

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

REQUERIMENTO DA LICENÇA PRÉVIA

(LP – SUDEMA)

ESTALEIRO PEDRA DO INGÁ

LUCENA – PARAÍBA

**João Pessoa-PB
2016**

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

VOLUME II

Capítulo 5 - Diagnóstico Ambiental (5.1 - Meio Físico)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Identificação, coordenadas geográficas e altitude da estação meteorológica do INMET em João Pessoa.....	22
Tabela 2. Variáveis meteorológicas da estação do INMET em João Pessoa, suas respectivas unidades, frequência de medição e as lacunas de dados na série para cada parâmetro analisado.....	23
Tabela 3. Datas, satélites, sensores, bandas espectrais, resolução espacial e órbita/ponto das imagens Landsat utilizadas para a identificação da linha de costa na entrada do estuário do Rio Paraíba.....	64
Tabela 4. Características da grade numérica.....	66
Tabela 5. Variabilidade mensal da precipitação (mm), umidade relativa (%), pressão atmosférica (hPa), velocidade do vento (m/s) e temperatura do ar (°C) para a estação do INMET em João Pessoa	77
Tabela 6. Tabela de eventos extremos com base nos valores de precipitação, considerando o período de 2000 até 2014 da estação do INMET localizada em João Pessoa	80
Tabela 7. Tabela de eventos extremos com base nos valores de vento, considerando o período de 2000 até 2014 da estação do INMET localizada em João Pessoa	85
Tabela 8. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	125
Tabela 9. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	125
Tabela 10. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	125
Tabela 11. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	125
Tabela 12. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	126
Tabela 13. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	126
Tabela 14. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	127
Tabela 15. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	127
Tabela 16. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	127
Tabela 17. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	128
Tabela 18. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	128
Tabela 19. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	128
Tabela 20. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	129
Tabela 21. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	129
Tabela 22. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	130
Tabela 23. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	130
Tabela 24. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	131

Tabela 25. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	131
Tabela 26. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	132
Tabela 27. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo	132
Tabela 28. Relação dos processos DNPM nos entornos da AID do empreendimento .	152
Tabela 29. Variáveis da bacia hidrográfica utilizadas para o cálculo da descarga sedimentar	162
Tabela 30. Médias mensais de Evaporação, Precipitação e Balanço Evaporação-Precipitação para a estação de João Pessoa (INMET 1).....	168
Tabela 31. Médias mensais de Evaporação, Precipitação e Balanço Evaporação-Precipitação para a estação de Campina Grande (INMET 2)	169
Tabela 32. Médias mensais de Evaporação, Precipitação e Balanço Evaporação-Precipitação para a estação de Monteiro (INMET 3)	169
Tabela 33. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água	183
Tabela 34. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água	184
Tabela 35. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água	184
Tabela 36. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água	186
Tabela 37. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água	187
Tabela 38. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água	188
Tabela 39. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água	188
Tabela 40. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água	189
Tabela 41. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água	189
Tabela 42. Principais constituintes de maré para o Porto de Cabedelo disponibilizadas pela FEMAR.....	198
Tabela 43. Principais dimensões do “Navio Tipo”.	216
Tabela 44. Volume do Material a ser dragado	235
Tabela 45. Erro quadrático médio (RMSE) e erro médio percentual absoluto (MAPE) entre dados observados e simulação numérica para o cenário de verão	252

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Critérios de escolha dos pontos de amostragem.	53
Quadro 2. Quadro de usuários cadastrados na AESA, para a Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa com a localização da estação do INMET e a estação utilizada em campo (MET 01) para medição e análise dos parâmetros meteorológicos	22
Figura 2. Exemplo de estação meteorológica convencional	23
Figura 3. Estação meteorológica automática utilizada para realizar as medições em campo	24
Figura 4. Mapa com a localização dos 7e pontos de coleta de sedimento no estuário do Rio Paraíba, Cabedelo	26
Figura 5. Imagem da Draga Van Veen	27
Figura 6. Amostras (a). Alíquota de sedimento (100 g) (b), Lavagem (c), desagregação (d), separação do sedimento lamoso (e) amostras pré-processadas (f).	28
Figura 7. Secagem do sedimento em estufa (a); ensaio de humidade higroscópica: resfriamento no dessecador (b), pesagem (c), aquecimento (d) e amostras de sedimento fino após secagem na estufa a 80°C por 144 horas	29
Figura 8. Desagregação do sedimento após secagem (a); disposição sobre jogo de peneiras (b-c), agitador Eletromecânico (d); amostras peneiradas (e).....	30
Figura 9. Mapa de localização das estações meteorológicas e pluviométricas.....	42
Figura 10. Correntes máximas de vazante para a região de estudo	47
Figura 11. Correntes máximas de enchente para a região de estudo	48
Figura 12. Amostragem de água realizada aos longos das Estações de Amostragem ...	53
Figura 13. Mapa de localização das Estações de Amostragem e Monitoramento	54
Figura 14. Mapa de localização do estuário do rio Paraíba do Norte, com a estrutura do empreendimento e localização do ADCP e estação do INMET	56
Figura 15. ADCP 600 KHz Workhorse Sentinel Teledyne RDI, acoplado a uma estrutura de aço inox com eixo cardã.....	59
Figura 16. Localização do ponto da série temporal de ondas utilizada nas proximidades do estuário do rio Paraíba do Norte (SMC-BRASIL).....	60
Figura 17. Localização das fotografias adicionadas as Figuras 3, 4, 5 e 6.	63
Figura 18. Composição das bandas 4 (R), 5 (G) e 3 (B) do satélite Landsat 7 ETM+ utilizada para o mapeamento da linha de costa, das áreas intermareais vegetadas (A) e áreas supramareais (B) para a Baía de Vitória (Santos et al., 2010)	65
Figura 19. Extensão da grade numérica (painel superior esquerdo). Batimetria associada (painel superior direito) o quadrado rosa delimita o zoom na área do empreendimento. Painel inferior: batimetria do modelo com foco na região de estudo, mostrando a área a	

ser dragada (contorno rosa), a poligonal do empreendimento (contorno preto) e a estação do ADCP (estrela vermelha).....	67
Figura 20. Normais meteorológicas (2000-2014) de João Pessoa, considerando os parâmetros de insolação (horas), nebulosidade (décimos), pressão atmosférica (hPa), velocidade do vento (m/s), precipitação (mm), balanço evaporação menos precipitação (mm), umidade relativa (%) e temperatura do ar (°C).....	70
Figura 21. Rosa dos ventos (2000 até 2014) da estação do INMET localizada em João Pessoa.....	74
Figura 22. Rosa dos ventos (2000 até 2014) da estação do INMET localizada em João Pessoa para os meses de abril, junho, setembro e dezembro	75
Figura 23. Variabilidade mensal da precipitação (mm), umidade relativa (%), pressão atmosférica (hPa), velocidade do vento (m/s) e temperatura do ar (°C) para a estação do INMET em João Pessoa. As iniciais M, J, S e D correspondem aos meses de março, junho, setembro e dezembro, respectivamente	76
Figura 24. Evento extremo de precipitação associado ao desenvolvimento de um CCM em 28/06/2012. A Figura (A) representa a imagem do satélite GOES em 12 UTC para essa data, enquanto a Figura (B) representa a carta sinótica da DHN também em 12 UTC.	81
Figura 25. Evento extremo de precipitação associado ao desenvolvimento de uma OL em 20/05/2011. A Figura (A) representa a imagem do satélite GOES em 12 UTC para esta data, enquanto a Figura (B) representa a carta sinótica da DHN também em 12 UTC....	82
Figura 26. Evento extremo de precipitação associado ao desenvolvimento da ZCIT em 20/02/2011. A Figura (A) representa a imagem do satélite GOES em 07 UTC para essa data, enquanto a Figura (B) representa a carta sinótica da DHN em 12 UTC.....	83
Figura 27. Evento extremo de precipitação associado ao desenvolvimento de uma LI em 09/06/2013. A Figura (A) representa a imagem do satélite GOES em 12 UTC para essa data, enquanto a Figura (B) representa a carta sinótica da DHN em 12 UTC.....	84
Figura 28. Medições na área de influência do empreendimento dos seguintes parâmetros: umidade relativa (%), pressão atmosférica (hPa), velocidade do vento (m/s) e temperatura do ar (°C)	87
Figura 29. Condições meteorológicas e de pressão atmosférica em 04/12/2015. A Figura (A) representa a imagem do satélite GOES em 12 UTC para essa data, enquanto a Figura (B) representa a carta sinótica da DHN também em 12 UTC.	87
Figura 30. Rosa dos ventos (20/11/2015 – 04/12/2015) dos dados medidos em campo através de estação meteorológica automática.....	89

Figura 31. Compartimentação estrutural da Bacia Pernambuco-Paraíba. In: Barbosa (2003).....	91
Figura 32. Exposições da Formação Barreiras nos entornos da AID do empreendimento	96
Figura 33. Formação Barreiras na zona costeira do município de Lucena.....	96
Figura 34. Depósitos flúvio-marinhos na zona costeira do município de Lucena	97
Figura 35. Diversidade de ecossistemas com conteúdo sedimentar incluído nesta classificação geológica.....	97
Figura 36. Perfil do poço 2 IST-01-PE, e micrografias de amostras dos poços.....	98
Figura 37. Perfis estratigráficos obtidos da sondagem SPT realizada na ADA do empreendimento	100
Figura 38. Distribuição granulométrica através do método de peneiramento.....	102
Figura 39. Classificação nominal da análise dos parâmetros estatísticos relacionados ao tamanho da partícula e distribuição granulométrica segundo método de Folk & Ward (1957).....	103
Figura 40. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P1.1	105
Figura 41. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P1.2.	105
Figura 42. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P1.3.	106
Figura 43. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P2.1	106
Figura 44. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P2.2	107
Figura 45. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P2.3	107
Figura 46. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P3.1	108
Figura 47. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P3.2	108
Figura 48. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P3.3	109
Figura 49. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P4.1	109

Figura 50. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P4.2	110
Figura 51. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P4.3	110
Figura 52. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P5.1	111
Figura 53. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P5.2	111
Figura 54. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P5.3	112
Figura 55. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P6.1	112
Figura 56. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P6.2	113
Figura 57. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P6.3	113
Figura 58. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P7.1	114
Figura 59. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P7.2	114
Figura 60. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P7.3	115
Figura 61. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-01-SO	118
Figura 62. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-02-SO	118
Figura 63. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-03-SO	119
Figura 64. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-04-SO	119
Figura 65. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-05-SO	120
Figura 66. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-08-SO	120
Figura 67. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-09-SO	121
Figura 68. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-10-SO	121
Figura 69. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-11-SO	122
Figura 70. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-14-SO	122
Figura 71. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-01	141
Figura 72. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-02	142
Figura 73. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-03	143
Figura 74. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-04	144

Figura 75. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-05	145
Figura 76. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-06	146
Figura 77. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-08	147
Figura 78. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-09	148
Figura 79. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-10	149
Figura 80. Mapa de localização da sondagem SPT na ADA do empreendimento	150
Figura 81. NSPT dos furos de sondagem na ADA do empreendimento	151
Figura 82. Processos DNPM nos entornos da AID do empreendimento.....	153
Figura 83. Baixos Planaltos Costeiros nos entornos da AID do empreendimento.....	154
Figura 84. Baixada Litorânea nos entornos da AID do empreendimento	155
Figura 85. Levantamento Planialtimétrico da ADA.....	157
Figura 86. Áreas Susceptíveis a enchentes na AID do empreendimento (feições com contorno azul)	158
Figura 87. Tendências de comportamento da linha de costa para o Estado da Paraíba	159
Figura 88. Síntese das tendências de comportamento da linha de costa da Paraíba ...	160
Figura 89. A) Mapa de altimetria da bacia do Rio Paraíba / B) Mapa dos tipos de clima na bacia do Rio Paraíba	163
Figura 90. Mapa Síntese dos Níveis de Antropização e dos Riscos Potenciais de Poluição para a bacia do Rio Paraíba	165
Figura 91. Mapa de localização do estuário do rio Paraíba, áreas de mangue, carcinicultura, apicum e área de influência direta do empreendimento.....	166
Figura 92. Mapa de precipitação anual média	167
Figura 93. Gráfico de vazões médias mensais e anuais para a estação Ponte da Batalha	170
Figura 94. Mapa das litologias da bacia de drenagem do rio Paraíba e localização das estações meteorológicas e fluviométricas	171
Figura 95. Mapa de ambientes suscetíveis a enchentes e a assoreamento na Área de Influência Direta (AID) do empreendimento.....	173
Figura 96. Mapa dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba	175
Figura 97. Representação esquemática dos principais aquíferos brasileiros	180
Figura 98. Altura da superfície do mar em relação ao ADCP e correntes paralelas ao eixo do canal no período entre 8 e 20 de dezembro de 2015	192
Figura 99. Corrente residual paralela ao eixo do canal para o período de 8 e 20 de dezembro de 2015. A linha preta representa os valores de correntes e a azul marca o valor de velocidade nula	193

Figura 100. Série temporal da altura significativa (painel superior), direção (painel central) e período (painel inferior) para os dados coletados com o ADCP fundeado.....	194
Figura 101. Rosa das ondas de altura significativa para o período entre 8 e 20 de dezembro de 2015, proveniente do ADCP fundeado no ERPN.....	194
Figura 102. Série temporal de intensidade e direção do vento, proveniente da estação do INMET.....	195
Figura 103. Série temporal de intensidade e direção do vento, proveniente da estação do INMET.....	196
Figura 104. Histograma da maré astronômica.....	198
Figura 105. Histograma da maré meteorológica.....	199
Figura 106. Histograma da altura significativa da onda (Hs).....	199
Figura 107. Histograma da direção da onda.....	200
Figura 108. Histograma do período da onda (Tp).....	200
Figura 109. Função de probabilidade de densidade (PDF) de altura significativa e direção de onda.....	201
Figura 110. Função de probabilidade de densidade (PDF) de altura significativa e período de onda.....	201
Figura 111. Tendências do comportamento da linha de costa em torno da área do empreendimento.....	204
Figura 112. Espigões dentro do ERPN na AID do empreendimento.....	207
Figura 113. Espigões em praia da zona desabrigada na AID do empreendimento.....	208
Figura 114. Sedimentação recente na AID do empreendimento.....	208
Figura 115. Praia com a presença da vegetação de mangue dentro do ERPN.....	209
Figura 116. Linha de costa das imagens Landsat para os seguintes anos: 1973, 1985, 1990, 1996, 2000, 2005, 2010 e 2016.....	210
Figura 117. Mapa de localização das áreas de acreção e erosão no entorno da área de influência direta do empreendimento, período entre 1985 e 2016.....	212
Figura 118. Imagens Landsat de 1973, 1985, 1990, 1996, 2001, 2005, 2010 e 2016, com a vetorização de suas respectivas linhas de costa.....	213
Figura 119. Mapa de localização da área de dragagem dentro do estuário do Rio Paraíba e área de influência direta do empreendimento.....	215
Figura 120. Navio Maersk Eindhoven.....	216
Figura 121. Elementos da tolerância sob a quilha.....	218
Figura 122. Base cartográfica da área a ser dragada.....	223
Figura 123. Mapa com levantamento do canal a ser dragado.....	225
Figura 124. Mapa de localização e distribuição espacial dos perfis sísmicos.....	226

Figura 125. Perfil a)	229
Figura 126. Perfil b)	229
Figura 127. Perfil c)	230
Figura 128. Perfil d)	230
Figura 129. Perfil e)	230
Figura 130. Informações da Sondagem com Jet Probe Descrita	233
Figura 131. Sondagens geotécnicas (jet-probe e rotativa) no canal de acesso ao Porto de Cabedelo.....	233
Figura 132. Representação esquemática da definição das regiões calculadas a partir da linha de base.....	236
Figura 133. Mapa do volume que deverá ser dragado na AID do empreendimento.....	238
Figura 134. Representação dos blocos de cálculo, contendo superfície batimétrica e de base total	238
Figura 135. Prováveis bota-fora da dragagem de instalação do empreendimento.....	240
Figura 136. Dragagem autotransportadora do tipo “Hopper”	241
Figura 137. Linha de recalque de material fragmentado pela dragagem com cabeça cortadora	243
Figura 138. Cálculo da área de concessão da dragagem de manutenção no GPS TrackMaker Pro.....	245
Figura 139. AASM e correntes médias da coluna d'água paralelas ao eixo do canal observadas e modeladas no período entre 8 e 20 de dezembro de 2015	248
Figura 140. Correlação entre as AASM observadas e modeladas. Coeficiente de correlação R2 igual 0,99	249
Figura 141. Correntes máximas de vazante com médias verticais para a região de estudo no dia 14/12/2015 às 22h.....	250
Figura 142. Correntes máximas de enchente com médias verticais para a região de estudo no dia 14/12/2015 às 15h	251
Figura 143. Correntes residuais com média vertical para a região de estudo para o período entre 8/12/2015 e 20/12/2015.....	252
Figura 144. Rosa das ondas de altura significativa para o período entre 8 e 20 de dezembro de 2015, proveniente da modelagem utilizando o Delft3D-WAVE.....	254
Figura 145. Mapa da altura significativa média de onda, direção (setas) e período (contorno pretos) modelado para o mês de dezembro de 2015	255
Figura 146. Mapa da altura significativa máxima de onda, direção (setas) e período (contorno preto) modelado para o dia 11 de dezembro de 2015 às 19h.....	256

Figura 147. AASM e correntes médias da coluna d'água paralelas ao eixo do canal modeladas no período entre 1 e 30 de julho de 2015.....	257
Figura 148. Correntes máximas de vazante com média vertical para a região de estudo no dia 16/07/2015 às 08h.....	258
Figura 149. Correntes máximas de vazante com média vertical para a região de estudo no dia 16/07/2015 às 08h.....	259
Figura 150. Correntes máximas de vazante com média vertical para a região de estudo no dia 16/07/2015 às 08h.....	260
Figura 151. Série temporal da altura significativa (painel superior), direção (painel central) e período (painel inferior) entre 2 a 15 de junho de 2015, para os dados modelados com o Delft3D-WAVE (linha vermelha) para o ponto de amostragem do ADCP	261
Figura 152. Rosa das ondas de altura significativa para o mês de junho (inverno) de 2015, proveniente da modelagem utilizando o Delft3D-WAVE	262
Figura 153. Mapa da média da altura significativa de onda, direção (setas) e período (contorno preto) modelado para o mês de junho de 2015	263
Figura 154. Mapa da altura significativa máxima de onda, direção (setas) e período (contorno preto) modelado para o mês 3 de junho de 2015 às 4 h da manhã	264

SIGLAS E ABREVIações

AASM	Anomalia da Altura da Superfície do Mar
ADA	Área Diretamente Afetada
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
AGC	Automatic Gain Control
AID	Área de Influência Direta
AII	Área de Influência Indireta
ANA	Agência Nacional de Águas
ASAS	Anticiclones Subtropicais do Atlântico Sul
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BELOV	Equipamentos e Serviços Marítimos LTDA
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP	Carbono Orgânico Particulado
COT	Carbono Orgânico Total
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EAM	Estações de Amostragem e Monitoramento
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EDPI	Empresa de Docagens Pedra do Ingá
ERPN	Estuário do Rio Paraíba do Norte
FEMAR	Fundação de Estudos do Mar
FIT	Ficha de Informação Toxicologia
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE's	Modelos Digitais de Elevação
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NEB	Nordeste do Brasil
PERH-PB	Plano Estadual de Recursos Hídricos
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SERHMACT	Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SMC-Brasil	Sistema de Modelagem Costeira do Brasil
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SPT	Standard Penetration Test



MCQUILLING PARTNERS, INC.



TEAR	Topo do Embasamento Acústico Rochoso
TIN	Triangulated Irregular Network
TVG	Time Variable Gain
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

5. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	20
5.1 MEIO FÍSICO	20
5.1.1 Metodologia.....	20
5.1.1.1 CLIMA E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS.....	20
5.1.1.1.1 DADOS HISTÓRICOS	20
5.1.1.1.2 DADOS MEDIDOS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO EMPREENDIMENTO	24
5.1.1.2 GEOLOGIA/PEDOLOGIA	25
5.1.1.2.1 LEVANTAMENTO GEOLÓGICO AID.....	25
5.1.1.2.2 GRANULOMETRIA.....	26
5.1.1.2.2.1 Amostragem Do Sedimento	26
5.1.1.2.2.2 Processamento das Amostras	27
5.1.1.2.2.2.1 Lavagem.....	27
5.1.1.2.2.2.2 Secagem	29
5.1.1.2.2.2.3 Peneiramento e Pesagem	30
5.1.1.2.2.3 Análise de Dados	31
5.1.1.2.2.4 Parâmetros Analisados	31
5.1.1.2.3 GEOQUÍMICA	31
5.1.1.2.4 LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO AID	37
5.1.1.2.5 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA ADA	38
5.1.1.2.6 ANÁLISE DO POTENCIAL MINERAL DA AID	38
5.1.1.3 GEOMORFOLOGIA.....	39
5.1.1.3.1 LEVANTAMENTO DOS ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	39
5.1.1.3.2 LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO DA ADA.....	40
5.1.1.4 RECURSOS HÍDRICOS	40
5.1.1.4.1 HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA	40
5.1.1.4.1.1 Bacia Hidrográfica	40
5.1.1.4.1.2 Balanço Evaporação Precipitação (E-P).....	41
5.1.1.4.1.3 Descarga Fluvial.....	42
5.1.1.4.1.4 Descarga Sedimentar	43
5.1.1.4.1.5 Áreas Susceptíveis a Assoreamento ou Enchentes	44
5.1.1.4.2 QUALIDADE DA ÁGUA	45
5.1.1.5 OCEANOGRAFIA E HIDRODINÂMICA COSTEIRA	55
5.1.1.5.1 DADOS COLETADOS	57
5.1.1.5.2 DADOS HISTÓRICOS	59
5.1.1.5.3 DEFINIÇÃO DOS SETORES DA COSTA COM TENDÊNCIA A ACREÇÃO E EROSÃO	60
5.1.1.5.4 LEVANTAMENTO HISTÓRICO DA GEOMORFOLOGIA COSTEIRA.....	61
5.1.1.5.4.1 Levantamento Fotográfico	63

5.1.1.5.4.2 Imagens de Satélite.....	63
5.1.1.6 CÁLCULOS RELATIVOS À DRAGAGEM	65
5.1.1.7 MODELAGEM	65
5.1.2 Clima e Condições Meteorológicas	68
5.1.2.1 NORMAIS METEOROLÓGICAS	69
5.1.2.2 VARIABILIDADE MENSAL E ANUAL	75
5.1.2.3 OCORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS	79
5.1.2.4 DADOS MEDIDOS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO EMPREENDIMENTO	85
5.1.3 Geologia/Pedologia.....	89
5.1.3.1 CARACTERIZAÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA E ESTRUTURAL	89
5.1.3.1.1 EMBASAMENTO CRISTALINO.....	92
5.1.3.1.2 GRUPO PARAÍBA	92
5.1.3.1.2.1 Formação Beberibe.....	92
5.1.3.1.2.2 Formação Itamaracá	93
5.1.3.1.2.3 Seção Carbonática da Bacia Pe-Pb (Fm Gramame e Maria Farinha)	93
5.1.3.1.3 FORMAÇÃO BARREIRAS.....	95
5.1.3.1.4 SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS RECENTES.....	96
5.1.3.2 SEDIMENTOLOGIA.....	98
5.1.3.2.1 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DA ADA	100
5.1.3.2.1.1 Porção Emersa	100
5.1.3.2.1.2 Porção Submersa.....	101
5.1.3.2.1.2.1 Granulometria.....	102
5.1.3.2.1.2.2 Geoquímica.....	115
5.1.3.2.2 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DA AID	117
5.1.3.2.2.1 Granulometria.....	117
5.1.3.2.2.2 Geoquímica.....	124
5.1.3.3 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS E CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	133
5.1.3.4 POTENCIAL MINERAL E SITUAÇÃO LEGAL	151
5.1.4 Geomorfologia	153
5.1.4.1 DESCRIÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA	153
5.1.4.2 LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO DA ADA E ANÁLISE DE RISCO	154
5.1.5 Recursos Hídricos	160
5.1.5.1 HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA	160
5.1.5.1.1 BACIA HIDROGRÁFICA.....	162
5.1.5.1.2 BALANÇO EVAPORAÇÃO – PRECIPITAÇÃO (E-P)	166
5.1.5.1.3 DESCARGA FLUVIAL	169
5.1.5.1.4 DESCARGA SEDIMENTAR	171
5.1.5.1.5 ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ENCHENTES E ASSOREAMENTOS.....	172
5.1.5.1.6 ÓRGÃO GESTOR DA BACIA.....	173

