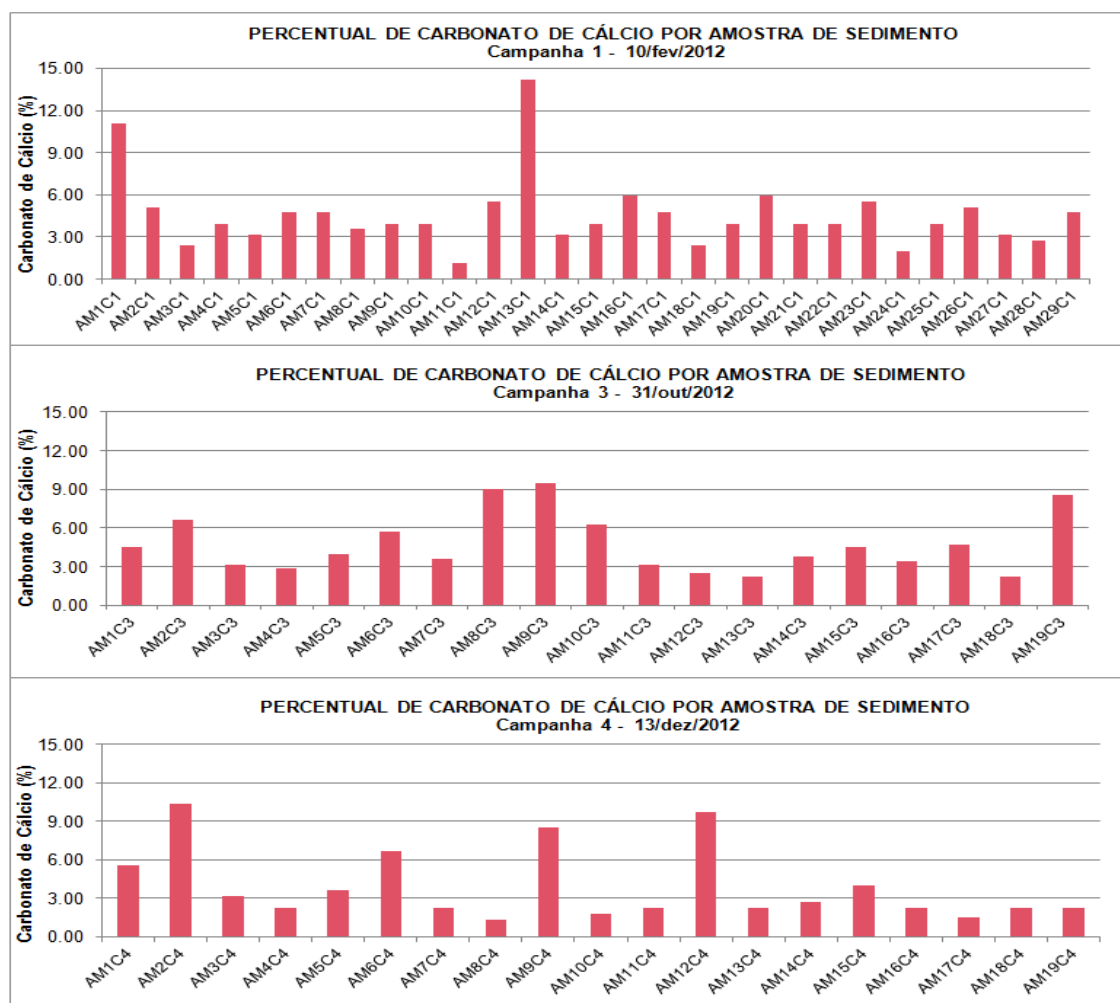
O suprimento de sedimentos terrígenos para a costa é controlado pela precipitação e temperatura que definem a taxa de denudação (SHORT, 2000). Como as campanhas 3 e 4 foram realizadas num período do ano em que as chuvas são escassas (outubro e dezembro), era esperada uma redução na disponibilidade de MO no sedimento, uma vez que a lixiviação seria negligenciada no transporte de resíduos orgânicos para a faixa de praia monitorada.

As campanhas foram realizadas na parte da praia não contemplada pela construção, num trecho onde a vegetação local foi mantida para compor o paisagismo, mas que está sujeita a uma maior energia de ondas que favorece a movimentação dos sedimentos finos. A ausência de sedimentos silto-argilosos pode explicar os baixos teores em relação às taxas verificadas em dados publicados, que ficam em torno de  $6,64 \pm 5,66\%$  (MOREIRA et al, 2010).

Apesar de ter sua distribuição influenciada por fatores como a profundidade, hidrodinâmica e natureza dos sedimentos, não foi possível identificar padrões de distribuição de MO quanto ao fator profundidade, uma vez que poucas amostras foram coletadas na parte subaquosa dados os obstáculos e restrições impostas pela obra.

#### 4.1.2.3 Carbonato de Cálcio

Foram analisadas 67 amostras quanto ao teor de carbonato de cálcio referentes às campanhas 1, 2 e 4. O percentual de carbonato por amostra e por campanha pode ser verificado na Figura 36.



**Figura 33** Gráficos do teor de carbonato de cálcio em percentual presente em cada amostra analisada das campanhas terrestres de fevereiro, outubro e dezembro de 2012. Fonte: autor.

A média calculada por campanha para as Campanhas 1, 3 e 4 foram respectivamente 4.57%, 4.75 e 3.93%. A média, para o total de amostras analisadas, ficou em 4,5% sendo o maior e menor valor registrados na Campanha 1 com 14.2% (AM13C1) e 1.18% (AM11C1), respectivamente.

A sedimentação carbonática da plataforma continental do Ceará apresenta-se bem desenvolvida na plataforma externa. Já na plataforma interna, a energia das correntes, juntamente com o pequeno aporte e sedimentação terrígena dificulta o crescimento das algas calcárias (GOMES & FREIRE, 2007). Isso explica a menor concentração de carbonato de cálcio na plataforma interna que também se deve a uma maior dissolução, pois nos sedimentos mais superficiais o fluxo de água intersticial sedimento- água livre produzem uma maior dissolução dos íons  $\text{Ca}^{++}$ , os liberando no meio.



## 4.2 Forçantes Meteoceanográficas

### 4.2.1 Ventos

O vento exerce um papel fundamental no litoral do nordeste brasileiro haja vista a acumulação de dunas e praia arenosas ao longo da costa do Ceará. A interação entre os fluxos eólicos e fluxos de sedimentos depende em grande parte da velocidade do vento e das características granulométricas do material (MUEHE, D.(org), 2006), já discutidas anteriormente nos resultados das campanhas terrestres.

Os resultados serão apresentados por mês e por dia de registro com as horas medidas identificadas pela letra “H” seguida por um número de 1 a 13. Para padronizar as horas de medição convencionou-se que todas as campanhas iniciaram-se por volta das 6:30 horas da manhã uma vez que este foi o horário médio do início dos registros. Nas campanhas de dezembro de 2012 não foram feitos registros. No mês de outubro obteve-se dados para os dias 24 e 25, que compreendem período de maré em quadratura nos Pontos 2 (área exposta) e 1 (área abrigada), respectivamente. No mês de fevereiro foram coletados dados de vento nos dias 6 e 7 também referentes a campanhas realizadas em maré de quadratura.

A grande variabilidade espacial em pequena escala dos processos oceanográficos em zonas costeiras tornam as componentes horizontais das forças físicas importantes para explicar as mudanças em escala vertical na coluna d’água. A componente horizontal do vento gera transporte de Ekman e em condições ideais, potencializadas pela sazonalidade, tende a gerar mistura da coluna de água.

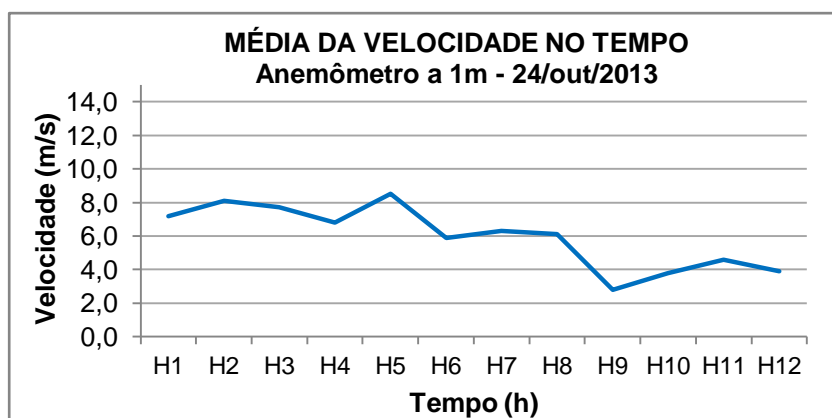
Na primeira campanha em maré de quadratura realizada no Ponto 2 (área exposta), no dia 24 de outubro de 2013, obteve-se registros para 12 horas das 13 horas. A hora H1, ou primeira hora gravada refere-se ao primeiro registro válido. A intensidade do vento foi medida a 1 metro acima da superfície.

Foram obtidos resultados segundo o gráfico da média das intensidades registradas apresentado na Figura 37. A média diária ficou em 5.97m/s. Os maiores valores constam nos registros das primeiras 6 horas de medição (média 7.36m/s) com pico de 10.5m/s registrados em H2 e H5. Na segunda metade do dia, a média

foi de 4.58m/s o que demonstra uma variabilidade significativa da intensidade do vento ao longo do dia (2.78m/s) para medições feitas a uma mesma altura.

Durante as 6 primeiras horas as velocidades oscilaram entre 5 e 10m/s. A partir da sétima hora medida, que equivale ao período do meio dia, percebe-se uma redução dos picos e uma tendência em torno dos 6m/s que permanece por duas horas. A partir da nona hora houve quedas bruscas nos registros caracterizando um vento rajado e instável por volta das 15 horas da tarde.

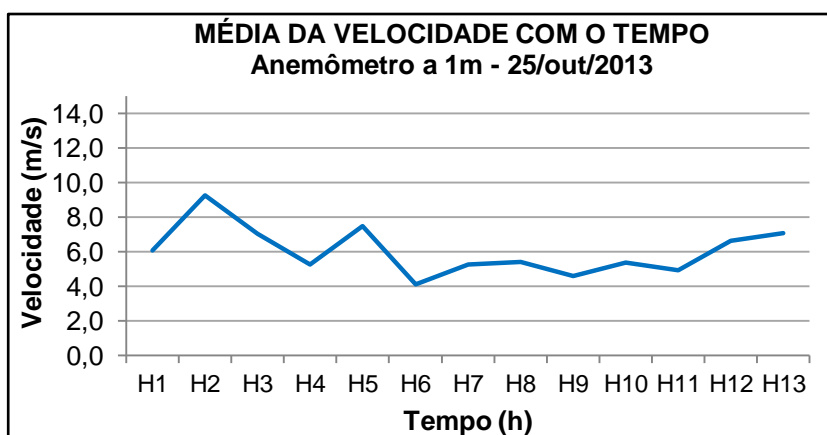
O resultado apresentado no gráfico da média evidencia uma estabilização da intensidade no período do meio dia e uma diminuição da velocidade na segunda metade do período medido da ordem de 50%, passando a velocidade de 8m/s para 4m/s.



**Figura 34** Gráfico da média da velocidade do vento durante as 12 horas medidas no dia 24 de outubro. Fonte: autor.

No dia 25 de outubro, uma vez que o Ponto 2 se trata de uma área exposta a uma pista de vento mais extensa, as velocidades apresentaram-se sensivelmente maiores com uma média de 6.1m/s e um pico de 12.6 m/s em H2 (Figura 38). Ao registro da segunda hora (H2), também estão associadas as maiores velocidades encontradas nos dois dias monitorados do mês de outubro. Observou-se que neste dia o vento em rajadas foi predominante entre 07:00 e 12:00, no período da manhã, e ao fim da tarde após as 16:00. Os maiores valores constam nos registros das primeiras 6 horas de medição com média de 6.6m/s. Na segunda metade do dia, a média foi de 5.6m/s. Os menores registros constam na nona hora com média 2.8m/s e o menor valor 0.2m/s.

A amplitude das oscilações a cada hora registrada para o dia 25 foi maior do que aquela verificada no dia 24. Porém, as médias das velocidades para o total de horas monitoradas apresentou-se numa faixa menor de velocidades para o dia 25 (entre 4.1 e 9.3m/s), enquanto que para o dia 24 obteve-se valores médios entre 2.8 e 8.5m/s.



**Figura 35** Gráfico da média da velocidade do vento durante as 13 horas (H1 a H13) medidas no dia 25 de outubro de 2013. Fonte: autor.

De uma maneira geral, conforme pôde ser verificado nos gráficos das médias das duas campanhas de outubro, os ventos a 1 metro da superfície são mais intensos no período matinal, tendem a diminuir em intensidade e estabilizar-se por volta do meio dia e perder intensidade no período vespertino. Em ambas as campanhas baixas velocidades foram registradas às 15:00.

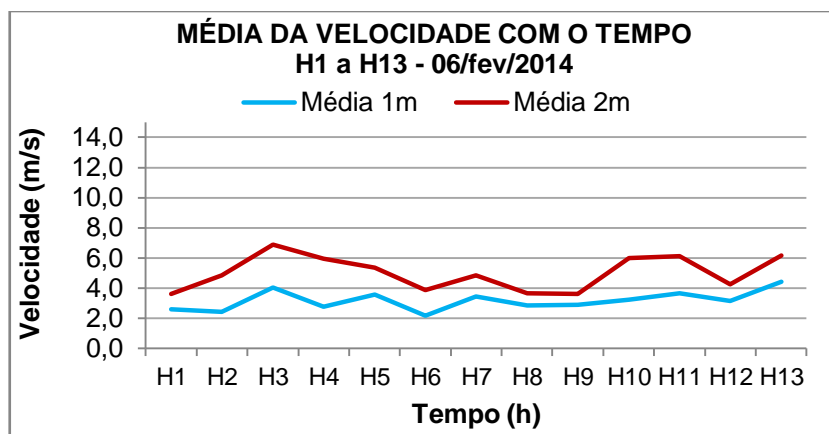
#### 4.2.1.1 Campanhas de Fevereiro de 2014

A medida da intensidade do vento em duas alturas visa confirmar a tendência de um vento mais intenso e mais constante na medida em que a altura aumenta. Na campanha de 06 de fevereiro, realizada no Ponto 1, a média das velocidades registradas à 1 metro de altura foi de 3.2m/s enquanto que a 2 metros foi de 5m/s (Figura 39). Em H4 observou-se uma diferença de até 5m/s entre o registro feito a 1 metro de altura e aquele realizado a 2 metros.

A média da intensidade do vento nas 6 primeira horas foi 2.9m/s para o anemômetro a 1m, sendo inferior à média calculada na segunda metade das

medições do dia, calculada em 3.4m/s. Já para o anemômetro a 2m a média da primeira metade do dia (5m/s) foi praticamente igual à segunda metade (5.1m/s).

Os dados da segunda metade dos registros de 06 de janeiro de 2014 evidenciam uma tendência de aproximação das velocidades nas duas alturas medidas, que se inicia por volta do meio dia e se mantém até as 15:00.



**Figura 36** Gráfico das médias das velocidades do vento a 1 e 2 metros, durante as 13 horas (H1 a H13) medidas no dia 06 de janeiro de 2014. Fonte: autor.

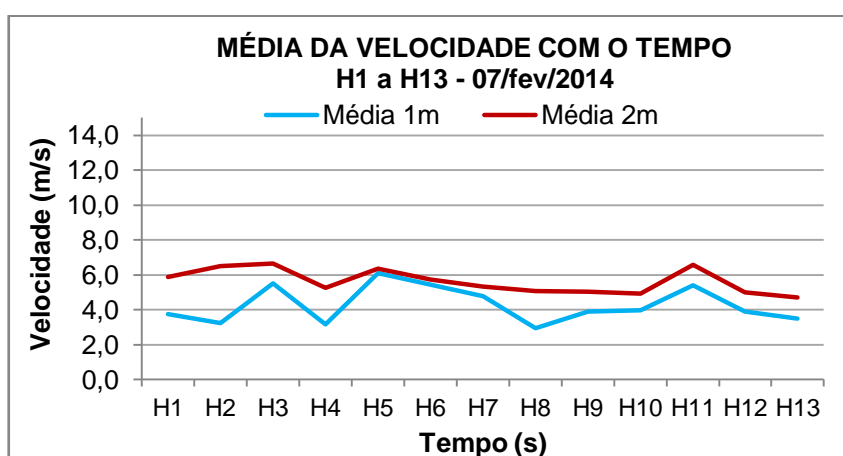
As médias do dia confirmam a tendência de aproximação das velocidades nas duas alturas medidas ao longo de todos os registros. A média do anemômetro a 1m ficou em 3.2m/s e a 2m foi 5m/s. As velocidades se mantiveram entre 2m/s e 7.75m/s, sendo o último o valor de pico registrado em H3.

Na campanha de 07 de fevereiro de 2014, realizada no Ponto 2, a média das velocidades registradas à 1 metro de altura foi de 4.3m/s enquanto que a 2 metros foi de 5.6m/s (Figura 40). Em H2 observou-se uma diferença de até 5.11m/s entre o registro feito a 1 metro de altura (2.17m/s) para aquele realizado a 2 metros (7.28m/s).

A média da intensidade do vento das 6 primeira horas (4.5m/s) para o anemômetro mais baixo foi próxima à média calculada na segunda metade das medições do dia (4.1m/s). Já para o anemômetro mais alto a média da primeira metade do dia (6.1m/s) foi superior à média da segunda metade (5.2m/s) em quase 1m/s.

Já na segunda metade do total de medições do dia 07 de janeiro, representada por H7 a H13, observa-se a tendência dos registros feitos nas diferentes alturas a acompanhar um mesmo padrão. Tal tendência já era observada nos registros H5 e H6, próximos ao meio dia, e fica mais evidente em H10, H11 e H12.

As médias dos registros apresentam um vento mais constante a 2m. De uma maneira geral houve pouca diferença nos registros feitos a 1m e a 2m, sendo esta diferença notável apenas para H1 e H2.



**Figura 37** Gráfico das médias das velocidades do vento a 1 e 2 metros, durante as 13 horas (H1 a H13) medidas no dia 07 de janeiro de 2014. (Fonte: autor).

Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), o segundo semestre possui os ventos mais intensos do ano, principalmente no litoral, pois recebe os ventos de Leste e Sudeste, que são intensos sobre o oceano Atlântico. Dados da Funceme revelam ainda que, enquanto nos seis primeiros meses do ano a média de velocidade dos ventos chega a no máximo 9,7 Km/h (2.7m/s), no segundo semestre pode ser 16,3 Km/h (4.53m/s).

Os resultados confirmam a ocorrência de ventos fortes no período que, de acordo com registros locais, oscilam entre 6.94m/s (25km/h) e 9.72m/s (35km/h) chegando a atingir 11.11m/s (Diário do Nordeste, 2013). No dia 25 de outubro observou-se um pico de 12.6 m/s e a ocorrência de ventos de 11.1m/s em H5, o que reflete a alta intensidade conforme esperado para o período. No Ponto 1, área abrigada, o molhe age como uma "obstáculo" para a entrada de ventos do nordeste,

diminuindo a energia das ondas como verificado também no sul do país na entrada da Lagoa dos Patos (SILVA, NEVES, & BEMVENUTI, 2008).

#### 4.2.2 Ondas

Nesta seção foram analisadas as alturas significativas e alturas máximas de onda das campanhas oceanográficas de 17, 18, 24 e 25 de outubro de 2013 e das campanhas oceanográficas de 06 e 07 de fevereiro de 2014, cujos dados são válidos.

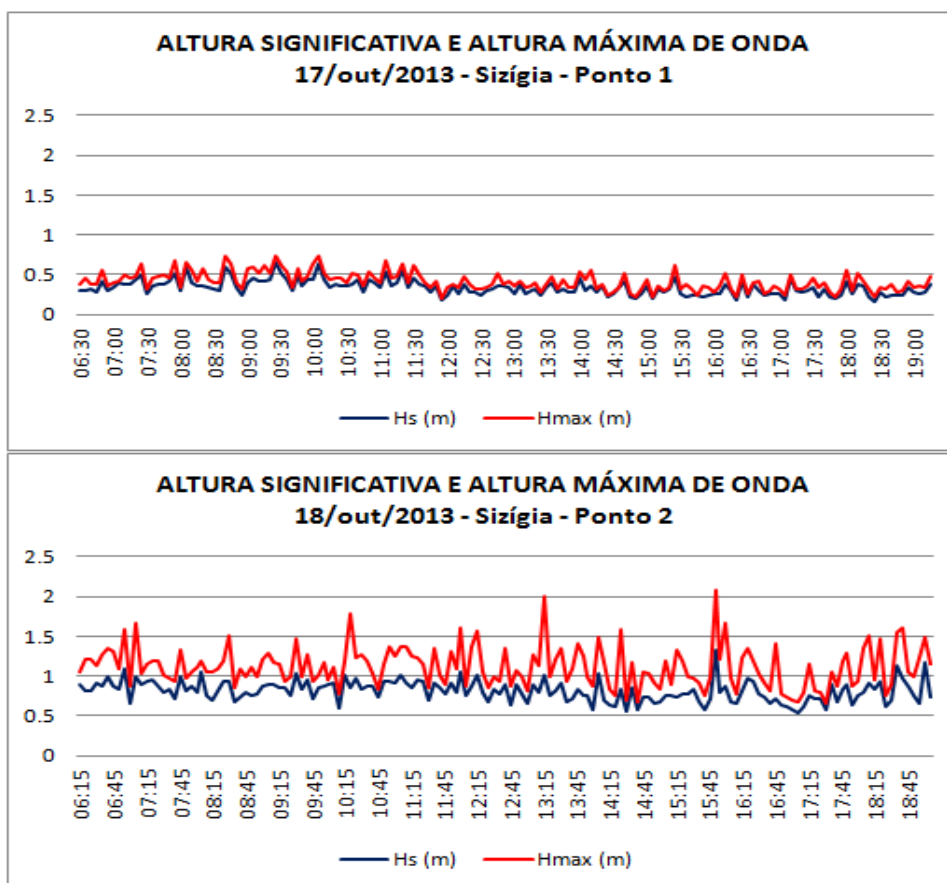
##### 4.2.2.1 Campanhas de Outubro de 2013

O litoral do nordeste brasileiro localiza-se em latitudes expostas a um regime de ondas de superfície do mar constituído por ondas locais, geradas pelos ventos alísios, e por marulhos, formados por eventos meteorológicos distantes tais como ciclones extratropicais em ambos os hemisférios e ondas atmosféricas africanas de leste (INNOCENTINI et al, 2005).

As campanhas dos dias 17 e 18 de outubro foram realizadas em maré de sizígia nos Pontos 1 e 2 respectivamente. No dia 17, a maior amplitude de onda significativa registrada foi de 0.65m no período da manhã por volta das 09:25 quando foi medida uma altura máxima de onda de 0.73m (Figura 41). O menor registro de altura significativa foi de 0.17m por volta das 18:30 e profundidade de 3.9m. O menor registro de altura máxima foi de 0.19m com período de 8.75s por volta do meio dia. As medições de profundidades variaram de 2.27m (07:45) a 5.13m (13:55). As médias de Hs e Hmax para o dia 17 foram respectivamente 0.35m e 0.45m segundo as estatísticas apresentadas pelo *software*.

A maior amplitude de Hs verificada nos registros do dia 18 foi de 1.33m no período da tarde às 15:50 e a menor na ordem de 0.53m por volta das 17:00 e profundidade 10.85m (Figura 41). Os picos verificados por volta das 15:50 e 18:40 atribuídos a erros de transmissão do aparelho foram desconsiderados. No período compreendido entre 06:15 da manhã e 19:15 da tarde, a maior Hmax medida foi verificada à 15:50, com 2.07m com período de 3.75s e a menor de 0.66m com período 5.75m por volta das 17:30. Nos registros deste dia as profundidades

variaram de 8.24m (10:05) a 11.04m (16:10). As médias de Hs e Hmax para o dia 18 foram respectivamente 0.77m e 1.05m segundo as estatísticas apresentadas pelo *software*.



**Figura 38** Registos de altura significativa e altura máxima de ondas dos dias 17 e 18 de outubro de 2013 na área abrigada (Ponto 1) e na área exposta (Ponto 2) respectivamente. Fonte: autor.

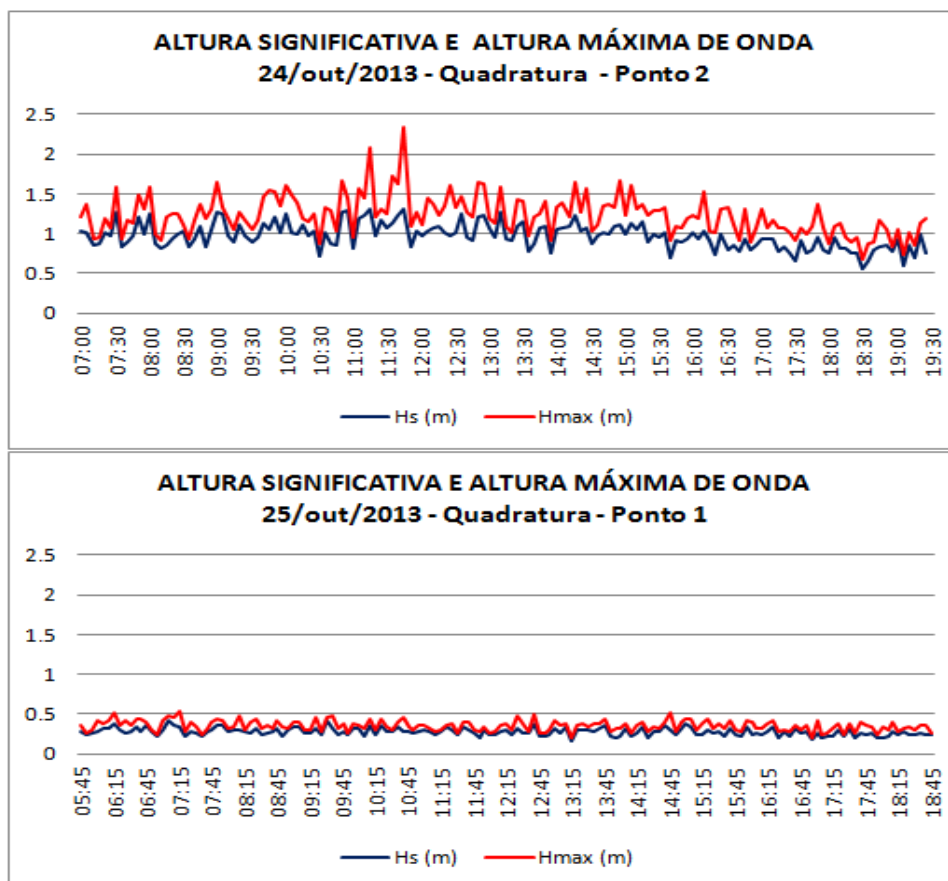
Os dias 24 e 25 compreendem o período de quadratura nos pontos 2 e 1, respectivamente. No dia 24, a maior amplitude de Hs foi de 1.31m em torno das 11:15 da manhã, com Hmax de 2.07m (Figura 42) e período de 6.75s. No período de 07:00 às 19:30 a profundidade variou de 8.37m (13:30) a 9.88m (19:25). O maior valor Hmax foi verificado às 11:40 da manhã com 2.34m e o menor valor foi registrado às 18:30 com 0.67m sendo este também o horário no qual foi registrado o valor mínimo de Hs registrado para o dia, de 0.56m. As médias de Hs e Hmax para o dia 24 foram respectivamente 0.98m e 1.1m segundo as estatísticas apresentadas pelo *software*.