5.1.5.1.7 ESTIMATIVAS DE USO DA ÁGUA PELO EMPREENDIMENTO	175
5.1.5.1.8 PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NA AID	176
5.1.5.1.9 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS NA ADA PELO EMPREENDIMENTO	180
5.1.5.2 QUALIDADE DA ÁGUA	181
5.1.6 Oceanografia e Hidrodinâmica Costeira.....	190
5.1.6.1 DADOS OBSERVADOS	190
5.1.6.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO	195
5.1.6.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	197
5.1.6.4 DIAGNÓSTICO DA PROGRADAÇÃO E EROSÃO COSTEIRA	202
5.1.6.5 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA GEOMORFOLOGIA DA LINHA DE COSTA	205
5.1.6.5.1 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS E LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO	205
5.1.6.5.2 IMAGENS DE SATÉLITE.....	209
5.1.7 Assoreamento, Necessidade de Dragagem de Aprofundamento e Previsão de Dragagens de Manutenção.....	213
5.1.7.1 DRAGAGEM DE IMPLANTAÇÃO	214
5.1.7.1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA A SER DRAGADA	215
5.1.7.1.2 VOLUME ESTIMADO DE MATERIAL A SER DRAGADO	215
5.1.7.1.2.1 Movimentos Verticais	217
5.1.7.1.2.2 Folga Sob a Quilha Devido à Natureza do Solo	216
5.1.7.1.2.3 Relação Velocidade/Calado	219
5.1.7.1.2.4 Squart.....	219
5.1.7.1.2.5 Profundidade Mínima do Canal de Acesso	220
5.1.7.1.2.6 Batimetria da Área de Dragagem	221
5.1.7.1.2.7 Sondagem com Jet Probe	231
5.1.7.1.2.8 Análise do Pacote Sedimentar a Luz dos Estudos Apresentados	234
5.1.7.1.2.9 Cálculos do Volume de Sedimentos da Dragagem	235
5.1.7.1.3 ÁREAS DE DESCARTE (BOTA-FORA)	238
5.1.7.1.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS DA DRAGAGEM	241
5.1.7.1.5 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS	241
5.1.7.2 DRAGAGEM DE MANUTENÇÃO.....	244
5.1.7.2.1 ASSOREAMENTO E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO NO CANAL	243
5.1.7.2.2 PERIODICIDADE E VOLUMES DE MANUTENÇÃO	244
5.1.8 Modelagem.....	247
5.1.8.1 VERÃO.....	247
5.1.8.2 INVERNO	256
5.1.8.3 CONCLUSÕES	264
REFERÊNCIAS.....	267

Capítulo 5

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

5. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

5.1 MEIO FÍSICO

O estudo do Meio Físico em um EIA/RIMA compreende uma análise da Área de Influência na implantação do empreendimento e deverá ser apresentado por partes específicas, compostas pela metodologia aplicada, dados coletados, análise de dados, discussão e resultados.

Neste estudo será demonstrado as características dos fatores que compõem o meio físico, como sejam, o Clima e Condições Meteorológicas, a Geologia e Pedologia, a Geomorfologia, os Recursos Hídricos, a Oceanografia e Hidrodinâmica Costeira, o Assoreamento com as devidas especificações de volume de dragagem com previsão e manutenção, além da indicação das áreas de descarte. Será ainda apresentado a modelagem numérica realizada com os dados da batimetria atualizada.

Para executar este trabalho de Diagnóstico Ambiental do Meio Físico, a Empresa Real Consultoria e Soluções Ltda., responsável pelo EIA/RIMA deste Estaleiro, contratou a BELOV - Equipamentos e Serviços Marítimos Ltda, empresa especializada na construção de Obras Civas Portuárias e Subaquáticas, Lançamentos de Cabos Submarinos, Batimetrias, Medições de Correntes Marinhas e demais serviços portuários. Sua equipe de trabalho compreende profissionais das áreas de engenharia e oceanografia e os levantamentos de dados foram realizados no período de 04/11/15 à 15/12/15.

5.1.1 Metodologia

5.1.1.1 CLIMA E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

5.1.1.1.1 DADOS HISTÓRICOS

Para caracterizar o clima da região, foram analisados 15 anos consecutivos de dados no período compreendido entre 2000 até 2014, provenientes de uma estação meteorológica convencional do (INMET), instalada em João Pessoa. A identificação, coordenadas geográficas e altitude da estação estão evidenciadas na **Tabela 1**, e são complementadas pelo mapa da **Figura 95**. Todas as variáveis meteorológicas e suas respectivas unidades estão

sumarizadas na **Tabela 2**. Este registro observado de longo período faz parte do banco de dados do INMET, o qual abriga séries históricas de dados meteorológicos horários, diários e mensais de uma ampla rede de estações convencionais espalhadas pelo Brasil. As medições são realizadas de acordo com as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial.

Uma estação meteorológica convencional é composta de vários sensores isolados que registram continuamente os parâmetros meteorológicos (**Figura 2**), os quais são lidos e anotados por um observador a cada intervalo e este os envia para um centro coletor por meio de comunicação qualquer. No caso da estação de João Pessoa, os dados são coletados diariamente em 00, 12 e 18 UTC. O período de 2000 até 2014 foi selecionado para o presente relatório, pois além de compor o período mais recente do registro histórico, também apresenta poucas lacunas nas séries temporais dos parâmetros meteorológicos, conforme indica a **Tabela 2**. Os valores mensais foram considerados somente se o mês apresentasse uma porcentagem igual ou maior do que 80% de dados referentes à variável meteorológica em questão. Além disso, foi realizada uma filtragem das séries para evitar a presença de dados espúrios nas análises. Para isso, foi considerado o seguinte limite estatístico para o descarte dos dados:

$$LIM = \bar{X} \pm 3\sigma,$$

Onde \bar{X} representa a média da variável meteorológica e σ representa o desvio padrão da série. Para auxiliar na descrição dos eventos extremos e caracterizar os fenômenos atmosféricos regionais e locais atuantes na região de interesse, foram utilizadas imagens do Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) e as cartas de pressão ao nível do mar disponibilizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. As imagens do GOES utilizadas são de alta resolução no canal infravermelho, banda 4, projeção América do Sul, disponibilizadas no banco de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

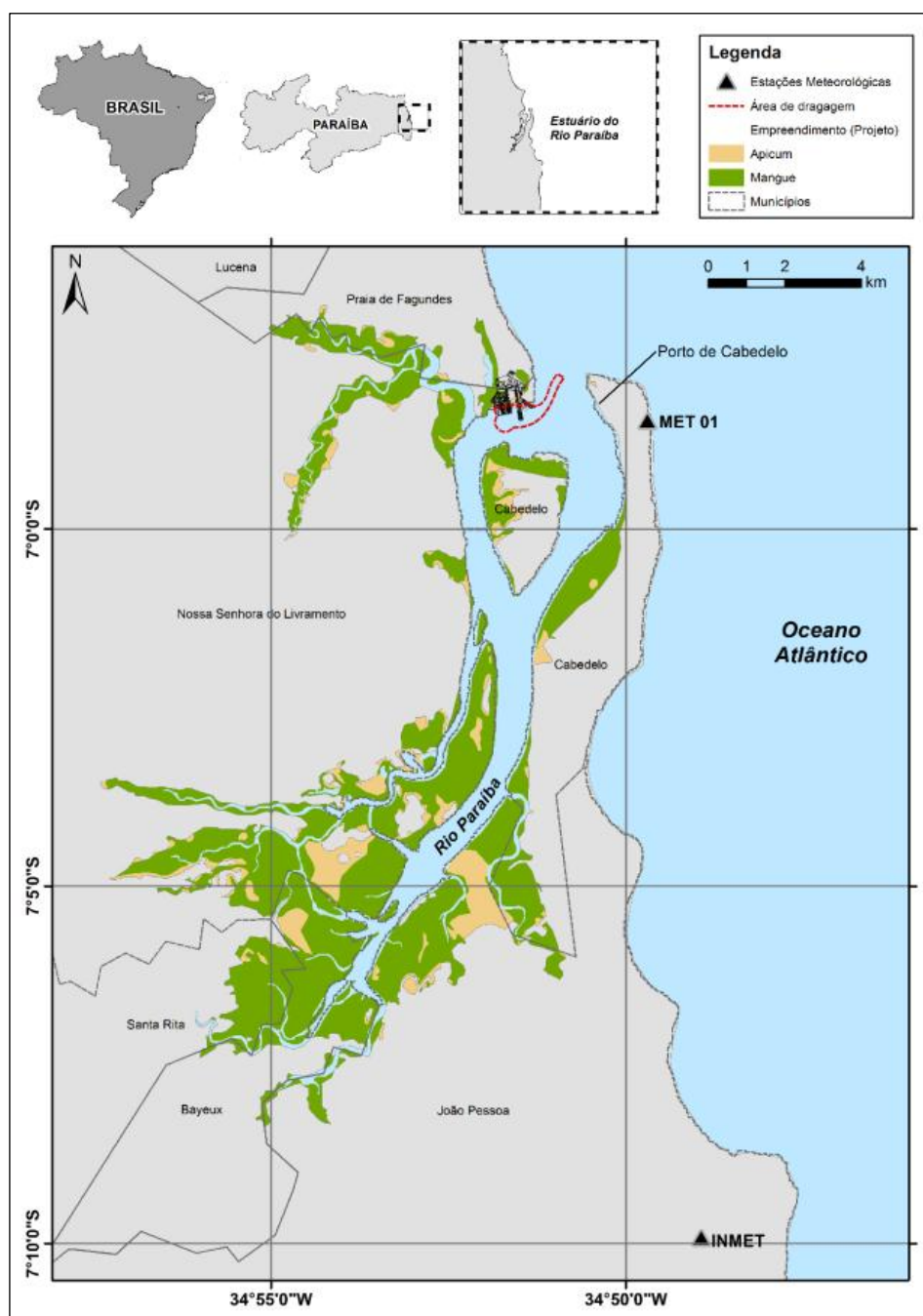


Figura 1. Mapa com a localização da estação do INMET e a estação utilizada em campo (MET 01) para medição e análise dos parâmetros meteorológicos. (Fonte. BELOV, 2015)

Tabela 1 - Identificação, coordenadas geográficas e altitude da estação meteorológica do INMET em João Pessoa. (Fonte. BELOV, 2016)

NÚMERO DA ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
82798	-7,10°S	-34,87°W	7,43 m



Figura 2. Exemplo de estação meteorológica convencional. (Fonte. BELOV, 2015)

Tabela 2. Variáveis meteorológicas da estação do INMET em João Pessoa, suas respectivas unidades, frequência de medição e as lacunas de dados na série para cada parâmetro analisado. (Fonte. BELOV, 2015)

VARIÁVEIS	UNIDADE	FREQUÊNCIA	LACUNAS NA SÈRIE (%)
Pressão atmosférica	hPa	Diária (00, 12, 18 UTC)	0,02
Nebulosidade	Décimos	Diária (00, 12, 18 UTC)	0,01
Insolação	Horas	Diária (00, 12, 18 UTC)	0,01
Velocidade do Vento	m/s	Diária (00, 12, 18 UTC)	0,93
Direção do vento	Graus	Diária (0 0, 12, 18 UTC)	0,03
Umidade Relativa	%	Diária (00, 12, 18 UTC)	5,67
Temperatura Bulbo Úmido	°C	Diária (00, 12, 18 UTC)	0,61
Temperatura Bulbo Seco	°C	Diária (00, 12, 18 UTC)	0,19
Temperatura Máxima	°C	Diária (00 UTC)	0,24
Temperatura Mínima	°C	Diária (12 UTC)	0,71
Precipitação	Mm	Diária (12 UTC)	0,04
Evaporação	Mm	Diária (00 UTC)	0,81

5.1.1.1.2 DADOS MEDIDOS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO EMPREENDIMENTO

Com o objetivo de fornecer dados adicionais à caracterização, foi instalada uma estação meteorológica automática ITWH-1080 em Cabedelo (6.9747S e -34.8283W) (**Figura 3**). Esta estação coletou dados da velocidade e direção do vento, temperatura do ar, pressão atmosférica, precipitação e umidade relativa entre 20/11/2015 e 04/12/2015, o que resultou em um total de 15 dias de medição.



Figura 3. Estação meteorológica automática utilizada para realizar as medições em campo. (Fonte. BELOV, 2015)

Essas variáveis foram medidas em intervalos de 15 minutos, com médias a cada 4 horas. A localização da estação está definida no mapa da **Figura 1**. A estação foi instalada em uma altitude de aproximadamente 30m, no topo de um edifício. Por isso, os valores de velocidade do vento foram corrigidos para a altitude de 10m, conforme equação abaixo:

$$U(10m) = U(Z) \cdot (10/Z)^{1/7}$$

Isso possibilitou que os dados desta estação fossem comparados aos dados da estação do INMET, que se encontra em uma altitude de 7,43m. Entretanto, vale ressaltar que a estação automática foi instalada na orla de Cabedelo, próximo à entrada do canal de navegação, enquanto a estação do INMET se encontra mais afastada, conforme pode ser visualizado na **Figura 1**, o que pode acarretar em variações locais dos ventos medidos.

5.1.1.2 GEOLOGIA/PEDOLOGIA

5.1.1.2.1 LEVANTAMENTO GEOLÓGICO AID

O objetivo principal desta etapa foi mapear e cartografar as litologias encontradas na Área de Influência Direta do empreendimento, de modo a facilitar a compreensão de quais processos naturais ou antrópicos poderiam ser causados ou potencializados a partir da instalação e operação da atividade proposta.

A estratégia adotada para o mapeamento consistiu no registro e descrição das diversas litologias encontradas ao longo dos perfis geológicos realizados, os quais seguiram quase sempre uma direção E-W, buscando uma separação espacial entre as unidades geológicas aflorantes na faixa litorânea das unidades mais continentais, aflorantes sobre o tabuleiro costeiro. A compreensão da relação entre as litologias é de fundamental importância para o traçado real da geologia. No intuito de dirimir quaisquer dúvidas extracampo quanto às características petrográficas dos litotipos representativos de cada unidade geológica mapeada, foram coletadas e arquivadas amostras de rochas e sedimentos encontrados ao longo dos perfis realizados.

Nesta etapa também foi feita uma análise minuciosa dos afloramentos encontrados, visando identificar eventuais estruturas geológicas, como, por exemplo, falhas com indicativos de reativação tectônica, que pudessem de alguma forma interferir na integridade das construções ligadas a implantação do estaleiro.

Todos os dados foram levantados com o uso de um GPS de mão da marca Garmin, modelo Oregon 550, com precisão totalmente compatível com o serviço em questão.

5.1.1.2.2 GRANULOMETRIA

5.1.1.2.2.1 AMOSTRAGEM DO SEDIMENTO

As amostras de sedimento foram coletadas em sete pontos distribuídos ao longo do estuário do Rio Paraíba, Cabedelo (**Figura 4**). A escolha dos pontos foi motivada pela necessidade de caracterizar o sedimento nas proximidades do empreendimento. O ponto 1, 2, 3 e 6 são responsáveis por caracterizar o sedimento adjacente ao empreendimento, anteriormente ao mesmo (ponto 1), na bacia de evolução (ponto 2) e no canal de dragagem (ponto 3 e 6). Os pontos 4 e 5 são utilizados para analisar o sedimento em uma área com histórico de dragagens. Por fim, o ponto 7 está localizado no canal de entrada do estuário.

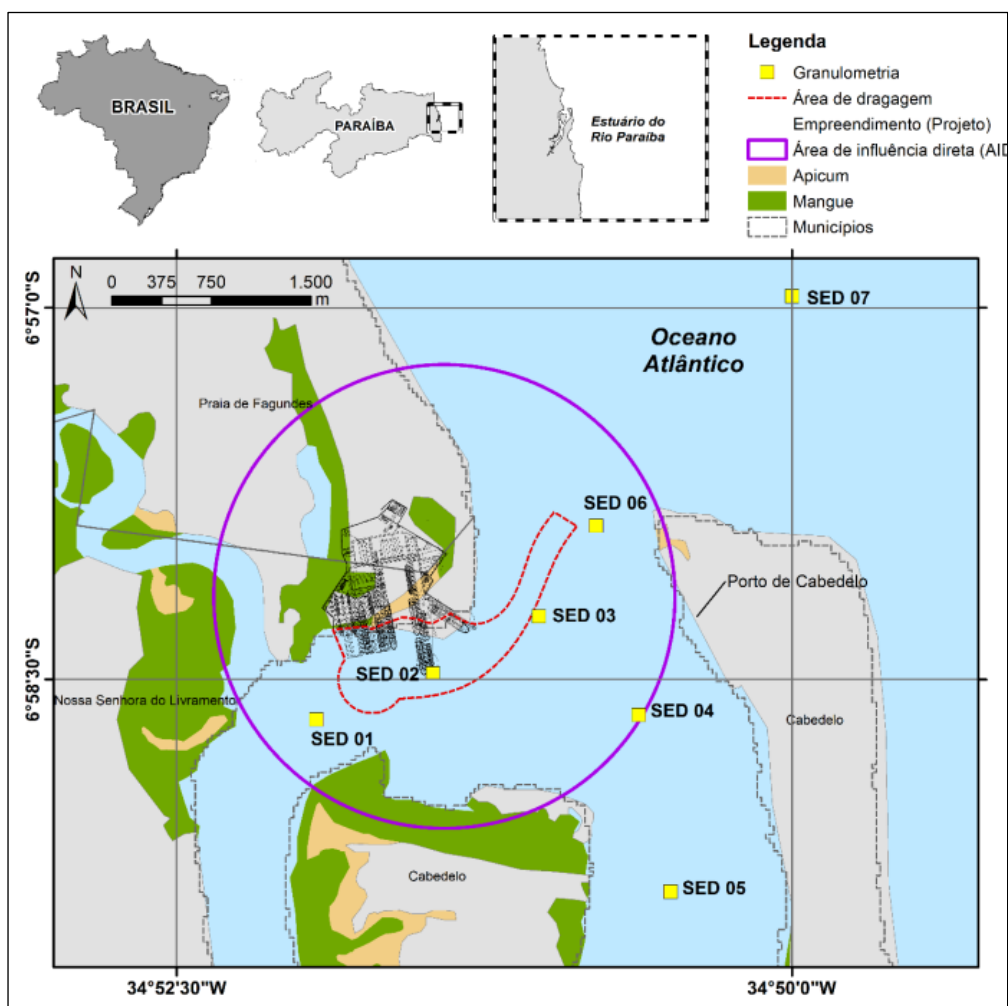


Figura 4. Mapa com a localização dos 7 pontos de coleta de sedimento no estuário do Rio Paraíba, Cabedelo. (Fonte. BELOV, 2015)

Em cada ponto foram coletadas, aleatoriamente, três réplicas com o auxílio de uma draga Van Veen (**Figura 5**). As amostras de sedimento foram retiradas usando uma pá plástica e, posteriormente, armazenadas em recipientes de plásticos. Todas as amostras foram acondicionadas em caixas isotérmicas contendo gelo, o que permitia a manutenção dos recipientes a uma temperatura estimada de 4 °C.



Figura 5. Imagem da Draga Van Veen. (Fonte. BELOV, 2015)

5.1.1.2.2.2 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

A composição granulométrica dos sedimentos foi determinada de acordo com o método proposto por Suguio (1973) e adaptado para utilização em sedimentos marinhos.

5.1.1.2.2.2.1 LAVAGEM

As amostras de sedimento (**Figura 6 (a)**) foram homogeneizadas e uma alíquota de 100g de sedimento (**Figura 6 (b)**) foi tomada para o processamento das análises. Em seguida, as amostras foram submetidas a lavagem (**Figura 6 (c)**), que consistiu no acondicionamento do material em um recipiente de 1000ml preenchido com 500ml de água da torneira e agitado vigorosamente por 2 minutos (**Figura 6 (d)**). O objetivo desse procedimento é: i) a

separação do sedimento arenoso (partículas com diâmetro superior a 0,063mm) do sedimento lamoso (partículas com diâmetro inferior a 0,063mm) ii) a desagregação das partículas de sedimento lamoso, e iii) remoção do sal da amostra. Após a agitação, o sedimento foi dispensado sobre a peneira de 0,063mm para separação do sedimento arenoso do lamoso (**Figura 6 (e)**). O sedimento arenoso retido na peneira foi acondicionado em placas de Petri e o sedimento fino (i.e. silte e argila) em suspensão que passou pela peneira de 0,063mm foi acondicionado em um béquer, e após o assentamento das partículas em suspensão (cerca de 48 horas), a água foi drenada (**Figura 6 (f)**). Os recipientes contendo os sedimentos arenosos e lamosos foram submetidos ao procedimento de secagem

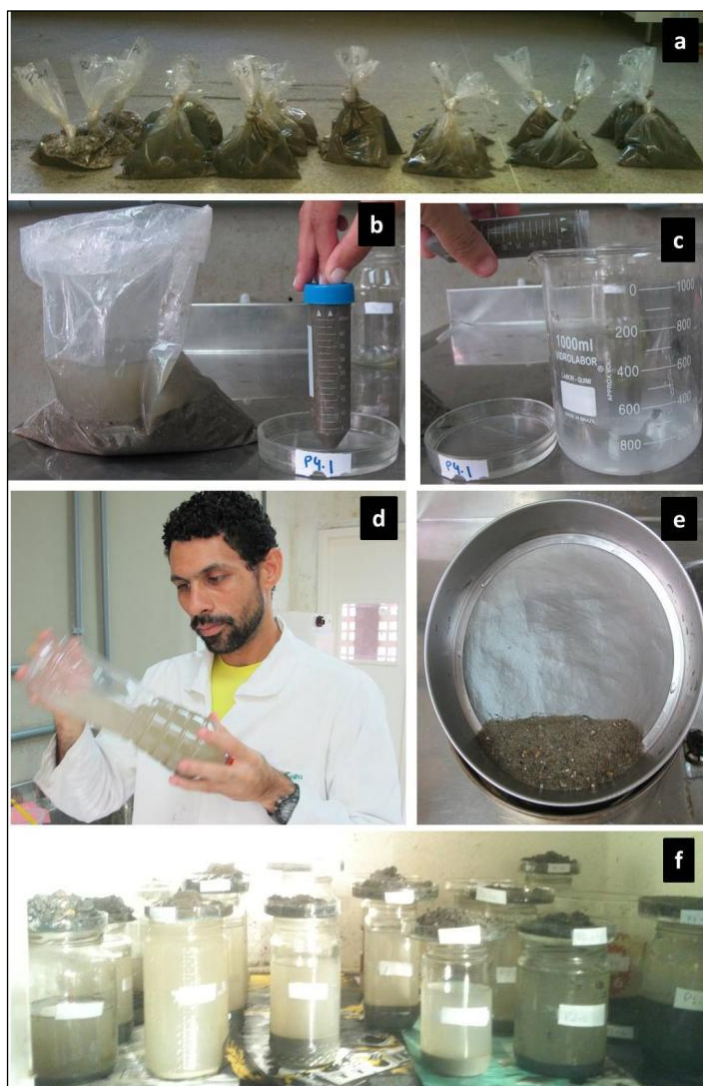


Figura 6. Amostras (a). Alíquota de sedimento (100 g) (b), Lavagem (c), desagregação (d), separação do sedimento lamoso (e) amostras pré-processadas (f). (Fonte. BELOV, 2015)

5.1.1.2.2.2 SECAGEM

Os sedimentos arenosos acondicionados em placas de Petri foram secados em estufa (**Figura 7 (a)**) por 96h (quatro dias) a uma temperatura de 60°C. Após o período de secagem foi realizado o ensaio de umidade higroscópica, que avalia o percentual de diminuição de massa da amostra devido à absorção da humidade presente no ar. Dessa forma, as amostras foram retiradas da estufa e acondicionadas em dessecador (**Figura 7 (b)**) com agente de absorção de umidade (i.e. sílica) até atingirem temperatura ambiente (cerca de 20 minutos). Em seguida, as amostras foram pesadas (**Figura 7 (c)**) e levadas novamente à estufa por duas horas (**Figura 7 (d)**), dessecador (20 minutos) e novamente pesadas. Quando o resultado apresentou diferença superior a 5%, o procedimento foi repetido até que a amostra atingisse peso constante. As amostras de sedimento fino foram secadas em estufa a 80°C em Béquer por 144 horas (seis dias) (**Figura 7 (e,f)**). Após secagem, o sedimento foi macerado, submetido ao ensaio de umidade higroscópica e em seguida pesado.

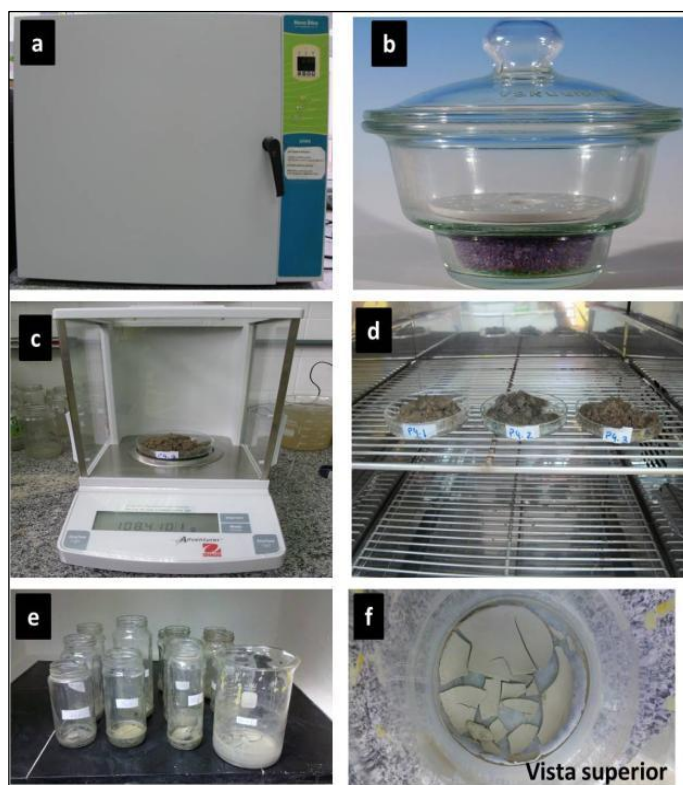


Figura 7. Secagem do sedimento em estufa (a); ensaio de umidade higroscópica: resfriamento no dessecador (b), pesagem (c), aquecimento (d) e amostras de sedimento fino após secagem na estufa a 80°C por 144 horas. (Fonte. BELOV, 2015)

5.1.1.2.2.3 PENEIRAMENTO E PESAGEM

Após secagem, as amostras foram submetidas ao processo de desagregação com auxílio de um almofariz e pistilo de cerâmica (**Figura 8 (a)**). Neste procedimento as amostras foram delicadamente movimentadas para separar os grãos que por ventura tenham se grudado devido a resquícios de sal ou argila. Em seguida os grãos foram dispensados sobre o jogo de peneiras (**Figura 8 (b,c)**) e submetidos ao procedimento de peneiramento. Esse procedimento consiste na separação do sedimento em função das classes de tamanho do grão de acordo com a escala Wentworth. Para isso, foi utilizado um agitador eletromecânico (**Figura 8 (d)**) e uma série de peneiras para a separação das frações de seixo (4,00mm), grânulo (2,00mm), areia muito grossa (1,00mm), areia grossa (0,50mm), areia média (0,250mm), areia fina (0,125mm), areia muito fina (0,063mm) e silte mais argila (menor que 0,063mm). Após peneiramento, cada fração da amostra retida na peneira (**Figura 8 (e)**) foi pesada em balança analítica (**Figura 7 (c)**) com precisão de 0,0001g. Após processamento, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e guardadas.

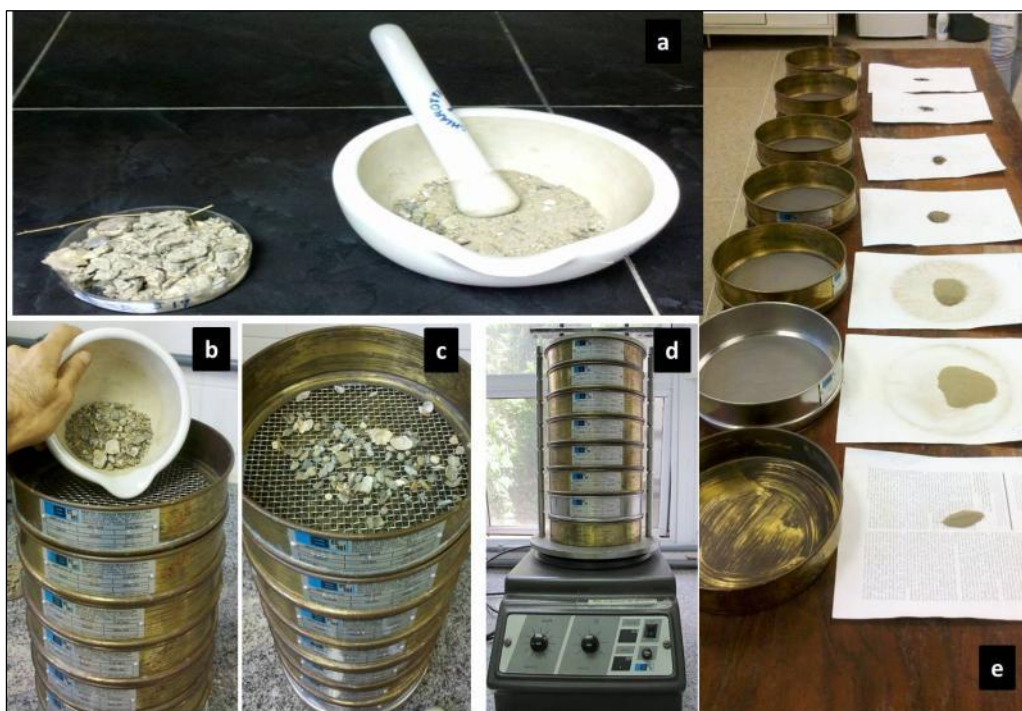


Figura 8. Desagregação do sedimento após secagem (a); disposição sobre jogo de peneiras (b-c), agitador Eletromecânico (d); amostras peneiradas (e). (Fonte. BELOV, 2015)

5.1.1.2.2.3 ANÁLISE DE DADOS

Após peneiramento e pesagem das frações retidas em cada peneira, os valores registrados foram inseridos em planilha eletrônica. Os dados organizados em escala (ϕ) foram analisados no software de análises e gráficos Sysgran® versão 3.0 (Camargo, 2006). Os resultados foram expressos em forma de tabelas de peso da amostra em cada intervalo de classe e parâmetros estatísticos associados ao tamanho da partícula. Outra tabela a ser apresentada corresponde às classificações nominais de parâmetros estatísticos fornecidos pelo Sysgran (Média, Seleção, Assimetria e Curtose). Adicionalmente, os resultados são apresentados em forma gráfica para cada amostra e um quadro-resumo dos parâmetros granulométricos (Classe e Percentual) e classificação nominal.

5.1.1.2.2.4 PARÂMETROS ANALISADOS

A medida de seleção mensura a contribuição em massa de cada fração granulométrica em uma dada amostra e pode ser utilizada como uma medida indireta da heterogeneidade do sedimento. A assimetria representa o grau de deformação da curva de frequência simples para a direita ou para a esquerda, analisando-se a relação entre a moda, a média e a mediana. A assimetria positiva ocorre quando o valor da média é superior ao valor da mediana que por sua vez é superior ao valor da moda. Nesse caso, a cauda da curva de distribuição é mais acentuada para direita (grãos mais finos). A assimetria negativa ocorre quando o valor da média é inferior ao valor da mediana que por sua vez é inferior ao valor da moda. Nesse caso, a cauda é mais acentuada para a esquerda (grãos mais grossos) (Dias, 2004).

5.1.1.2.3 GEOQUÍMICA

Para a instalação do Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá foram observadas as legislações pertinentes ao desenvolvimento do empreendimento e relacionadas à sua operação. Nas fases de instalação e operação do Estaleiro

haverá a desmobilização do solo e subsolo para a edificação da estrutura civil que será implantada no continente, assim como dragagem em área submersa do estuário do Baixo Rio Paraíba do Norte.

Desta forma, para a instalação do estaleiro foram observadas as legislações pertinentes ao desenvolvimento da atividade, visando determinar o escopo da investigação e monitoramento da qualidade do solo no Estuário do Baixo Rio Paraíba, seguindo recomendação do Termo de Referência emitido pela SUDEMA. O levantamento teve como objetivo caracterizar a qualidade física e química do solo na área da ADA/AID de instalação do empreendimento.

Foram determinados 10 pontos para investigação (**Figura 107 – Item 5.1.1.4.2**), tendo sido escolhidos com o objetivo de monitorar a qualidade ambiental da área, seguindo planejamento do Programa de Monitoramento Ambiental pertinente. O foco da investigação foi a análise da ocorrência de valores anômalos de contaminantes químicos presentes nos sedimentos, e com possibilidade de dispersão na região do empreendimento.

Não foram identificadas investigações ambientais anteriores da área onde será instalado o Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá que possam caracterizar as condições prístinas da região analisada, no tocante ao componente ambiental solo/sedimento. Pela inexistência de parâmetros de referência regional (background geoquímico), abordados segundo as resoluções CONAMA 420/09 e CONAMA 454/12, tanto da porção emersa quanto da porção submersa onde ocorrerá a construção das obras civis, os dados aqui apresentados cumprem a finalidade de serem utilizados para comparações geoquímicas futuras (nas fases de monitoramento).

Como referência para as análises foi utilizada a resolução CONAMA 420/2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividade antrópicas; alterada pela Resolução 460/2013 para direcionar a metodologia de investigação e estabelecimento de parâmetros de análise.

Integrada a esta resolução também foi analisada a resolução CONAMA 454/2012, que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais

para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional; a qual revoga a Resolução 344/2004 e 421/2010.

Associado a legislação também foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a área do estuário do Rio Paraíba do Norte, além de estudos de batimetria, granulometria, dinâmica costeira e informações complementares, de modo a auxiliar nas interpretações ambientais deste estudo.

Partindo destas legislações citadas, é válido destacar que a Resolução CONAMA 454/12 determina que os sedimentos da dragagem sejam analisados segundo os critérios estabelecidos no Anexo II da Resolução Conama 420/2009, nos casos de descarte dos materiais dragados no solo continental. Segue abaixo a transcrição dos trechos pertinentes da referida legislação:

Art. 4º - O material a ser dragado deverá ser caracterizado de acordo com as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais definidos nesta Resolução.

Parágrafo único. Fica dispensado de caracterização ambiental prévia o material a ser dragado que atenda a pelo menos uma das seguintes condições:

I – quando a dragagem ocorrer no atendimento a casos de emergência ou calamidade pública, decretadas ou declaradas oficialmente;

II – proveniente de áreas com monitoramento regular do sedimento de acordo com os critérios definidos pelo órgão ambiental licenciador, com base nesta Resolução;

III – proveniente de áreas que não apresentem histórico de contaminação, considerando o uso e ocupação do solo ou comprovados por dados representativos de caracterização do sedimento, a critério do órgão ambiental licenciador;

Art. 10º - Após a caracterização química do material a ser dragado, proceder-se-á sua classificação química, para fins de avaliar as condições de sua disposição observados os seguintes critérios:

I – para a avaliação das alternativas de disposição em solo, os resultados da caracterização química devem ser comparados com os valores orientadores nacionais estabelecidos para solos pela Resolução Conama nº420/2009 ou norma estadual vigente;

A área em estudo enquadra-se no item III do Art. 4º. Baseado em levantamentos bibliográficos e investigação sobre o uso e ocupação do solo, feita através das

análises de mapas e imagens de satélite da região, pode-se dizer que na área estudada destaca-se o desenvolvimento da monocultura da cana de açúcar e da agricultura de subsistência, não ocorrendo histórico de empreendimentos industriais, os quais recorrentemente são protagonistas de eventos associados à contaminação no Brasil.

Desta forma, a resolução Conama 420/09, alterada pela Conama 460/13, descreve:

Capítulo III – Dos critérios e valores orientadores de qualidade do solo:

Art. 7º A avaliação da qualidade de solo, quanto à presença de substância químicas, deve ser efetuada com base em Valores Orientadores de Qualidade, de Prevenção e de Investigação.

Art. 8º Os VRQs do solo para substâncias químicas naturalmente presentes serão estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal até dezembro de 2014, de acordo com o procedimento estabelecido no Anexo I.

§1º Nas regiões limítrofes entre unidades federativas, cujos solos tenham características semelhantes, os respectivos órgãos ambientais deverão estabelecer VRQs comuns.

§ 2º O órgão ambiental, a seu critério e quando tecnicamente justificado, poderão estabelecer VRQs para substâncias orgânicas naturalmente presentes, listadas ou não no Anexo II.

§ 3º Os Estados e o Distrito Federal informarão trimestralmente ao MMA e ao CONAMA os resultados das ações adotadas para o cumprimento do disposto no caput.

Art. 9 Serão adotados como VPs os valores apresentados no Anexo II, os quais foram estabelecidos com base em ensaios de fitotoxicidade ou em avaliação de risco ecológico.

Art. 10 Serão adotados como VIs, os valores apresentados no Anexo II, os quais foram derivados com base em avaliação de risco à saúde humana, em função de cenários de exposições padronizados para diferentes usos e ocupação do solo.

Art. 11. A requerimento dos órgãos ambientais competentes, quando tecnicamente justificado e aprovado pelo CONAMA, poderão ser revistos os VPs e VIs estabelecidos nesta Resolução, bem como serem estabelecidos VPs e VIs

estaduais ou regionais para substâncias químicas listadas ou não no Anexo II, com base na mesma metodologia e garantindo o mesmo nível de risco.

Art. 12. As substâncias não listadas no Anexo II, quando necessária sua investigação, terão seus valores orientadores definidos pelo órgão ambiental competente.

Art. 13. Ficam estabelecidas as seguintes classes de qualidade dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas:

I – Classe 1 – Solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ;

II – Classe 2 – Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP;

III – Classe 3 – Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI; e

IV – Classe 4 – Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI.

CAPÍTULO III – DA PREVENÇÃO E CONTROLE DA QUALIDADE DO SOLO

Art. 14. Com vista à prevenção e controle da qualidade do solo, os empreendimentos que desenvolvem atividades com potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas deverão, a critério do órgão ambiental competente:

I – implantar programa de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas na área do empreendimento, quando necessário, na sua área de influência direta e nas águas superficiais; e

II – apresentar relatório técnico conclusivo sobre a qualidade do solo e das águas subterrâneas, a cada solicitação de renovação de licença e previamente ao encerramento das atividades.

Art. 15 As concentrações de substâncias químicas no solo resultantes da aplicação ou disposição de resíduos e efluentes, observada a legislação em vigor, não poderão ultrapassar os respectivos VPs.

Art. 16 São procedimentos para avaliação das concentrações de substâncias químicas e controle da qualidade do solo, dentre outros:

I – realização de amostragens e ensaios de campo ou laboratoriais, de acordo com os artigos 17, 18 e 19;

II – classificação da qualidade do solo conforme artigo 13; e

III – adoção das ações requeridas conforme estabelecidos no artigo 20.

Art. 17. Para atendimento desta Resolução nas amostragens, análises e controle de qualidade para caracterização e monitoramento do solo e das águas subterrâneas deverão ser observadas, no mínimo, as seguintes diretrizes:

I – adotar procedimentos de coleta, manuseio, preservação, acondicionamento e transporte de amostras de acordo com normas nacionais e internacionais, respeitando-se os prazos de validade;

II - realizar as análises físicas, químicas, físico-químicas e biológicas, utilizando-se metodologias que atendam às especificações descritas em normas reconhecidas internacionalmente;

III - no caso do limite de quantificação da amostra - LQA ser maior do que o LQP, o LQA será aceito para atendimento desta resolução, desde que tecnicamente justificado;

IV - caso a substância seja identificada na amostra em concentração entre o limite de detecção do método - LDM e o LQA, o fato deverá ser reportado no laudo analítico com a nota de que a concentração não pode ser determinada com confiabilidade;

V - no caso de áreas submetidas à aplicação de produtos agrotóxicos, o momento da coleta deve ter correspondência com o período de carência dos mesmos; e

VI - no caso de aplicação de fertilizantes, o momento da coleta da amostra deverá estar correlacionado à colheita do produto, quando houver.

Art. 18. Os resultados das análises devem ser reportados em laudos analíticos contendo, no mínimo:

I - identificação do local da amostragem, data e horário de coleta e entrada da amostra no laboratório, anexando à cadeia de custódia;

II - indicação do método de análise utilizado para cada parâmetro analisado;

III - os LQAs, para cada parâmetro analisado;

IV - os resultados dos brancos do método e rastreadores ("surrogates");

V - as incertezas de medição para cada parâmetro; e

VI - ensaios de adição e recuperação dos analitos na matriz ("spike").

Parágrafo único. Outros documentos, tais como cartas-controlê, cromatogramas, resultados obtidos em ensaios de proficiência e em amostras certificadas, podem ser solicitados a qualquer tempo pelo órgão ambiental competente.

Art. 20. Após a classificação do solo deverão ser observados os seguintes procedimentos de prevenção e controle da qualidade do solo:

I- Classe 1: não requer ações;

II- Classe 2: poderá requerer uma avaliação do órgão ambiental, incluindo a verificação da possibilidade de ocorrência natural da substância ou da existência de fontes de poluição, com indicativos de ações preventivas de controle, quando couber, não envolvendo necessariamente investigação;

III- Classe 3: requer identificação da fonte potencial de contaminação, avaliação da ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea; e

IV- Classe 4: requer as ações estabelecidas no Capítulo IV.

Esta fase de análise do projeto servirá como parâmetro de estudo preliminar enquanto o órgão ambiental determina os VRQ's para monitoramento da área.

A análise do solo da AID do empreendimento foi realizada levando em consideração as Resoluções Conama nº 420/09 e 454/12, para identificar a existência das substâncias indicadas nas mesmas.

O material da área de dragagem, que faz parte da ADA do empreendimento, foi analisado baseado apenas na Conama nº 420/09, devido às opções prioritárias (1 e 2) de disposição dos sedimentos em área continental (no solo), apresentadas no **item 5.1.7.1.3** deste estudo.

5.1.1.2.4 LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO AID

A análise dos mapas geológicos da CPRM na escala 1:1.000.000 (Folha Natal SB-25), cartas topográficas da Sudene na escala 1:25.000 (Folhas Cabedelo SB.25-Y-A-VI-3-SE e João Pessoa SB.25-Y-C-III-1-NE) e do mapa geomorfológico do estado da Paraíba na escala 1:1.200.000 (AESAs – Adaptado da CDRM) permitiu verificar que as áreas representadas no mapa das classes de solos do estado da Paraíba (AESAs - adaptado de Atecel, 2002), com escala de 1:1.200.000, são semelhantes quanto a geologia e relevo. Este fato trouxe a tona

a possibilidade de utilização de parâmetros geomorfométricos e geológicos definidos na área de estudo para auxílio na inferência das classes de solo da AID do empreendimento.

A metodologia para a definição das classes de solos do Estado da Paraíba apresentada pela Atecel (2002) teve como base a interpretação de imagens Landsat (escala 1:100.000), fotografias aéreas (1:70.000) e trabalho de campo.

5.1.1.2.5 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA ADA

Foram realizados 09 (nove) furos de sondagem a percussão, totalizando 178 metros e 90 centímetros. A investigação geotécnica através da sondagem a percussão tem como finalidade o reconhecimento do subsolo, caracterizando-se suas propriedades.

Esta investigação ocorreu através da cravação no solo de um barrilete amostrador do tipo TerzaghiPeck, com diâmetro interno e externo, respectivamente, iguais a 34,9mm e 50,8mm, por meio de golpes com um peso de 65 kg caindo em queda livre por 75cm de altura.

Durante o ensaio registrou-se o número de golpes necessários à penetração de cada 15cm da camada investigada. A caracterização dos materiais foi realizada considerando-se os aspectos geológicos regionais, análise tátil-visual das amostras coletadas durante a cravação do amostrado e dados obtidos no local.

O produto final desta investigação se refere a produção de perfis individuais de sondagem, contendo dados como: a profundidade metro a metro e a de parada, os valores do SPT, a classificação geológica-geotécnica e o nível d'água encontrado.

5.1.1.2.6 ANÁLISE DO POTENCIAL MINERAL DA AID

A análise do potencial mineral da AID foi executada com o objetivo de investigar a ocorrência de recursos minerais com potencial de atendimento da demanda construtiva das obras pretendidas no local, bem como avaliar a sobreposição desta área de influência com os processos de pesquisa e lavra

registrados no DNPM, permitindo uma avaliação da intervenção destes fatores na viabilização do estaleiro e obras públicas ou que justifiquem mudanças na localização do empreendimento.

Em busca deste objetivo foram analisados todos os processos minerários da região do entorno. A consulta dos processos ativos foi realizada no dia 15 de Fevereiro de 2016 ao banco de dados da ferramenta SIGMINE, hospedada no sítio eletrônico do DNPM (www.dnpm.gov.br). Atualmente, os processos registrados no DNPM são disponibilizados em arquivo KML para download, e este método de consulta demonstra ser um dos mais eficientes e adequados para verificação dos registros minerários no órgão competente, pois sofre atualizações quase que diariamente. Esta consulta dos processos deu origem a ***Tabela 8 e Figura 82***, em que podem ser visualizados, respectivamente, os principais dados dos registros ativos e localização destes com relação às áreas de influência do empreendimento.

5.1.1.3 GEOMORFOLOGIA

A descrição metodológica desta etapa trata da verificação morfológica das principais feições do relevo encontradas na área de estudo, com o objetivo de promover a individualização e cartografia dos domínios/unidades geomorfológicas do terreno. A separação destes domínios, aliada a descrição das características geológicas e geotécnicas de cada um deles, representa uma ferramenta valiosa na previsão dos impactos ambientais relacionados com os aspectos físicos da área, decorrentes da instalação e operação do empreendimento.

5.1.1.3.1 LEVANTAMENTO DOS ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

As técnicas metodológicas utilizadas neste estudo consistiram na análise de imagens de satélite e mapas-base da região, com foco voltado à orientação das vertentes, padrões de vegetação, rugosidade do terreno, aspectos geológicos/estruturais, perfis topográficos, além da confecção de cartas hipsométrica e de declividade.