Observou-se ainda que na primeira metade do período de registro do dia 24, as alturas das ondas foram superiores às registradas na segunda metade, com

Hs média de 1.08m na primeira metade e 0.8m na segunda metade. Esta diferença pode estar relacionada à maior intensidade dos ventos na parte da manhã como pôde ser observado no gráfico da média diária das velocidades de vento apresentada na Figura 37.

No dia 25, a maior Hs foi de 0.41m por volta das 07:05 quando foi medida a profundidade de 3.74m (Figura 42), com Hmax de 0.47m e período de 11.25s. Os picos de altura observados por volta das 09:05 e 17:10 foram considerados erros de transmissão do aparelho e foram desconsiderados na média. A menor Hs foi de 0.2m por volta das 14:20 enquanto Hmax foi de 0.28m com período 7.25s. No período de 05:50 às 18:50 a profundidade variou de 3.11m (14:05) a 4.04m (18:45). O maior valor Hmax foi verificado às 07:20 da manhã com 0.54m e o menor valor foi registrado às 13:15 com 0.19m. As médias de Hs e Hmax para o dia 25 foram respectivamente 0.31m e 0.36m segundo as estatísticas apresentadas pelo *software*.



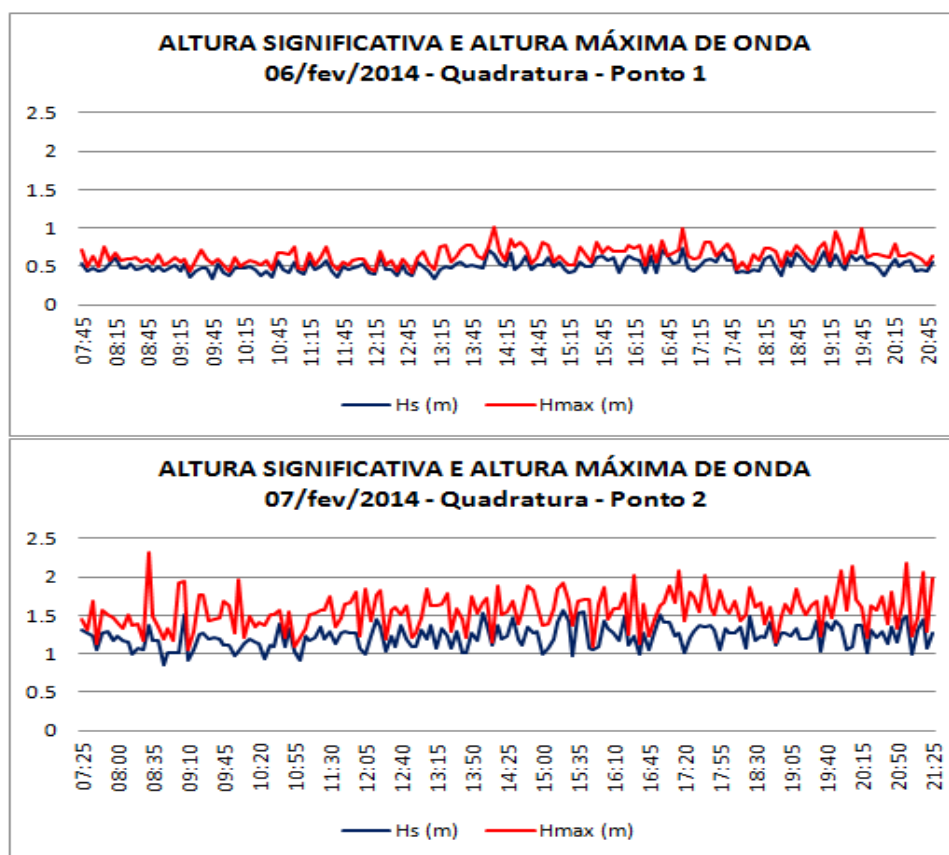


**Figura 39** Registros de altura significativa e altura máxima de ondas dos dias 24 e 25 de outubro de 2013 na área exposta (Ponto 2) e na área abrigada (Ponto 1) respectivamente.

#### 4.2.2.2 Campanhas de Fevereiro de 2014

No dia 06, a maior amplitude de Hs foi de 0.72m às 14:00 da tarde e Hmax de 0.76m (Figura 43) e período de 10.25s. A menor Hs foi de 0.33m verificada às 13:10. No período de 07:50 às 20:50 a profundidade variou de 4.34m (10:40) a 2.81m (16:15). O maior valor Hmax foi verificado às 14:05 da manhã com 1.01m e o menor valor foi registrado às 12:50 com 0.42m. As médias de Hs e Hmax para todo o registro foram respectivamente 0.53m e 0.65m conforme as estatísticas apresentadas pelo *software*.

No dia 07, a maior amplitude de Hs foi de 1.56m às 15:20 quando foi registrada Hmax de 1.92m (Figura 43) e período de 8.25s. A menor Hs foi de 0.85m verificada às 08:40. No período de 07:30 às 21:30 a profundidade variou de 10.64m (12:00) a 8.43m (19:10). O maior valor de Hmax foi verificado às 08:35 com 2.31m e o menor valor foi registrado às 15:50 com 1.08m. As médias de Hs e Hmax para todo o registro foram respectivamente 1.18m e 1.51m conforme as estatísticas apresentadas pelo *software*.



**Figura 40 Registros de altura significativa e altura máxima de ondas dos dias 06 e 07 de fevereiro de 2014.**

Considerando que os dias 06 e 07 compreendem o período de quadratura nos Pontos 1 e 2, respectivamente, num período caracterizado por ventos menos intensos, a diferença entre os registros de onda dos Pontos 1 e 2 se mostrou menos evidente do que aquela verificada nos resultados do mês de outubro. A transferência de energia por cisalhamento na interface oceano-atmosfera pode ter sido mais constante e menos intensa e por isso a resposta da superfície do mar se dá na forma de ondas vagas menos pronunciadas.

### 4.2.3 Nível

O papel das marés como forçante hidrodinâmica é ampliar a área de ataque das ondas e transportar sedimentos por correntes induzidas. A amplitude máxima em sizígia verificada na costa cearense é de 3.3m (MUEHE, D.(org), 2006). Apesar das previsões realizadas pelo CHM (Marinha do Brasil) serem muito próximas da realidade, se fez neste trabalho uma comparação da oscilação de longo período registrada pelo ondógrafo nas campanhas oceanográficas com a curva de elevação verificada na previsão.

#### 4.2.3.1 Campanhas de Outubro de 2013

O nível registrado na campanha do dia 17 de outubro, no Ponto 1, apresentou uma amplitude máxima de 2.83m que excede o máximo previsto de 2.6m entre as 9:30 da manhã e 15:39 da tarde. Sendo a média da altura significativa para os registros deste dia de 0.35m, temos que a diferença entre o previsto e o registrado pode ser um efeito das ondas (Figura 44).

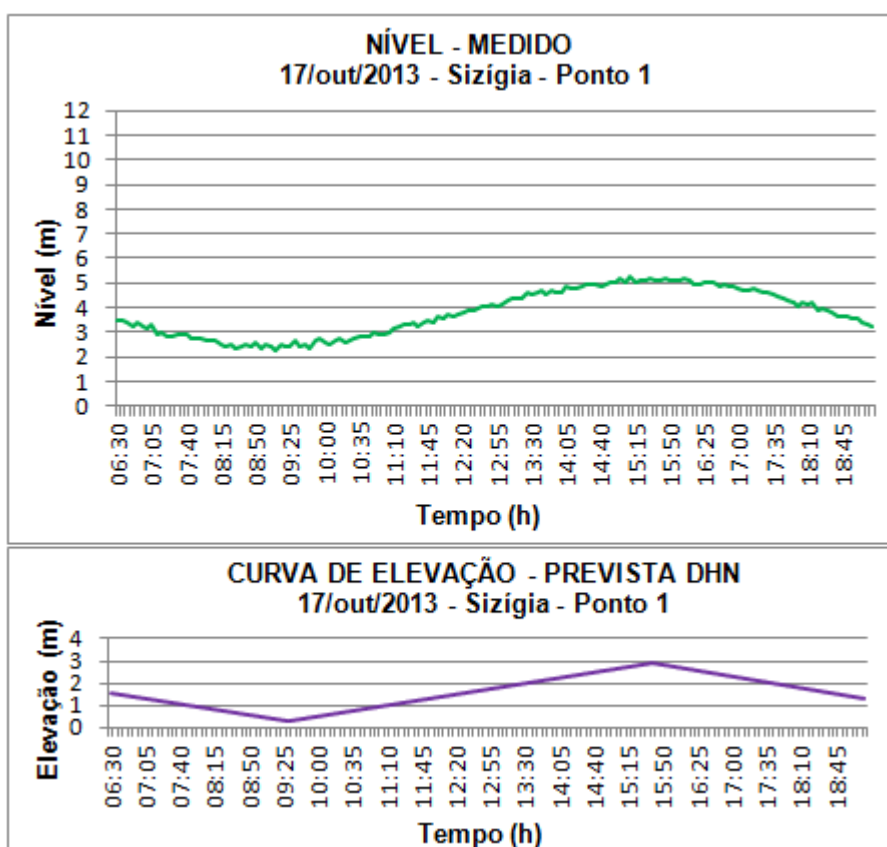
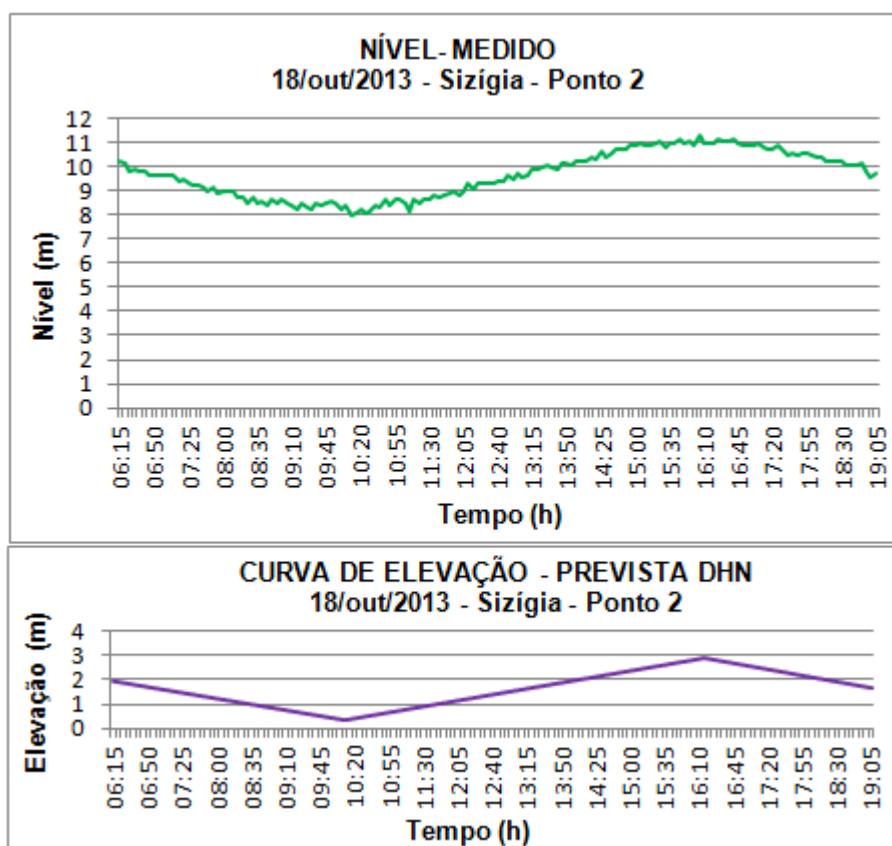


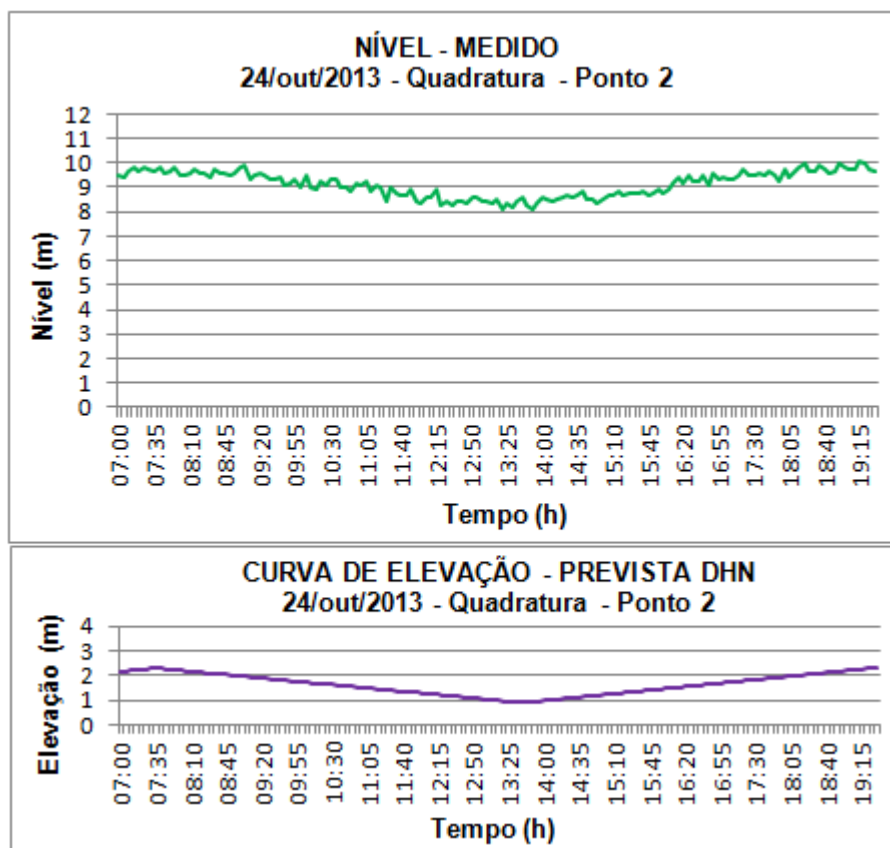
Figura 41 Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 17 de outubro de 2013. Fonte: autor e DHN.

A variação do nível da água registrada para o dia 18 de outubro, no Ponto 2, apresentou uma altura máxima de 3.18m que excede o máximo previsto de 2.7m entre 10:08 da manhã e 16:13 da tarde (Figura 45). Neste período a altura significativa de onda ficou em 0.58m, novamente explicando a variação em torno do previsto.



**Figura 42** Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 18 de outubro de 2013. Fonte: autor e DHN.

Na Campanha de 24 de outubro, realizada no Ponto 2, não foi possível registrar um semiciclo completo de maré. O semiciclo seria coberto de 07:36 da manhã às 13:39 da tarde, logo, para se obter uma senóide típica, seria necessário iniciar os registros mais cedo. A diferença que se obtém pelos horários previstos da PM e BM na curva medida nos dá uma amplitude de 1.77m (Figura 46), período no qual a média da altura significativa foi de 0.69m. A previsão apresentou amplitude de 1.4m.



**Figura 43** Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 24 de outubro de 2013. Fonte: autor e DHN.

No dia 25 de outubro, no Ponto 1 (Figura 47), a amplitude medida de 08:24 da manhã até 14:28 da tarde foi de aproximadamente 1.06m sendo a média de alturas significativas de onda de 0.31m. A previsão apresentou amplitude de 0.9m. Neste dia houve um pico registrado por volta das 9 horas da manhã que foi atribuído a um ruído referente a um erro de transmissão de energia do equipamento.

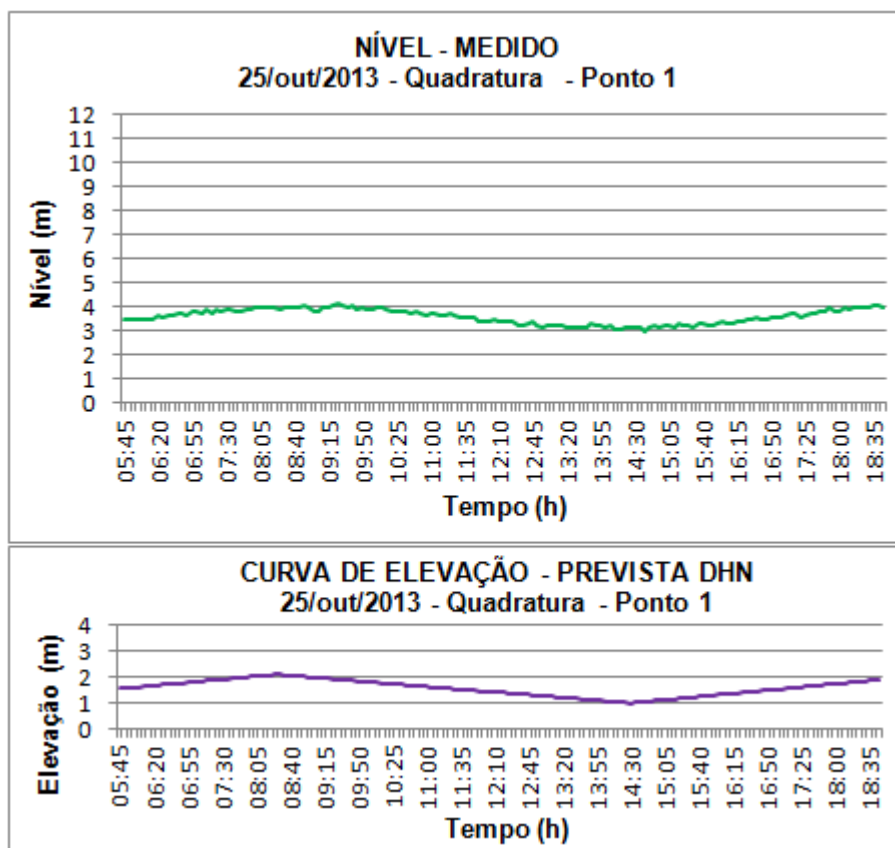


Figura 44 Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 25 de outubro de 2013. Fonte: autor e DHN.

#### 4.2.3.2 Campanhas de Fevereiro de 2014

As campanhas de 06 e 07 de fevereiro foram realizadas nos Pontos 1 e 2, respectivamente em maré de quadratura. No dia 06 a amplitude máxima de maré registrada pelo ondógrafo foi de 1.84m. A amplitude prevista entre 09:46 da manhã e 15:55 da tarde foi de 1.5m (Figura 48). A altura significativa de onda apresentou média de 0.53 para o período do ciclo registrado.

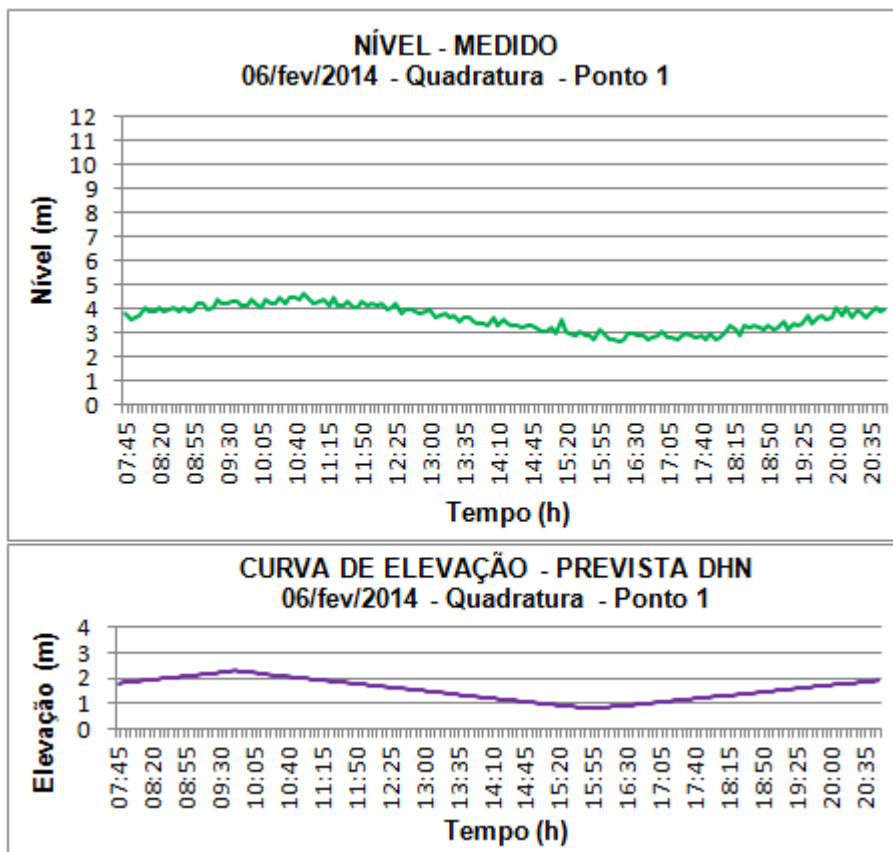


Figura 45 Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 06 de fevereiro de 2014. (Fonte: autor e DHN).

Na segunda campanha do mês de fevereiro, realizada no dia 07 no Ponto 2, a amplitude máxima medida foi de 1.66m (Figura 49) com alturas de onda significativa com média de 1m. A amplitude da maré prevista para o ciclo registrado entre 10:53 da manhã e 17:08 da tarde foi de 1.3m.

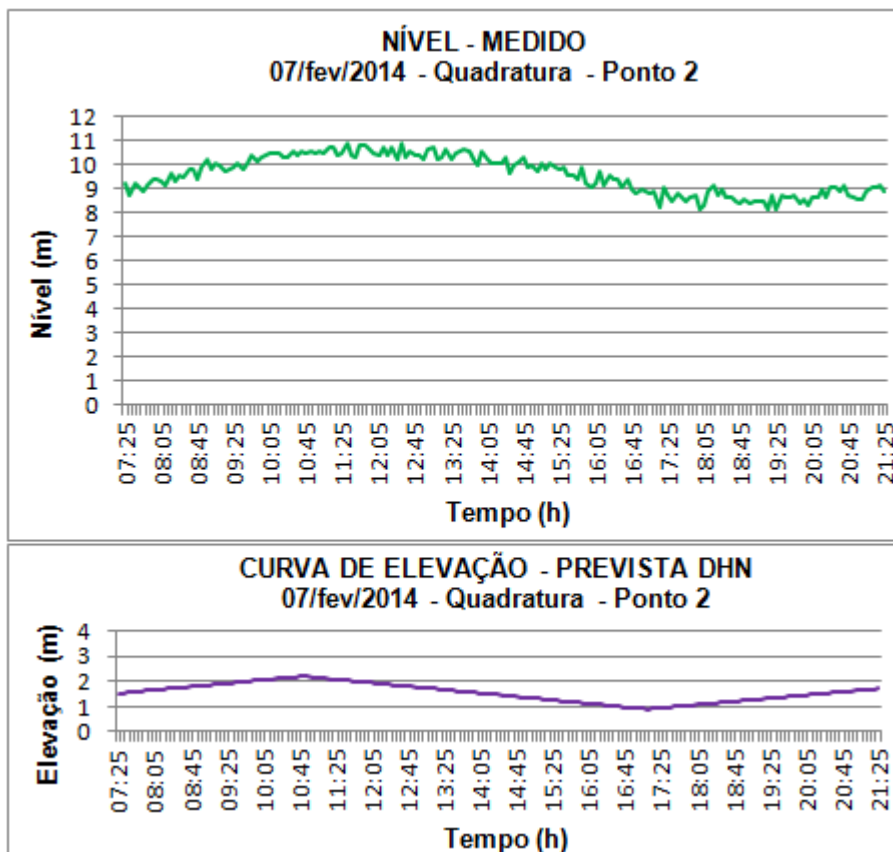


Figura 46 Nível registrado pelo ondógrafo e curva de elevação prevista pela DHN para o dia 07 de fevereiro de 2014. (Fonte: autor e DHN).

A análise preliminar dos dados de variação de nível da água permitiu comparar as alturas previstas no sistema com as medidas para os períodos em que se obtiveram registros. De uma maneira geral os registros foram fiéis às previsões da DHN.

#### 4.2.4 Correntes

Parte da energia dissipada pelas ondas incidentes na zona de surfe é transferida para a geração de correntes costeiras tanto longitudinais como transversais à costa, as quais, necessariamente têm sua ocorrência limitada à zona de surfe. Nesta seção serão apresentadas em perfil bidimensional as componentes Leste-Oeste (E-W) e Norte-Sul (N-S) da velocidade das correntes e as rosas com direção e intensidade das correntes com frequência em percentual.



#### 4.2.4.1 Campanhas de Dezembro de 2012

A campanhas do dia 14 e 20 de dezembro foram realizadas no Ponto 1 (área abrigada) em marés de sizígia e quadratura respectivamente. Nas Figuras 50 e 51, observa-se que no dia 14, no período compreendido entre 09:00 e 11:30 (maré vazante), não houveram dados devido ao tamanho das células verticais utilizada na aquisição dos dados pelo ADCP.