A análise integrada destes elementos, em conjunto com o levantamento de dados de campo, permitiu a individualização cartográfica de

zonas homólogas, as quais foram integradas aos dados regionais constantes no mapa geomorfológico do estado da Paraíba (AESAs – Adaptado da CDRM), garantindo um ajuste mais fino (escala de detalhe) da posição espacial das feições analisadas. Os dados foram integrados em uma plataforma SIG, e vetorizados manualmente com o auxílio do software gráfico ArcGIS 10, para obtenção de um maior detalhamento do produto final, gerando assim dados o mais fidedignos possíveis à realidade.

Foram identificadas em torno do empreendimento as seguintes unidades geomorfológicas: rios e riachos, planície litorânea (mangues/apicuns, praias, etc) e tabuleiros costeiros.

5.1.1.3.2 LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO DA ADA

O levantamento topográfico planialtimétrico da ADA foi realizado no dia 24/10/2013 por uma empresa catarinense denominada Campos Topografia Ltda.; (registrada no CREA/SC sob o número 112131-0), cujo responsável técnico atende pelo nome de Alexandre Dutra da Silva Ferreira – CREA 115709-4. Na época da execução do serviço funcionavam no local alguns viveiros de camarão.

O produto do levantamento está apresentado em Folha Única, constando informações importantes, como: perímetro da propriedade, vias de acesso, rede de drenagem, áreas de mangue, curvas de nível, cotas altimétricas, cercas, contornos dos viveiros de camarão, etc.

5.1.1.4 RECURSOS HÍDRICOS

5.1.1.4.1 HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA

5.1.1.4.1.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Imagens de radar obtidas pelo Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial de 90 metros, disponibilizadas gratuitamente pela NASA, foram utilizadas no mapeamento da bacia hidrográfica. As imagens SRTM, Versão 4, foram utilizadas para a extração da drenagem da bacia com o programa ArcGis 10, através da ferramenta Hydrology, e a bacia de drenagem foi delimitada de acordo com o shapefile da bacia do rio Paraíba disponibilizado pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs). A área da

bacia de drenagem que corresponde ao estuário foi excluída, já que essa representa um ambiente de transição e não mais bacia hidrográfica.

O estuário do rio Paraíba também foi caracterizado em relação ao seu regime de marés, fundamental para entender o ambiente do rio entre seu domínio continental e marinho. Para isso foram utilizados dados da estação maregráfica do Porto de Cabedelo (FEMAR, 2000).

Para a caracterização do regime de maré foi calculado o número de Forma (NF), que define a importância relativa das componentes diurnas e semidiurnas da maré. O número de Forma é calculado pela equação $NF = K1 + O1 / M2 + S2$ e classificado de acordo com Defant (1960), apud Miranda et al. (2002). O prisma de maré (P) é o volume de água trocado entre o estuário e o oceano em meio período de maré, calculado pela fórmula $P = H0AT$, onde H0 é a altura média da maré e AT é a área total do estuário (Miranda et al., 2002). O cálculo da altura média da maré baseou-se em $2 \times M2$, de acordo com Palmer et al. (1980). A razão de fluxo (R/P) é um número adimensional definido pela razão entre a descarga fluvial acumulada em um ciclo de maré (R) e o prisma de maré (P) (Miranda et al., 2002). Esse número foi utilizado para determinar a influência da maré ou da descarga fluvial nos estuários, sendo que razões maiores (menores) indicam gradientes de densidade mais (menos) elevados.

5.1.1.4.1.2 BALANÇO EVAPORAÇÃO PRECIPITAÇÃO (E-P)

O balanço E-P na bacia do rio Paraíba foi calculado a partir de médias mensais de evaporação e precipitação entre 1970-2013 de 3 estações meteorológicas localizadas em 3 regiões da bacia (**Figura 9**), são elas: Monteiro - 82792 (INMET 3), Campina Grande - 82795 (INMET 2) e João Pessoa – 82798 (INMET 1). Os dados foram obtidos através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

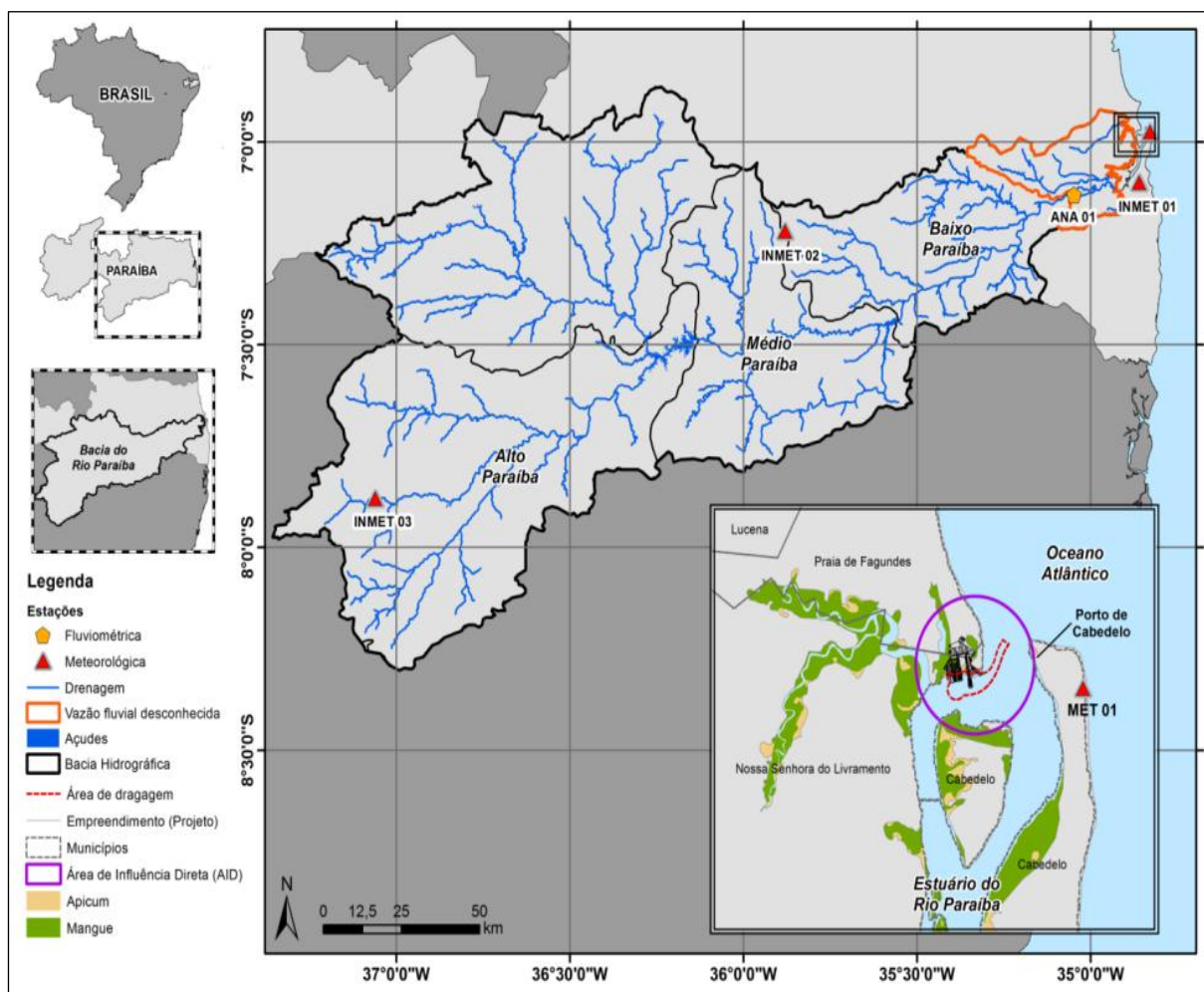


Figura 9. Mapa de localização das estações meteorológicas e pluviométricas. (Fonte. BELOV, 2015).

5.1.1.4.1.3 DESCARGA FLUVIAL

A descarga fluvial afluyente ao estuário do Rio Paraíba foi calculada a partir dos dados da estação fluviométrica Ponte da Batalha (**ANA 01 – Figura 9**) obtidos do site da Agência Nacional de Águas. A série temporal compreende os anos de 1970 a 1997 e o ano de 2013. Foram calculadas médias anuais e mensais das vazões fluviais.

Para regiões da bacia hidrográfica com descarga fluvial desconhecida (a jusante da estação – área em laranja na **Figura 9**), a vazão fluvial afluyente ao estuário foi calculada a partir de dados de vazão estimada, com base na transposição de áreas (Miranda et al., 2002).

O método de transposição de áreas é expresso da seguinte forma:

$$\text{Eq. (1): } Q_f = cQ^*,$$

Onde Q_f é a descarga fluvial, $c = (A_1 + A_2) / A_1$ é fator adimensional de correção (A_1 e A_2 são as áreas das bacias de drenagem com vazões conhecidas e desconhecidas, respectivamente) e Q^* é a descarga conhecida.

5.1.1.4.1.4 DESCARGA SEDIMENTAR

O cálculo da carga sedimentar para os estuários foi feito pelo modelo BQART (Syvitski e Milliman, 2007), que leva em consideração a altitude máxima, temperatura, geologia, vazão fluvial e área da bacia de drenagem. O modelo é baseado na seguinte equação:

$$\text{Eq. (2): } Q_s = w * B * Q^{0,31} * A^{0,5} * R * T,$$

Onde Q_s é a carga sedimentar (kg.ano-1) e (w) uma constante de proporcionalidade igual a 0,02 para kg.s-1 e 0,0006 MT.ano-1 (milhões de toneladas por ano), A é a área da bacia de drenagem [km²], Q é a vazão fluvial [km³.ano-1], R é a altitude máxima da bacia [km] obtida pelas imagens SRTM e T é a temperatura [°C] obtida pelos mapas de temperatura no site do Ministério do Meio Ambiente.

O parâmetro B é descrito por:

$$\text{Eq. (3): } B = I * L(1 - T_E) * E_H^*,$$

Onde I é o fator de erosão glacial, L corresponde à litologia, T_E se relaciona à eficiência de retenção de sedimentos por barragens ou lagos e E_H é a influência antrópica na erosão de solo.

Os valores para a litologia (L) variam de 0,5 a 3 a depender do tipo de litologia, sendo:

- Bacias compostas principalmente de litologia dura, ou seja, rochas plutônicas ácidas e/ou com alto grau de metamorfismo terão valor 0,5.

- Bacias compostas por uma mistura de litologias duras e friáveis, com maioria de litologia dura, às vezes incluindo o embasamento cristalino, terão valor 0,75.
- Bacias compostas de rochas vulcânicas (basálticas em sua maioria) ou por afloramentos carbonáticos, ou mistura de litologias duras e friáveis (rochas sedimentares ou sedimentos), terão valor 1,0.
- Bacias com predominância de litologias friáveis, porém com área significativa de litologia dura, terão valor 1,5.
- Bacias compostas por rochas sedimentares, depósitos aluviais e sedimentos inconsolidados terão valor 2,0.
- Bacias compostas por uma abundância de material frágil, como rochas trituradas e depósitos de loess, terão valor 3,0.

A litologia da bacia de drenagem foi obtida pela Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo produzido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) em formato digital. Para cada bacia de drenagem, as litologias foram divididas em dois grandes grupos: rochas ígneas e metamórficas (litologias duras) e rochas sedimentares e sedimentos (litologias friáveis). O valor final da litologia para cada bacia foi definido pela média ponderada das áreas de cada grupo.

O valor para eficiência de retenção de sedimentos por barragens ou lagos (1-TE), pode variar de 0,1 (rios com muitas barragens) a 1 (rios sem barragens), dependendo da eficiência de trapeamento dos sedimentos na barragem, será adotado o valor médio identificado por Syvitski e Milliman (2007) baseado na base de dados do artigo, assim a variável (1-TE) terá valor 0,8.

A influência antrópica na erosão de solo (EH) será 1,5, baseado na porcentagem da área antropizada – 56% (AESAs, 2006). Da mesma forma, o fator de erosão glacial terá o valor 1, ou seja, erosão inexistente.

5.1.1.4.1.5 ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ASSOREAMENTO OU ENCHENTES

A identificação de áreas sujeitas a assoreamento dentro da área de influência direta foi feita a partir de imagens de alta resolução disponibilizadas pela ESRI e do Google Earth, baseadas em atividades com potencial de

assoreamento: agricultura, carcinicultura, além de planícies de maré que tendem a se estabilizar após sua colonização por vegetação de mangue. As áreas suscetíveis a enchentes foram identificadas como adjacentes aos limites dos manguezais, supondo que essas áreas poderiam ser inundadas por eventos extremos que combinem elevada precipitação e marés astronômicas com picos de altura de maré acima da altura média de sizígia.

5.1.1.4.2 QUALIDADE DA ÁGUA

Os sistemas aquáticos, apesar de importantes para a manutenção da vida, vêm sofrendo, devido às ações humanas, um processo acelerado de deterioração das suas características físicas, químicas e biológicas.

Atualmente, a maioria dos corpos de água em todo o mundo, tanto continentais como costeiros, possui algum grau de contaminação, prejudicando a população que necessita deste recurso. As bacias hidrográficas estão sujeitas a diversos impactos ambientais, como: ocupação do solo indevida, uso indiscriminado da água, desmatamento de matas ciliares, sedimentação, assoreamento, construção de barragens, desvios de cursos d'água, erosão, salinização, contaminação, impermeabilização, compactação, diminuição da matéria orgânica dentre outras degradações.

Todos esses impactos têm contribuído para o desaparecimento de rios e lagos, afetando profundamente o ciclo da água e o clima (Araújo et al., 2009). Este aspecto sofre grande influência do desenvolvimento econômico social das cidades que se instalam de forma desordenada próximo aos mananciais para captação da água que é utilizada no desenvolvimento das atividades produtivas.

Desta forma, para a instalação do Estaleiro foram observadas as legislações pertinentes ao desenvolvimento da atividade para determinar o escopo de investigação e monitoramento da qualidade da água no Estuário do Baixo Rio Paraíba seguindo recomendação do Termo de Referencia emitido pela Sudema. O levantamento teve como objetivo caracterizar a qualidade física, química e microbiológica da água na área da ADA/AID de instalação do empreendimento.

Foi levada em consideração a resolução CONAMA 357, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências; para direcionar a metodologia de investigação e estabelecimento de parâmetros de análise. Foram identificados estudos sobre a região de instalação do empreendimento que avaliaram alguns itens da CONAMA 357, associado à Portaria do Ministério da Saúde MP-2914 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Sendo observado que a água do estuário não será utilizada para consumo humano, visto que o empreendimento contará com poço artesiano para abastecimento da operação e usos diversos, a MP-2914 não foi investigada nesta fase do projeto, tendo sido adotado os parâmetros da CONAMA 357 para análise e investigação inicial da qualidade da água do estuário para classificar o corpo de água e as diretrizes ambientais para seu enquadramento.

O empreendimento contará com estações de tratamento de efluentes industriais, baseado nas características técnicas da operação e contando com Programa de Monitoramento de Efluentes, utilizando assim o corpo hídrico para descarga de efluentes dentro dos padrões estabelecidos pela legislação, garantindo a qualidade e segurança hídrica da região.

Para o estabelecimento dos pontos de monitoramento foram apreciados os estudos de oceanografia e hidrodinâmica costeira, apresentados neste volume, levando em consideração a localização do empreendimento e os possíveis pontos com possibilidade de serem afetados durante a instalação e operação do Estaleiro (**Figuras 10 e 11**).

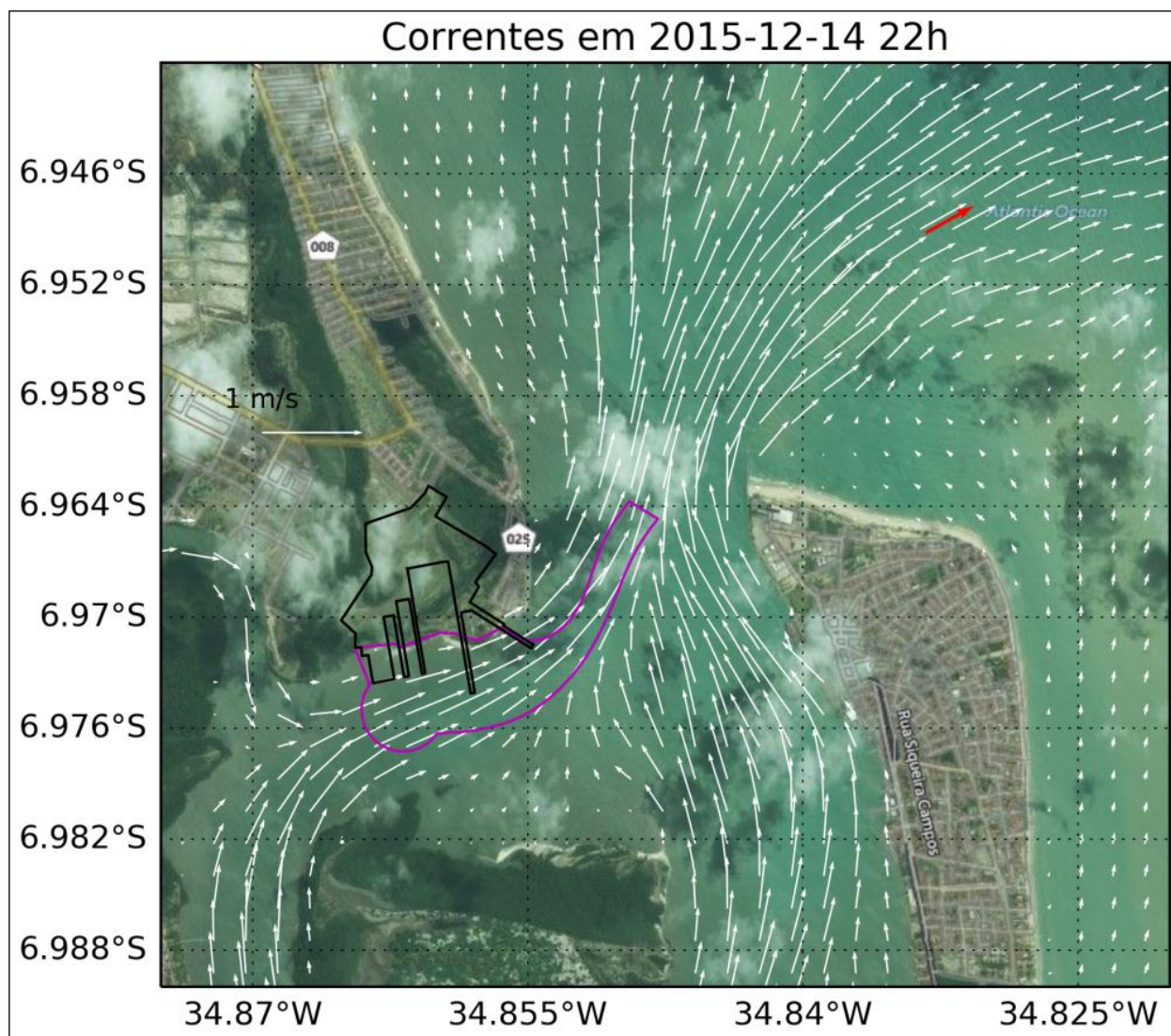


Figura 10. Correntes máximas de vazante para a região de estudo. (Fonte. BELOV, 2015)

As setas brancas representam as correntes modeladas e a vermelha a corrente observada. O contorno preto mostra a área de implantação do empreendimento, enquanto que o contorno rosa mostra a área a ser dragada. Os vetores das correntes observadas e modeladas estão na mesma escala de comprimento. Os vetores estão plotados com um espaçamento de 5 pontos de grade para melhor visualização.

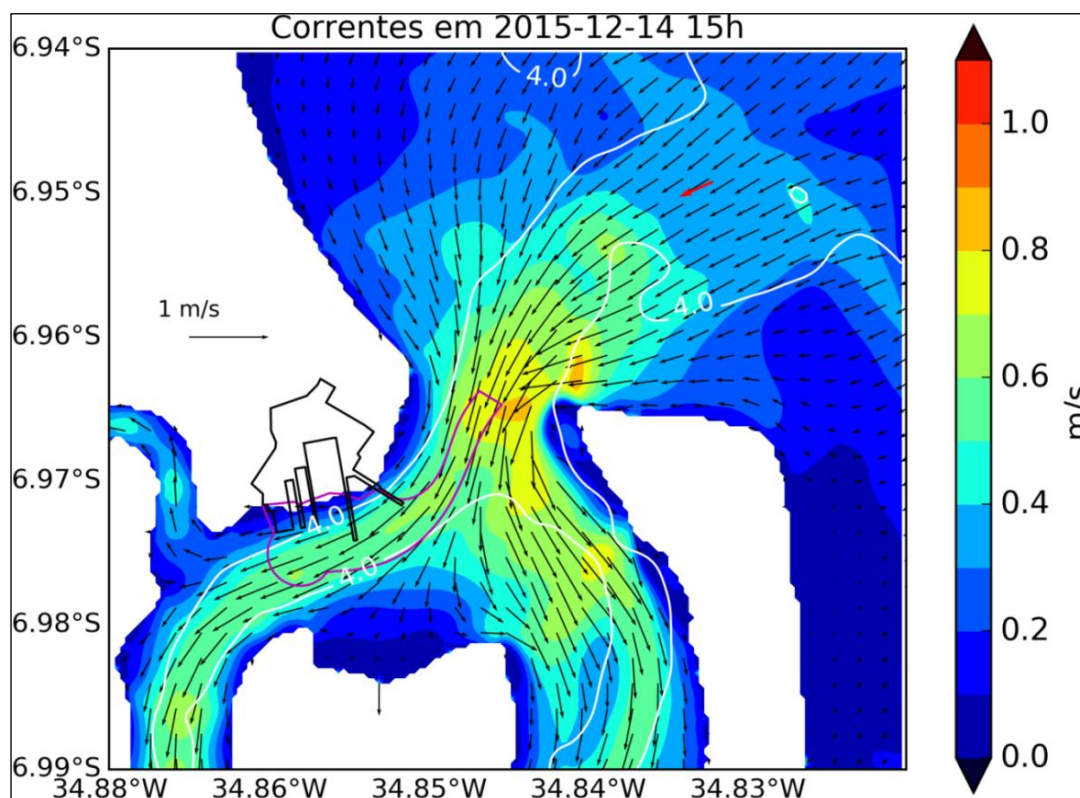


Figura 11. Correntes máximas de enchente para a região de estudo. (Fonte. BELOV, 2015)

As setas pretas representam as correntes modeladas e a vermelha a corrente observada. O contorno branco ilustra a isóbata de 4m do modelo. O contorno preto mostra a área de implantação do empreendimento, enquanto que o contorno rosa mostra a área a ser dragada. Os vetores das correntes observadas e modeladas estão na mesma escala de comprimento. Os vetores estão plotados com um espaçamento de 5 pontos de grade para melhor visualização.

A avaliação das correntes e marés será abordado em detalhe no **subitem 5.1.6 Oceanografia e Hidrodinâmica Costeira**, sendo alguns dados utilizados neste momento para justificar os pontos de amostragem de água para verificação dos padrões físicos, químicos e biológicos. As Estações de Amostragem deverão ser utilizadas também para monitoramentos futuros das condições ambientais durante as fases de instalação e operação do Estaleiro.

Desta forma, a água da área de estudos, por definição, foi classificada como água salobra: representada por águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰. Em conformidade com a determinação da CONAMA 357, o corpo

hídrico foi classificado segundo a resolução, tendo sido avaliados os parâmetros que se enquadram nas classes 1, 2 e 3, devido às multiplicidades dos usos, onde:

Seção II

Das Águas Salobras

Art. 6o As aguas salobras são assim classificadas:

I - classe especial: aguas destinadas:

- a) a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e,
- b) a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - classe 1: aguas que podem ser destinadas:

- a) a recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;
- b) a proteção das comunidades aquáticas;
- c) a aquicultura e a atividade de pesca;
- d) ao abastecimento para consumo humano apos tratamento convencional ou avançado; e
- e) a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e a irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o publico possa vir a ter contato direto.

III - classe 2: aguas que podem ser destinadas:

- a) a pesca amadora; e
- b) a recreação de contato secundário.

IV - classe 3: aguas que podem ser destinadas:

- a) a navegação; e
- b) a harmonia paisagística.

Seção IV

Das Águas Salobras

Art. 21. As aguas salobras de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:

I - condições de qualidade de agua:

a) não verificação de efeito toxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio eco toxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;

b) carbono orgânico total: ate 3mg/L, como C;

c) OD, em qualquer amostra, não inferior a 5mg/L O₂;

d) pH: 6,5 a 8,5;

e) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

f) materiais flutuantes: virtualmente ausentes;

g) substancias que produzem cor, odor e turbidez: virtualmente ausentes;

h) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes; e

i) coliformes termo tolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA no 274, de 2000. Para o cultivo de moluscos bivalves destinados a alimentação humana, a media geométrica da densidade de coliformes termo tolerantes, de um mínimo de 15 amostras coletadas no mesmo local, não devera exceder 43 por 100 mililitros, e o percentil 90% não devera ultrapassar 88 coliformes termotolerantes por 100 mililitros. Esses índices deverão ser mantidos em monitoramento anual com um mínimo de 5 amostras. Para a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, bem como para a irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o publico possa vir a ter contato direto, não devera ser excedido o valor de 200 coliformes termo tolerantes por 100mL.

Para os demais usos não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termo tolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A E. coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termo tolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

Seguindo essa classificação foram avaliados os parâmetros observados nas Tabelas VII - CLASSE 1 - ÁGUAS SALOBRAS e VIII - CLASSE 1 - ÁGUAS SALOBRAS PADRÕES PARA CORPOS DE ÁGUA ONDE HAJA

PESCA OU CULTIVO DE ORGANISMOS PARA FINS DE CONSUMO INTENSIVO.

TABELA VII - CLASSE 1 - ÁGUAS SALOBRAS

PADRÕES	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Aluminio dissolvido	0,1 mg/L Al
Arsenio total	0,01 mg/L As
Berílio total	5,3 µg/L Be
Boro	0,5 mg/L B
Cadmio total	0,005 mg/L Cd
Chumbo total	0,01 mg/L Pb
Cianeto livre	0,001 mg/L CN
Cloro residual total (combinado + livre)	0,01 mg/L Cl
Cloro residual total (combinado + livre)	0,005 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe
Fluoreto total	1,4 mg/L F
Fosforo total	0,124 mg/L P
Manganes total	0,1 mg/L Mn
Mercurio total	0,0002 mg/L Hg
Niquel total	0,025 mg/L Ni
Nitrato	0,40 mg/L N
Nitrito	0,07 mg/L N
Nitrogenio amoniacal total	0,40 mg/L N
Polifosfatos (determinado pela diferença entre fósforo acido hidrolisavel total e fósforo reativo total)	0,062 mg/L P
Prata total	0,005 mg/L Ag
Selenio total	0,01 mg/L Se
Sulfetos (como H ₂ S nao dissociado)	0,002 mg/L S
Zinco total	0,09 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Aldrin + dieldrin	0,0019 µg/L
Benzeno	700 µg/L
Carbaril	0,32 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,004 µg/L
2,4-D	10,0 µg/L
DDT (p,p'DDT+ p,p'DDE + p,p'DDD)	0,001 µg/L
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	0,1 µg/L
Dodecacoloro pentaciclodecano	0,001 µg/L
Endrin	0,004 µg/L
Endossulfan (□ + □ + sulfato)	0,01 µg/L
Etilbenzeno	25,0 µg/L
Fenois totais (substancias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,003 mg/L C ₆ H ₅ OH
Gution	0,01 µg/L
Heptacoloro epoxido + Heptacoloro	0,001 µg/L
Lindano (□-HCH)	0,004 µg/L
Malation	0,1 µg/L
Metoxicloro	0,03 µg/L
Monoclorobenzeno	25 µg/L
Paration	0,04 µg/L
Pentacolorofenol	7,9 µg/L
PCBs - Bifenilas Policloradas	0,03 µg/L

Substancias tensoativas que reagem com azul de metileno	0,2 LAS
2,4,5-T	10,0 µg/L
Tolueno	215 µg/L
Toxafeno	0,0002 µg/L
2,4,5-TP	10,0 µg/L
Tributilestanho	0,010 µg/L TBT
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	80,0 µg/L

III - Nas águas salobras onde ocorrem pesca ou cultivo de organismos, para fins de consumo intensivo, além dos padrões estabelecidos no inciso II deste artigo, aplicam-se os seguintes padrões em substituição ou adicionalmente:

TABELA VIII - CLASSE 1 - ÁGUAS SALOBRAS

PADRÕES PARA CORPOS DE ÁGUA ONDE HAJA PESCA OU CULTIVO DE ORGANISMOS PARA FINS DE CONSUMO INTENSIVO	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,14 µg/L As
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Benzeno	51 µg/L
Benzidina	0,0002 µg/L
Benzo(a)antraceno	0,018 µg/L
Benzo(a)pireno	0,018 µg/L
Benzo(b)fluoranteno	0,018 µg/L
Benzo(k)fluoranteno	0,018 µg/L
2-Clorofenol	150 µg/L
Criseno	0,018 µg/L
Dibenzo(a,h)antraceno	0,018 µg/L
2,4-Diclorofenol	290 µg/L
1,1-Dicloroeteno	3,0 µg/L
1,2-Dicloroetano	37,0 µg/L
3,3-Diclorobenzidina	0,028 µg/L
Heptacloro epoxido + Heptacloro	0,000039 µg/L
Hexaclorobenzeno	0,00029 µg/L
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,018 µg/L
Pentaclorofenol	3,0 µg/L
PCBs - Bifenilas Policloradas	0,000064 µg/L
Tetracloroeteno	3,3 µg/L
Tricloroeteno	30 µg/L
2,4,6-Triclorofenol	2,4 µg/L

Para análise dos parâmetros observados nas Tabelas acima foram selecionados 10 (dez) pontos de amostragem, os quais estão apresentados na **Figura 13**, cujas justificativas locais constam no **Quadro 1** abaixo. Os procedimentos de coleta foram adotados do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2012).



Figura 12. Amostragem de água realizada aos longos das Estações de Amostragem. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

O objetivo da escolha dos locais de amostragem foi a identificação de possíveis contaminações pretéritas a instalação do empreendimento, para comparativos futuros pelos programas de monitoramento durante as fases de instalação e operação do Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá.

Quadro 1. Critérios de escolha dos pontos de amostragem. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

PONTO	AMBIENTE	JUSTIFICATIVA
EAM-04.SO.AG	Mangue	Corpo hídrico com possível deposição de efluentes domésticos da Comunidade Manoel Marinho e/ou industriais diversos.
EAM-05.SO.AG	Mangue	Corpo hídrico com possível deposição de efluentes domésticos da Comunidade Manoel Marinho e/ou industriais diversos.
EAM-06.AG	Mar	Ponto susceptível a dispersão de efluentes, pela maré vazante (Figura 104), provenientes de possíveis vazamentos ocorridos nas áreas adjacentes ao estaleiro.
EAM-07.AG	Mar	Confluência entre o canal de acesso ao estaleiro e ao Porto de Cabedelo. Possibilidade de detecção de eventuais contaminações provenientes das atividades portuárias.
EAM-09.SO.AG	Rio	Ponto definido na desembocadura do Rio da Guia, com finalidade de identificar se a fonte de eventuais contaminantes à área do estuário é oriunda da sub-bacia hidrográfica do Rio da Guia
EAM-10.SO.AG	Rio	Confluência entre dois mangues localizados no perímetro urbano dos distritos de Costinha e Fagundes, em área adjacente a bacia de evolução do estaleiro.
EAM-11.SO.AG	Estuário	Área localizada entre os atracadouros do Ferry Boat e da lancha, que realizam o transporte de passageiros e veículos entre as localidades de Cabedelo, Lucena e Forte Velho. Possibilidade de contaminações relacionadas à estas atividades.

EAM-12.AG	Estuário	Confluência entre a jusante do Canal de Forte Velho e a desembocadura do Rio da Guia. Compreensão da fonte de eventuais contaminantes encontrados no rio.
EAM-13.AG	Estuário	Ponto susceptível a dispersão de efluentes, pela maré enchente (Figura 105), proveniente das atividades portuárias.
EAM-14.SO.AG	Estuário	Ponto localizado na Ilha da Restinga, ambiente sensível ao fluxo hidrodinâmico e de grande importância ambiental para a região.

É importante ressaltar que a posição das estações de amostragem e monitoramento localizadas entre a ADA e AID do empreendimento (pontos EAM-01 a EAM-14) foi apresentada pela Real Consultoria e Soluções à Superintendência de Administração do Meio Ambiente do Estado da Paraíba (SUDEMA), antes da execução das coletas de campo, e devidamente aprovada pelo órgão regulamentador do estudo.



Figura 13. Mapa de localização das Estações de Amostragem e Monitoramento. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

5.1.1.5 OCEANOGRAFIA E HIDRODINÂMICA COSTEIRA

Os estudos voltados a Oceanografia e Hidrodinâmica Costeira tiveram como objetivo caracterizar a hidrologia (correntes, ondas e maré), incluindo variações sazonais, nas proximidades da Área de Influência Direta (AID) do empreendimento (**Figura 14**), através de dados coletados, históricos de onda e modelagem numérica.

Estuário pode ser definido como um corpo d'água costeiro parcialmente fechado que está permanentemente ou periodicamente em conexão com o mar, que recebe descargas pelo menos periódicas de um rio, possuindo assim salinidade tipicamente menor que a água do mar e que varia temporalmente ao longo de sua extensão, podendo se tornar hipersalino em regiões onde a perda de água por evaporação é alta e onde os fluxos de água doce são negligíveis (Potter et al., 2010).

De acordo com a definição acima a circulação, os processos de mistura e a estratificação de salinidade no estuário dependem de sua geometria, da descarga de água doce, da maré, da salinidade no oceano, da circulação da região oceânica adjacente e do vento que atua remota ou diretamente sobre a sua superfície livre (Pritchard, 1967). Sendo assim, uma abordagem minuciosa dos processos físicos que atuam nesses ambientes é bastante complexa.

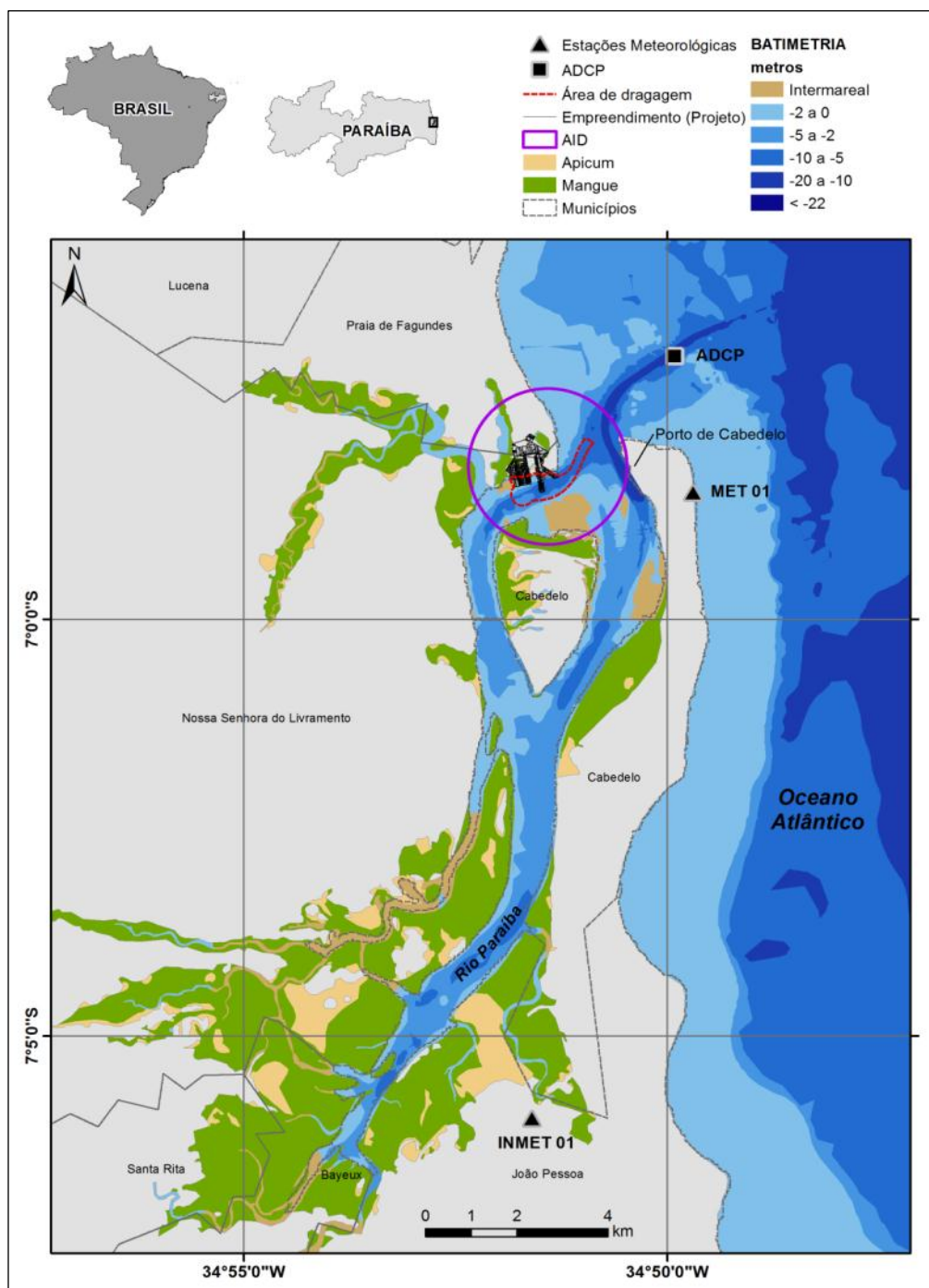


Figura 14. Mapa de localização do estuário do rio Paraíba do Norte, com a estrutura do empreendimento e localização do ADCP e estação do INMET. A batimetria do estuário corresponde a escala de cor azul. (Fonte. BELOV, 2015)

Segundo Miranda e colaboradores (2002), no Brasil, cerca de 60% das grandes cidades estão localizadas nas proximidades dos estuários e o conhecimento científico pode ser usado para solução de problemas de natureza prática, tais como: impactos de alterações na bacia hidrográfica e na geometria

dos estuários, distribuição de propriedades físicas, identificação de zonas de sedimentação que podem prejudicar a navegação, dentre outros.

A cidade de Lucena, localizada no estado da Paraíba, na microrregião de João Pessoa, está situada nas margens do Estuário do Rio Paraíba do Norte (ERPN) onde se localiza o único porto do Estado. Segundo Sassi (1991), o sistema estuarino em questão é caracterizado como um ambiente raso com aproximadamente 24km de extensão e 2km de largura, que sofre influência de marés semi-diurnas. O estuário, formado por sete tributários do Rio Paraíba - Sanhauá, Paroeira, Mandacaru, Tiriri, Ribeira e Guia - é bordado por manguezais dominados por *Rhizophora* e *Laguncularia* sp. A crescente pressão populacional sobre o estuário vem gerando conflitos e um manejo inadequado desse ambiente. Um exemplo é o aporte de detritos domésticos e industriais nos tributários do sistema estuarino.

Atualmente, o ERPN é pouco estudado em relação aos seus aspectos físicos oceanográficos sendo que são escassas medidas de ondas, correntes e maré nas proximidades de Cabelo (Neves et al. 2010), limite com o Município de Lucena em questão. Para a costa da Paraíba, a direção das ondas predominante é de NE e E, com altura de 1,0m e período de 5,0s, e de SE e SSE, com alturas de 1,5m e período de 6,5s. Dados da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), no porto de Cabedelo definem o regime de meso-marés com características semi-diurnas na localidade. A amplitude máxima de maré é de 2,7m e dados de correntes não são disponibilizados.

5.1.1.5.1 DADOS COLETADOS

Para a caracterização oceanográfica do ERPN, foi fundeado um perfilador acústico de correntes (ADCP) (**Figura 15**), modelo 600 KHz Workhorse Sentinel Teledyne RDI, nas proximidades da AID do empreendimento. Esse equipamento emprega o princípio no qual a frequência de uma onda sonora é modificada quando refletida por um objeto em movimento (Efeito Doppler). O aparelho emite pulsos sonoros com diferentes capacidades de penetração na coluna de água e esses pulsos são refletidos de volta para o instrumento pelos refletores (materiais ou organismos em suspensão) existentes na água do mar.

Esses refletores são transportados pela corrente, e assim, a frequência da onda sonora refletida é diferente daquela emitida originalmente. Por fim, o transdutor sonoro capta essa anomalia de frequência e estima a velocidade relativa entre o refletor e o corpo do instrumento (Miranda, et al., 2002).

Para o procedimento de coleta de onda e corrente, o ADCP foi instalado em uma profundidade média de 6 metros na saída do canal de navegação do porto de Cabedelo (**Figura 14**). Nas coletas de corrente foram realizadas medições com duração de 1 minuto em intervalos de 30 minutos, enquanto que os parâmetros de onda foram medidos durante 20 min a cada 1 hora, durante 15 dias na estação seca (verão). O tamanho da célula para ambas as medições foi de 0,5m. Os dados apresentados na seção 3.2 correspondem a 12 dias de coleta, entre 8 e 20 de dezembro de 2015. A ausência de três dias na série temporal foi devido a uma falha do equipamento nos últimos dois dias de fundeio. A estrutura de fundeio utilizada possui um suporte com eixo cardã (**Figura 15**), o que assegura que o equipamento mantenha sua posição sempre orientada na vertical, diminuindo os erros de “pitch” e “roll”. A escolha do local seguiu os seguintes critérios: capacidade de observação das diferentes direções de ondas, com menor influência da zona de sombra dos recifes que protegem a região, proximidade ao eixo preferencial das correntes (proximidade ao canal de navegação) e proximidade da AID.

O processamento dos dados se deu em ambiente Python 2.7, onde foram retirados os dados espúrios de maré, corrente e onda. Após a retirada dos dados espúrios as constituintes harmônicas foram extraídas através da análise harmônica (Emery e Tompsom, 2004) e a velocidade das correntes (u e v) foram rotacionadas para o eixo perpendicular em relação ao canal principal. Para os dados observados, o ângulo de rotação foi de 29,7°. As correntes residuais foram calculadas através da média no tempo, para o período de amostragem, com o intuito de identificar a tendência euleriana do fluxo de massa d’água. A anomalia da altura da superfície do mar (AASM) foi calculada através da fórmula, onde p é a profundidade e a profundidade média ao longo do tempo.



Figura 15. ADCP 600 KHz Workhorse Sentinel Teledyne RDI, acoplado a uma estrutura de aço inox com eixo cardã. O local de fundeio está ilustrado na **Figura 14**. (Fonte. BELOV, 2015)

5.1.1.5.2 DADOS HISTÓRICOS

Para suprir a ausência de informações disponíveis na literatura acerca da climatologia de ondas, utilizou-se de forma complementar no presente relatório os dados de ondulação provenientes do módulo IH-DATA do modelo Sistema de Modelagem Costeira do Brasil (SMC-Brasil). O SMC-Brasil é uma ferramenta computacional que combina metodologias de trabalho, bases de dados das cartas náuticas, de ondulação, níveis e modelos numéricos orientados para o estudo e ou solução de problemas costeiros (SMC-BRASIL, <http://hotsite.mma.gov.br/smcbrasil/>).

A base de dados de ondulação (DOW) proporciona séries temporais de ondas em pontos específicos ao longo da costa brasileira. O ponto utilizado para a caracterização do ERPN é ilustrado na **Figura 16**. O conjunto histórico de dados de onda que será apresentado nesse relatório na forma de figuras corresponde ao

período entre 1948 e 2008 (60 anos de dados a cada hora), e foi validado a priori com dados de satélite, bóias e marégrafos.

O banco de dados foi gerado em duas etapas: na primeira foi desenvolvida uma reanálise global que proporcionou a determinação das características gerais de ondas em águas profundas ao longo da costa do Brasil (GOW), e na segunda fase foi realizado um “Downscaling” (DOW) para a transferência das informações até uma posição próxima à costa. A calibração e validação dos dados foram realizadas para proporcionar a sua aplicação em estudos de dinâmica litorânea e também em projetos de engenharia costeira.

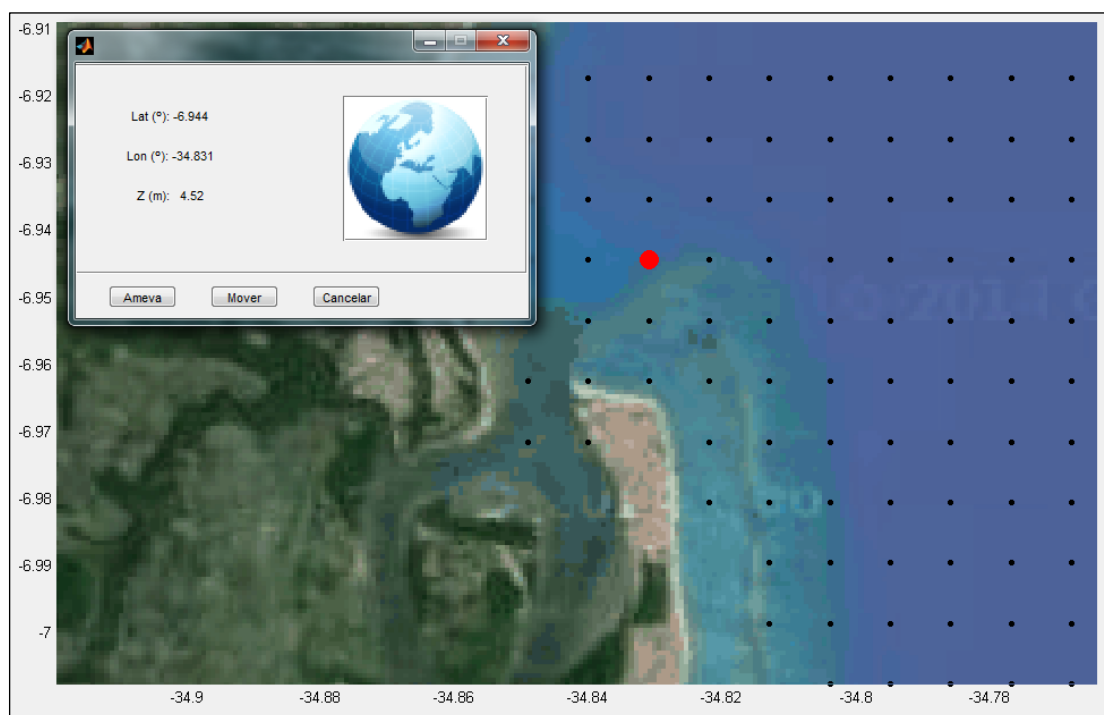


Figura 16. Localização do ponto da série temporal de ondas utilizada nas proximidades do estuário do rio Paraíba do Norte (Fonte. SMC-BRASIL).

5.1.1.5.3 DEFINIÇÃO DOS SETORES DA COSTA COM TENDÊNCIA A ACREÇÃO E EROSÃO

Em atendimento à descrição dos parâmetros hidrodinâmicos previstos no Termo de Referência do Estaleiro Pedra do Ingá, constam ainda neste estudo dados relativos às regiões com tendência a acreção e à erosão, na linha de costa adjacente à área do empreendimento. Os dados foram obtidos de um

projeto do Ministério do Meio Ambiente, o qual deu origem ao livro *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*.