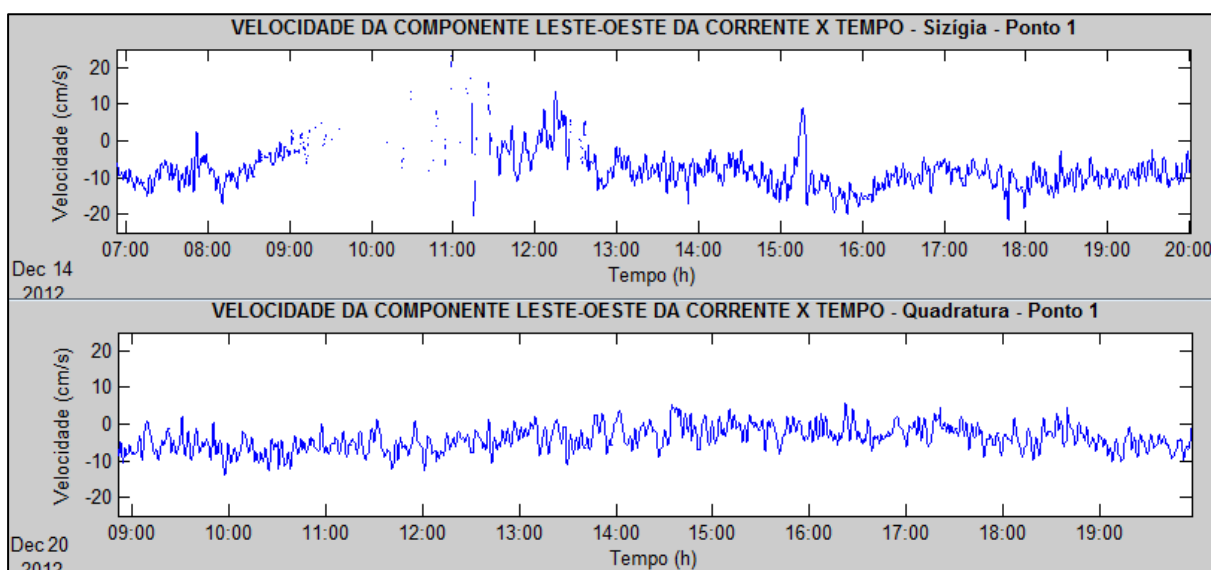


Figura 47 Registro da componente Leste-Oeste da velocidade ao longo do tempo em 14 e 20 de dezembro de 2012. (Fonte: autor).

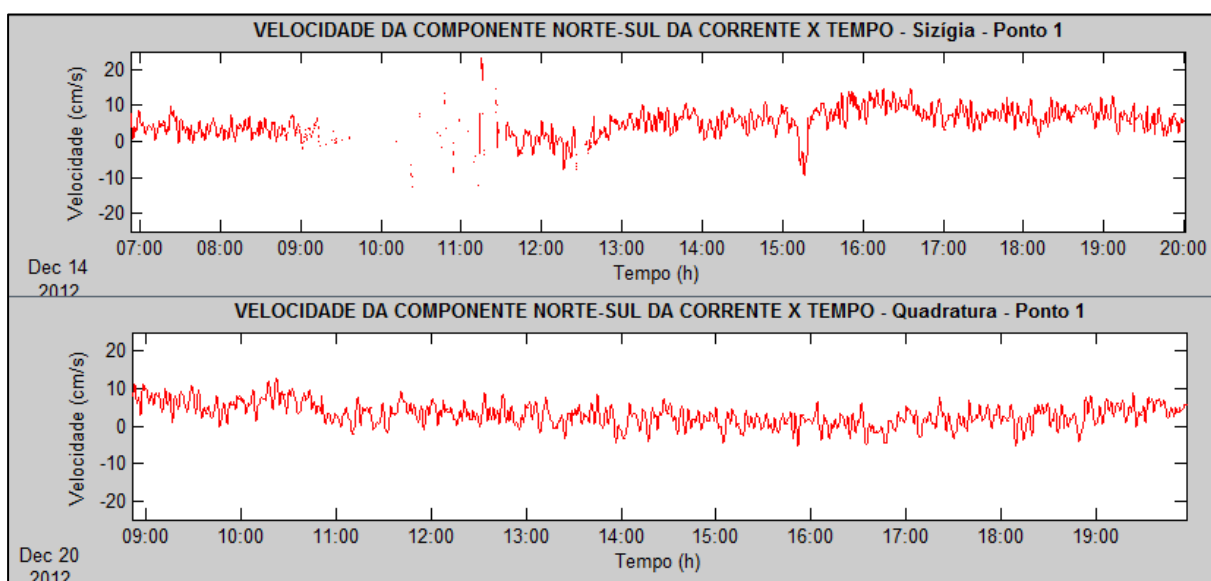


Figura 48 Registros da componente Norte-Sul da velocidade ao longo do tempo em 14 e 20 de dezembro de 2012. Fonte: autor.

O Ponto 1 é uma área rasa, com até 6 metros de profundidade em preamar de sizígia. Para que os dados sejam obtidos a célula precisa ter uma dimensão inferior à menor profundidade esperada no dia. Considerando que a distância em que não se obtém registros (*Blanking Distance*) do equipamento utilizado é de 0.4m e que o equipamento é instalado 1m abaixo da superfície da água, tem-se 1.4m de coluna d'água negligenciados no registro. Constatou-se que, sendo 0.7m o tamanho da célula automaticamente selecionada pelo equipamento, a profundidade no período em que não houve dados era inferior a 2.1m. Vale ressaltar ainda que as oscilações de nível do mar em função das ondas também influenciam na aquisição dos dados em sequência.

No dia 14, a BM estava prevista para as 11:13 com 0.2 m. As maiores intensidades de corrente foram verificadas entre 11:00 e 17:00 (tempo 6 e tempo 12 na Figura 52) para as duas componentes, que equivale ao período de enchente. O pico da componente E-W foi de 15 cm/s por volta das 15:00 e da componente N-S foi que equivale a uma média de 10.9cm/s no gráfico da Figura 52.

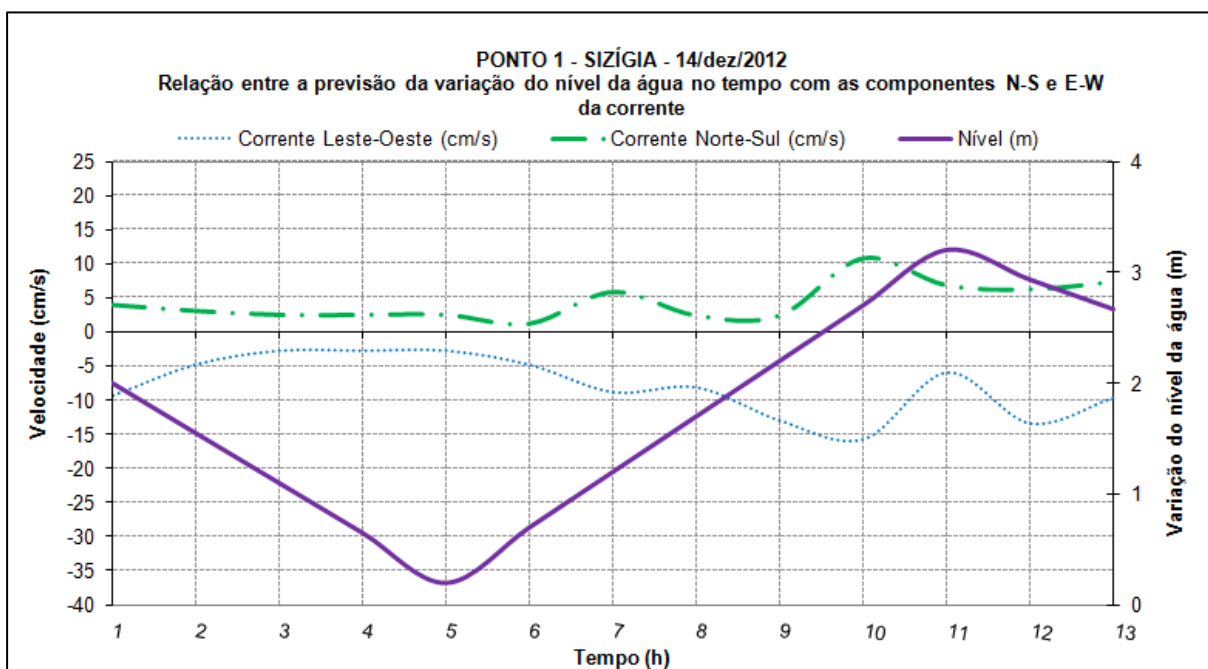
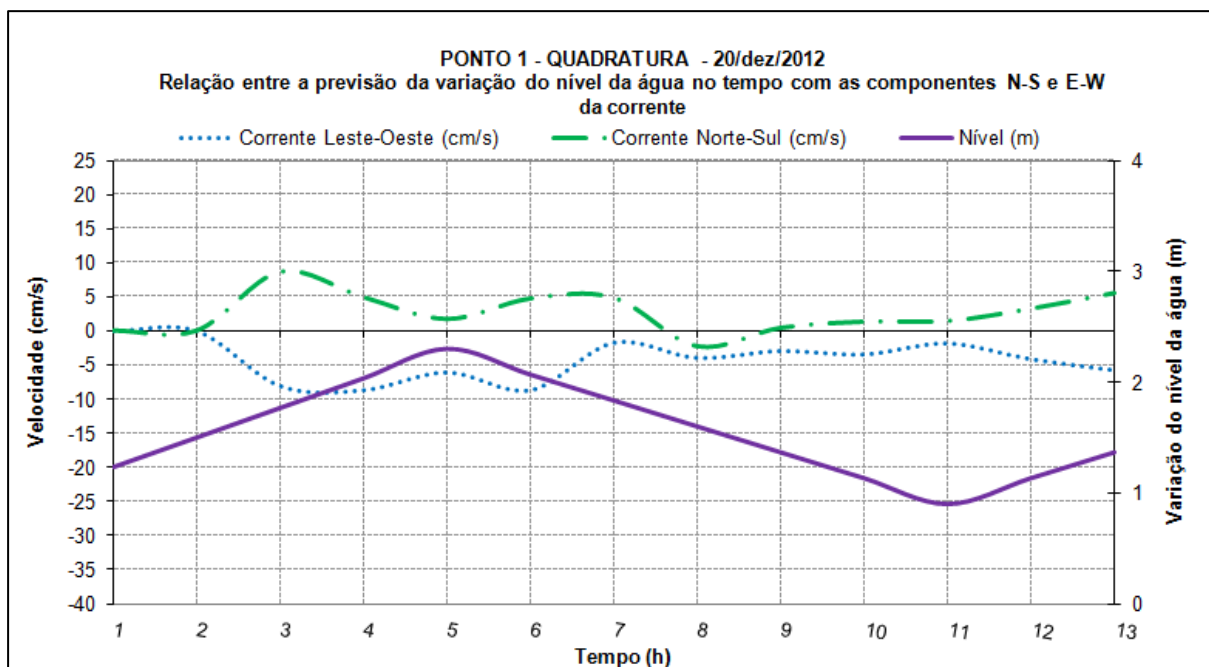


Figura 49 Relação entre a variação do nível da água no tempo conforme previsão da DHN com as componentes Norte-Sul e Leste-Oeste da corrente para o dia 14 de dezembro de 2012. Fonte: autor.

No dia 20 não houve registros de corrente de fundo (Figura 54) devido à pouca profundidade (maré de quadratura). A intensidade de ambas as componentes foi inferior a 10cm/s para W no sentido E-W e para norte em N-S (Figura 53).



**Figura 50** Relação entre a variação do nível da água no tempo conforme previsão da DHN com as médias das componentes Norte-Sul e Leste-Oeste da corrente para o dia 20 de dezembro de 2012. Fonte: autor.

Quanto às direções e intensidades das correntes, verificou-se em 14 de dezembro de 2012 referente ao período de sizígia no Ponto 1 (Figura 54), registros entre 110° e 130° NM, sendo predominante ESE na superfície e SSE (entre 140° e 160° NM) no fundo com maior intensidade na superfície (23% entre 15 e 20cm/s). No dia 20 de dezembro do mesmo mês, referente à quadratura no mesmo ponto, a direção da corrente de superfície foi essencialmente ESE (entre 110° e 140°) com intensidade alcançando até 25cm/s com frequência até 15%. O padrão encontrado, segundo DNH (1993), é o padrão verificado na maré enchente do local.

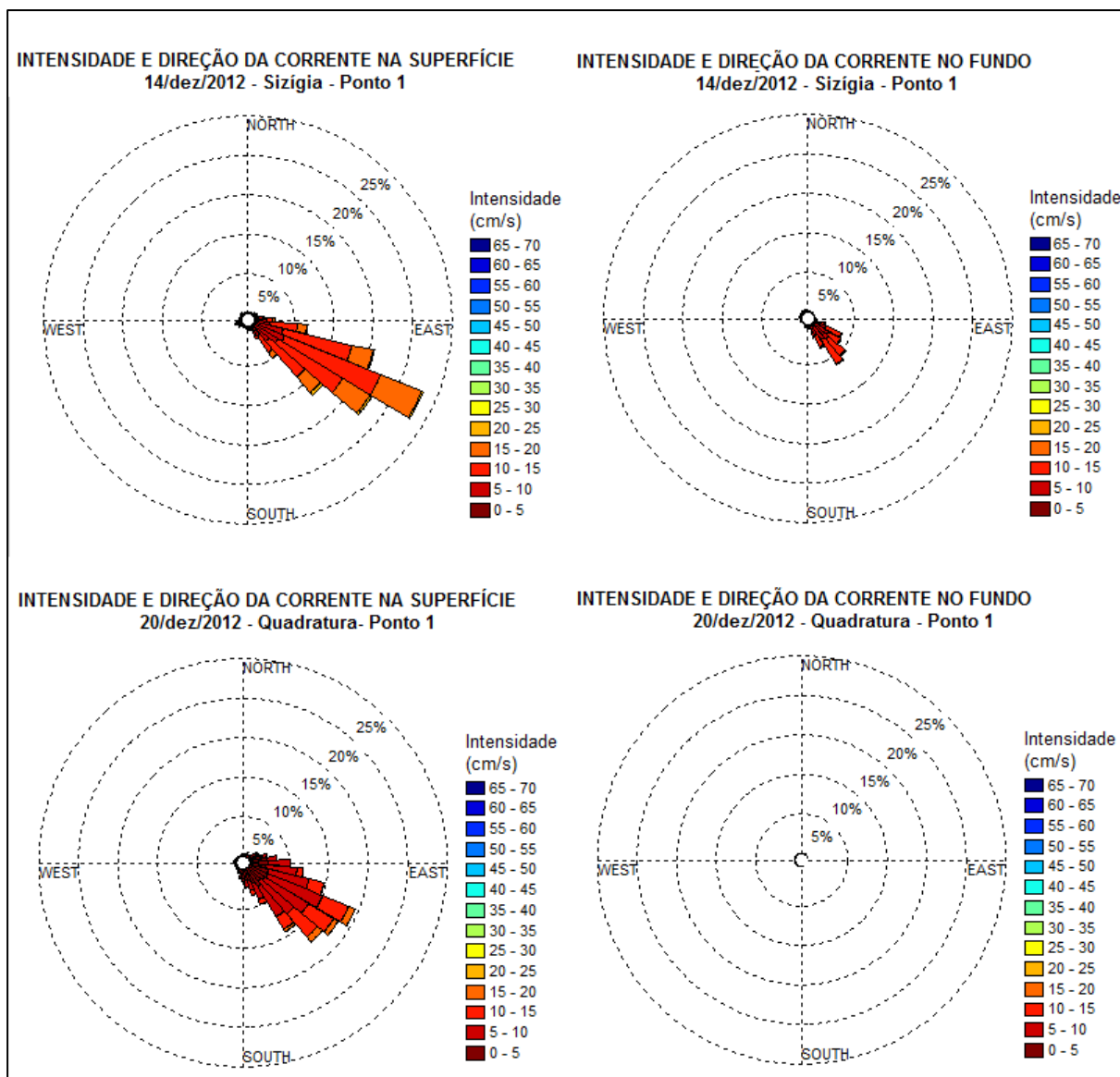


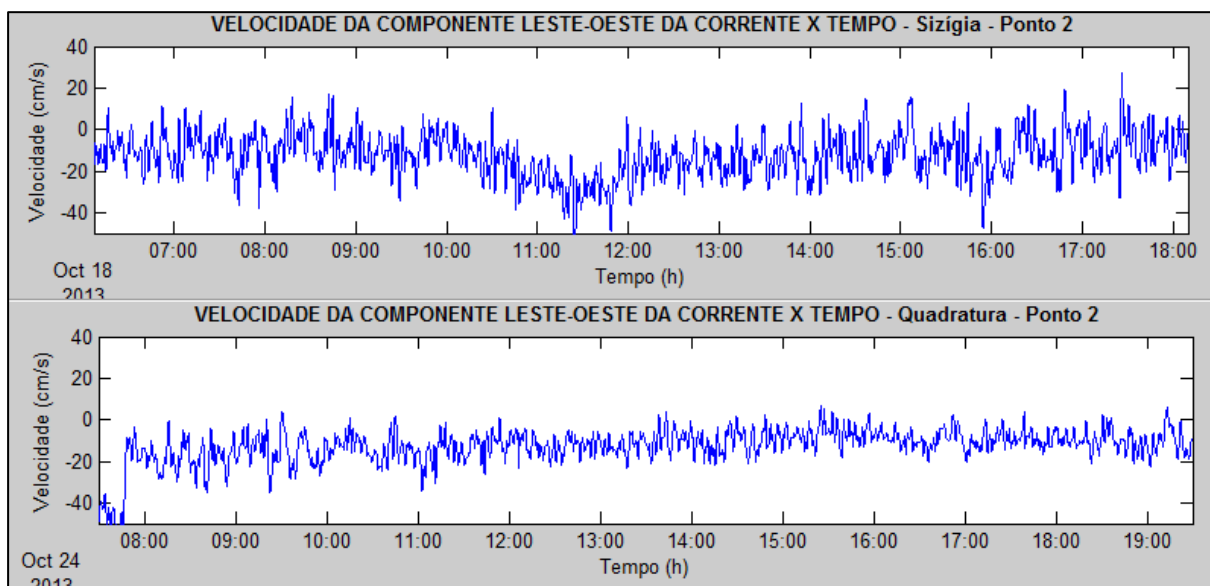
Figura 51 Rosas de intensidade e direção das correntes com velocidades em cm/s para as medições de superfície e fundo dos dias 14 e 20 de dezembro de 2012. Fonte: autor.

Os valores referentes à intensidade das correntes para as campanhas dezembro foram condizentes com a média típica de 15cm/s encontrada dentro do porto (CDC, 2010), o que deve ser atribuído à localização do ponto analisado (Ponto 1), sendo a área rasa e abrigada; fatores que explicam o fato das correntes não apresentarem-se amplamente desenvolvidas e mais intensas.

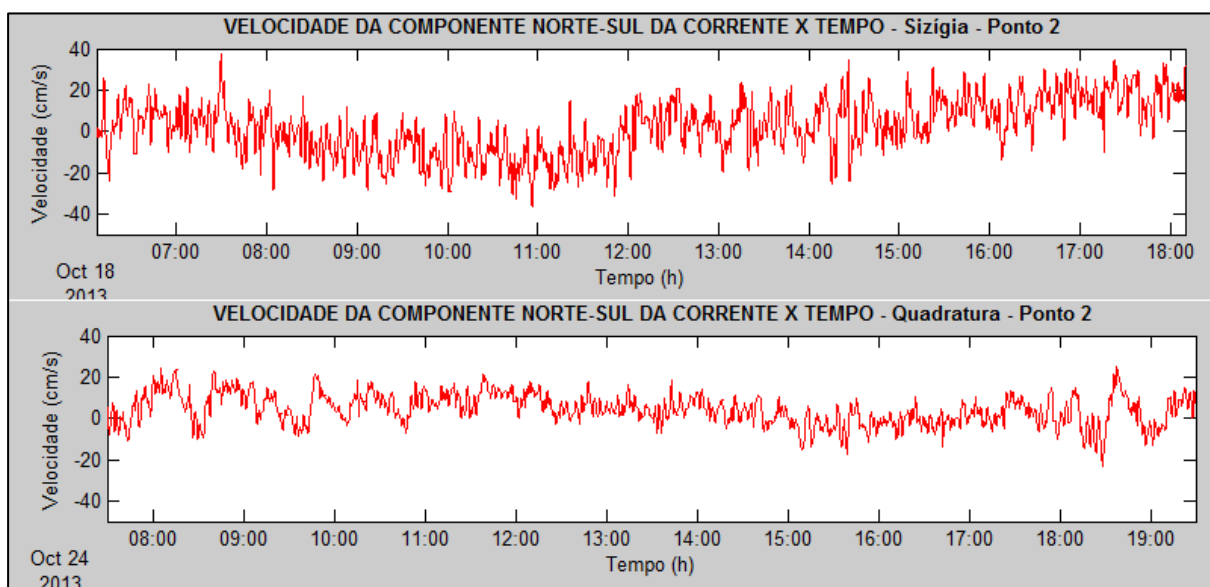
#### 4.2.4.2 Campanhas de Outubro de 2013

Das campanhas realizadas em outubro no Ponto 2, somente foi possível processar os dados coletados nos dias 18 e 24, em maré de sizígia e quadratura respectivamente. O problema na aquisição dos dados das campanhas dos dias 17 e

25 do mesmo mês estão relacionados ao tamanho das células dimensionadas pelo equipamento em relação à profundidade local. Em contatos feitos com o fabricante (SonTek) descobriu-se que o problema pode estar relacionado às configurações automáticas feitas pelo próprio equipamento em campo.



**Figura 52** Registros da componente Leste-Oeste da velocidade ao longo do tempo em 18 e 24 de outubro de 2013. Fonte: autor.



**Figura 53** Registros da componente Norte-Sul da velocidade ao longo do tempo em 18 e 24 de outubro de 2013. Fonte: autor.

No dia 18, às 11:00 horas, a componente E-W da corrente (Figura 55) atingiu sua máxima intensidade para W (25cm/s). Este período, segundo a Tábua de Maré do dia, coincide com o início da maré enchente após a BM das 10:08 (Figura 57). Dado que a corrente de maré de enchente no porto costuma a apresentar o

dobro da intensidade da maré vazante o comportamento da maré foi condizente com o esperado, chegando a atingir velocidades na superfície próximas ao máximo descrito pela DHN (1993) de 51.44cm/s conforme observado na Figura 58.

A componente N-S das correntes apresentou máxima intensidade média de 18.6cm/s por volta das 11:00 para S e por volta das 18:00 para N, após a BM (10:08) e a PM (16:13) respectivamente (Figura 56). Neste dia, a média da componente Leste das correntes foi mais intensa atingindo pico de 24.4cm/s logo após a BM (Figura 57). Em geral, as menores velocidades são encontradas próximo à virada de fase.

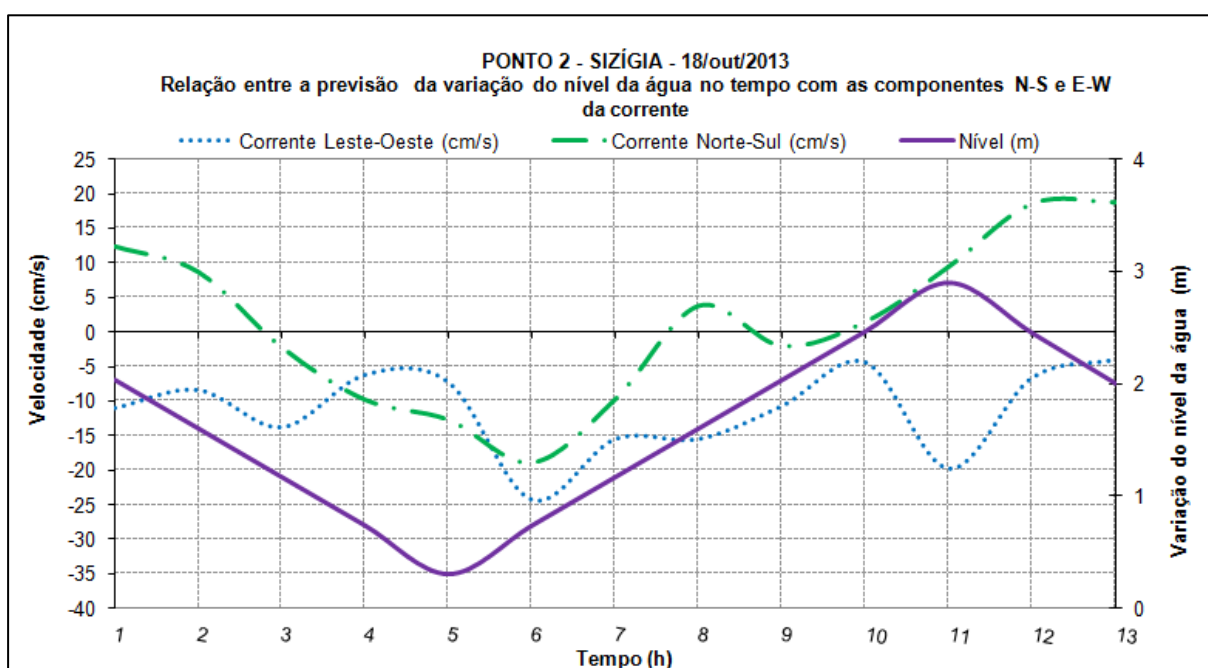
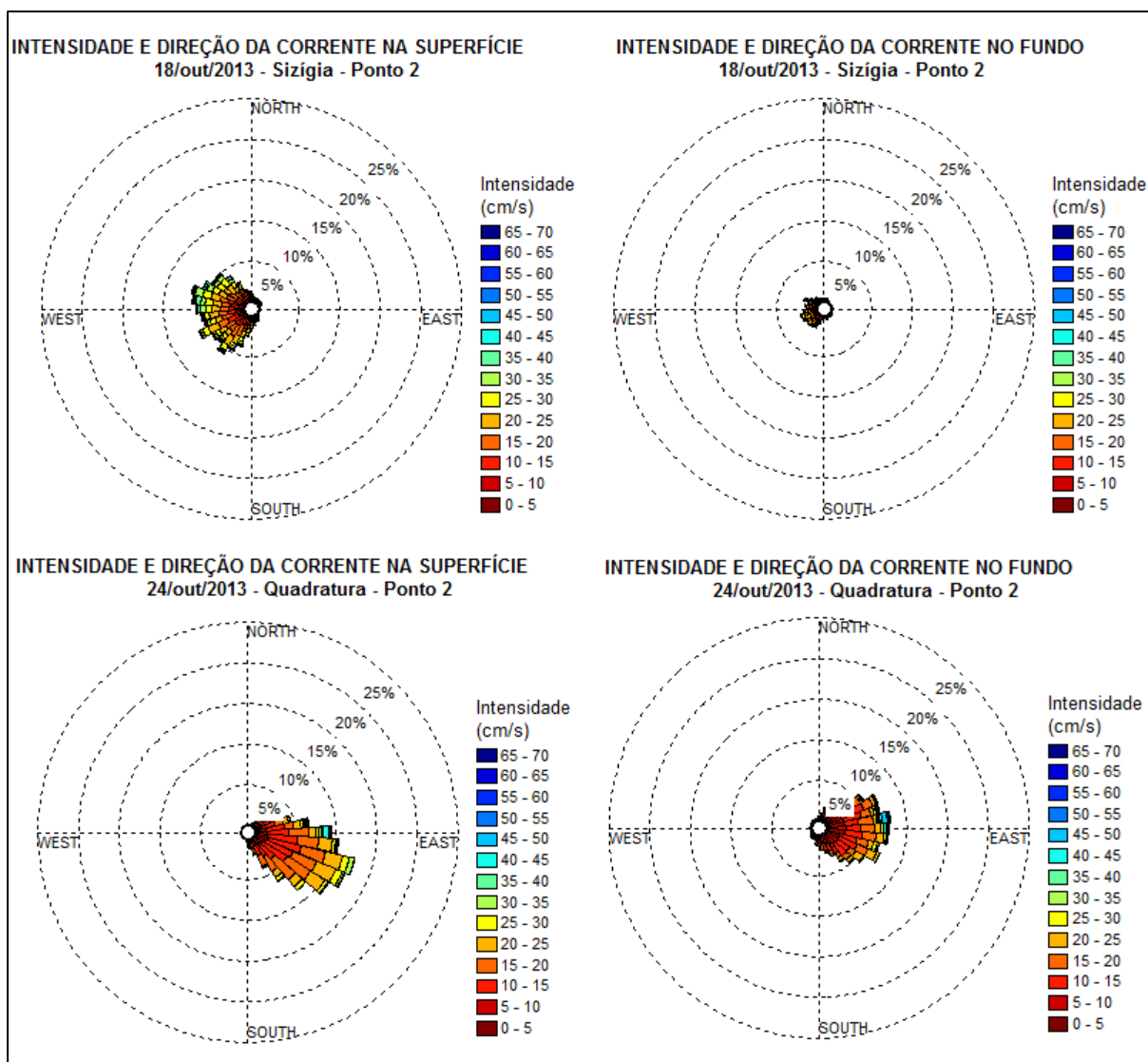


Figura 54 Relação entre as médias das componentes Leste-Oeste e Norte-Sul das correntes com a variação do nível da água ao longo do tempo para a campanha do dia 18 de outubro de 2013. Fonte: autor.