De acordo com os dados retirados do capítulo intitulado “Paraíba”, o diagnóstico do comportamento da linha de costa da área, foi realizado utilizando-se os seguintes procedimentos:

- A linha de costa foi percorrida com um veículo tipo buggy, ou no caso de algum impedimento, utilizando-se sobrevôo.
- Sempre que possível foi coletada uma amostra do sedimento da face da praia em intervalos que, na grande maioria dos casos, se situaram em torno de 2-3km. Em cada ponto amostral foi preenchida uma ficha padrão com quesitos sobre inclinação da face da praia (medida com um clinômetro), altura e número de rebentações, estágio da maré, presença de feições indicativas de erosão ou progradação, presença de obras de engenharia e outras feições culturais, além de realizada a documentação fotográfica.
- Durante os trabalhos de campo a posição da linha de costa foi marcada com um receptor GPS, utilizando como critério o início da vegetação no pós-praia.
- Uma modelagem dos padrões de refração de ondas para todo o trecho de costa investigado, foi realizada utilizando-se técnicas clássicas (CERC 1984). Nesta modelagem foram utilizados parâmetros de onda extraídos da literatura e também determinado o sentido da deriva litorânea associada a cada frente-de-onda assim como a deriva efetiva.
- Todas as informações geradas foram integradas em um sistema de informações geográficas, utilizando-se como base de referência as cartas planialtimétricas da SUDENE-IBGE.

5.1.1.5.4 LEVANTAMENTO HISTÓRICO DA GEOMORFOLOGIA COSTEIRA

A zona costeira brasileira é definida na Lei 7.661 como sendo “o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre”. Sendo

assim, essa região corresponde a uma área de influência conjunta de processos marinhos e terrestres, gerando ambientes com características específicas e identidade própria. Então, a costa é uma zona ativa, onde as ondas geradas pelo vento quebram e dissipam energia, as marés arrastam a água sobre a orla dos continentes, os rios carreiam os sedimentos e tempestades oceânicas atingem violentamente o continente. A forma de uma costa é produto de muitos processos: elevação e subsidência, rebaixamento do continente por erosão e redistribuição de material por transporte e deposição de sedimentos.

Além dos processos naturais que atuam nas alterações da zona costeira, os processos antrópicos são de grande relevância. No Brasil, metade da população reside a não mais de 200km do mar, o que equivale a mais de 70 milhões de habitantes, cuja forma de vida impacta diretamente os ambientes litorâneos (MMA/UFRJ/FUJB/LAGET/UFRS, 1996). O crescimento demográfico no país ocorre paralelo à taxa de urbanização, fenômeno mais acentuado nas zonas costeiras, onde as cidades crescem em todos os níveis de hierarquia urbana.

O estado da Paraíba encontra-se inserido nesse contexto, onde a maior parte da população do Estado reside nas áreas costeiras compreendidas pelas regiões dos tabuleiros ou baixos planaltos costeiros, bem como na baixada litorânea chegando até a praia (Neves, 2003). Situada na porção sul do litoral paraibano, a orla marítima do município de Cabedelo é caracterizada de um lado, pelas formas resultantes da dinâmica dos processos marinhos, e do outro, destacam-se as formas relacionadas à dinâmica fluvial do Rio Paraíba do Norte. Em virtude da complexidade natural e do nível de intervenção humana na organização do espaço geográfico do ambiente costeiro, esse ambiente vem merecendo atenção cada vez maior quanto a manutenção do seu equilíbrio. Sendo assim, existe a necessidade de um conhecimento detalhado de suas estruturas e das forças que intervêm no ajustamento de suas formas (Furrier, 2007).

Esta etapa teve como objetivo identificar as regiões potenciais de acreção e erosão costeira na área de influência direta (AID) do empreendimento, através de um levantamento histórico da evolução geomorfológica da linha de costa.

5.1.1.5.4.1 LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO

Foi realizado o levantamento fotográfico na AID do empreendimento com o objetivo de caracterizar a zona costeira e exemplificar o transporte de sedimento da região em estudo. O campo foi realizado no dia 21 de novembro de 2015 em maré de sizígia. A **Figura 17** apresenta a localização das fotos realizadas durante o campo, e apresentadas nas **Figuras 3, 4, 5 e 6**.

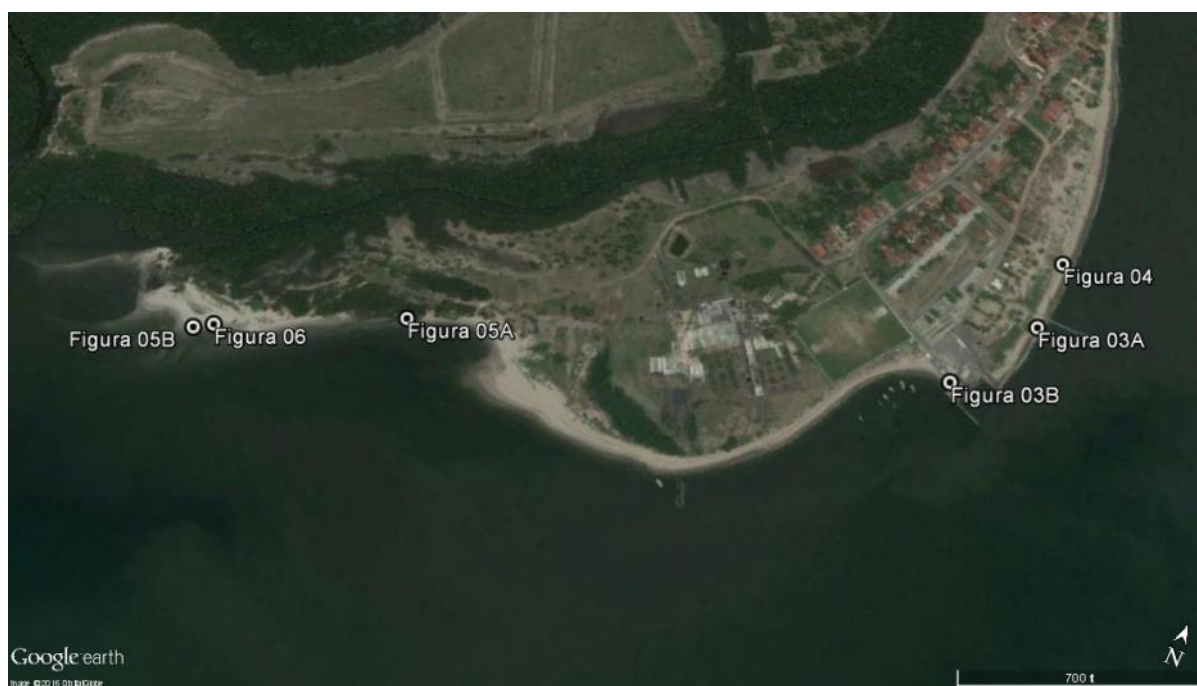


Figura 17. Localização das fotografias adicionadas as Figuras 3, 4, 5 e 6. (Fonte. Google, 2016).

5.1.1.5.4.2 IMAGENS DE SATÉLITE

Uma série temporal de 8 imagens da série de satélites Landsat, entre 1973 a 2016, foi utilizada para a identificação de mudanças na linha de costa na entrada do estuário do Rio Paraíba. As imagens foram obtidas gratuitamente da NASA (<http://landsat.usgs.gov//index.php>), já ortorretificadas e possuem resolução espacial variando entre 15 e 60m. Apenas a imagem do satélite Landsat 1 foi georreferenciada, pois apresentava deslocamento em relação às demais imagens por exibir uma órbita diferente.

Tabela 3. Datas, satélites, sensores, bandas espectrais, resolução espacial e órbita/ponto das imagens Landsat utilizadas para a identificação da linha de costa na entrada do estuário do Rio Paraíba.

DATA	SATÉLITE	SENSOR	BANDAS	RESOLUÇÃO	ÓRBITA/PONTO
27/11/1973	LANDSAT 1	MSS	5, 6 e 7	60 m	230/65
28/05/1985	LANDSAT 5	TM	3, 4 e 5	30 m	214/65
04/12/1996	LANDSAT 5	TM	3, 4 e 5	30 m	214/65
08/01/2001	LANDSAT 7	ETM+	3, 4, 5 e 8	15 m	214/65
01/04/2005	LANDSAT 5	TM	3, 4 e 5	30 m	214/65
06/09/2010	LANDSAT 5	TM	3, 4 e 5	30 m	214/65
11/02/2016	LANDSAT 8	OLI	4, 5, 6 e 8	15 m	214/65

Foram utilizadas as bandas espectrais que apresentam as melhores respostas para o mapeamento da linha de costa, de acordo com as especificações do programa Landsat (USGS, 2015). Uma composição de bandas em canais RBG (vermelho, azul e verde) foi feita para realçar o limite entre continente e áreas inundadas pelas marés. Nesse caso, a vegetação continental apresentou cores alaranjadas, regiões com maior umidade, como manguezais, apresentaram cor vermelho escuro. A composição de bandas foi realizada no ArcGis 10.1, assim como o mapeamento da linha de costa em escala 1:15.000.

As bandas infravermelho próximo, infravermelho de onda curta e vermelho foram utilizadas nos canais R (vermelho), B (azul) e G (verde), respectivamente, para as imagens Landsat 5, 7 e 8. Já as bandas pancromáticas dos satélites Landsat 7 e 8 foram fusionadas à composição de bandas para aumentar a resolução espacial de 30 para 15 m, aumentando a nitidez da imagem. Para as imagens do Landsat 1, as bandas infravermelho próximo (banda 6), infravermelho próximo (banda 7) e vermelho foram utilizadas nos canais RGB, respectivamente.

O critério utilizado para o mapeamento da linha de costa foi o limite entre áreas úmidas (inundadas pela maré) e áreas “secas” (acima do alcance das marés). As áreas intermareais vegetadas e supramareais (apicum) foram evidenciadas conforme o exemplo da **Figura 18** (Santos et al., 2010), representando “áreas úmidas” da Baía de Vitória. A área intermareal vegetada (manguezal) corresponde à cor vermelha, enquanto as áreas supramareais correspondem à coloração violeta e verde escuro adjacente às áreas intermareais

vegetadas, as áreas azuis representam o espelho d'água e as demais áreas o domínio continental.

A análise da diferença entre as linhas de costa de imagens antigas e recentes indicaram zonas de acreção (acúmulo de sedimentos) e erosão (retirada de sedimentos) na área de influência direta do empreendimento (AID).

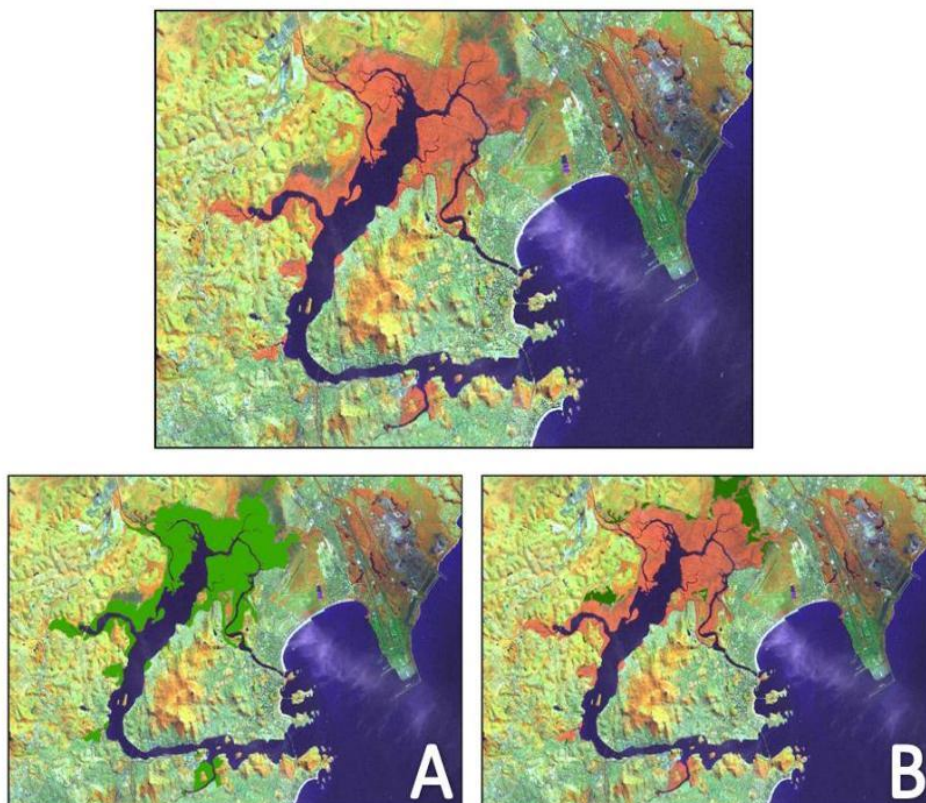


Figura 18. Composição das bandas 4 (R), 5 (G) e 3 (B) do satélite Landsat 7 ETM+ utilizada para o mapeamento da linha de costa, das áreas intermareais vegetadas (A) e áreas supramareais (B) para a Baía de Vitória (Fonte. Santos et al., 2010).

5.1.1.6 CÁLCULOS RELATIVOS À DRAGAGEM

A metodologia dos cálculos relativos tanto aos volumes da dragagem de instalação quanto à previsão da periodicidade da dragagem de manutenção do canal de acesso ao EDPI consta nos **itens 5.1.7.1 e 5.1.7.2** do presente estudo.

5.1.1.7 MODELAGEM

O sistema de modelos numéricos Delft3D, através dos módulos Delft3D-FLOW e Delft3D-WAVE, foi selecionado como ferramenta para descrever

a hidrodinâmica costeira e padrões oceanográficos no ERPN para dois cenários, inverno e verão, sem a presença das instalações do empreendimento.

O modulo Delft3D-FLOW é um programa multidimensional (2D ou 3D) de simulação hidrodinâmica, que calcula fluxos não estacionários e fenômenos de transporte que resultam de forçantes de maré e meteorológicas. As condições hidrodinâmicas (velocidades, elevação da superfície do mar, densidade, salinidade, viscosidade e cisalhamento vertical) calculadas são utilizadas como parâmetros de entrada para diferentes módulos do Delft3D, incluindo o Delft3D-WAVE. O Delft3D-WAVE é usado para simular a evolução de ondas geradas pelo vento em águas costeiras, incluindo estuários, baías, canais, etc (Deltares, 2013). Esse módulo computa a propagação das ondas, geração de ondas pelo vento, interações não lineares entre as ondas, bem como dissipação dada por topografia de fundo, campo de vento e nível d'água. O modelo utilizado pelo modulo Delft3D-WAVE é a terceira geração do "Simulating Waves Nearshore" (SWAN) (Holthuijsen et al., 1993; Booij et al., 1999; Ris et al., 1999).

Grade Numérica e Batimetria

A implementação da grade numérica está intimamente relacionada aos processos e objetivos finais que se pretendem atingir com a modelagem para a região. A grade é estruturada através da fixação dos pontos ao longo da linha de costa (plano horizontal) e pela batimetria (eixo vertical). Para o presente trabalho, foi implementada uma grade numérica regular com resolução horizontal de 40m e características especificadas na **Tabela 4**.

Tabela 4. Características da grade numérica. (Fonte. BELOV, 2015).

Tipo de Grade	Dimensão Horizontal	Espaçamento
Regular	34,91 °W - 34,75 °W 7,13 °S - 6,83 °S	~40m

As informações batimétricas foram obtidas através da digitalização de cartas náuticas da DHN, sendo elas: 806 (Proximidades do Porto De Cabedelo) e 830 (Porto De Cabedelo), complementando com os dados de multifeixe coletados na área de dragagem e do Porto de Cabedelo (**Figura 14**). As cotas batimétricas foram associadas a cada ponto da grade através de interpolação bilinear,

adequando assim à resolução adotada. A discretização espacial, horizontal e vertical, da grade numérica é apresentada na **Figura 19** respectivamente. A calibração do modelo foi realizada para melhor representar a velocidade e AASM observada pelo ADCP. A batimetria foi suavizada no contorno sul para evitar valores excessivos de correntes e testes foram realizados modificando-se o valor do coeficiente de atrito, até chegar-se ao valor de $1,8 \times 10^{-2}$.

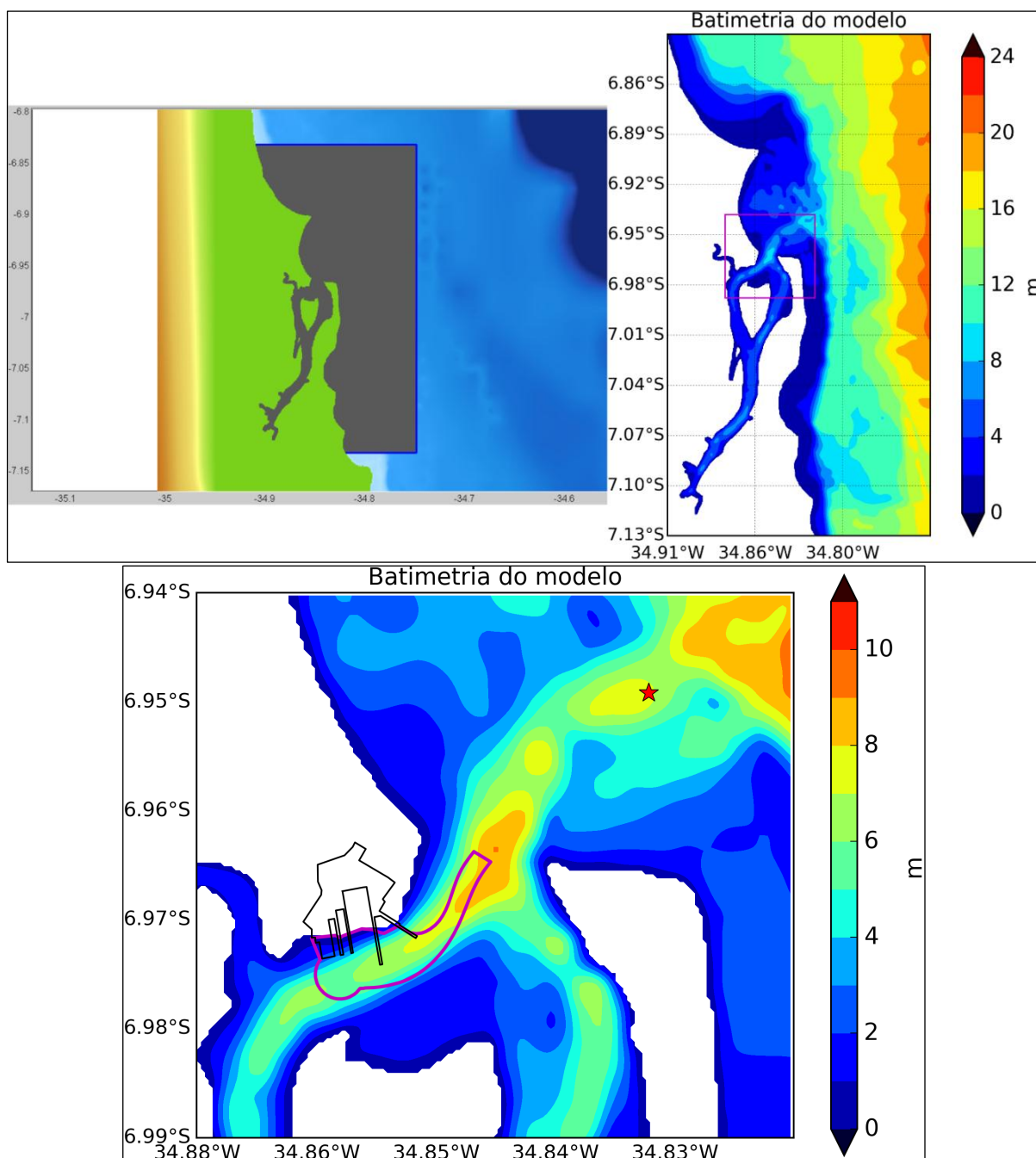


Figura 19. Extensão da grade numérica (painel superior esquerdo). Batimetria associada (painel superior direito) o quadrado rosa delimita o zoom na área do empreendimento. Painel inferior: batimetria do modelo com foco na região de estudo, mostrando a área a ser dragada (contorno rosa), a poligonal do empreendimento (contorno preto) e a estação do ADCP (estrela vermelha). (Fonte. BELOV, 2015).

5.1.2 Clima e Condições Meteorológicas

O clima pode ser definido como o conjunto de condições meteorológicas características do estado médio da atmosfera em um ponto da superfície terrestre. De acordo com SORRE (1951), o clima é uma sucessão habitual dos tipos de tempo em um determinado local do globo e, portanto, inclui considerações sobre os desvios em relação às médias, condições extremas e frequências de eventos que ocorrem em determinada condição de tempo.

O clima de qualquer região é determinado em grande parte pela circulação geral da atmosfera, tendo em vista que essa circulação é responsável por redistribuir calor e umidade por todo o planeta. Tal distribuição é fortemente afetada por diversos fatores de escala regional e local, como por exemplo, a localização geográfica e a topografia da região de interesse, a influência dos efeitos de continentalidade, maritimidade e das correntes oceânicas. Este fato faz com que cada região possua elementos climáticos distintos, tais como, temperatura e precipitação, os quais exercem fortes influências nas atividades humanas.

O Nordeste do Brasil (NEB) situa-se no extremo nordeste da América do Sul e está inserido na zona tropical do planeta. O NEB é banhado ao norte e ao leste pelo Oceano Atlântico, e limitado aproximadamente a oeste pelo meridiano de 47°W e ao sul pelo paralelo de 18°S (LIMA, 1991). O NEB está sob a influência dos Anticiclones Subtropicais do Atlântico Sul (ASAS), do Atlântico Norte (ASAN) e do cavado equatorial, cujas variações sazonais de intensidade e posicionamento determinam o clima na região (CAVALCANTI et al., 2009). Os ventos de baixos níveis associados aos sistemas de pressão são os alísios de sudeste, na borda norte do ASAS, e de nordeste, na borda sul do ASAN (LIMA, 1991). No eixo do cavado equatorial, está a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), representando uma região de baixa pressão, com movimentos ascendentes, nebulosidades e chuvas abundantes, as quais podem afetar particularmente a região mais ao norte do NEB (MOLION & BERNARDO, 2002). Além dessas circulações atmosféricas regionais, sistemas sinóticos característicos, tais como ondas de leste (OL), sistemas frontais (SF) e complexos

convectivos de mesoescala (CCM) contribuem para modular a distribuição sazonal da pluviometria sobre a região (FERREIRA & MELLO, 2005).

Diante da atuação de diversos fenômenos atmosféricos regionais e locais, a pluviosidade do NEB apresenta extrema variabilidade espacial e temporal, principalmente, quando comparadas com outras áreas tropicais do globo (UVO et al., 1998; FERREIRA & MELLO, 2005; PEREIRA, 2014). Grande parte do clima do NEB é definido como semiárido, no entanto, como exemplo de sua complexidade climática, toda a costa leste desta região apresenta altos índices pluviométricos. É neste setor que se encontra Lucena e Cabedelo, municípios da Região Metropolitana de João Pessoa, no estado da Paraíba.

A cidade de João Pessoa está localizada na faixa litorânea do Estado da Paraíba, também conhecida como Zona da Mata devido ao predomínio da vegetação de Mata Atlântica, que em função das ações de urbanização, encontra-se hoje bastante descaracterizada. Com a crescente urbanização dessas regiões torna cada vez mais necessária a caracterização climática anterior à implantação de qualquer grande empreendimento. Essa caracterização prévia tem o objetivo de identificar a presença de possíveis impactos na região.