**Figura 55** Rosas de intensidade e direção das correntes com velocidades em cm/s para as medições de 18 e 24 de outubro de 2013. Fonte: autor.

No dia 18 observam-se velocidades máximas atingindo entre 40 e 60cm/s (8%) na superfície. A direção na superfície é WSW-WNW (entre 250° e 310°) e WSW (entre 250° e 270°) no fundo com grande oscilação das velocidades (0 a 45cm/s) em frequências de até 3% (Figura 58). Uma vez que as intensidades das correntes na maré de enchente foram superiores às de vazante, as direções registradas se referem ao padrão de enchente, que conforme descrito pela DHN (1993) é essencialmente SE.

Nos dados do registro do dia 24 de outubro a direção da corrente de superfície foi essencialmente SSE (entre 80° e 120°) com grande oscilação das velocidades com maior frequência (até 13%) de 10 a 25 cm/s. Observa-se que de

08:00 às 10:00, período da maré vazante, as correntes são mais intensas no sentido N com médias de 9.5cm/s. A componente E-W foi ainda mais intensa atingindo média de 16.6 cm/s para W, também na vazante (Figura 59).

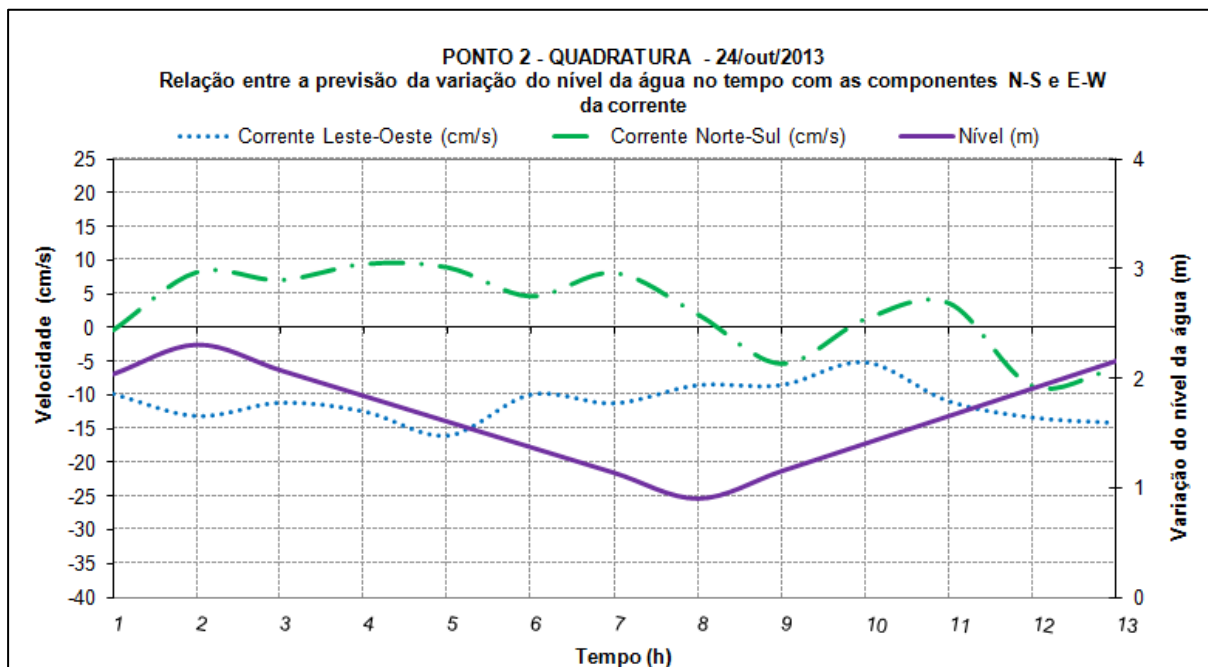


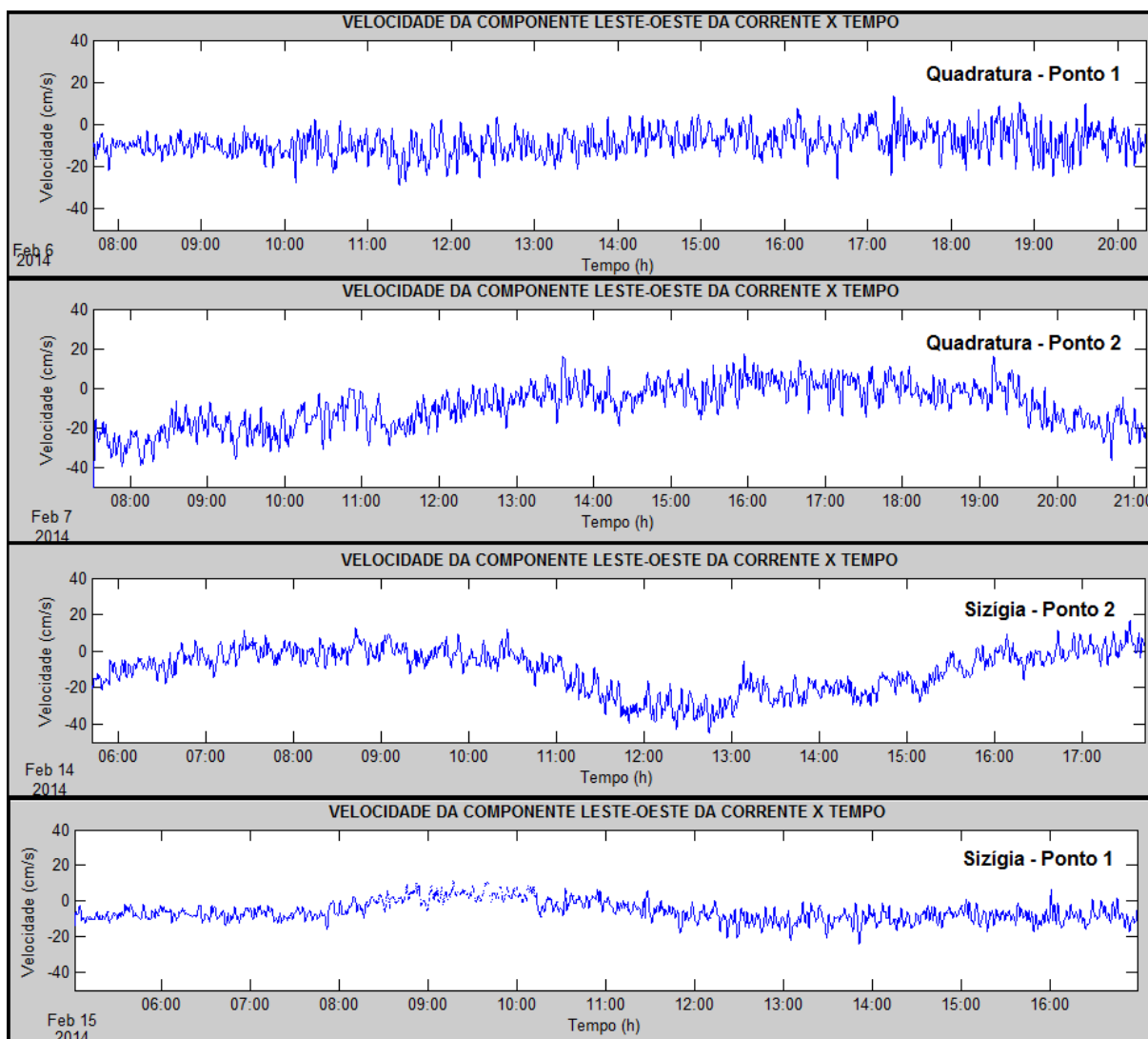
Figura 56 Relação entre as componentes Leste-Oeste e Norte-Sul das correntes com a variação do nível da água ao longo do tempo para a campanha do dia 24 de outubro de 2013. Fonte: autor.

No mês de outubro as duas campanhas realizadas no Ponto 2 evidenciaram que a componente E-W da corrente foi mais intensa que a N-S sendo W o sentido dominante na vazante e E na enchente. Na direção N-S o sentido varia conforme a fase da maré, sendo para norte na vazante e para sul na enchente, o que fica mais evidente na maré de sizígia.

#### 4.2.4.3 Campanhas de Fevereiro de 2014

As Campanhas dos dias 06 e dia 07 de fevereiro foram realizadas em maré de quadratura e nos dias 14 e 15 em maré de sizígia. Nos dias 06 e 15 o monitoramento foi feito no Ponto 1 e, nos dias 07 e 14, no Ponto 2.



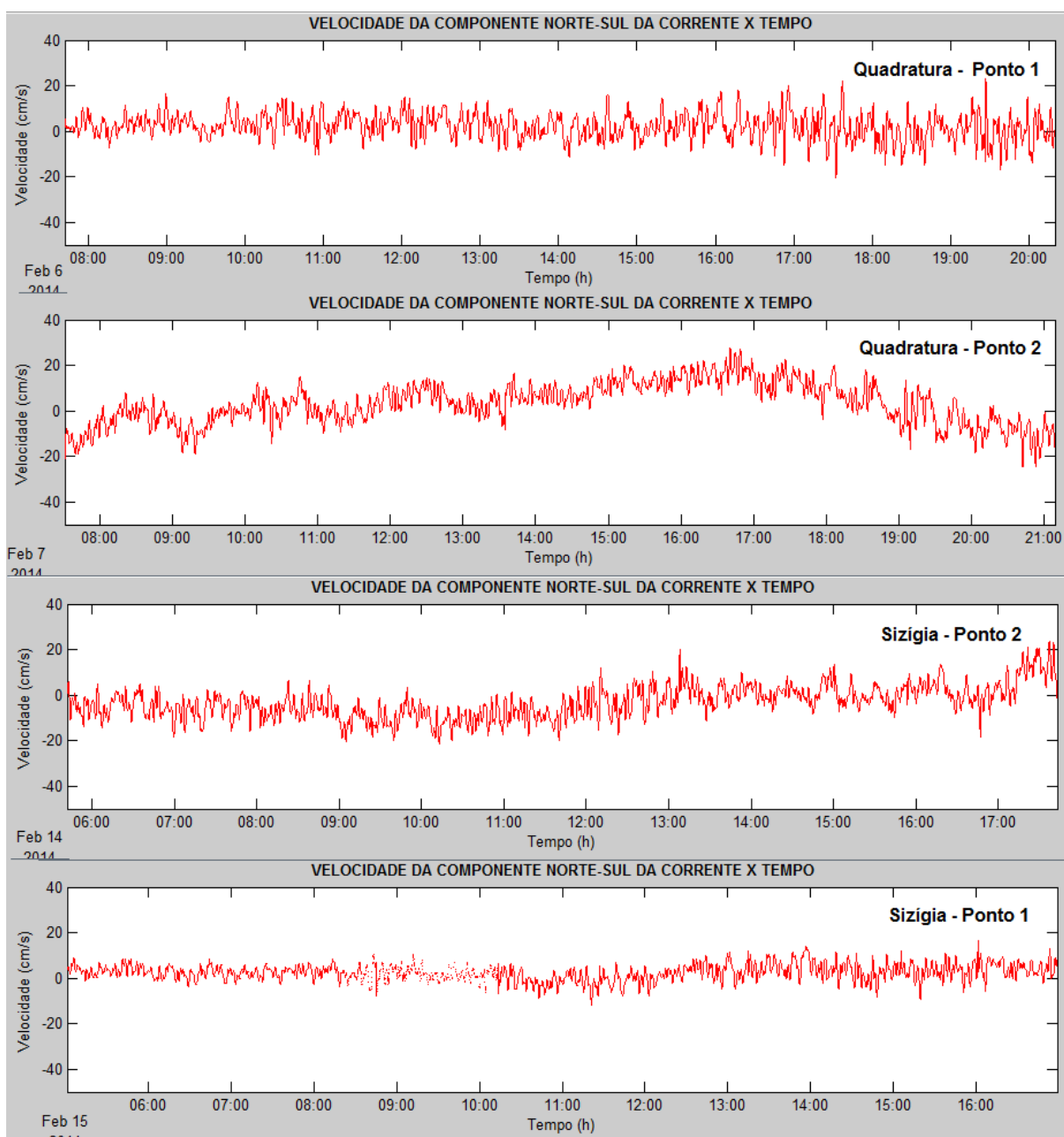


**Figura 57** Registros da componente Leste-Oeste da velocidade ao longo do tempo em 06, 07, 14 e 15 de fevereiro de 2014. Fonte: autor.

No dia 06 (Figura 60), nota-se que a intensidade da corrente E-W apresentou pico de 28.4cm/s mantendo sentido para W com média de 8.5m/s (Figura 63). Na componente N-S verificou-se maiores oscilações em torno da média (2.1m/s para N) com pico de 23.1cm/s para N. No dia 07 (Figura 60), o pico da corrente E-W foi de 38.8cm/s para W e verificou-se uma inversão do sentido, para E, por volta das 15:00 (média de 4,5cm/s) e chegando a atingir 16.9cm/s. A componente N-S apresentou máxima de 27.4cm/s para N (17:00) e 24.4cm/s para S por volta das 21:00.

Na sizígia o padrão de intensidade parece mais bem definido. A profundidade do ponto monitorado também mostra sua influência nos registros, potencializada pela maré de quadratura resultando em correntes que tendem a

apresentar uma curva média tendendo à linearidade e mantendo um mesmo sentido (Figuras 60 e 61).



**Figura 58** Registros da componente Norte-Sul da velocidade ao longo do tempo em 06, 07, 14 e 15 de fevereiro de 2014. Fonte: autor.

No dia 14, o pico da componente E-W (Figura 60) foi de 44.8cm/s entre 12:00 e 13:00 para W. Não houve inversão de sentido e a média de velocidade foi de 10.4cm/s. A componente N-S (Figura 61) apresentou pico de 23.8cm/s para N (18:00) e 21.2cm/s para S (10:15). No dia 15 a máxima intensidade da componente E-W foi 24cm/s para W. Da direção N-S as máximas foram 16.6cm/s para N às

16:15 e 11.8cm/s para S às 11:30. De 08:30 às 10:30 não houve dados devido à baixa profundidade no Ponto 1.

Das análises de direção das correntes do dia 06 de fevereiro, foi obtida das rosas direção E-ESSE (entre 80° e 110°) na superfície com intensidade até 20 cm/s com frequência 12% (Figura 62). No fundo a frequência da intensidade foi menor com 8% das frequências com média de 10 cm/s. No dia 07, a direção predominante foi E (entre 80° e 100°) com cerca de 10% das intensidades na superfície atingindo até 40cm/s. No fundo a direção das maiores frequências foi essencialmente ENE (entre 70° e 90°) com intensidade variando até 50cm/s com frequência de até 12%.

No dia 14, a direção predominante na superfície foi W (entre 260° e 280°) com intensidade variando entre 20 e 45cm/s com frequência até 10%. No fundo a direção se manteve W com velocidades até 30cm/s com frequência até 8%. Em 15 de fevereiro, as direções na superfície foram WSW-W (entre 250° e 270°) com velocidades variando de 0 a 20cm/s e frequência até 15%. No fundo a corrente apresentou-se com as mesmas velocidades numa menor frequência (até 8%).

De uma maneira geral as direções das correntes na superfície no mês de fevereiro oscilaram de acordo com a fase da maré assumindo direção E-SE na enchente e WSW-W na vazante com velocidades de 20cm/s em cerca de 10 e 20% de frequências obtidas. No fundo as direções variam pouco em relação aquelas verificadas na superfície e as intensidades são geralmente inferiores em frequência e velocidade. O vento faz com que a velocidade da corrente nas camadas mais próximas da superfície (e que são influenciadas por este) tenha valores absolutos superiores aos medidos próximo do fundo. Portanto, é interessante verificar outros cenários das condições de vento incidente que existe na região, em conjunção com outros cenários de maré (FCPC, 2011).

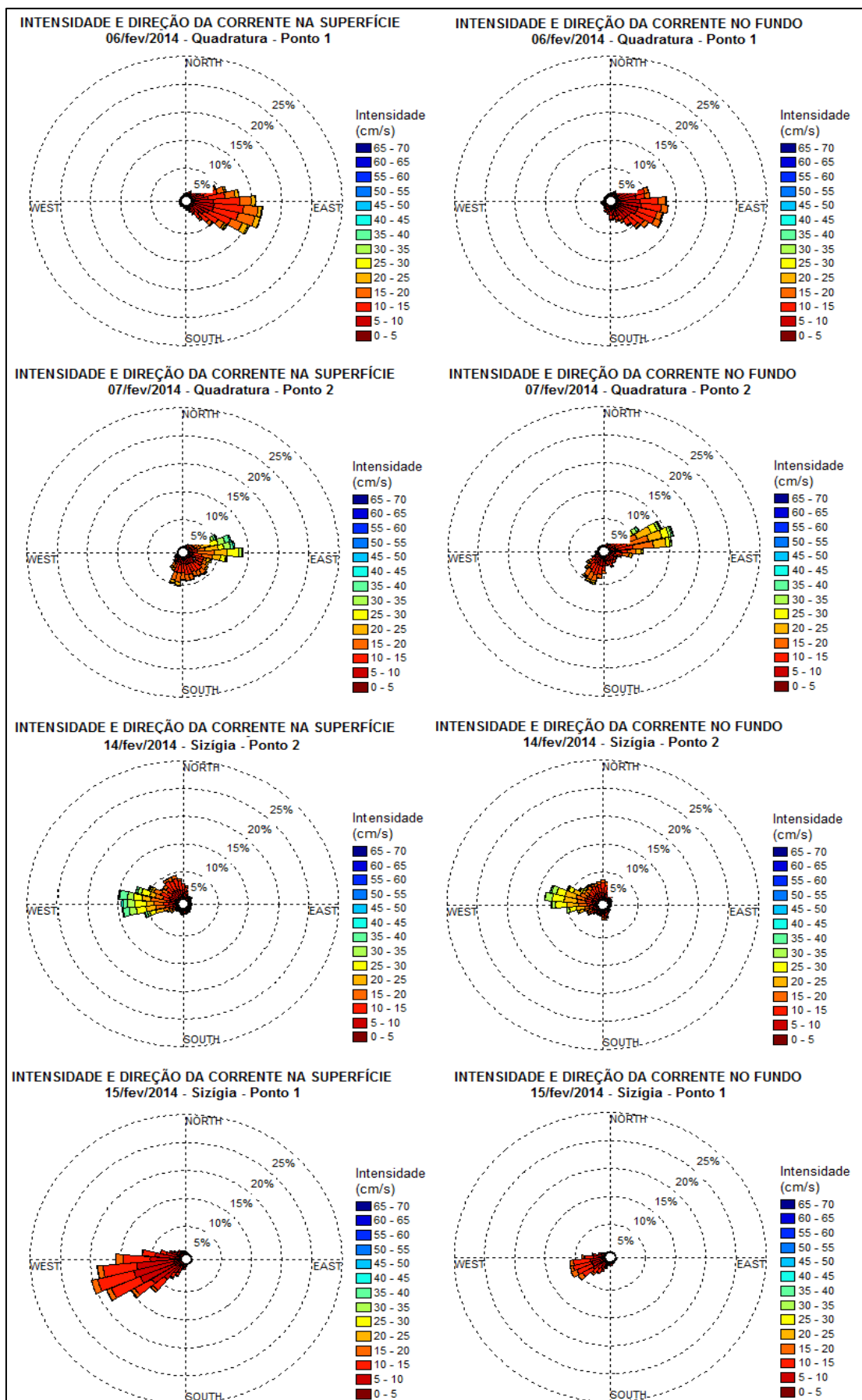


Figura 59 Rosas de direção e intensidade das correntes ao longo do tempo em 06, 07, 14 e 15 de fevereiro de 2014. Fonte: autor.

De acordo com Thornton and Kim (1993) *apud* Short (2000) as correntes longitudinais não dependem apenas das ondas incidentes, mas também dos ventos e correntes de maré. Conforme observado nos registros, a maré de sizígia parece influenciar de maneira significativa o padrão da componente Leste-Oeste da corrente intensificando as correntes em seu sentido de propagação.

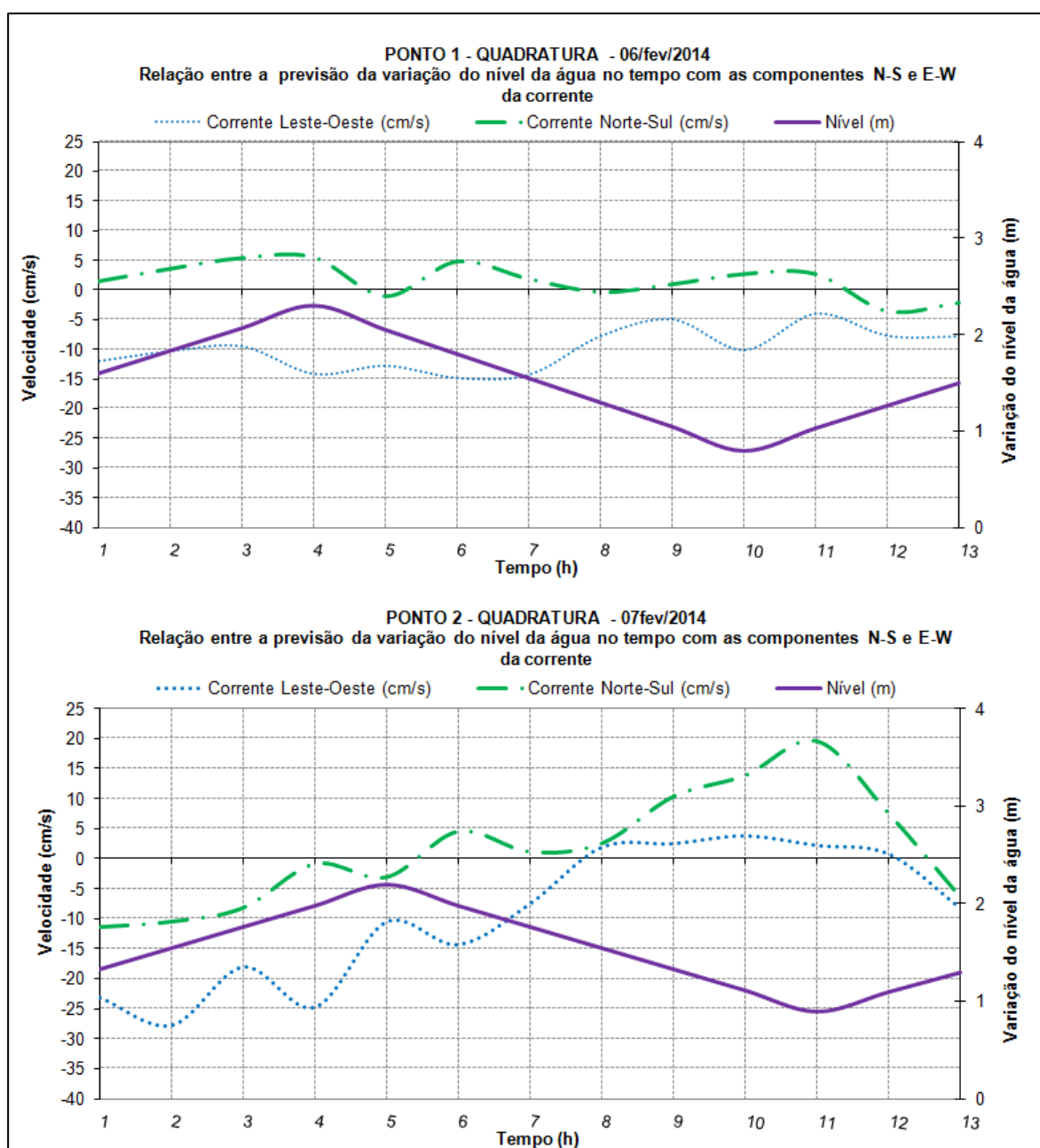


Figura 60 Relação entre as componentes Leste-Oeste e Norte-Sul das correntes com a previsão da variação do nível da água ao longo do tempo para a campanha dos dias 06 e 07 de fevereiro de 2014. Fonte: autor.

Para o período de sizígia observou-se maior intensidade das correntes longitudinais (sentido E-W) com uma clara tendência no sentido da deriva litorânea observada para a costa do Ceará; de Leste para Oeste. As maiores intensidades foram observadas na maré enchente pouco antes da PM (Figura 64). Na direção N-S as correntes mudam de sentido; em maré enchente são direcionadas para S e na vazante para N com máximas velocidades na média de 10cm/s para N.

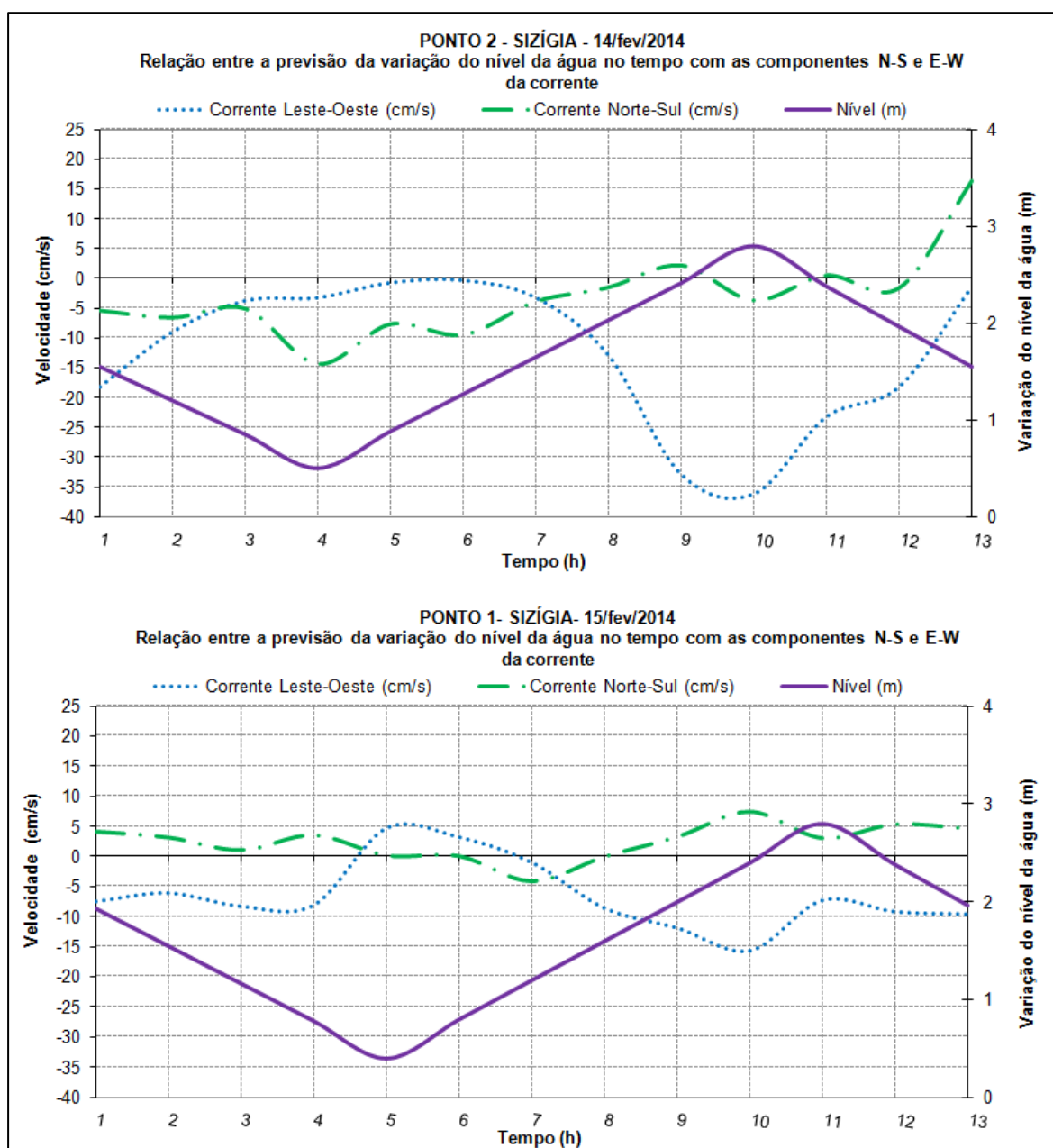


Figura 61 Relação entre as componentes Leste-Oeste e Norte-Sul das correntes com a previsão da variação do nível da água ao longo do tempo para a campanha dos dias 14 e 15 de fevereiro de 2014. Fonte: autor.

A corrente de maré enchente corre junto à costa e nas proximidades do porto tem a direção SE, com velocidade média de 1 nó (51.44cm/s); na vazante tem a direção oeste-noroeste (WNW), com velocidade média de 0.5 nó (25.72cm/s) DHN (1993). Dentro do porto, entretanto, de acordo com a CDC (2010), não ultrapassam 15cm/s, devido às linhas de fundeio estarem protegidas das correntes costeiras pela ação do molhe Titan.

As direções e intensidades apresentadas evidenciam que as direções de corrente típicas do padrão de enchente são dominantes com direção SE e variações SSE e SSW que provavelmente são resultantes da influência das ondas de norte e dos ventos na intensificação das correntes de maré.

Ao longo da coluna de água, a corrente longitudinal mostrou ser mais forte na superfície com velocidades mais fracas próximas do fundo do mar. Este é o resultado da influência da turbulência das ondas difratando no molhe e do momentum transferido do vento para as camadas de água superiores e intermediárias. As baixas velocidades acima do leito estão associadas à morfologia do fundo e à própria profundidade que produz hidrodinâmica menos intensa. (JUNG, 2010).

### **4.3 Caracterização Hidrográfica**

#### **4.3.1 Salinidade e Temperatura**

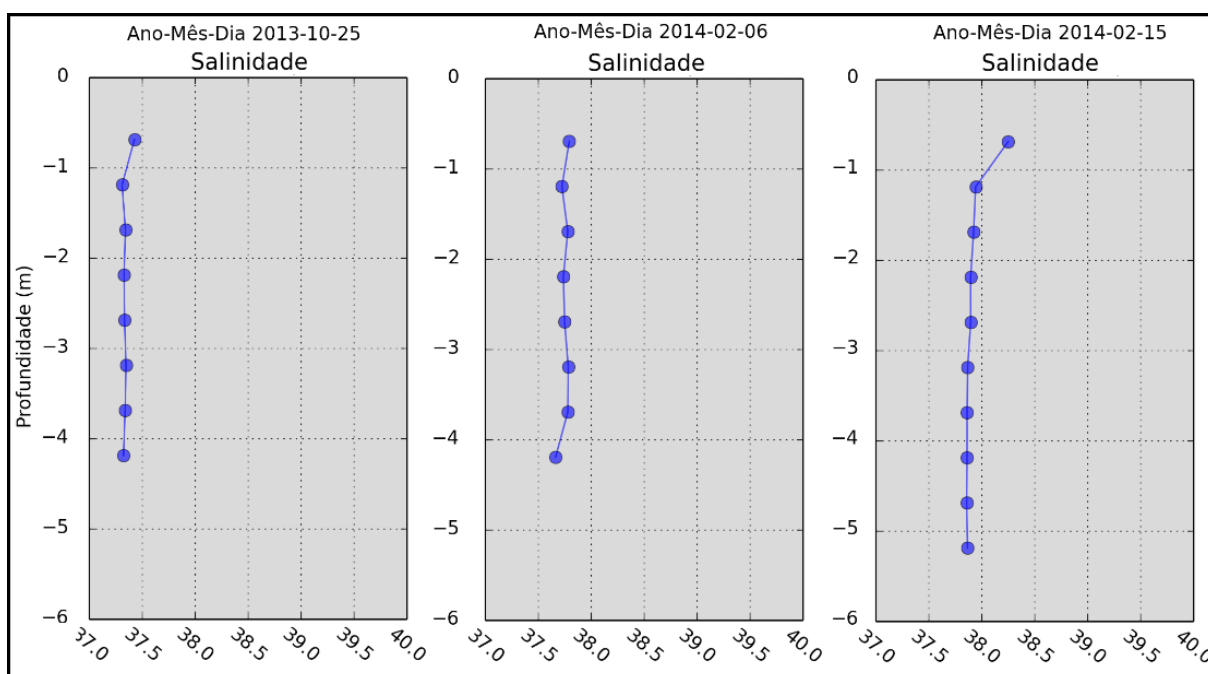
Os resultados da perfilagem dos parâmetros salinidade e temperatura da coluna d'água foram apresentados por Ponto monitorado para possibilitar a comparação ao longo do período em que se obtiveram dados. Os dados coletados em dezembro de 2012 não se apresentaram confiáveis devido a problemas com a calibração da Sonda Horiba e os dados de 17 e 18 foram corrompidos pelo *software* usado na exportação (Ecowatch) e não puderam ser processados.

##### **4.3.1.1 Ponto 1 (área abrigada)**

No Ponto 1 os perfis de salinidade variaram pouco em torno do valor médio descrito na literatura para mar aberto para o caso da costa nordeste brasileira (37.2), assumindo valores entre 37.2 e 37.4 em outubro e 37.6 e 37.7 em 06 de fevereiro

(Figura 65). Valores atípicos de 38.3 foram verificados no primeiro metro do perfil em 15 de fevereiro, o que foi atribuído a alguma falha técnica relacionada à limpeza do sensor. Na coluna d'água a média ficou em 37.9, que também é um valor atípico.

Quanto à temperatura, em outubro a coluna d'água apresentou média de 27.6°C. O primeiro metro apresentou-se cerca de 1°C inferior à média (Figura 66). A troca de energia da superfície do mar com o vento na primavera (estação seca) é mais intensa devido à maior intensidade dos ventos no período com média de 6.1m/s e um pico de 12.6 m/s conforme registrado a 1m da superfície no dia 25 de outubro.



**Figura 62 Perfis de salinidade da coluna d'água em 25 de outubro de 2013, 06 e 15 de fevereiro de 2014. (Fonte autor).**



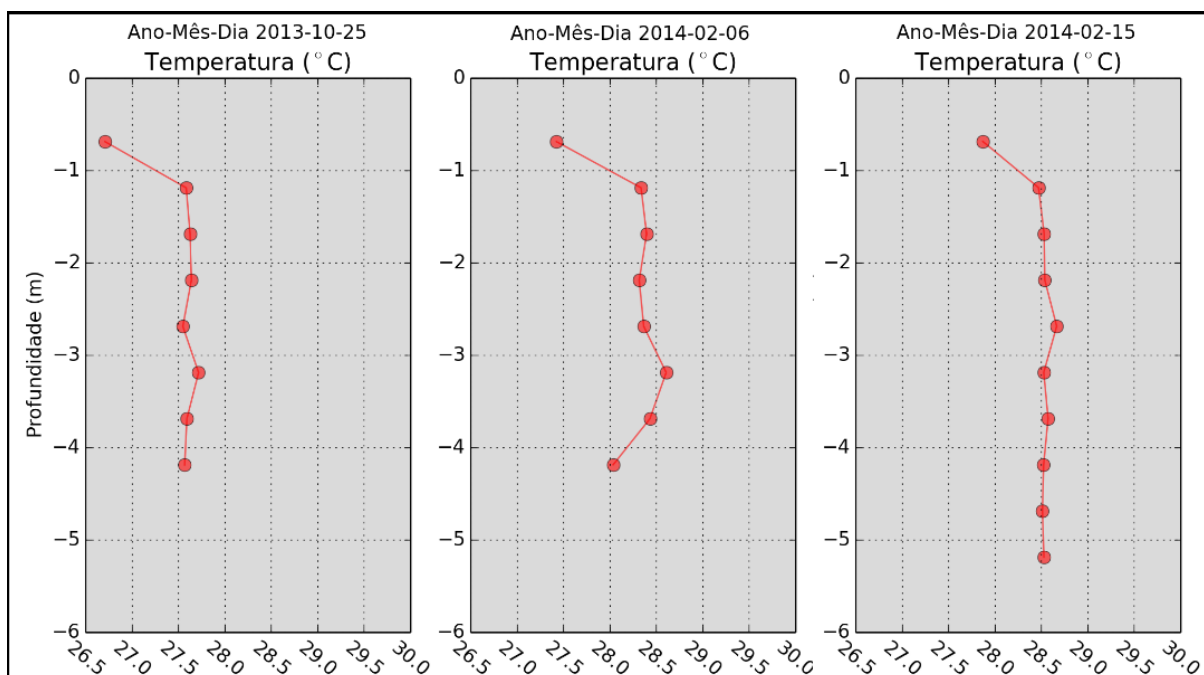


Figura 63 Perfis de temperatura da coluna d'água em 25 de outubro de 2013, 06 e 15 de fevereiro de 2014. (Fonte autor).

Em 06 de fevereiro as temperaturas oscilaram entre 27.4°C e 28.6°C o que é explicado pela estação de verão na qual a insolação é mais intensa. Na região tropical são comuns médias de temperatura acima de 26°C para a zona costeira. No dia 15 a temperatura se manteve mais constante ao longo da coluna d'água com temperatura média de 28.5°C. De uma forma geral os dados dos três dias de monitoramento no Ponto 1 indicam uma coluna d'água homogênea verticalmente, o que pode ser atribuído à condição de agitação de áreas rasas, que favorece a mistura. A diferença de temperatura à superfície pode ser atribuída à proteção exercida pelo molhe, que além de ser uma barreira física de confinamento das águas, armazena calor e o irradia para a água circundante por apresentar baixo calor específico.

#### 4.3.1.2 Ponto 2 (área exposta)

Conforme esperado, o Ponto 2 apresentou-se com valores de salinidade praticamente constantes ao longo de toda a coluna d'água (Figura 67). Em outubro de 2013 a média ficou em 37.4°C. Em 07 e 14 fevereiro de 2014 apresentou-se com 37.6 com pequenas variações em superfície e fundo no dia 14.

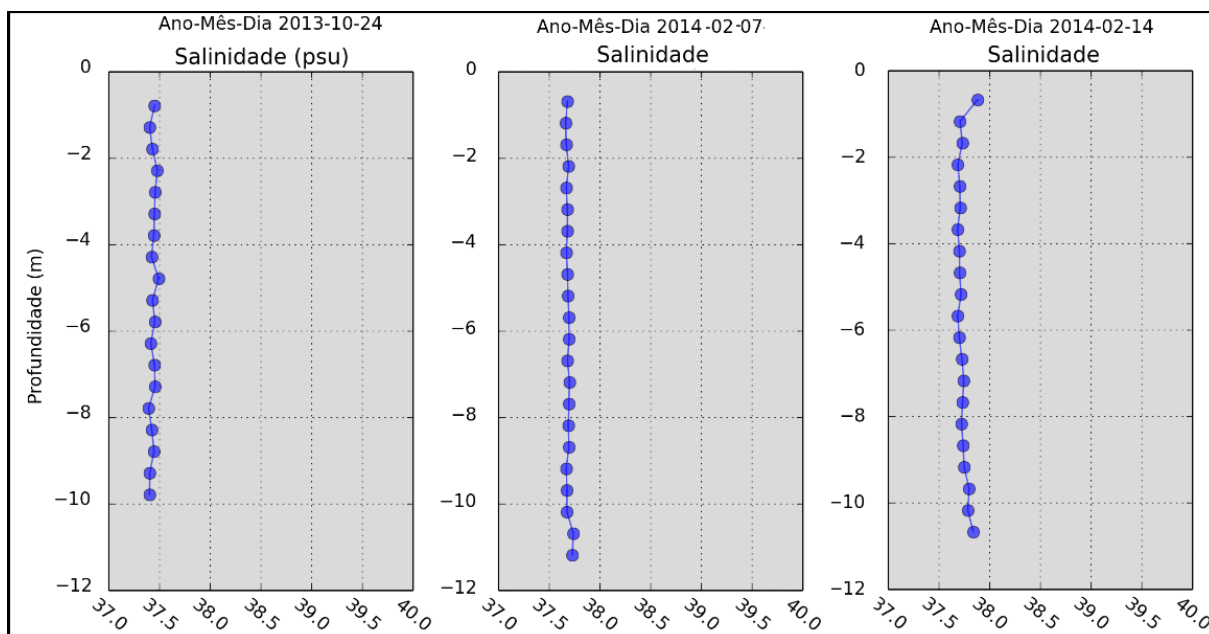


Figura 64 Perfis de salinidade da coluna d'água em 24 de outubro de 2013, 07 e 14 de fevereiro de 2014. Fonte autor.

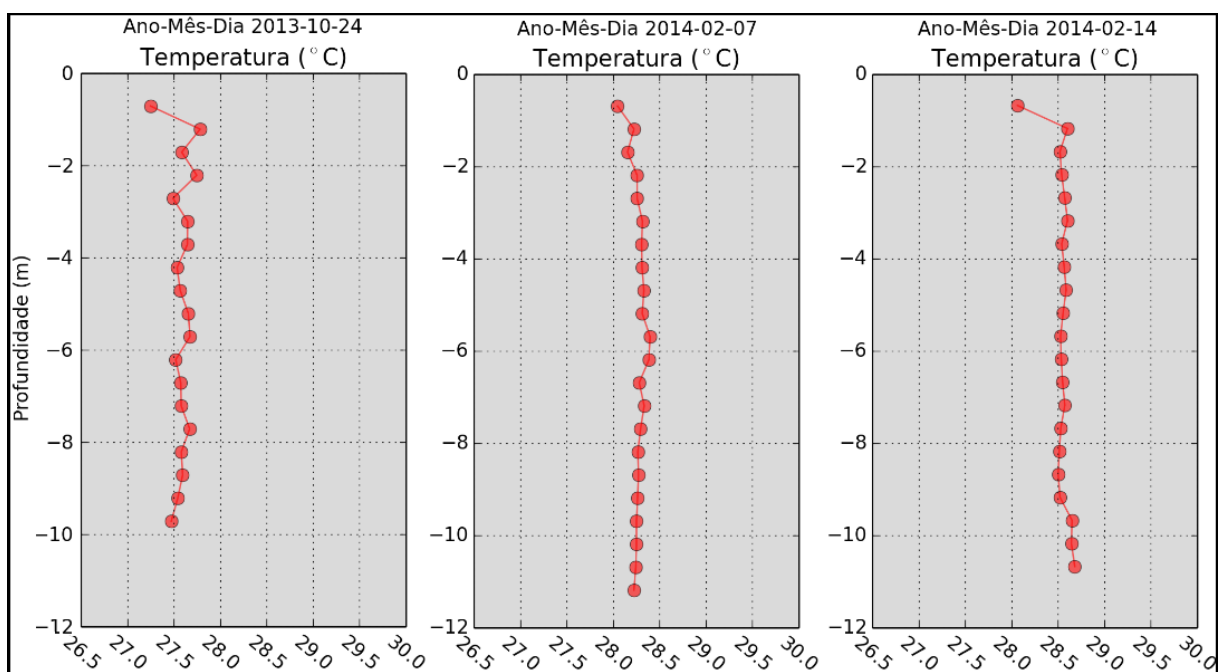


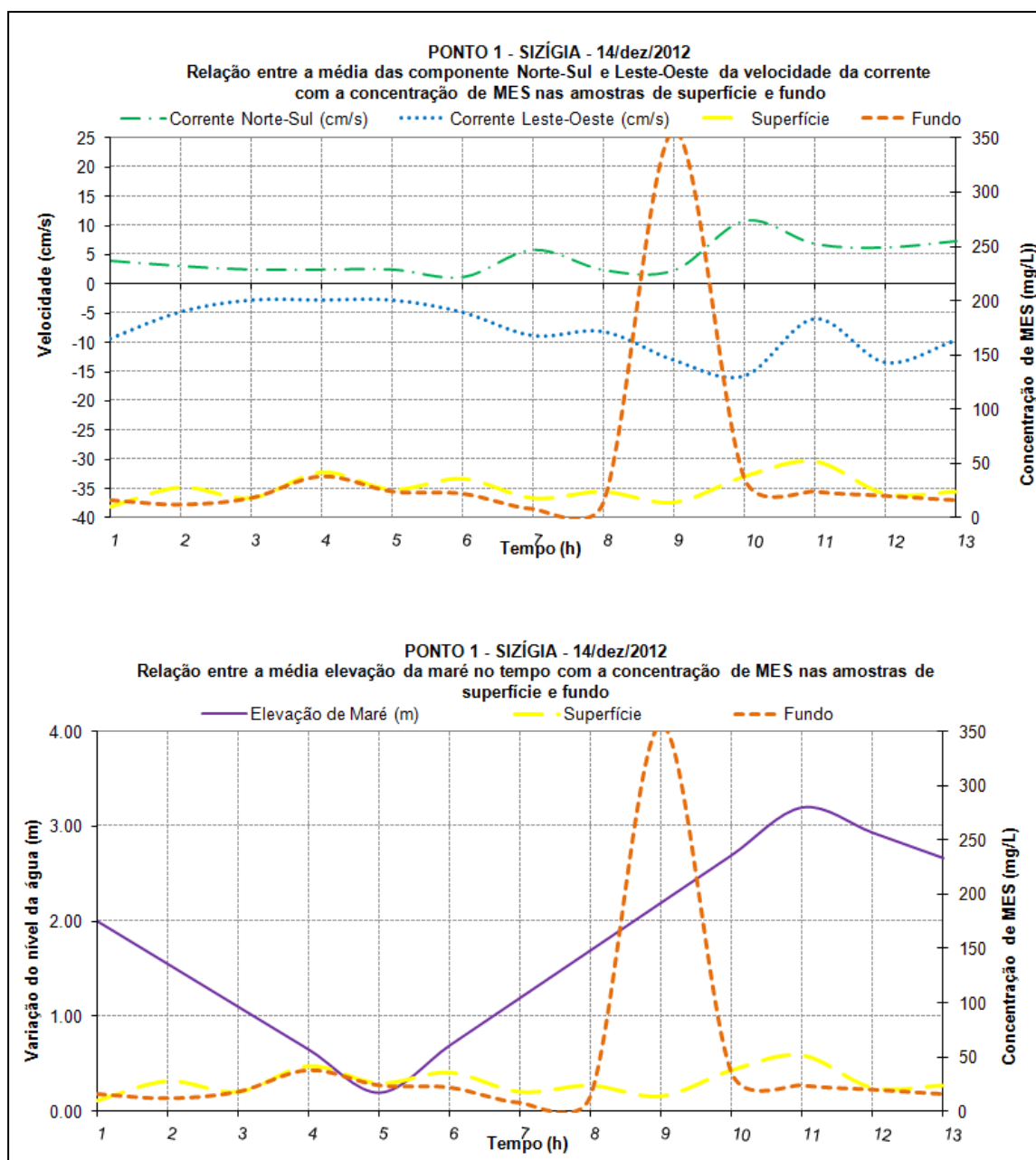
Figura 65 Perfis de temperatura da coluna d'água em 24 de outubro de 2013, 07 e 14 de fevereiro de 2014. Fonte autor.

A temperatura no Ponto 2 variou cerca de  $0.5^{\circ}\text{C}$  do primeiro metro abaixo da superfície da água para os dias 25 de outubro e 14 de fevereiro sendo esta variação de  $0.3^{\circ}\text{C}$  para o dia 07 de fevereiro. Em 25 de outubro de 2013, primavera, a média para a coluna d'água ficou em  $27.6^{\circ}\text{C}$  enquanto que no mês de fevereiro de 2014, verão, no dia 07, ficou em  $28.3^{\circ}\text{C}$  e no dia 14 permaneceu quase constante com  $28.5^{\circ}\text{C}$  (Figura 68).

#### 4.4 Material em Suspensão

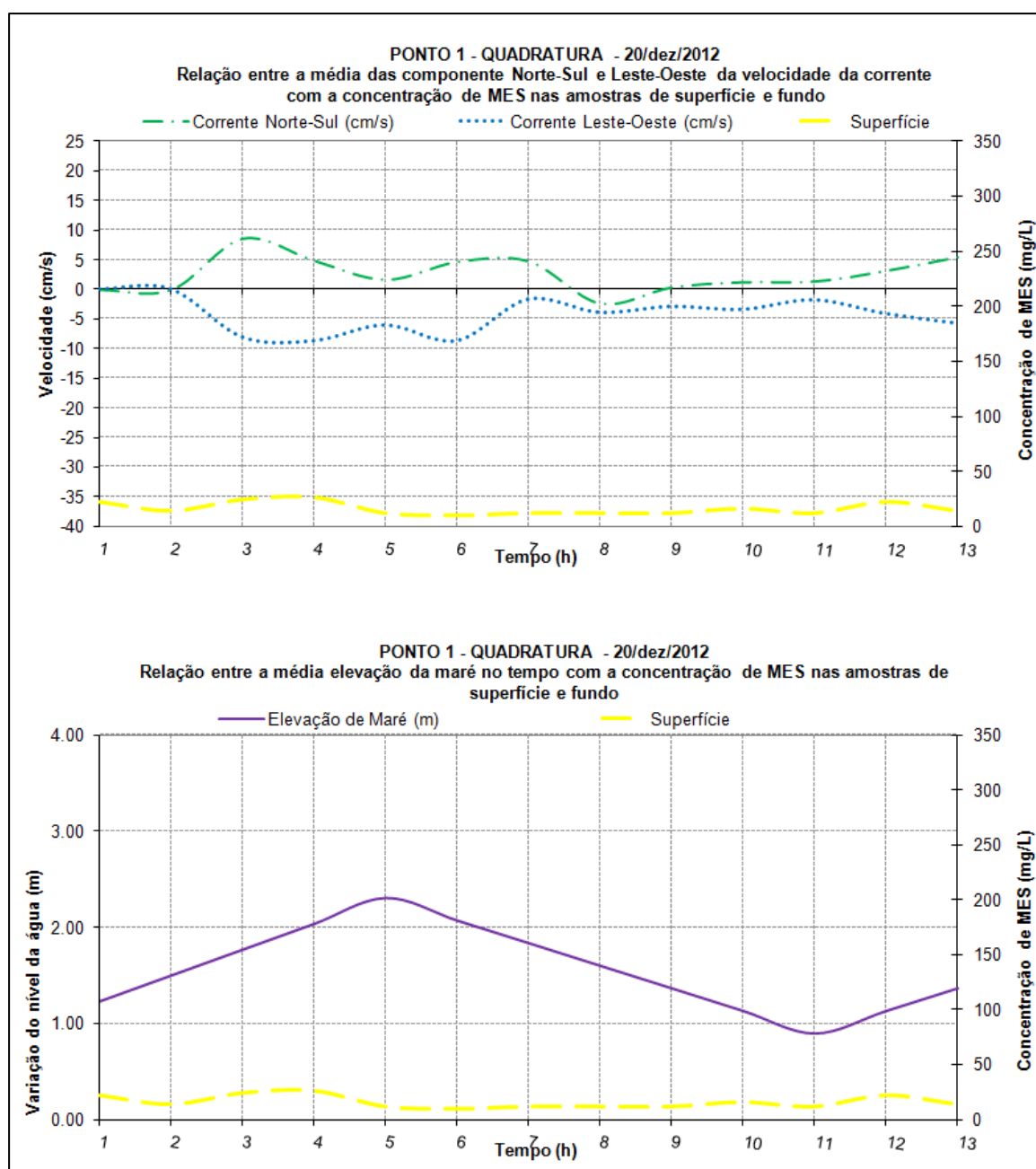
O transporte de sedimentos se refere ao movimento combinado do sedimento como aporte do fundo e em suspensão (SHORT, 2000). As correntes de deriva litorânea surgem quando as ondas não atingem perpendicularmente o litoral. O ângulo de incidência das ondas propicia a movimentação de água e material em suspensão numa trajetória em zigue-zague, cuja resultante é um transporte paralelo à costa (CEM-UFPR, 2005)

Nas campanhas de reconhecimento do local, realizadas em 14 e 20 de dezembro de 2012, observou-se um pico de material em suspensão (MES) de 359mg/L na amostra de fundo da nona hora (H9) do dia 14, que coincidiu com um pico na intensidade da corrente por volta das 15:20 (Figura 69) para NW. Este efeito foi observado dentro da Bacia Portuária no Ponto 1 em maré de sizígia, na enchente, a uma hora antes da preamar o que leva a crer que apesar da corrente de maré de enchente forçar a entrada de água na Enseada, a corrente resultante é no sentido dos ventos típicos tendendo a levar o sedimento no sentido da deriva litorânea. A média de MES, para o dia 14, ficou em 27mg/L na superfície e 46.5mg/L no fundo. No dia 20 não foi possível coletar dados de fundo e a média de MES para as amostras de superfície ficou em 16mg/L.