Este tópico tem como objetivo caracterizar o clima regional e local da área de influência do empreendimento através de dados históricos de variáveis meteorológicas de uma estação do INMET e dados coletados em campo em uma estação na área de influência do empreendimento, considerando as suas variações sazonais, a ocorrência de eventos extremos e os fenômenos atmosféricos atuantes.

5.1.2.1 NORMAIS METEOROLÓGICAS

Na **Figura 20** está apresentada a análise das normais meteorológicas do período de 2000 até 2014, provenientes da estação convencional do INMET em João Pessoa. Esta figura exhibe a climatologia mensal de oito parâmetros para o período analisado, o que permite descrever de forma geral as variações sazonais e as características do clima da região de interesse. No anexo A deste relatório, também se encontra a tabela com os valores apresentados na **Figura 20**.

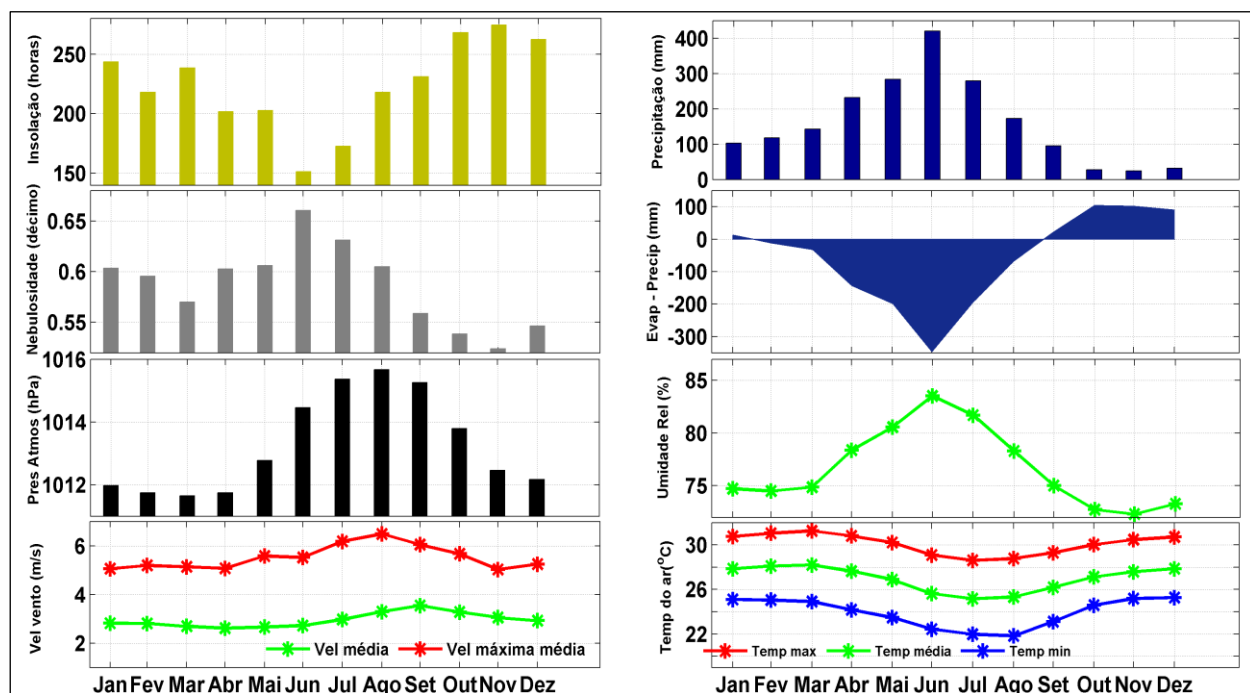


Figura 20. Normais meteorológicas (2000-2014) de João Pessoa, considerando os parâmetros de insolação (horas), nebulosidade (décimos), pressão atmosférica (hPa), velocidade do vento (m/s), precipitação (mm), balanço evaporação menos precipitação (mm), umidade relativa (%) e temperatura do ar (°C). (Fonte. BELOV, 2015).

Considerando o parâmetro de insolação, é possível observar que os maiores valores na região ocorrem em outubro (267,99 horas/mês), novembro (274,26 horas/mês) e dezembro (262,28 horas/mês). Esse período corresponde à primavera e início do verão, que justamente caracteriza a estação seca de João Pessoa, conforme pode se observar no gráfico de precipitação, onde em média os índices pluviométricos são menores do que 35mm ao mês. Os menores valores de insolação ocorrem no período de abril até julho, com o mínimo sendo observado em junho (151,37 horas/mês). Da mesma forma, esse período coincide com parte do período chuvoso da região, que atinge seu máximo em junho, onde a taxa média de precipitação é de 420,4 mm ao mês.

De acordo com o gráfico de precipitação da **Figura 20**, a região de João Pessoa possui uma estação seca relativamente curta e bem definida, com os mínimos de precipitação em outubro (27,5mm), novembro (23,9mm) e dezembro (31,8mm). Já o período chuvoso é mais amplo e totaliza um conjunto de sete meses com totais pluviais acima de 115mm, sendo os meses de abril (232mm), maio (284mm), junho (420,4mm) e julho (279,4mm) os mais

representativos nas normais climatológicas. Esse regime de precipitação observado está de acordo com os trabalhos de SILVA (2007) e PEREIRA (2014). Inclusive, o regime chuvoso é dividido por SILVA (2007) em duas épocas distintas: a pré-estação chuvosa correspondente aos três primeiros meses chuvosos do período (fevereiro – abril) e a quadra chuvosa correspondente aos quatro meses restantes (maio – agosto), com junho apresentando os maiores totais pluviométricos. Em média, os índices pluviométricos na região chegam a atingir um total de aproximadamente 1930mm ao ano, o que corrobora com o que foi encontrado por SILVA (2007), SOBREIRA (2010) e PEREIRA (2014). PEREIRA (2014) estimou um valor de aproximadamente 2145 mm ao ano utilizando registros da mesma estação meteorológica, só que englobando o período de 1961 até 1990. De forma bem semelhante ao que foi encontrado por PEREIRA (2014), a precipitação acumulada nos meses mais chuvosos (março – agosto) equivale a 1531mm (79,3% da precipitação anual). Entretanto, conforme será discutido adiante, existe uma grande variabilidade interanual nas taxas de precipitação em função do grande número de sistemas atmosféricos regionais e locais que podem atuar na região.

A nebulosidade e o balanço Evaporação menos Precipitação (E-P) também possuem relação direta com o índice pluviométrico. É justamente na quadra chuvosa que os índices de nebulosidade atingem seus valores máximos (0.66 em junho), enquanto o balanço hídrico apresenta seus valores mínimos nesse mesmo período. Vale ressaltar que o balanço E-P permanece negativo em boa parte do ano, com seus valores mínimos atingindo em torno de 346mm negativos em junho. De fato, a taxa de precipitação supera a de evaporação em sete meses (fevereiro – agosto), que segundo SILVA (2007), corresponde ao período chuvoso, enquanto que o balanço E-P é positivo somente de setembro até janeiro, com seu valor máximo atingindo em torno de 100mm nos meses de outubro e novembro. De acordo com SILVA (2007), este período equivale à estação seca na região.

Com relação aos valores de umidade relativa apresentados na **Figura 20**, é possível observar que na região de interesse as taxas de umidade permanecem sempre elevadas (acima de 72%) no decorrer do ano. Este valor sempre alto deve-se a maritimidade, ou seja, a proximidade de João Pessoa com

o Oceano Atlântico. Os valores mais altos ocorrem nos meses de maio (80,56%), junho (83,51%) e julho (81,70%), coincidindo justamente com os meses mais chuvosos na região. Por outro lado, as menores taxas de umidade ocorrem nos meses de outubro (72,7%), novembro (72,3%) e dezembro (73,3%), período com as maiores taxas de insolação, baixa precipitação e menor nível de nebulosidade em João Pessoa.

Na **Figura 20**, a pressão atmosférica ao nível da estação apresenta os valores mais baixos nos meses de janeiro (1011,97 hPa), fevereiro (1011,74 hPa), março (1011,65 hPa) e abril (1011,75 hPa). Durante esse período, a ZCIT atua sobre o norte do NEB provocando queda na pressão atmosférica e chuvas, o que corrobora com o aumento dos valores de umidade e nebulosidade em relação ao período seco de outubro até dezembro. Quanto às médias mais elevadas, essas são registradas nos meses de julho (1015,36 hPa), agosto (1015,66 hPa) e setembro (1015,26 hPa). Um fato interessante a ser notado é que o mês de maior precipitação (junho) apresenta o quarto maior valor de pressão atmosférica (1014,46 hPa). De acordo com PEREIRA (2014), este aumento dos valores de pressão do ar na quadra chuvosa pode ser explicado pela intensificação do ASAS, já que a posição mais ao norte da ZCIT é entre os meses de agosto e outubro, o que permite que o ASAS se intensifique gradativamente de junho até setembro e aumente as normais meteorológicas de pressão do ar na região de interesse, quando comparado aos primeiros quatro meses do ano. Essa variabilidade sazonal do ASAS concorda com as normais de velocidade média do vento, que aumenta gradativamente a partir de junho (2,66m/s) e atinge seus maiores valores em agosto (3,29m/s) e setembro (3,54m/s). Com a ZCIT posicionada mais ao norte nesses dois meses, o ASAS se intensifica e, conseqüentemente, os alísios de sudeste ganham intensidade, repercutindo nos maiores valores de velocidade média de vento para agosto e setembro. De forma semelhante, os maiores valores de velocidade máxima do vento também ocorrem em julho (6,19m/s), agosto (6,49m/s) e setembro (6,05m/s).

Para finalizar as análises da **Figura 20**, as normais de temperatura do ar máxima, média e mínima apresentam um padrão elevado todo ano. Isto se deve ao fato de João Pessoa estar localizada em baixa latitude. As variações dos máximos e mínimos ao longo do ano expressam a sazonalidade do verão e

inverno. Em julho e agosto, ocorrem os menores valores de temperatura máxima (28,6°C), temperatura média (25,2°C) e temperatura mínima (21,8°C). Por outro lado, nos meses de verão, entre dezembro e março, são registrados os maiores valores de temperatura máxima (31,2°C), temperatura média (28,2°C) e temperatura mínima (25,0°C).

De acordo com a classificação de KÖPPEN (1923), o clima de João Pessoa e dos municípios de Cabedelo e Lucena é denominado As', definido como sendo um clima quente e úmido com estação seca no verão e chuvosa no outono-inverno, com precipitações médias de 1800mm anuais e com temperaturas médias que variam predominantemente entre 25°C e 28°C ao longo do ano. Conforme os resultados das normais meteorológicas no período de 2000 até 2014 discutidos no presente relatório, constata-se que os resultados encontrados enquadra João Pessoa no status de clima As', o que concorda com os trabalhos de FRAZÃO (2011) e PEREIRA (2014) para a mesma região.

Na **Figura 21**, as análises sobre o vento na região de interesse são complementadas com diagramas de direção e intensidade, considerando todo o período de 2000 até 2014. Percebe-se que em termos gerais, os ventos de sudeste são os mais frequentes na região (49%), seguido pelos ventos de leste (21%) e de sul (19%), corroborando com os trabalhos de FRAZÃO (2011) e PEREIRA (2014). Essa atuação dominante dos ventos de sudeste ao longo do ano pode ser explicada pela localização geográfica de João Pessoa e Cabedelo. As cidades estão localizadas na faixa litorânea, na porção mais ao norte do NEB, a qual recebe influência direta dos ventos alísios de sudeste originados no ASAS. Outro fator é que por João Pessoa, Cabedelo e Lucena encontrarem-se na planície litorânea, a direção dos ventos não sofre interferências das variações do relevo. A intensidade mais frequente dos ventos se dá no intervalo de 2,0 até 4,0m/s, de acordo com o que também mostra a **Figura 20**.

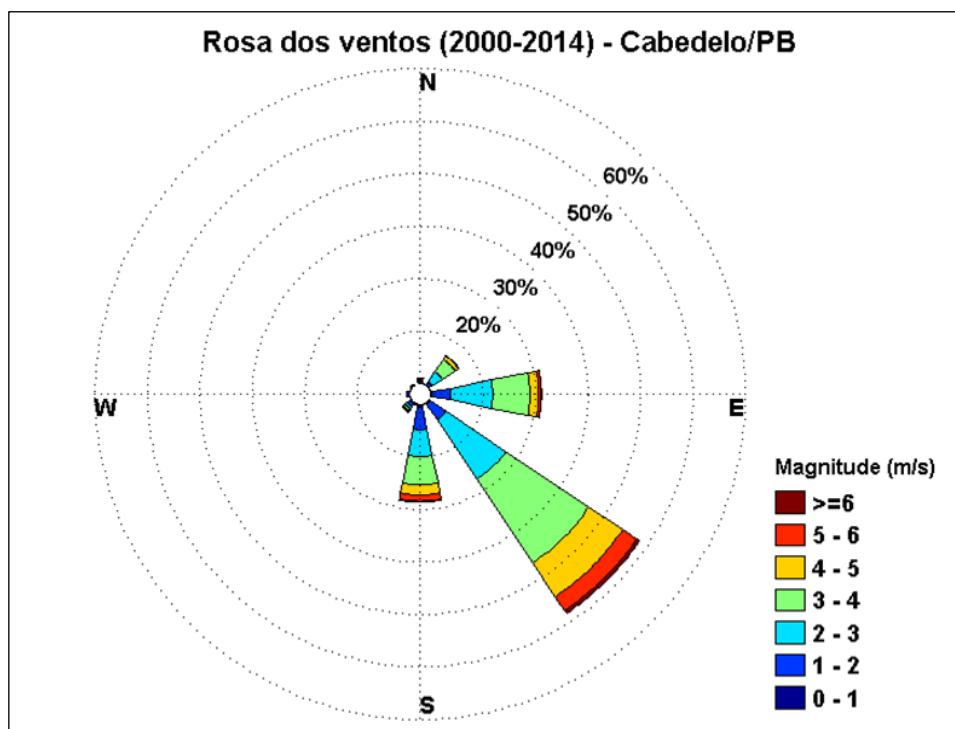


Figura 21. Rosa dos ventos (2000 até 2014) da estação do INMET localizada em João Pessoa. (Fonte. BELOV, 2015).

Com relação às variações de direção e intensidade do vento em meses específicos, na **Figura 22** é possível observar que, apesar da direção sudeste ser dominante na região, existem pequenas variações ao longo do ano. Por exemplo, a componente de sul do vento ganha força a partir de abril e atinge sua frequência máxima (40%) em junho, equiparando-se ao vento de sudeste. A maior frequência dos ventos de sudeste (60%) ocorre em agosto e setembro, período em que a ZCIT está mais ao norte e o ASAS encontra-se mais intenso, gerando ventos mais fortes de 4,0 – 7,0m/s sobre a região. A componente de leste atinge seu pico de frequência (33%) em dezembro. Vale ressaltar que essas mudanças ao longo do ano de direção e intensidade estão atreladas ao posicionamento da ZCIT, e também ao posicionamento e intensidade do ASAS. Além disso, a componente de sul mais forte em junho pode sinalizar uma influência maior dos remanescentes de frentes frias, que podem atingir a região com maior frequência no inverno, conforme sinaliza PEREIRA (2014).

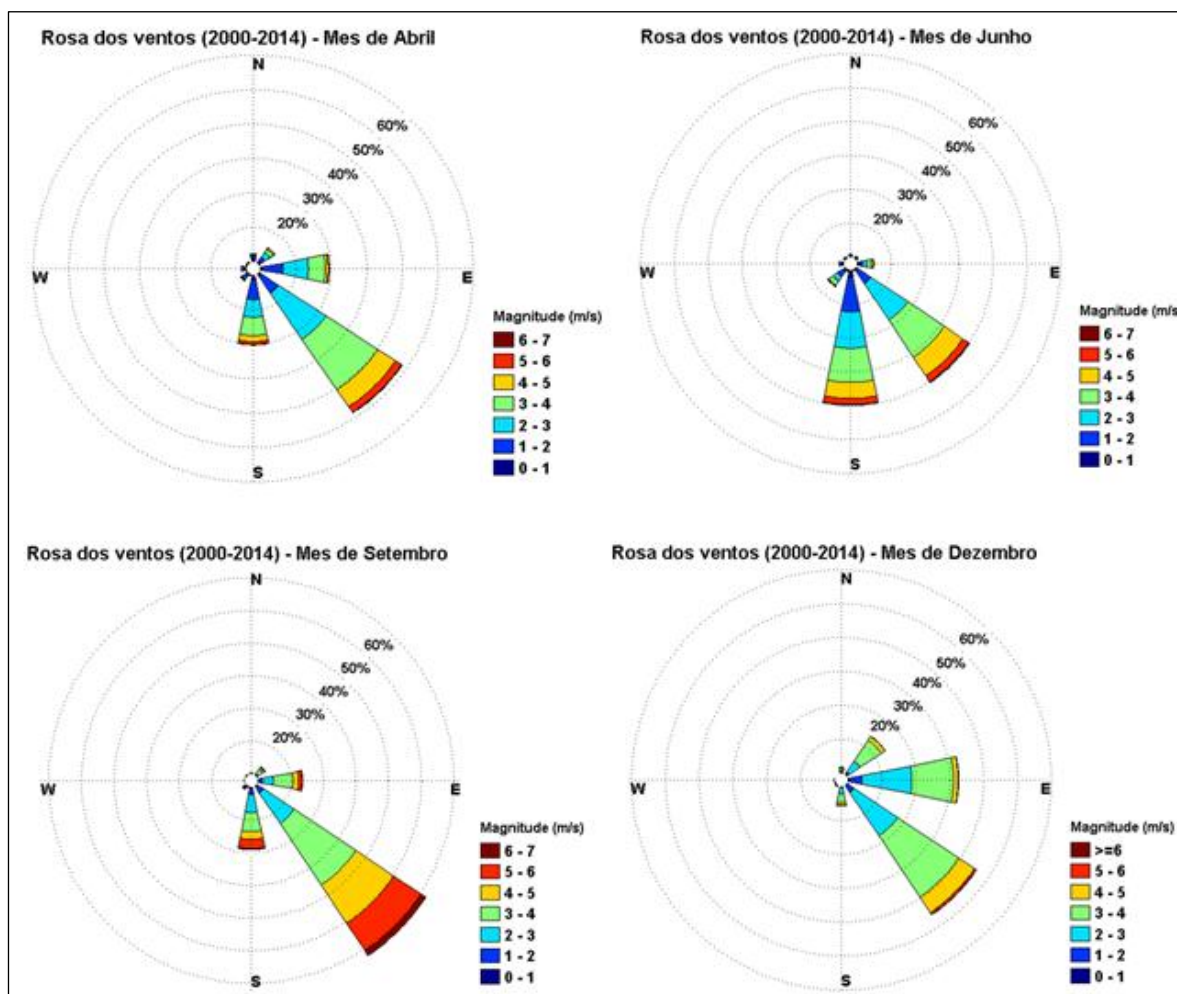


Figura 22. Rosa dos ventos (2000 até 2014) da estação do INMET localizada em João Pessoa para os meses de abril, junho, setembro e dezembro. (Fonte. BELOV, 2015).

5.1.2.2 VARIABILIDADE MENSAL E ANUAL

Nesse tópico será analisado de forma breve as séries mensais (**Figura 23**) e os valores anuais históricos (**Tabela 5**) das principais variáveis, dentre elas a precipitação, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade do vento e temperatura do ar. A tabela com os valores mensais dessas variáveis estão no anexo B desse relatório. É possível observar que a precipitação é altamente variável de ano para ano (**Figura 23**). Normalmente, a pré-estação chuvosa (fevereiro – abril) sofre grande influência da ZCIT, enquanto a quadra chuvosa (maio – agosto) sofre influência de outros sistemas atmosféricos, como ondas de leste, complexos convectivos de mesoescala e remanescentes de sistemas frontais (PEREIRA, 2014). Junho, tido como o mês de maior índice pluviométrico,

é capaz de apresentar grande variabilidade interanual, com meses de chuva bem acima da normal meteorológica, como junho de 2003 (626mm), ou com meses bem abaixo da normal meteorológica, como junho de 2001 (255mm), junho de 2006 (271mm) e junho de 2010 (256mm). O mesmo é observado para o mês de março, que também experimenta grande variabilidade interanual na precipitação, podendo atingir 299 mm em 2008, ou 18mm em 2013. No caso do mês de março, os índices de precipitação variam majoritariamente em função da migração sazonal da ZCIT. Em anos de baixos índices pluviométricos na pré-estação chuvosa, a ZCIT fica bloqueada mais ao norte de sua posição normal, fazendo com que a região de João Pessoa se posicione abaixo de uma região de subsidência que inibe a precipitação (MOLION & BERNARDO, 2002).

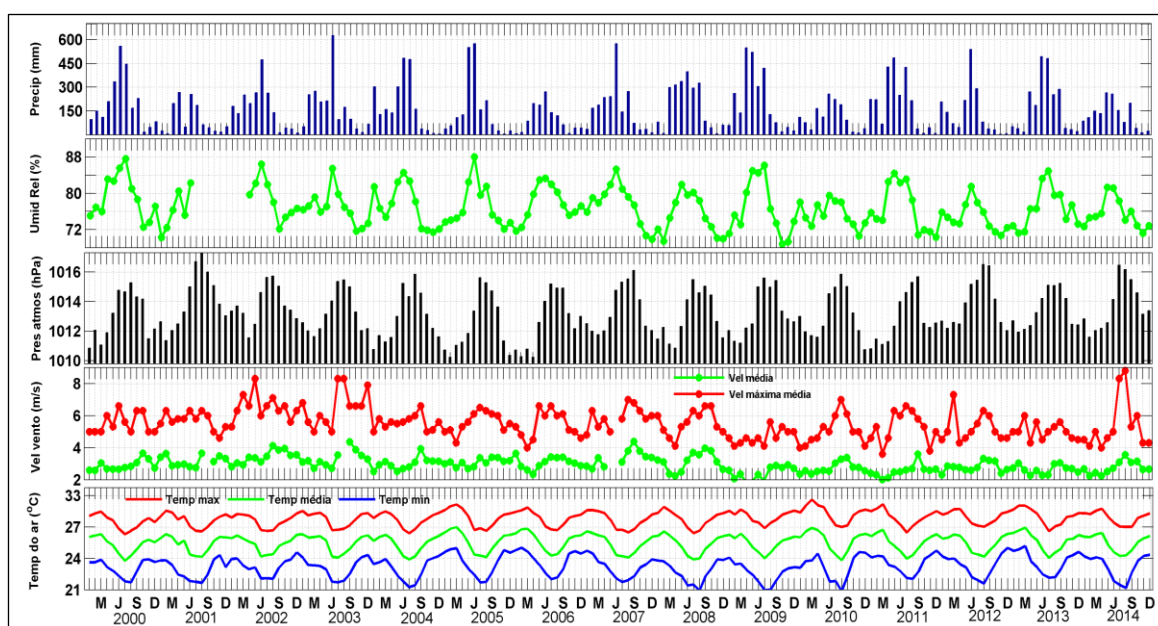


Figura 23. Variabilidade mensal da precipitação (mm), umidade relativa (%), pressão atmosférica (hPa), velocidade do vento (m/s) e temperatura do ar (°C) para a estação do INMET em João Pessoa. As iniciais M, J, S e D correspondem aos meses de março, junho, setembro e dezembro, respectivamente. (Fonte. BELOV, 2015).

A **Tabela 5** com os valores anuais históricos também exibe essa grande variabilidade interanual da precipitação. Por exemplo, em 2000 e 2011 choveu mais do que 2400mm, enquanto que em 2001 e 2006 choveu abaixo de 1200mm. Isso concorda com as análises de PEREIRA (2014), que definiu 2006 como um ano padrão seco e 2011 como um ano padrão chuvoso na região de interesse.