**Figura 66** Relação entre as concentrações de material em suspensão na superfície e no fundo com as correntes e relação do MES com a maré prevista pela DHN em 14 de dezembro de 2012. Fonte: autor.

Na quadratura no Ponto 1, em 20 de dezembro de 2012, verificou-se que as médias das correntes apresentaram-se com máximos valores de 9cm/s antes e após a PM que coincidiram com a máxima concentração de MES do dia na superfície de 26mg/L (Figura 70).



**Figura 67** Relação entre as concentrações de material em suspensão na superfície e no fundo com as correntes e relação do MES com a maré prevista pela DHN em 20 de dezembro de 2012. Fonte: autor.

Em outubro de 2013, no dia 17 obteve-se, em amostras de superfície, picos máximos de concentrações de 144mg/L (H9) 172mg/L (H8) e 180mg/L (H13) sendo a média calculada de 99.5mg/L. Nas amostras de fundo a média foi de 66mg/L com um pico máximo de 194mg/L (H7). Os dados de maré para este dia apresentam uma amplitude máxima de 2.83m com Hs média de 0.35m. Os registros do dia foram iniciados às 6:30 portanto o horário dos picos é referente ao período que antecede a preamar de 15:39 (H7, H8 e H9).

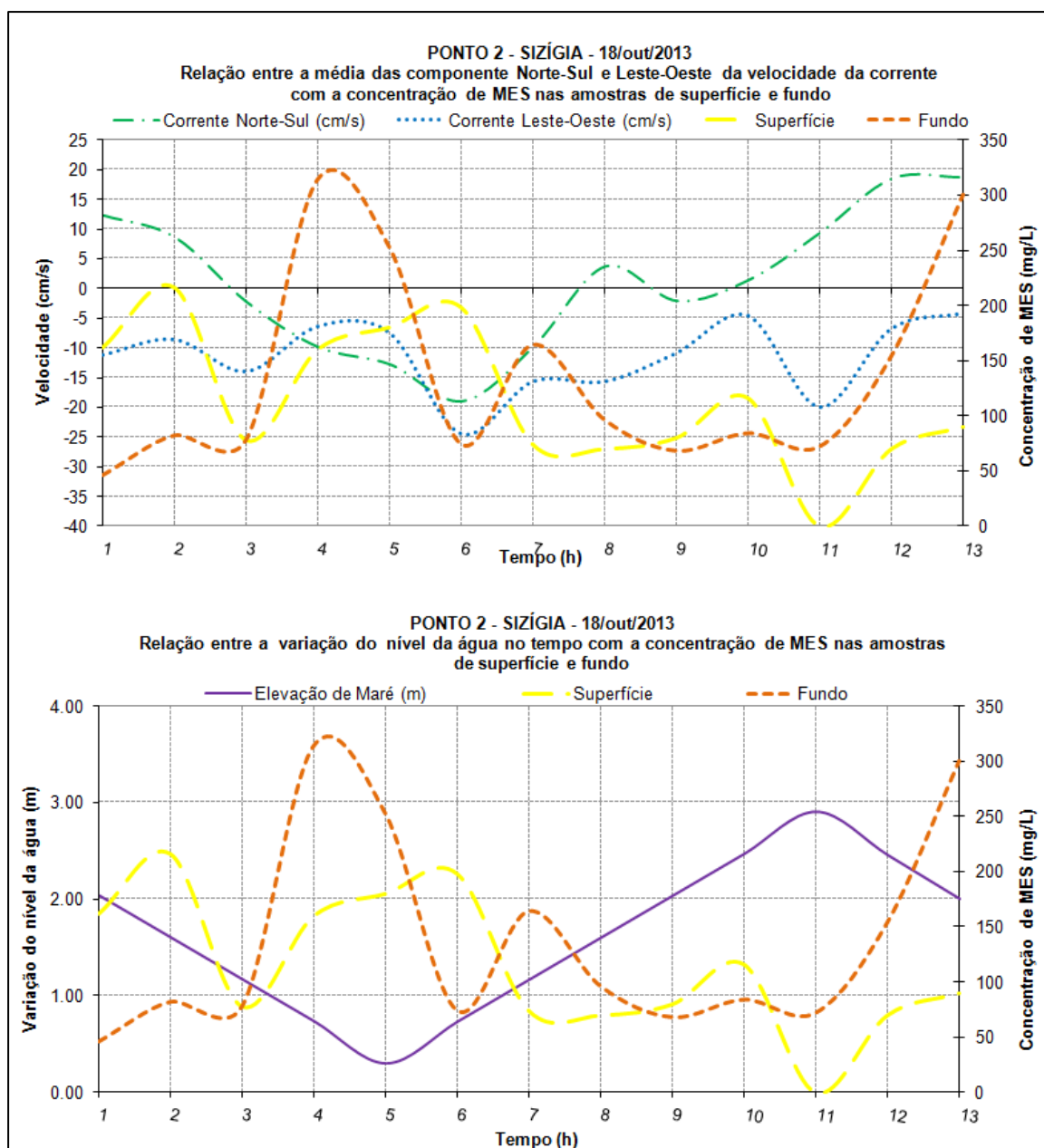


Figura 68 Relação entre as concentrações de material em suspensão na superfície e no fundo com as correntes e relação do MES com a maré prevista pela DHN em 18 de outubro de 2013. (Fonte: autor).

No dia 18 a média de concentração de MES na superfície foi 125mg/L e no fundo 137mg/L com picos de 314mg/L (H4) e 300mg/l (H13) conforme Figura 71. Os registros para H4, H5 e H6 coincidem com o período de maré enchente com PM às 16:13. Os registros do dia tiveram início às 06:15 e fim às 19:15 sendo o período de altas concentrações de MES verificado na maré enchente.

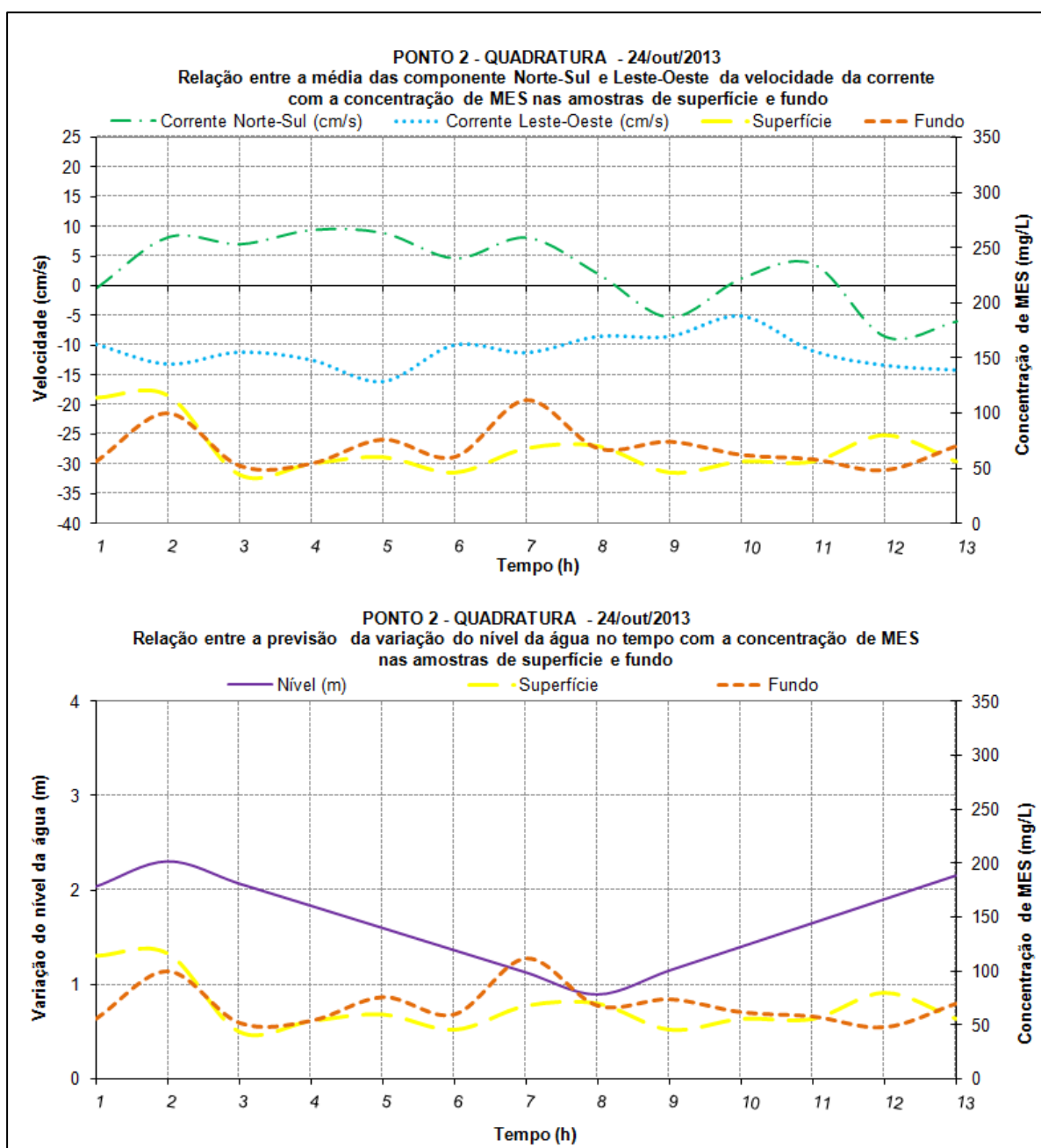


Figura 69 Relação entre as concentrações de material em suspensão na superfície e no fundo com a média das as correntes e relação do MES com a maré prevista pela DHN em 24 de outubro de 2013. Fonte: autor.

Em 24 de outubro a média de concentração de MES na superfície foi de 66.6mg/L e no fundo 68.5mg/L. Picos de 114mg/L (H1) e 116mg/L(H2) foram

verificados em H1 e H2 (Figura 72); uma hora antes e uma depois da PM (07:36). O gráfico mostra picos de concentração de MES que corresponde justamente as maiores velocidades da componente N-S da corrente no sentido N.

No dia 25 de outubro de 2013, registrou-se um pico de 156mg/L (H8) na amostra de superfície sendo a média de MES na superfície de 82mg/L e 62mg/L para as amostras de fundo. Os registros do dia foram iniciados às 05:40, logo o pico de concentração foi verificado em maré vazante, cerca de duas horas antes da BM de 14:28 com 1m acima do nível de redução da carta náutica. Não se obteve dados válidos de correntes neste dia.

Nas campanhas do mês de fevereiro de sizígia e quadratura não foram observados picos de concentração de MES. Para as amostras de superfície a média da concentração de MES ficaram entre 71.4mg/L (dia 14) e 78mg/L (dia 06). Para as amostras de fundo os resultados foram semelhantes, com médias variando de 74.6mg/L (dia 6) e 80.6mg/L(dia 15). Os gráficos de relação das correntes com o MES e da elevação de nível da água (marés) com o MES encontram-se no APÊNDICE C.

As menores concentrações médias de MES tanto nas amostras de superfície quanto de fundo foram verificadas nas campanhas de dezembro de 2012 com médias de 16mg/L (dia 20) para superfície e 46.5mg/L (dia 14) para fundo. As maiores médias das concentrações foram verificadas nas campanhas de outubro de 2013 sendo 125mg/L para superfície e 137mg/L para amostras de fundo do dia 18.

O mês de outubro é um mês da estação seca, caracterizado por fortes ventos, traduzidos em ondas mais altas e correntes mais intensas. As maiores concentrações de MES no fundo (314 mg/L H4 e 300mg/L H13) foram observadas na corrente de vazante na fase inicial e final. As altas concentrações de MES correspondem a uma condição de agitação significativa tanto no Ponto 1 (dia 17) como no Ponto 2 (dia 18). A condição de maré de sizígia age potencializando a intensidade das correntes. As menores médias das concentrações de MES do dia 17 em relação ao dia 18 são explicados pela localização dos pontos monitorados, sendo as médias inferiores para a área abrigada (Ponto 1) em relação à área exposta (Ponto 2).



## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 5.1 Conclusões gerais

Das análises das células de praia não é possível tirar conclusões quantitativas. Qualitativamente, o encurtamento artificial da faixa de praia em aproximados 100 metros originou uma transição brusca entre o trecho mais continental da Praia Mansa (área de instalação do Terminal de Passageiros) e o trecho mais afastado do continente, onde se mantiveram as características da praia. Os resultados indicam, de uma maneira geral, que C1 e C3 tendem a apresentar características de praias dissipativas, enquanto C2 tende a apresentar características de praias intermediárias, uma vez que se apresenta mais exposta à incidência de ondas difratadas.

Em termos de sedimentologia foi possível constatar que durante todo o ano, representado pelas quatro Campanhas de monitoramento, a classe areia fina se apresentou dominante na área da Praia Mansa. Os resultados evidenciam uma discordância em relação ao mapa de distribuição apresentado no RIMA, no qual a classe Areia Média na área da Praia Mansa é predominante. O tamanho do sedimento é um indicador da fonte potencial ou origem do sedimento (SHORT, 2000), assim sendo, a classificação equivocada do sedimento da face de praia da Praia Mansa pode levar a uma falsa interpretação de suas origens. A inconsistência na descrição da classe de areia predominante na área da Praia Mansa deve estar relacionada à quantidade de amostras que foram analisadas no relatório (5 amostras) em relação à quantidade analisada neste trabalho (100 amostras), que se provou insuficiente para retratar a realidade no que concerne à descrição da distribuição de granulometria da área.

A matéria orgânica no sedimento foi inferior a 1% (0.87%). A distribuição dos teores pode ser considerada homogênea na área estudada, o que pode ser explicado pela hidrodinâmica local e pela predominância de sedimentos arenosos, que diferentemente dos silto-argilosos, assimilam pouca ou nenhuma MO em sua estrutura.

Os teores de carbonato de cálcio apresentaram-se com 4.44% da fração analisada. A distribuição pode ser considerada homogênea e os teores foram considerados baixos se comparados a valores comuns de serem encontrados na plataforma interna do Ceará, com média de 18% nos sedimentos terrígenos (GOMES & FREIRE, 2007), que são predominantes na Bacia do Mucuripe.

Das variáveis oceanográficas, as velocidades dos ventos nos períodos monitorados de uma maneira geral (primavera e verão) apresentaram-se sempre superiores aos 4.5m/s que, conforme descrito por Meireles (2008) é comum para os meses mais secos.

As ondas, analisadas quanto ao parâmetro Hs, apresentaram valores aproximadamente dentro do previsto com médias entre 0.31m e 1.56 sendo o valor típico descrito pelo INPH (1996) entre 0.7 e 1.6m. A média geral de Hs foi calculada em 0.98m que se aproxima do valor de 1.1m descrito por Maia (1998) como valor predominante de Hs próximo à linha de costa de Fortaleza. A média dos períodos das alturas máximas de ondas (Hmax) foi inferior a 10s, que conforme estudos do INPH (2002) é comum em 95% do ano. A máxima altura de onda nos registros foi verificada em fevereiro na área exposta com 2.31m de altura.

A média das amplitudes de maré resultou numa média de 2.05m. O valor está subestimado uma vez que foram contemplados 4 dias de maré de quadratura e 2 de maré de sizígia, ainda assim o valor encontra-se dentro da média de 2 a 4m descrita por Davies (1964) indicando uma tendência condizente com o descrito.

No tocante às correntes verificou-se que na sizígia as velocidades atingem valores máximos de até 52cm/s na estação seca (outubro) na área exposta condizente com valor máximo descrito pela DNH (1993). A média da componente E-W na sizígia foi 9.62cm/s sempre para W e da componente N-S, 2.85cm/s predominantemente para N (resultante da corrente para NW) com um dia na área exposta em fevereiro com direção média para S de 3.1cm/s indicando variação da corrente para SW. Na maré de quadratura a componente N-S das correntes foi mais discreta que na sizígia, apresentando média de 2.1cm/s para N. A componente E-W foi dominante para W com velocidade média de 8.7cm/s. As direções de corrente de superfície e de fundo obedecem à dinâmica das marés, sendo essencialmente E-

ESE na área abrigada (Ponto 1) por apresentar a maré de enchente maior intensidade. Na área exposta não se pôde concluir qual a predominância da direção das correntes apresentando variações de WSW-WNW e ESSE num mesmo mês monitorado.

As salinidades estiveram um pouco acima do valor médio de 37,2 encontrado na costa Nordeste do Brasil (latitudes de 4°S a 12°S) descrito na literatura (DHN, 1993) chegando a 38.3 na área abrigada no verão (fevereiro). As temperaturas na coluna d'água foram todas superiores ao valor de referência, assumido como 26°C o que também é considerado normal para a região costeira no nordeste (DHN, 1993). As maiores temperaturas foram verificadas dentro da Bacia Portuária no verão (fevereiro) chegando a 28.6°C. Possíveis motivos para esse aumento em cerca de 1°C foram atribuídos à presença do molhe como barreira física reduzindo a circulação de água e à irradiação de calor pela estrutura do molhe resultando em altas temperaturas na área abrigada.

Quanto aos teores de material em suspensão obteve-se para o mês da estação seca (outubro) uma média de 93.3mg/L na superfície e 83.4mg/L no fundo. Na estação chuvosa (fevereiro) as médias ficaram entre 71 e 80mg/L para superfície e fundo, sem apresentar picos. O cenário mais favorável à suspensão de sedimentos foi apresentado na condição de maré de sizígia na área exposta à ação de ondas e à corrente longitudinal sentido Leste –Oeste, onde se obteve picos de mais de 300mg/L na superfície. É válido ainda que na área protegida também há possibilidade de ressuspensão de sedimentos de fundo, fato verificado na campanha de sizígia de dezembro em maré enchente, na qual a concentração de MES de fundo atingiu o máximo verificado para todas as campanhas realizadas, com 359mg/L

## **5.2 Comentários sobre o Terminal**

Após a dragagem que deu origem ao calado de -13m do berço do Terminal de Passageiros é esperado que haja mudanças significativas nas condições de agitação do leito da Bacia Portuária. Antes da dragagem as baixas profundidades encontradas na metade mais continental da praia pareciam agir como “filtro de energia” de maneira que o sedimento ali depositado era constantemente

retrabalhado e o aporte da deriva litorânea era retido na metade da praia mais afastada do continente.

O material posto em suspensão pelas condições de agitação verificadas na primavera (mês de outubro) em maré de sizígia entravam na Bacia Portuária contornando a ponta do molhe e se depositando conforme a energia era dissipada pelos contornos do fundo, que progressivamente tornava-se mais raso à medida que se aproximava do continente e se afastava do canal de navegação. A brusca mudança de profundidade promove o efeito “guia corrente” aumentando a velocidade do fluxo de água e a competência em mobilizar sedimentos carregando consigo frações sedimentares antes depositadas. O efeito esperado tem como consequência a entrada de maior quantidade de sedimentos da deriva litorânea na Bacia Portuária.

No mais recente estudo realizado na Bacia Portuária e publicado em fevereiro do presente ano de 2014 pelo INPH/SEP (2014), já era previsto através de simulações utilizando o modelo MIKE 21 SW um direcionamento das correntes para a área abrigada do recinto portuário, o que deve favorecer o transporte de sedimentos para essa região. Essa hipótese pode ser confirmada pela própria formação da Praia Mansa.

### **5.3 Sugestões**

- Utilizar os resultados das análises de material em suspensão deste trabalho para tornar quantitativos os resultados da modelagem numérica realizada no Anteprojeto de Dragagem de Manutenção do Terminal de Passageiros e Adequação do Acesso Aquaviário ao Porto de Fortaleza/CE.
- A complementação da estrutura de proteção já existente (molhe do Titan) com um molhe irradiando desta com um ângulo inferior a 90°W a partir do cais do Terminal construído pode ser uma alternativa para o redirecionamento dos sedimentos que têm como destino as áreas de interesse da navegação.

- Estudos com séries temporais longas são imprescindíveis para a tomada de decisão no que diz respeito à construção de novas estruturas. O monitoramento das variáveis oceanográficas dentro e fora da Bacia requer a implantação de correntógrafos e ondógrafos direcionais na área de interesse do porto. Os ventos devem ser monitorados por meio da instalação de uma estação meteorológica uma vez que os ventos são importantes, senão os principais atuantes na dinâmica da costa cearense. A sugestão inicial seria monitorar um Ponto na área exposta e um ponto na área protegida a exemplo do que foi feito neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALFREDINI, P., & ARASAKI, E. (2009). *Obras e Gestão de Portos e Costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental* (2ª ed.). São Paulo : Edgard Blucher.
- AMARANTE et al. (2001). *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. Acesso em 24 de abril de 2014, disponível em [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf).
- ARILSON, J. (2008). A “litoralização” de Camocim (CE) e o território usado. *Rev. Geogr. Acadêmica* , 88-97.
- BEZERRA, L. J. (2009). *Caracterização dos Tabuleiros Pré-Litorâneos do Estado do Ceará*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar-LABOMAR, Fortaleza.
- BEZERRA, M. O., PINHEIRO, L., & MORAIS, J. (2007). Shoreline Change of the Mucuripe Harbour Zones (Fortaleza-Ceará, Northeast of Brazil) 1972-2003. *Journal of Coastal Research* , 1163-1167.
- BIRD, E. D. (1981). Recent Changes on the world's sandy shorelines. In: BIRD, E.C.F & KOIKE, K. (eds). *Coastal dynamics and scientific sites. Department of Geography, Kowazawa University, Japan.* , p. 5-30.
- BOLDRINI, E. B. (2009). Navios Tipo Padrão e os Termos de Referência: uma Análise Crítica do Licenciamento Ambiental Portuário. In: E. B. Boldrini, & E. V. Paula, *Gestão Ambiental Portuária: Subsídios para o Licenciamento das Dragagens* (pp. 43-55). Curitiba-PR: ADEMADAN.
- BOSBOOM, J., & STIVE, M. J. (2012). *Coastal Dynamics I. Lecture notes CIE 4305*. Delft University of Technology: VSSD.
- BRASIL. (2013). *Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013*. Acesso em 02 de maio de 2014, disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm#art76](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm#art76).
- BRASIL. (21 de maio de 2014). *Secretaria de Portos da Presidência da República- Programa Nacional de Dragagem* . Acesso em 23 de maio de 2014, disponível em <http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/pnd>.
- BRASIL-Governo Federal. (s.d.). *SOBRE O PAC- Programa de Aceleração do Crescimento*. Acesso em 23 de abril de 2014, disponível em <http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac>.
- CALLIARI et al. (2003). Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia* , 51 (único), p 63-78.

CARTER, R. W. (1988). *Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines*. London: Academic Press.

CARUSO JR. (2011). *Relatório de Impacto Ambiental - RIMA- Terminal Marítimo de Passageiros do Porto de Fortaleza-CE*. Acesso em 24 de abril de 2014, disponível em <http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2011/09/RIMA-Terminal-Mucuripe.pdf>.

CASTRO, S. M., & ALMEIDA, J. R. (2012). Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: uma revisão. *Revista Sociedade e Natureza*, 24 (3), p.519.

CDC. (2010). *Companhia Docas do Ceará - Projeto da 2ª Etapa da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Fortaleza*. Fortaleza.

CDC. (s.d.). *O Porto - O Mucuripe e o Porto*. Acesso em 23 de abril de 2014, disponível em <http://www.docasdoceara.com.br/o-porto/o-mucuripe-e-o-porto>.

CEDA. (maio de 2009). *Challenging the Industry*. Acesso em 23 de maio de 2014, disponível em [http://www.dredging.org/documents/ceda/html\\_page/ceda-weda-panamadpcmay09.pdf](http://www.dredging.org/documents/ceda/html_page/ceda-weda-panamadpcmay09.pdf).

CEM-UFPR. (2005). *Praias: Saiba mais sobre elas. Ondas. Centro de Estudos do Mar - Universidade Federal do Paraná*. Acesso em 4 de junho de 2014, disponível em [http://www.cem.ufpr.br/praias/pagina/pagina.php?menu=ondas\\_tipos](http://www.cem.ufpr.br/praias/pagina/pagina.php?menu=ondas_tipos).

COPPE/UFRJ. (2014). *Programa de Engenharia Oceânica. Obras marítimas- Engenharia Naval e Oceânica-UFRJ*. Acesso em 23 de maio de 2014, disponível em [www.oceanica.ufrj.br/costeira/linhas/linhas\\_obras.html](http://www.oceanica.ufrj.br/costeira/linhas/linhas_obras.html).

DAVIES, J. L. (1964). A morphogenic approach to world shorelines. *Zeith f. Geomorph.*, v.8, 27-142.

DAVIS Jr, R. A. (1985). *Coastal Sedimentary Environments. Beach and Nearshore Zone*. Springer Verlag New York Inc.

DHI. (s.d.). *Gestão de dragagem e despejo de sedimentos*. Acesso em 2 de julho de 2014, disponível em <http://www.portugal.dhigroup.com/Solutions/CoastalAndEstuarineEngineering/DredgingAndSpillManagement.aspx>.

DHN. (1993). *Diretoria de Hidrografia e Navegação - Roteiro Costa Norte*. Acesso em 15 de 02 de 2014, disponível em <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/publicacao/roteiros.htm>.

DHN. (2014). *Previsões de Marés - Máximas e Mínimas diárias*. Acesso em 14 de abril de 2014, disponível em <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>.

- Diário do Nordeste. (11 de setembro de 2013). *Temporada de ventos fortes divide opiniões*. Acesso em 28 de junho de 2014, disponível em <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/cidade/temporada-de-ventos-fortes-divide-opinioes-1.426741>.
- DPC. (16 de janeiro de 2014). *Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas.0224 – OBRA DE INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA, DRAGAGEM E/OU EXTRAÇÃO DE AREIA*. Acesso em 02 de maio de 2014, disponível em [https://www.dpc.mar.mil.br/sta/depto\\_traquav/nav\\_ajb/0224\\_obra\\_infraestrutura\\_portuaria.pdf](https://www.dpc.mar.mil.br/sta/depto_traquav/nav_ajb/0224_obra_infraestrutura_portuaria.pdf).
- EMBRAPA. (1997). *Manual de Métodos de Análise de Solo* (2ª ed.). Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos.
- FARIAS, E. G., & MAIA, L. P. (2012). Análise da incerteza do mapeamento batimétrico do canal de navegação do Porto do Mucuripe (CE) - Brasil. *Revista Mercator*, 11 (25), 167-177.
- FCPC. (2011). *Monitoramento das correntes no canal de navegação do Porto de Fortaleza no período de março a abril de 2011*. Fortaleza: Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura.
- FEDDERSEN, F., TROWBRIDGE, J. H., & WILLIAMS III, A. J. (2007). Vertical structure of dissipation in nearshore. *Journal of Physical Oceanography*, 37, 1764-1777.
- GAMARO, P. E. (2012). *Medidores Acústicos Doppler de Vazão* (1ª ed.). Foz do Iguaçu: Itaípu Binacional.
- GOMES, A. A., & FREIRE, J. S. (2007). *Concentrações de carbonato de cálcio nos sedimentos da plataforma continental do Ceará*. Painel, Universidade Federal do Ceará.
- IADC & IAPH. (2010). *Dredging for Development* (6 ed.). (N. Bray, & M. Cohen, Eds.) Netherlands: IAPH.
- Impac. (s.d.). *Anemômetro Digital IP720 ( Hélice Remota )* Impac. Acesso em 25 de junho de 2014, disponível em <http://www.impac.com.br/anemometro/digitalimpac/anemometrodigitalhelice.htm>.
- INMET. (2011). *Instituto Nacional de Meteorologia. Glossário*. Acesso em 06 de agosto de 2014, disponível em [www.inmet.gov.br/html/informacoes/glossario/glossario.html](http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/glossario/glossario.html).
- INNOCENTINI et al. (2005). A agitação marítima no litoral nordeste do Brasil associada aos distúrbios africanos de leste. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20 (3), 367-374.



INPH. (2002). *Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias. Relatório final de medições de ondas, No. 013/2002, Código Pecém 130/41*. Rio de Janeiro.

INPH. (1996). *Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias. Relatório final dos estudos em modelo físico reduzido de agitação do Porto do Pecém-CE, No. 71/96*. Rio de Janeiro.

INPH/SEP. (2014). *Anteprojeto de Dragagem de Manutenção do Terminal de Passageiros e Adequação do Acesso Aquaviário ao Porto de Fortaleza / CE*. Rio de Janeiro.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. (s.d.). *Séries Históricas e Estatísticas*. Acesso em 23 de abril de 2014, disponível em <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=10&op=0&vcodigo=POP117&t=densidade-demografica#P1>.

Instituto de Pesquisas Hidroviárias - INPH. (1996). *Relatório final das medições de ondas ao largo de Mucuripe-CE*. Rio de Janeiro.

Jornal do Comércio/RS. (2012). *Ceará Marine Pilots - Empresas revelam intenção de ampliar a utilização de cabotagem*. Acesso em 13 de junho de 2014, disponível em <http://www.cearpilots.com.br/noticia.asp?cod=132>.

JUNG, G. B. (2010). *Estrutura e Progagação de Correntes Longitudinais na Praia de Tramandaí-RS*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre.

JUNG, G. B., PEREIRA, P. S., & CALLIARI, L. J. (2008). *Comportamento das Correntes Longitudinais na Praia do Cassino, RS: análise durante o experimento Cassino (2005)*. Acesso em 30 de junho de 2014, disponível em <http://www.praia.log.furg.br/Publicacoes/2008/2008f.pdf>.

LEEDER, M. R. (1982). *Sedimentology: Process and Product*. London: George Allen & Unwin.

LIMA, R. S. (2012). *VULNERABILIDADE DA LINHA DE COSTA A EVENTOS DE ALTA ENERGIA NA PRAIA DA CAPONGA – CASCAVEL, CEARÁ*. Dissertação de Mestrado. Fortaleza, Ceará.

LONGET- HIGGUINS, M. S. (1970). Longshore Current Generated by Obliquely incident Sea Waves. *Journal of Geophysical Research*. , 75 (33), 6790-6801.

MAIA, L. P. (1998). *Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE - Brasil): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral*. Tese de Doutorado . Universidade de Barcelona.

- MAIA, L. P. (1998). *Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE - Brasil): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral*. Tese de Doutorado, Universidade de Barcelona.
- MAIA, L. P., JIMENEZ, J. A., SERRA, J., & O., M. J. (1998). The Coastline of Fortaleza City. A product of Environmental impacts caused by the Mucuripe Harbour. *Arquivo de Ciências do Mar* , 31 (1-2), pp. 93-100.
- MARQUEZ, A. L. (2009). *Estudo de agitação, correntes induzidas por ondas e balanço sedimentar da região do Porto de Tubarão e Praia de Camburí, Vitória/ES*. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.
- MARTINS, A. S. (2013). *Processos Oceanográficos: estrutura vertical em zonas costeiras*. Acesso em 3 de julho de 2014, disponível em <http://www.doc.ufes.br/agnaldo/processos/Processos-estruc-vert-cost.pdf>.
- MARTINS, C. C. (2000). Variações morfológicas e sedimentares de curto período em perfis praias, Praia de Bertioga/SP. *Dissertação de Mestrado* , 191 p. Universidade de São Paulo - Instituto Oceanográfico.
- MEIRELES, A. J. (2008). *Impactos ambientais decorrentes da ocupação de áreas reguladoras do aporte de areia: a planície Costeira da Caponga, município de Cascavel, litoral leste cearense*. Acesso em 21 de junho de 2014, disponível em Confins - Revista Franco-Brasileira de Geografia : <http://confins.revues.org/2423> ; DOI : 10.4000/confins.2423
- MESQUITA, M. J. (2011). *Aula: Mineralogia- Unicamp-IG. Processos superficiais da Terra: Processos e rochas sedimentares*. Acesso em 10 de setembro de 2014, disponível em [http://www.ige.unicamp.br/site/aulas/202/rochas\\_sedimentares\\_2011.pdf](http://www.ige.unicamp.br/site/aulas/202/rochas_sedimentares_2011.pdf).
- MIGUENS, A. P. (1996). *Navegação: A Ciência e a Arte. Volume 1: Navegação costeira, estimada e em águas restritas*. Rio de Janeiro: DHN.
- MORAIS, J. O. (1980). *Aspectos de geologia ambiental costeira do município de Fortaleza (Estado do Ceará)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará.
- MORAIS, J. O. (1972). Processos de assoreamento do Porto do Mucuripe. *Arq. Ciên. Mar* , 12 (2), p. 139-149.
- MOREIRA et al. (2010). *Distribuição de Matéria Orgânica, Carbono Orgânico Total, Nitrogênio e Razões C/N em sedimentos marinhos em regiões portuárias do Ceará*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Anais/62ª Reunião Anual da SBPC, Natal.
- MUEHE, D. (1998). Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. *Revista Brasileira de Oceanografia* , 46 (2), p.157-169 .

- MUEHE, D.(org). (2006). *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro - Capítulo Ceará. Ministério do Meio Ambiente*. Acesso em 23 de outubro de 2013, disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/\\_arquivos/ce\\_erosao.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/ce_erosao.pdf).
- Nairaland Forum. (10 de junho de 2013). *Dredging And Commercial Sand Production In Nigeria The Opportunities? - Business - Nairaland*. Acesso em 23 de maio de 2014, disponível em <http://www.nairaland.com/1319140/dredging-commercial-sand-production-nigeria>.
- NASSIF, L. (27 de fevereiro de 2014). *Economia - Crescimento econômico brasileiro é o 3º maior do mundo em 2013*. Acesso em 02 de maio de 2014, disponível em <http://jornalgn.com.br/noticia/crescimento-economico-brasileiro-e-o-3%C2%BA-maior-do-mundo-em-2013>.
- NORMAM 02/DPC. (1999). *Normas da Autoridade Marítima para embarcações empregadas na navegação interior*. Acesso em 24 de abril de 2014, disponível em [https://www.dpc.mar.mil.br/normam/N\\_02/normam02.pdf](https://www.dpc.mar.mil.br/normam/N_02/normam02.pdf).
- NPCP. (2013). *Marinha do Brasil - Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos do Ceará*. Acesso em 3 de janeiro de 2014, disponível em [https://www.dpc.mar.mil.br/npcp\\_npcf/cpce/cpce.pdf](https://www.dpc.mar.mil.br/npcp_npcf/cpce/cpce.pdf).
- OLIVEIRA, L. L. (s.d.). *Filtros Compostos e Adaptativos: o filtro de Gaussiano , Laplaciano do Gaussiano e de Gabor (Harmônico-Gaussiano)*. Acesso em 25 de junho de 2014, disponível em <http://www2.ic.uff.br/~aconci/gabor.pdf>.
- PAULA et al. (2012). High-rise development of the sea-front at Fortaleza (Brazil): Perspectives on its valuation and consequences. *Ocean & Coastal Management* , 1-10.
- PICCININI, F. C. (2007). A onda de projeto por meio da análise estatística de extremos a partir de dados medidos por satélite. *Revista Visões. Faculdade Salesiana Maria Auxiliadora. Macaé- Rio de Janeiro*. (2).
- PITOMBEIRA, E. S. (junho de 1976). Deformação das ondas por difração no molhe do Porto do Mucuripe (Fortaleza-Ceará-Brasil). *Artigo de Ciências do Mar* , 16 (1), pp. 55-58.
- Planetary. (s.d.). *Wentworth (1922) grain size classification*. Acesso em 27 de junho de 2014, disponível em <http://www.planetary.org/multimedia/space-images/charts/wentworth-1922-grain-size.html>.
- Portogente. (9 de janeiro de 2014). *Portogente - Mucuripe - Embalado por granéis líquidos e contêineres, Porto de Fortaleza cresce 10% em 2013*. Acesso em 14 de junho de 2014, disponível em <http://portogente.com.br/noticias/portos-do-brasil/mucuripe/embalado-por-graneis-liquidos-e-conteineres-porto-de-fortaleza-cresce-10-em-2013-80534>.

Público Porto. (31 de janeiro de 2014). *Ciência-Autoridades australianas aprovam dragagem na Grande Barreira de Coral*. Acesso em 23 de maio de 2014, disponível em <http://www.publico.pt/ecosfera/noticia/autoridades-australianas-aprovam-dragagem-na-grande-barreira-de-coral-1621825>.

REBOUÇAS, R. B. (2010). A influência portuária no modelado e reconfiguração da orla: o caso do Porto do Mucuripe e Praia do Serviluz (Fortaleza, Ceará, Brasil). *Dissertação de Mestrado*, 132 p.

Reino dos Países Baixos. (s.d.). *Embaixada do Reino dos Países Baixos em Brasília, Brasil - Tecnologia Delta*. Acesso em 23 de maio de 2014, disponível em <http://brasil.nlembaixada.org/servicos/assuntos-economicos/assuntos-economicos/minbuza%3Ashare/pioneiros-em-negocios-internacionais/tecnologia-delta.html>.

Revista Portos e Navios. (3 de fevereiro de 2011). *Demanda constante*. Acesso em 14 de agosto de 2014, disponível em <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vi3U1QCCHVgJ:www.portosenavios.com.br/site/revista-impressa/em-html/41-revista-617-junho-de-2012/portos-e-logistica/7443-demanda-constante+&cd=4&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>.

RODRIGUEZ, M. A. (2012). *Prácticas de Edafología y Climatología*. Universidad de la Rioja: Servicio de Publicaciones.

Roteiro Costa Norte/DHN. (1993). *Roteiro Costa Norte: da Baía do Oiapoque ao Cabo Calcanhar*. Acesso em 24 de abril de 2014, disponível em <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/publicacao/rota/rota-cn-completo.pdf>.

SANTOS et al. (2012). Estimativa de parâmetros de ondas oceânicas através de sensores passivos de alta resolução. *Revista de Geologia*, 25, 20-36.

SCHETTINI, C. A., MAIA, L. P., & TRUCCOLO, E. C. (2011). Análise da variabilidade do nível da água na costa de Fortaleza, Ceará. *Arquivo de Ciências do Mar-LABOMAR*, 44 (1), pp. 27-32.

SHORT, A. D. (2000). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Coastal Studies Unit, School of Geosciences, University of Sydney, Australia: Wiley.

SIDMAR. (s.d.). *RBR TWR-2050P Tide and Wave Logger*. Acesso em 26 de junho de 2014, disponível em <http://www.sidmar.es/en/instrumentation/Products/LEVEL-TIDE-WAVE/PRESSURE-SENSORS/TWR-2050P.html>.

SILVA, A. C., TORRADO, P. V., & ABREU, J. S. (1999). Métodos de quantificação de matéria orgânica do solo. *Revista Unifenas, Alfenas*, 5, 21-26.

SILVA, P. S., NEVES, L. P., & BEMVENUTI, C. E. (outubro de 2008). Temporal variation of sandy beach macrofauna at two sites with distinct environmental

conditions on Cassino Beach, extreme southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* , 56 (4).

SOARES, C. (s.d.). *Dragagens: limitações técnicas a ambientais inerentes à atividade*. . Acesso em 02 de maio de 2014, disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/work09\\_carlos\\_soares\\_dragagem.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/work09_carlos_soares_dragagem.pdf).

SonTek. (s.d.). *CurrentSurveyor software*. Acesso em 25 de junho de 2014, disponível em <http://www.sontek.com/software/detail.php?CurrentSurveyor-Software-5>.

SOUZA, S. O. (21 a 24 de outubro de 2012). *IX Simpósio Nacional de Geomorfologia - Tópicos sobre praias arenosas e erosão costeira*. Acesso em 11 de junho de 2014, disponível em <http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/4/4-603-546.html>.

SUGUIO, K. (1973). *Introdução à sedimentologia*. USP- São Paulo: Editora Edgard Blucher.

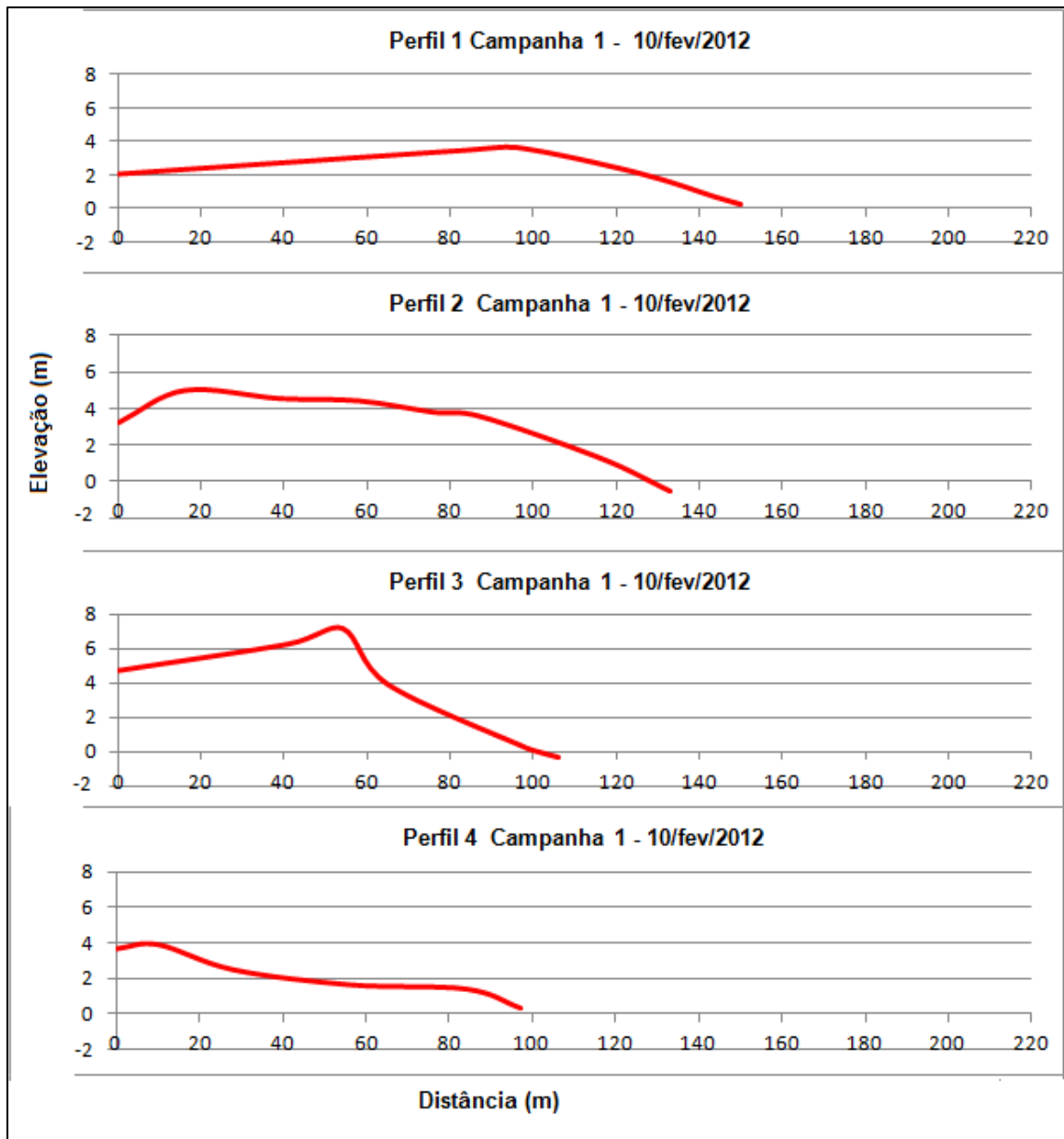
TERRA- Notícias. (2014). *Transporte e Logística - Expansão do Canal do Panamá deve favorecer portos brasileiros*. Acesso em 23 de maio de 2014, disponível em <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:F1OAxH-jFBgJ:transporteelogistica.terra.com.br/noticias/integra/128/expansao-do-canal-do-panama-deve-favorecer-portos-brasileiros+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>.

TESSLER, M. G., & GOYA, S. C. (2005). Conditioning factors of coastal processes in the brazilian coastal area. *Revista do Departamento de Geografia* , n.17, 11-23.

USP. (2004). *Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgoto sanitário e industrial*. Departamento de Engenharia Hidráulica - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

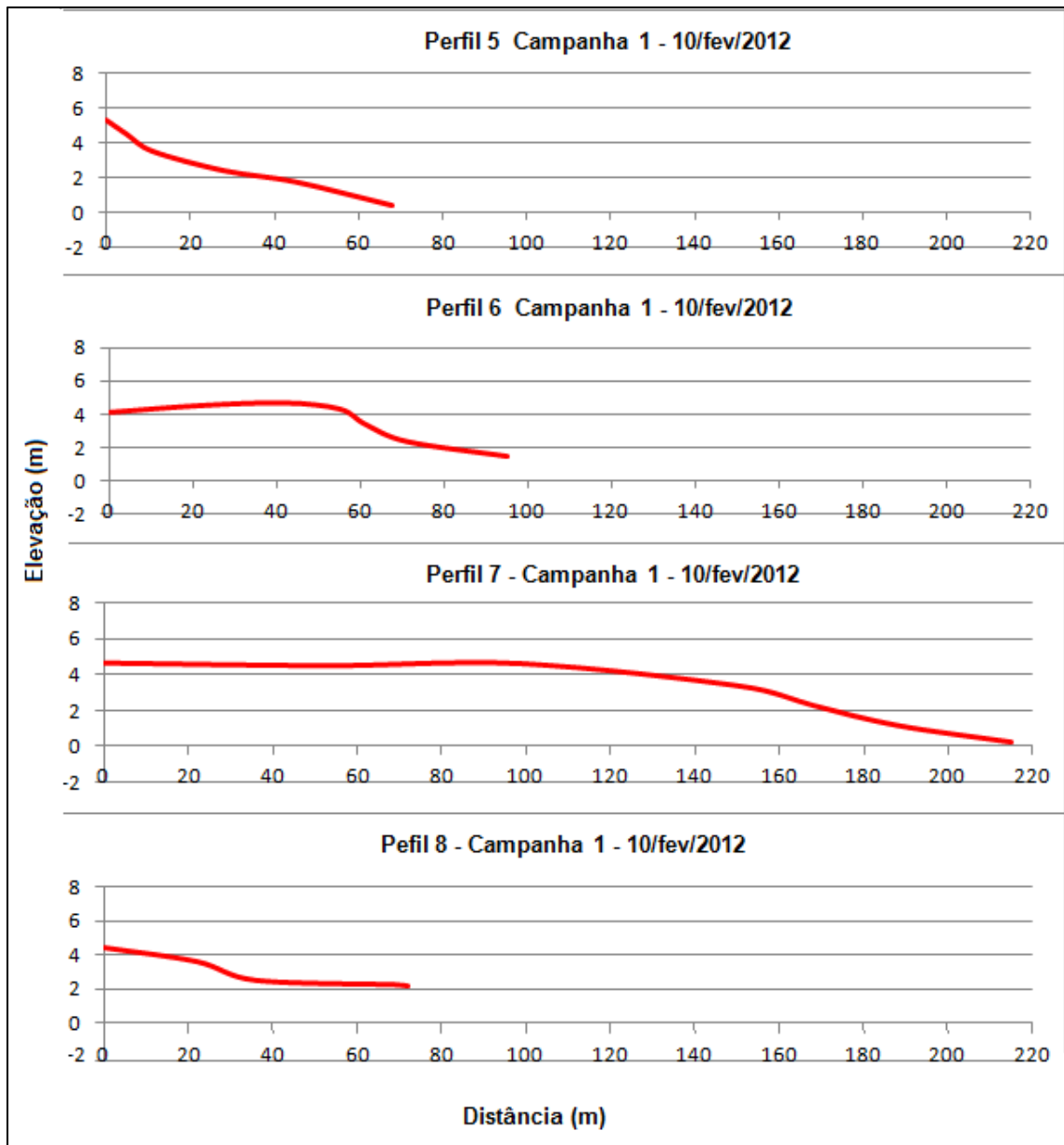
## APÊNDICE A-1-1

Perfis de Praia de 1 a 4 realizados na Campanha 1 em 10 de fevereiro de 2012.



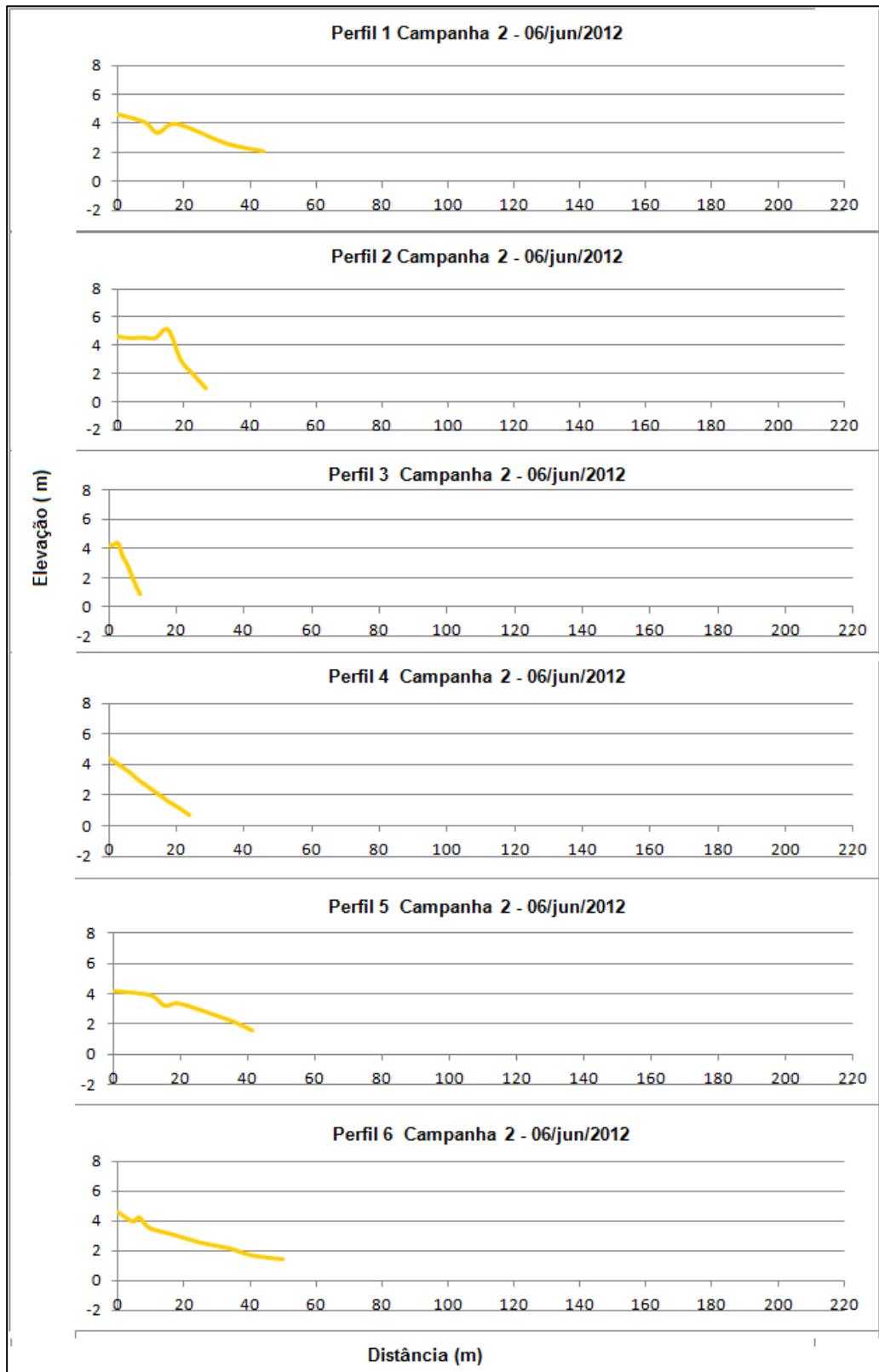
## APÊNDICE A-1-2

Perfis de Praia de 5 a 8 realizados na Campanha 1 em 10 de fevereiro de 2012



## APÊNDICE A-2-1

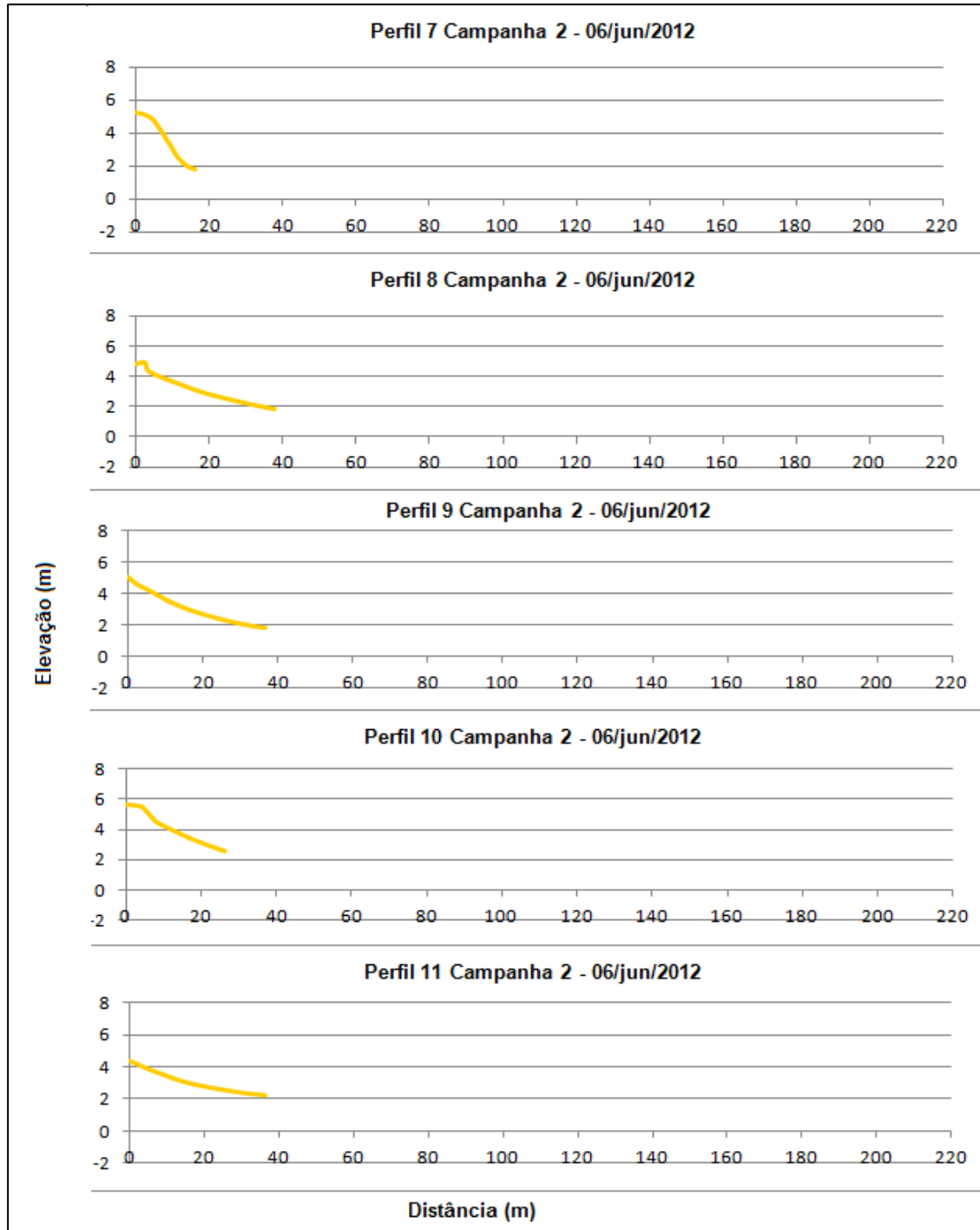
Perfis de Praia de 1 a 6 realizados na Campanha 2 em 05 de junho de 2012.





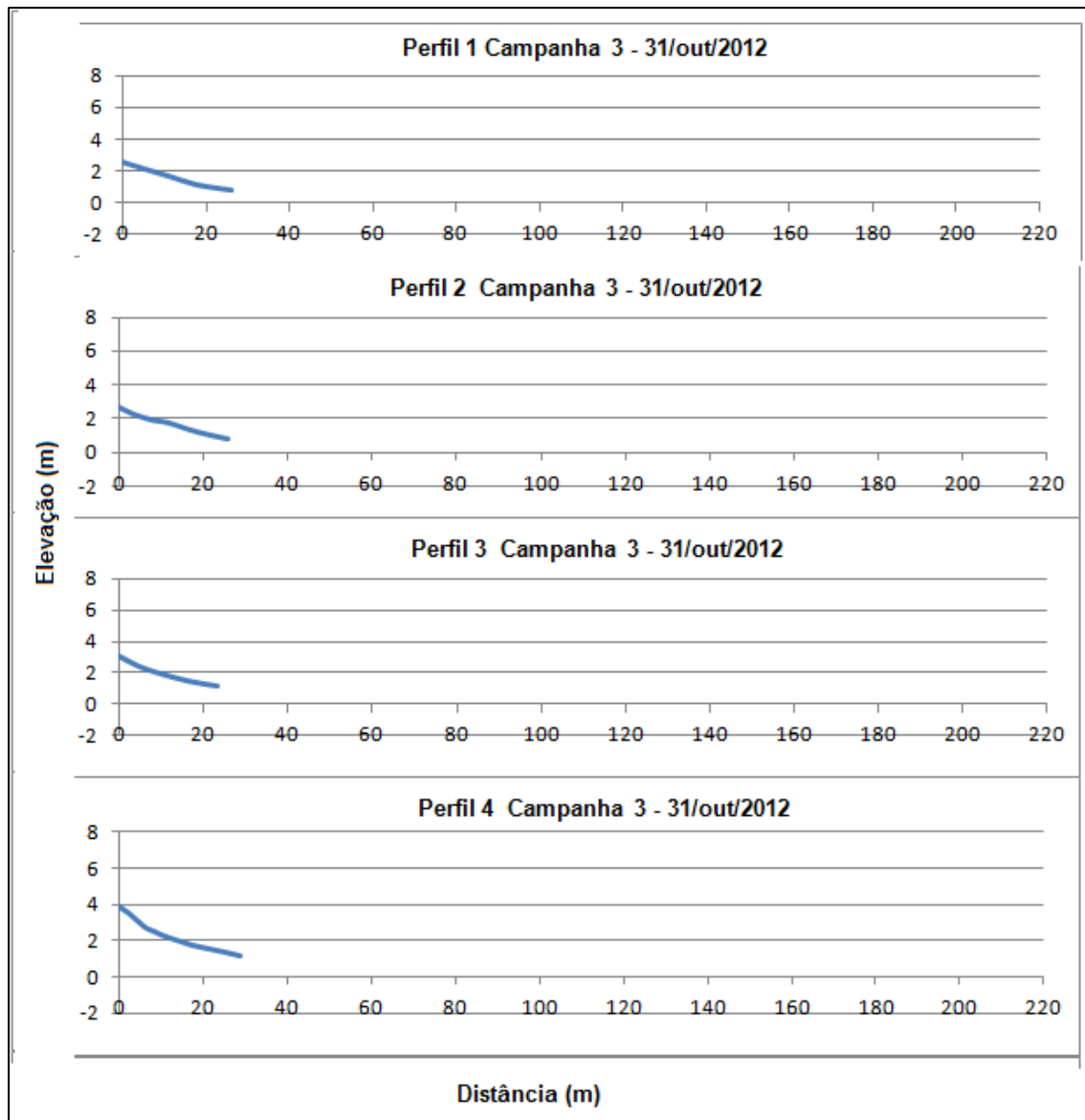
## APÊNDICE A-2-2

Perfis de Praia de 7 a 11 realizados na Campanha 2, em 05 de junho de 2012.



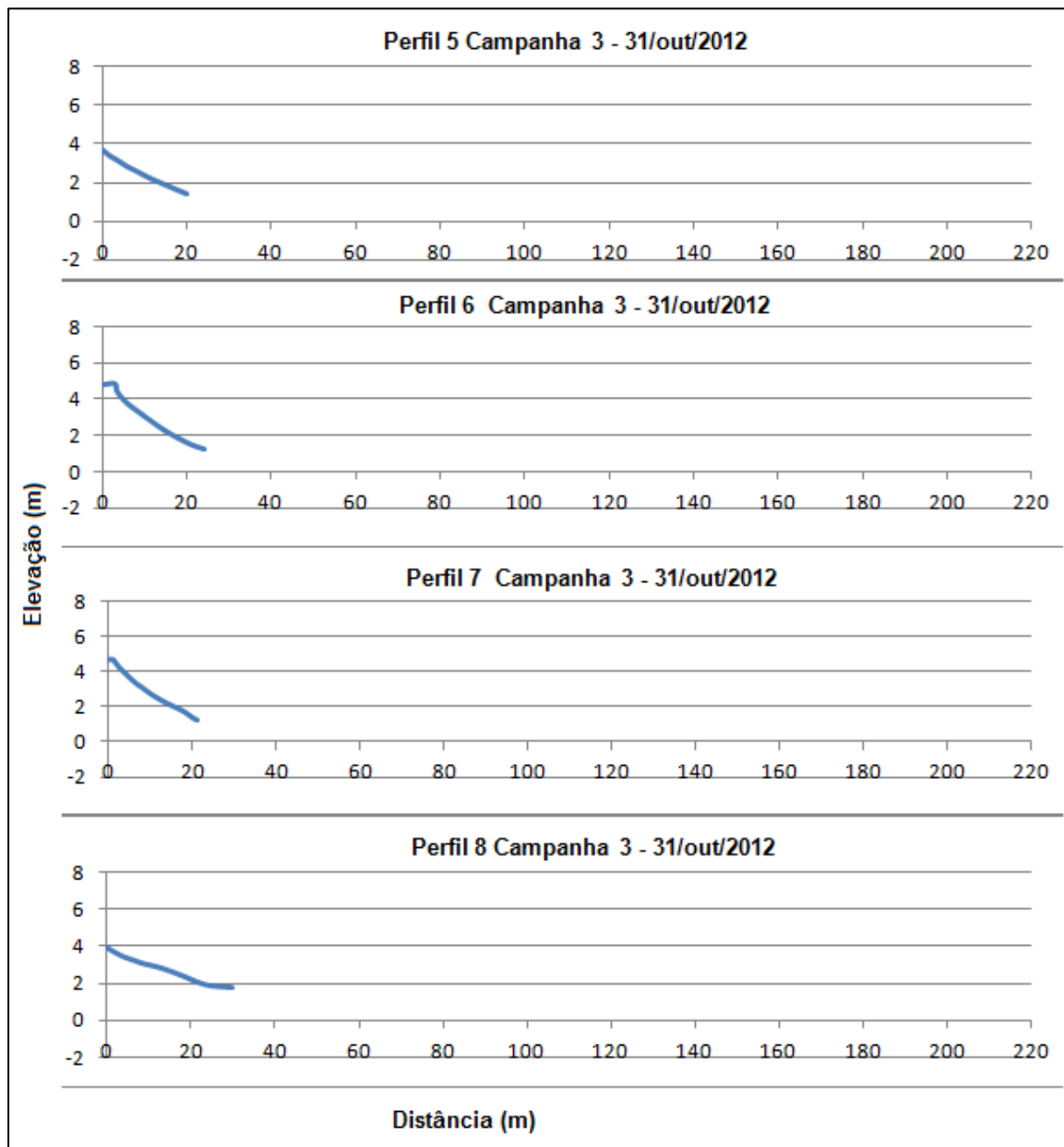
## APÊNDICE A-3-1

Perfis de Praia de 1 a 4 realizados na Campanha 3, em 31 de outubro de 2012.



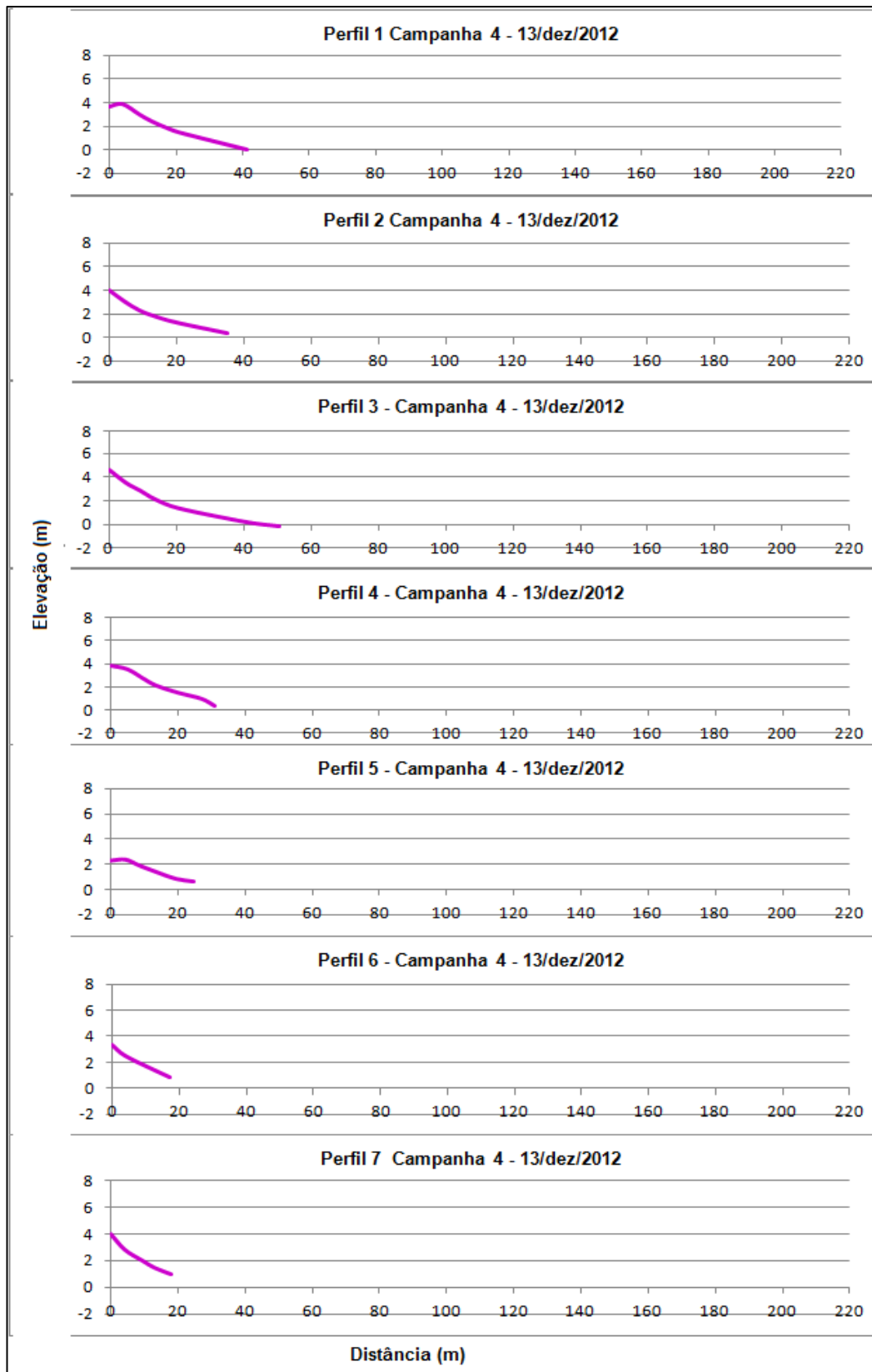
## APÊNDICE A-3-2

Perfis de Praia de 5 a 8 realizados na Campanha 3 em 31 de outubro de 2012.



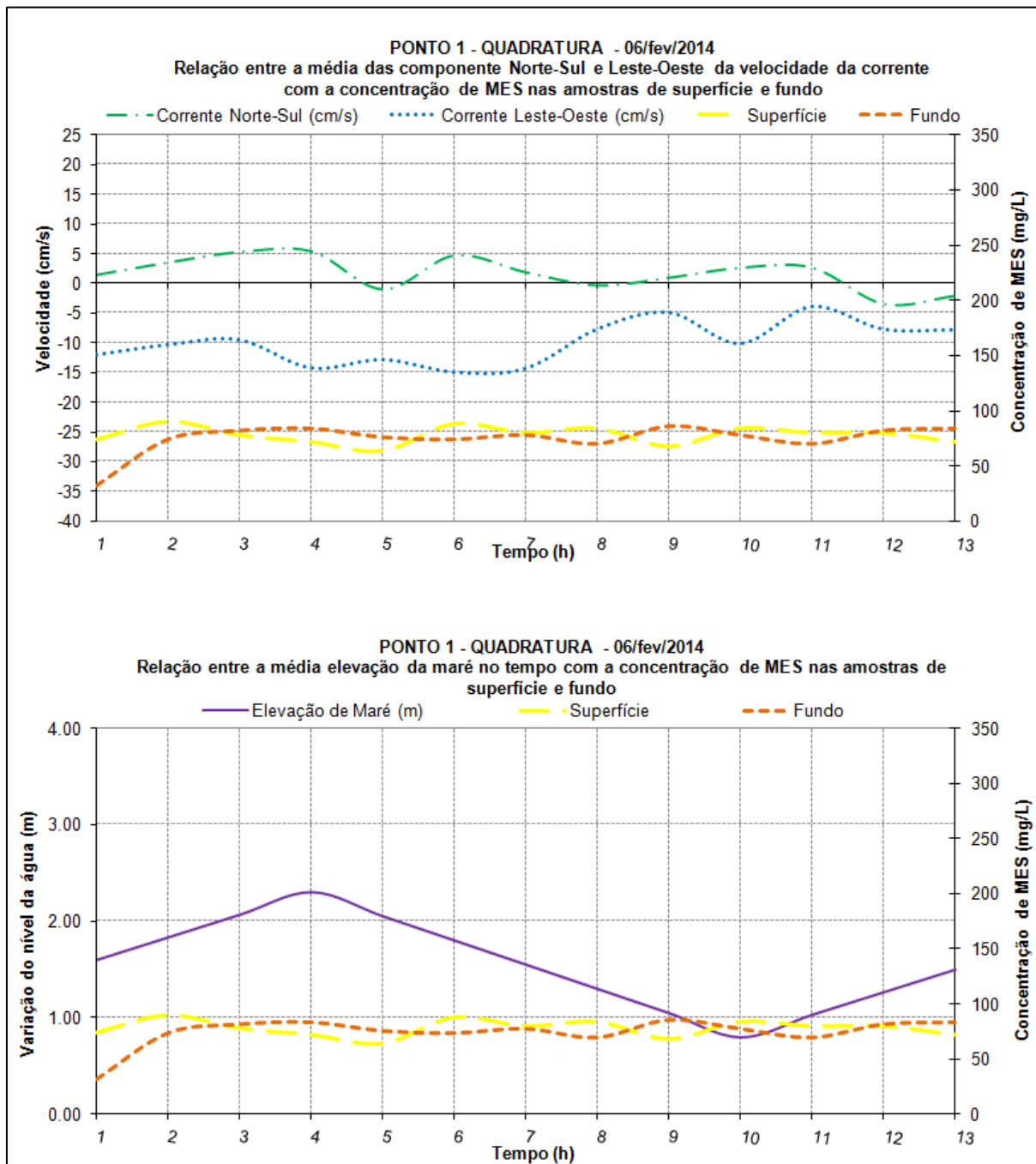
## APÊNDICE A-4

Perfis de Praia de 1 a 7 realizados na Campanha 4 em 13 de dezembro de 2012.



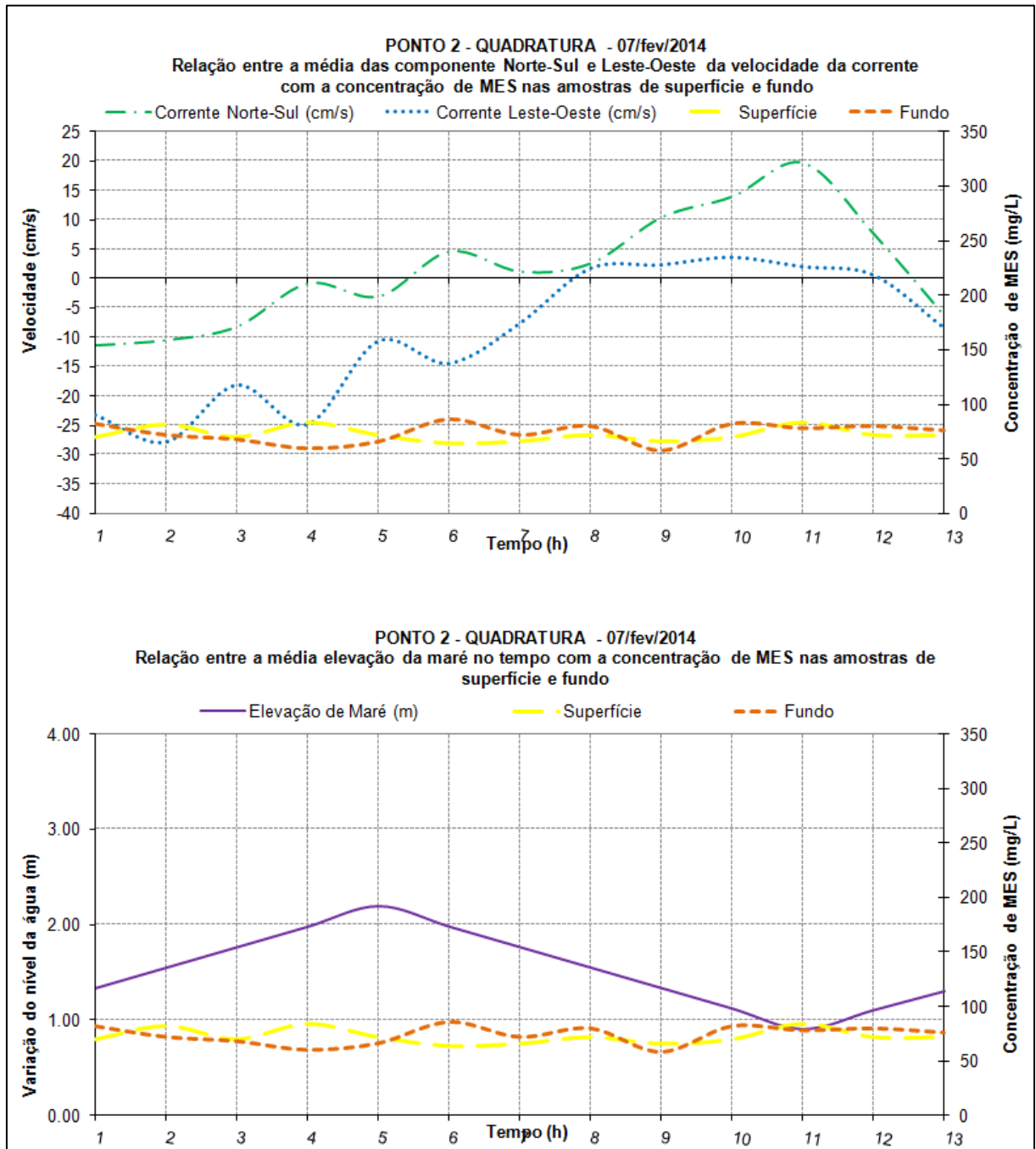
## APÊNDICE B-1

Gráficos de Relação de Material em Suspensão com Componentes N-S e E-W das correntes e Relação de Material em Suspensão com Curva de Maré (Previsão DHN) para a campanha de 06 de fevereiro de 2014.



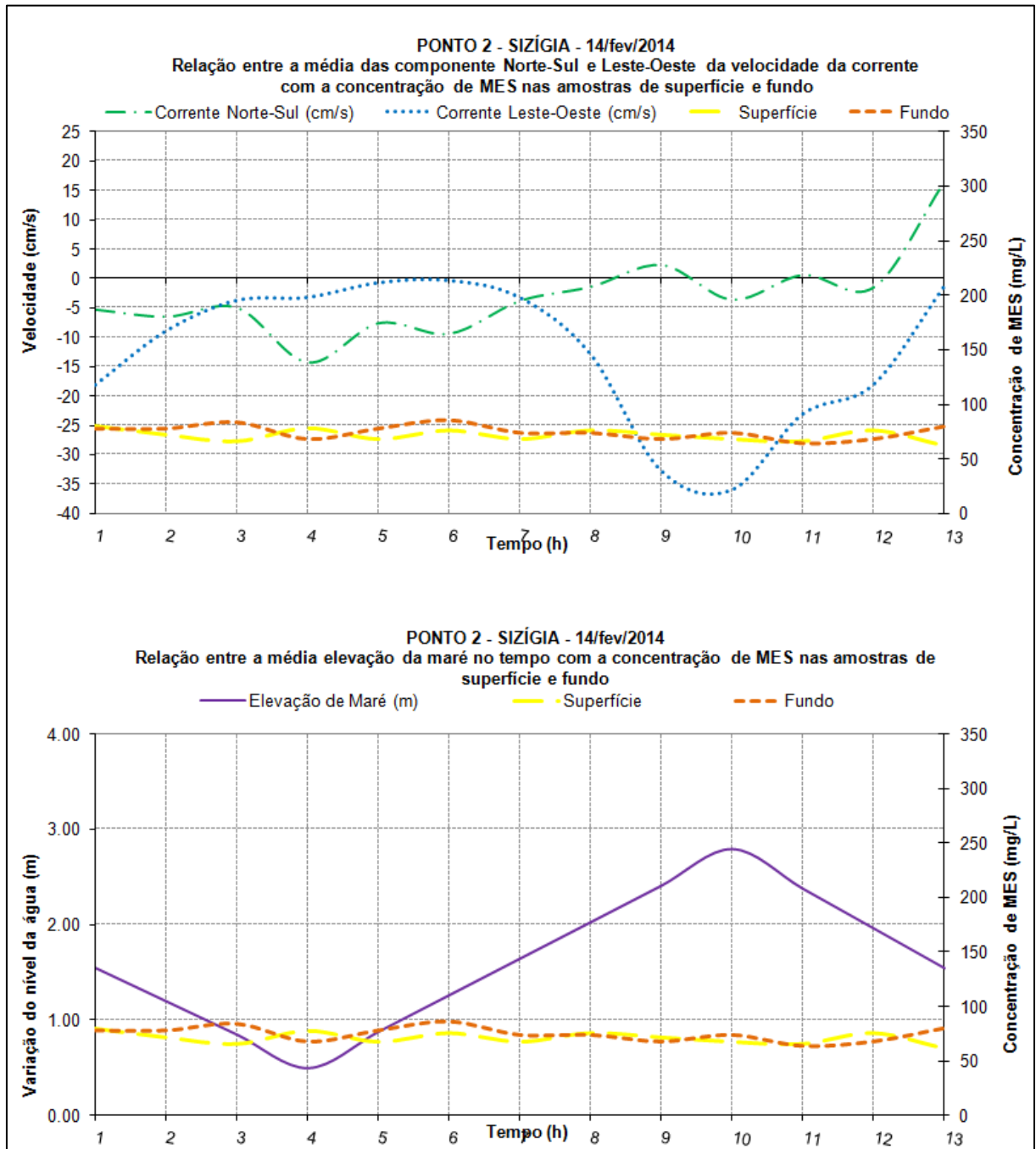
## APÊNDICE B-2

Gráficos de Relação de Material em Suspensão com Componentes N-S e E-W das correntes e Relação de Material em Suspensão com Curva de Maré (Previsão DHN) para a campanha de 07 de fevereiro de 2014.



### APÊNDICE B-3

Gráficos de Relação de Material em Suspensão com Componentes N-S e E-W das correntes e Relação de Material em Suspensão com Curva de Maré (Previsão DHN) para a campanha de 14 de fevereiro de 2014.



## APÊNDICE B-4

Gráficos de Relação de Material em Suspensão com Componentes N-S e E-W das correntes e Relação de Material em Suspensão com Curva de Maré (Previsão DHN) para a campanha de 15 de fevereiro de 2014.