Tabela 5. Variabilidade mensal da precipitação (mm), umidade relativa (%), pressão atmosférica (hPa), velocidade do vento (m/s) e temperatura do ar (°C) para a estação do INMET em João Pessoa. As iniciais M, J, S e D correspondem aos meses de março, junho, setembro e dezembro, respectivamente. (Fonte: BELOV, 2015).

Ano	Precipitação (mm)	Pressão atm. (hPa)	Umidade Relativa (%)	Temp max (°C)	Temp min (°C)	Temp média (°C)	Vel média (m/s)	Vel max média (m/s)
2000	2439,90	1013,00	79,13	29,63	23,79	26,72	2,88	5,51
2001	1178,50	1013,87	77,33	29,87	23,54	26,84	3,18	5,69
2002	2003,10	1013,80	78,6	29,77	23,98	26,81	3,43	6,53
2003	2 08,40	1013,11	76,72	30,05	23,86	27,04	3,30	6,53
2004	2229,60	1012,94	77,17	29,88	23,62	26,74	3,00	5,58
2005	1940,70	1012,46	77,04	30,22	24,43	27,20	3,08	5,58
2006	1178,30	1012,68	77,77	30,10	24,68	27,26	3,06	5,38
2007	2003,90	1013,46	77,58	29,84	23,83	26,82	3,36	5,90
2008	2254,50	1013,00	75,10	30,02	23,29	26,79	3,12	5,54
2009	2544,50	1013,15	76,41	30,33	23,09	26,98	2,43	4,68
2010	1321,00	1013,09	75,43	30,71	23,92	27,29	2,73	5,06
2011	2414,00	1012,83	76,63	30,23	24,30	26,99	2,55	5,27
2012	1668,60	1013,86	74,76	30,22	24,10	26,92	2,79	5,23
2013	2174,70	1013,44	76,76	30,36	24,58	27,22	2,65	5,03
2014	1508,10	1013,73	75,45	30,15	23,94	26,94	2,75	5,35

Essas flutuações interanuais nas taxas de precipitação também são relacionadas com os eventos de El Niño e La Niña, de acordo com MOLION & BERNARDO (2002), FERREIRA & MELO (2005), SILVA (2007) e PEREIRA (2014). Nos eventos de El Niño, quando as águas superficiais da bacia do Pacífico estão mais aquecidas em torno do Equador e sobre a margem centro-leste, toda a convecção equatorial também se desloca para leste, fazendo com que uma célula de ar descendente se desenvolva sobre o NEB e Amazônia Oriental, o que inibe os mecanismos de precipitação. Por exemplo, nos anos 2005 – 2006 e 2009 – 2010, fenômenos de El Niño de intensidade fraca se desenvolveram no Pacífico, podendo ser observado baixos índices de precipitação para 2006 (1178,3mm) e 2010 (1321mm) na região de interesse, quando comparado com a normal meteorológica de precipitação (1930mm) no período de 2000 até 2014. De forma oposta, os eventos de La Niña estão relacionados com o aumento da taxa de precipitação na região de interesse, pois incitam a convecção equatorial sobre o NEB. Em 2007-2008, foi verificado um

evento de La Niña forte, o que corrobora com o ano relativamente chuvoso de 2008 (**Tabela 5**), com o índice de precipitação totalizando 2254,5mm.

Para os valores mensais de umidade relativa expressos na **Figura 23**, estes seguem basicamente os índices pluviométricos, com o período de janeiro até agosto sendo os mais úmidos ao longo do ano. Os picos de umidade relativa nas séries mensais correspondem aos meses de maior pluviosidade, como em junho de 2000 (85,4%), junho de 2003 (85,5%) e junho de 2005 (88,3%). Isso pode ser confirmado pelos dados da **Tabela 5**, onde 2000 – ano de maior índice pluviométrico – apresenta o maior valor anual de umidade relativa (79,13%) da série histórica. De fato, João Pessoa, Cabedelo e Lucena caracterizam-se por um clima úmido, tendo em vista que os valores anuais históricos de umidade relativa estão sempre acima de 74%.

Os valores mensais de pressão atmosférica ao nível da estação (**Figura 23**) apresentam seus mínimos na pré-estação chuvosa, que sofre a influência da ZCIT, a qual é um sistema de baixa pressão com movimento ascendente de ar, nebulosidade e chuvas. Os máximos mensais costumam ocorrer entre agosto e setembro, quando a ZCIT está mais ao norte e o ASAS se encontra intensificado, repercutindo em ventos mais fortes sobre João Pessoa e região adjacente, conforme indica a série mensal do vento. A velocidade máxima média do vento tende a ocorrer justamente nesses dois meses, com valores acima de 8 m/s em setembro e agosto de 2003, e setembro e agosto de 2014. A velocidade média do vento apresenta valores em torno de 2 – 4 m/s ao longo dos anos, também com seu pico em agosto e setembro. De acordo com a **Tabela 5**, os valores anuais de pressão variam entre 1012,46 hPa e 1013, 87 hPa, os de velocidade média do vento variam entre 2,43 – 3,43m/s, e os de velocidade máxima média do vento variam entre 4,68 – 6,53m/s. A variabilidade interanual da pressão atmosférica e do vento pode depender de uma série de fatores, como a migração da ZCIT e o posicionamento e intensidade do ASAS de ano para ano (PEREIRA, 2014).

A temperatura do ar exibe padrão característico de sazonalidade inverno – verão ao longo dos anos (**Figura 23**). As temperaturas máximas, médias e mínimas apresentam normalmente seus menores valores mensais em junho e agosto, em torno de 27°C, 24°C e 22°C, respectivamente. Os máximos

valores mensais dessas variáveis ocorrem entre dezembro e março, com a temperatura máxima, média e mínima apresentando valores em torno de 31°C, 27°C e 24°C, respectivamente. Dessa forma, apesar da sazonalidade, a diferença da temperatura do ar entre verão e inverno, considerando os valores mensais, não costuma ultrapassar o limite de 4°C, caracterizando o clima de João Pessoa como quente durante todo o ano. De fato, analisando a **Tabela 5**, os valores anuais de temperatura média representam valores entre 26,7°C e 27,3°C.

5.1.2.3 OCORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS

Nessa seção será analisada a ocorrência de eventos extremos na região de interesse com base na variável de precipitação e com base na variável de velocidade do vento. Para complementar as análises e diagnosticar os fenômenos atmosféricos atuantes nestes eventos, imagens do satélite GOES e cartas sinóticas da Marinha do Brasil serão utilizadas em procedimento similar ao realizado por PEREIRA (2014).

De acordo com a **Tabela 6**, é possível observar os eventos extremos com base no total de precipitação em dias específicos ao longo da série histórica. Foram selecionados os eventos que ocasionaram mais do que 115mm de precipitação em um único dia. O evento de maior magnitude (168,2mm) ocorreu em 26/06/2000, em função do desenvolvimento de um CCM, que segundo FERREIRA & MELLO (2005), são definidos como aglomerados de nuvens que se formam preferencialmente no período noturno devido às condições locais favoráveis e apresentam um ciclo de vida entre 10 e 20 horas, provocando chuvas fortes e de curta duração. Esse evento extremo correspondeu a 30,16% do total de precipitação ocasionado em junho de 2000. De uma forma geral, segundo a **Tabela 6**, os CCMs tendem a se desenvolver nos meses de inverno (junho e julho), mas também foram observados extremos de precipitação ocasionados por CCMs no mês de setembro, que corresponde ao período de transição entre a estação chuvosa e a estação seca. Dos treze eventos extremos relacionados na Tabela F, cinco são provocados por CCMs, sendo que dos quatro maiores eventos de precipitação da série, três são ocasionados por CCMs. Todos os CCMs apresentados na **Tabela 6** foram responsáveis por um total de precipitação

diário de pelo menos 120mm, com o evento de setembro correspondendo a 55,37% da precipitação total do mês. Naturalmente, estes eventos associados aos CCMs apresentam altos valores de umidade relativa, alguns acima de 90%, e velocidade do vento fraca a moderada, podendo atingir até 3,47 m/s, como em 26/06/2000.

Na **Figura 24** é mostrado um evento extremo de precipitação em 28/06/2012 associado ao desenvolvimento de um CCM sobre a faixa litorânea da Paraíba. Esse CCM teve duração de menos de 24 horas, dissipando-se à medida que adentrava o estado da Paraíba, porém totalizou 151,6mm de precipitação em um dia (28,17% da precipitação do mês). Percebe-se, de acordo com a carta sinótica da DHN, que pelo fato deste sistema ser bem localizado, não ocorrem alterações de grandes proporções na pressão atmosférica da região, a qual está sob influência da borda norte do ASAS. Isso corrobora com os valores de pressão atmosférica observados nos eventos de CCM da **Tabela 6**, onde é possível notar grandes taxas de precipitação em situações de pressão atmosférica relativamente elevada, quando comparadas, por exemplo, com os baixos valores de pressão atmosférica causados pelos extremos de precipitação da ZCIT.

Tabela 6. Tabela de eventos extremos com base nos valores de precipitação, considerando o período de 2000 até 2014 da estação do INMET localizada em João Pessoa. (Fonte. BELOV, 2015).

Data	Precip (mm)	Umid Rel (%)	Pres atm. (hPa)	Temp Min (°C)	Temp Média (°C)	Vel vento (m/s)	Evento
26/06/2000	168,20	90,01	1014,27	22,00	24,00	3,47	CCM
20/05/2011	165,00	80,50	1014,00	23,30	26,46	2,77	OL
04/09/2013	159 20	82,75	1016,20	21,30	25,46	2,77	CCM
28/06/2012	151,60	89,50	1016,33	22,50	25,10	2, 0	CCM
23/05/2009	146,60	92,50	1014,60	22,50	24,70	3,13	ZCIT
16/06/2008	139,20	92,25	1014,83	21,70	23,76	2,17	CCM
09/06/2013	132,20	85,75	1014,27	22,70	24,78	2,73	LI
07/06/2012	131,00	78,25	1015,10	22,90	26,34	3,40	OL
23/04/2009	129,90	79,00	1011,00	22,30	27,28	1,30	ZCIT
03/07/2013	123,60	97,75	1015,10	22,50	23,46	1,33	CCM
14/04/2009	120,20	85,00	1014,10	22,90	26,06	1,23	ZCIT
20/02/2011	119,80	90,50	1012,40	23,50	25,42	1,83	ZCIT
24/01/2012	118,20	79,50	1011,37	22,90	26,32	1,53	LI

Embora ocorra em apenas dois dos treze eventos da **Tabela 6**, as ondas de leste (OLs) correspondem a outro sistema atmosférico de grande

atuação nos meses da quadra chuvosa, especialmente em maio, junho e julho. As OLs são distúrbios ondulatórios que deslocam de leste para oeste, sendo geradas nas proximidades da costa da África e cruzam o Oceano Atlântico até atingirem o NEB (FERREIRA & MELLO, 2005). As OLs também podem apresentar valores extremos de precipitação, como visto em 20/05/2011, onde o total pluviométrico foi de 165mm ao longo do dia (30% da precipitação do mês), correspondendo ao segundo maior evento extremo de precipitação no período analisado.

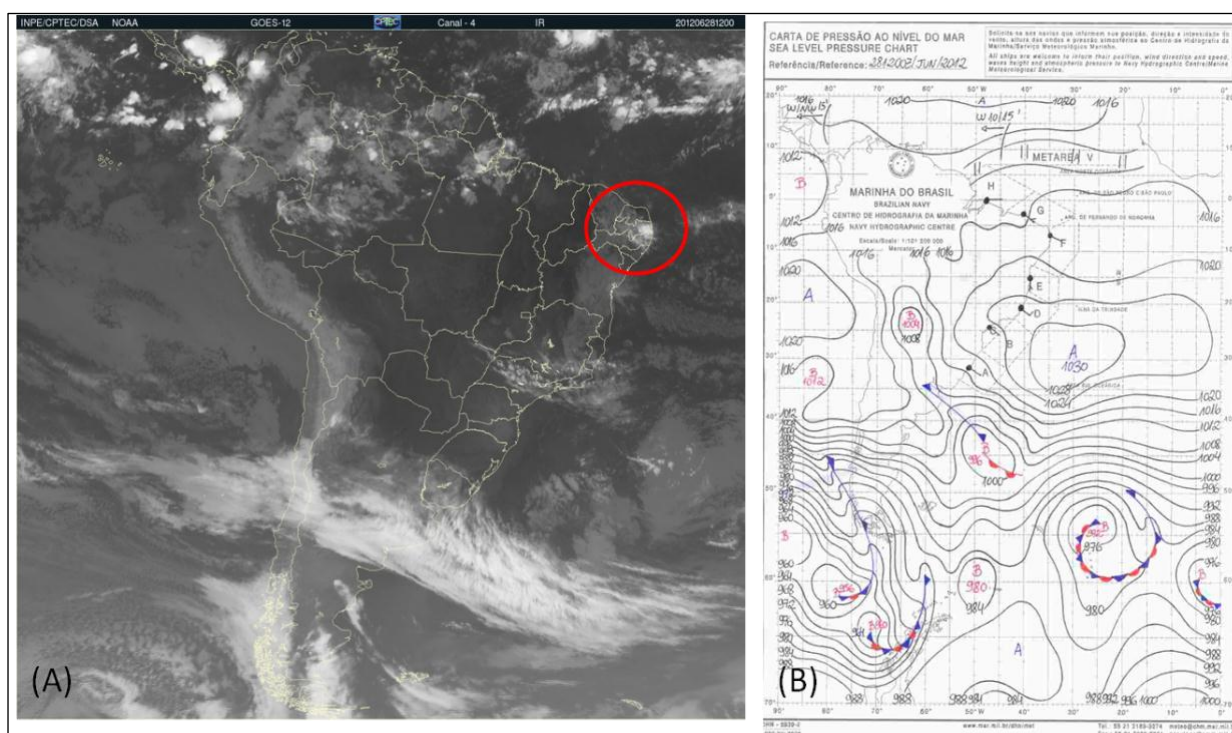


Figura 24. Evento extremo de precipitação associado ao desenvolvimento de um CCM em 28/06/2012. A Figura (A) representa a imagem do satélite GOES em 12 UTC para essa data, enquanto a Figura (B) representa a carta sinótica da DHN também em 12 UTC. (Fonte. BELOV, 2015).

Os valores de pressão atmosférica das OLs são relativamente altos e semelhantes aos do CCMs, visto que estes sistemas ocorrem majoritariamente no inverno, período em que a ZCIT já se encontra mais ao norte e em que o ASAS já está de certa forma intensificado e influenciando a região de interesse com os ventos na sua borda norte. Isto corrobora com a **Figura 25**, que mostra o evento extremo de precipitação causado pelas OLs em 20/05/2011. Nesta figura, observa-se uma atuação clara da borda norte do ASAS sobre a região de interesse, com a ZCIT se posicionando mais ao norte, em torno de 5°N. Nota-se

ainda que as OLs aparecem na imagem do satélite GOES como uma nebulosidade baixa, em tons fracos de cinza. Isso ocorre devido ao fato de serem nuvens localizadas em menor altitude e de menor espessura, quando comparadas com as nuvens formadas por um CCM. Por isso, apesar de ser um sistema bem atuante no inverno, não ocorre frequentemente como um evento extremo de precipitação, o que está de acordo com a **Tabela 6** e de acordo também com o trabalho de PEREIRA (2014).

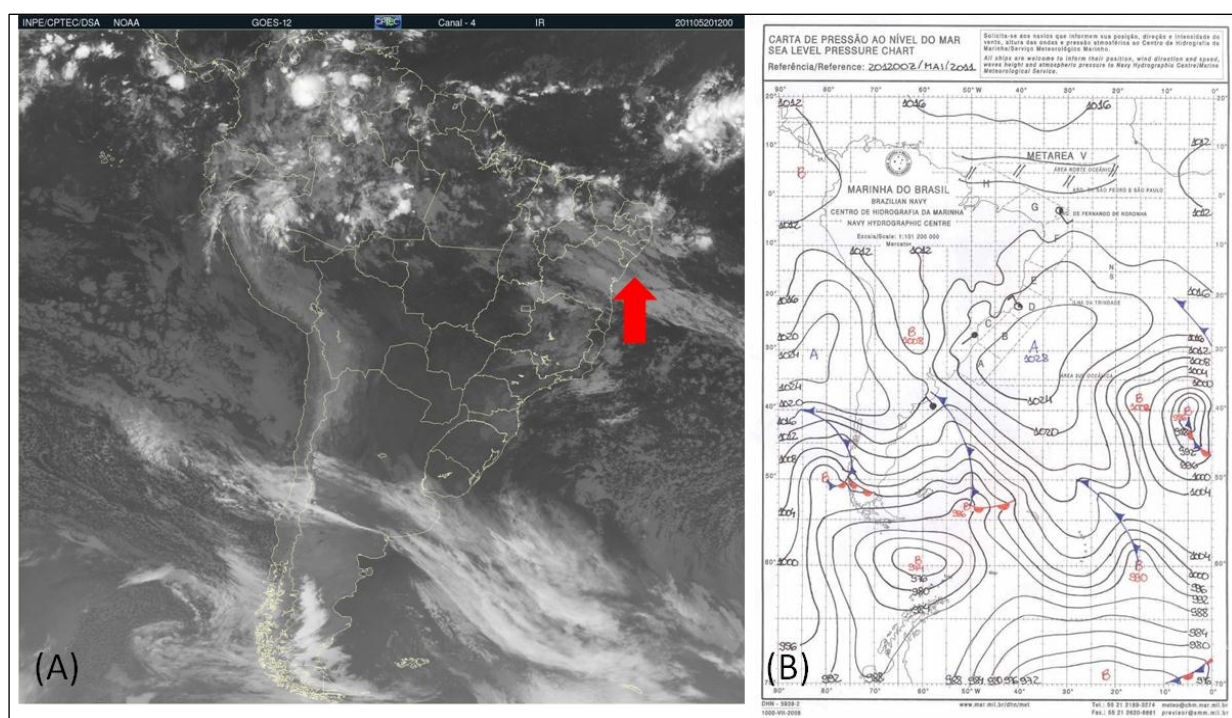


Figura 25. Evento extremo de precipitação associado ao desenvolvimento de uma OL em 20/05/2011. A Figura (A) representa a imagem do satélite GOES em 12 UTC para esta data, enquanto a Figura (B) representa a carta sinótica da DNH também em 12 UTC. (Fonte. BELOV, 2015).

No período da pré-estação chuvosa, o sistema atmosférico dominante é a ZCIT, que se caracteriza por ser o segundo evento mais importante responsável por extremos de precipitação na região de interesse. Na **Tabela 6**, dos treze eventos extremos ocorridos entre 2000 até 2014, a ZCIT originou quatro deles, com totais pluviométricos diários variando entre 119,8mm (20/02/2011) até 146,6mm (23/05/2009). É interessante notar que dois eventos da ZCIT ocorreram fora do intervalo entre fevereiro e abril, o qual é o período de tempo mais suscetível para a influência da ZCIT sobre o norte do NEB. Isso reforça que a ocorrência de extremos na pré-estação chuvosa é altamente dependente das

variações de intensidade da ZCIT de ano para ano, o que justifica a ampla variabilidade de precipitação nesse período, evidenciado na **Figura 23**. Os extremos de precipitação ocasionados pela ZCIT podem apresentar altos valores de umidade relativa, como 92,5% em 23/05/2009, e são normalmente caracterizados por baixos valores de pressão atmosférica, como 1011,0 hPa em 23/04/2009.

A **Figura 26** evidencia o extremo da ZCIT em 20/05/2011, também reportado por PEREIRA (2014) como um evento extremo. É possível observar, pela imagem do GOES, a grande faixa de nebulosidade e de nuvens convectivas que se formaram no NEB durante esse dia. Com a carta sinótica da DHN, é possível observar centros de baixa pressão, inclusive localizados mais para o interior do NEB, ressaltando a grande influência da ZCIT sobre a região. Nesse dia, esse sistema provocou na cidade de João Pessoa um total pluviométrico de 119,8mm, responsável por 54% do total da precipitação sobre a cidade no mês de fevereiro. Segundo PEREIRA (2014), ao contrário dos CCMs, a ZCIT costuma ficar ancorada vários dias sobre o norte do NEB, provocando chuvas durante vários dias seguidos.

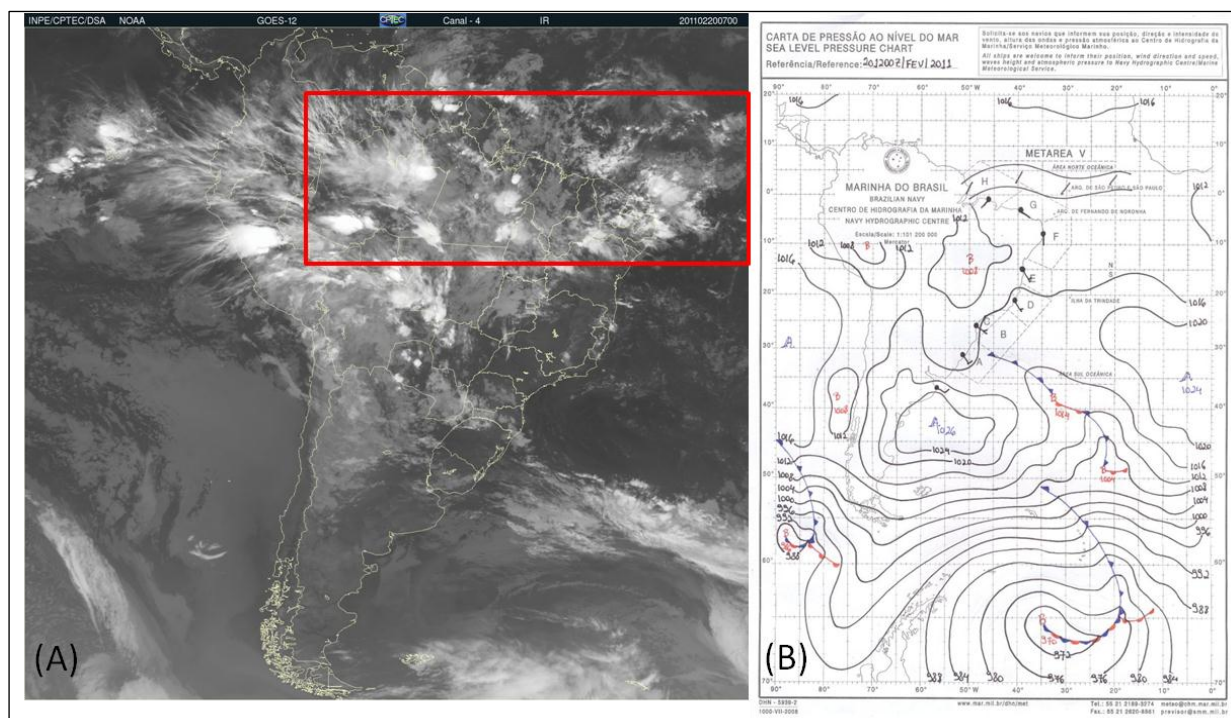


Figura 26. Evento extremo de precipitação associado ao desenvolvimento da ZCIT em 20/02/2011. A Figura (A) representa a imagem do satélite GOES em 07 UTC para essa data, enquanto a Figura (B) representa a carta sinótica da DHN em 12 UTC. (Fonte. BELOV, 2015).

Para finalizar os eventos extremos de precipitação no período analisado, é importante mencionar as linhas de instabilidade que são advectadas pela ZCIT, especialmente quando esta se encontra ancorada poucos graus ao norte de João Pessoa (**Figura 27**), podendo originar até 132,2mm de precipitação em único dia, como em 09/06/2013. Ainda, de acordo com PEREIRA (2014), sistemas atmosféricos como os vórtices ciclônicos de altos níveis e os remanescentes de frentes frias também podem provocar chuvas na região, embora estes não tenham ocorrido como eventos extremos na **Tabela 6**.

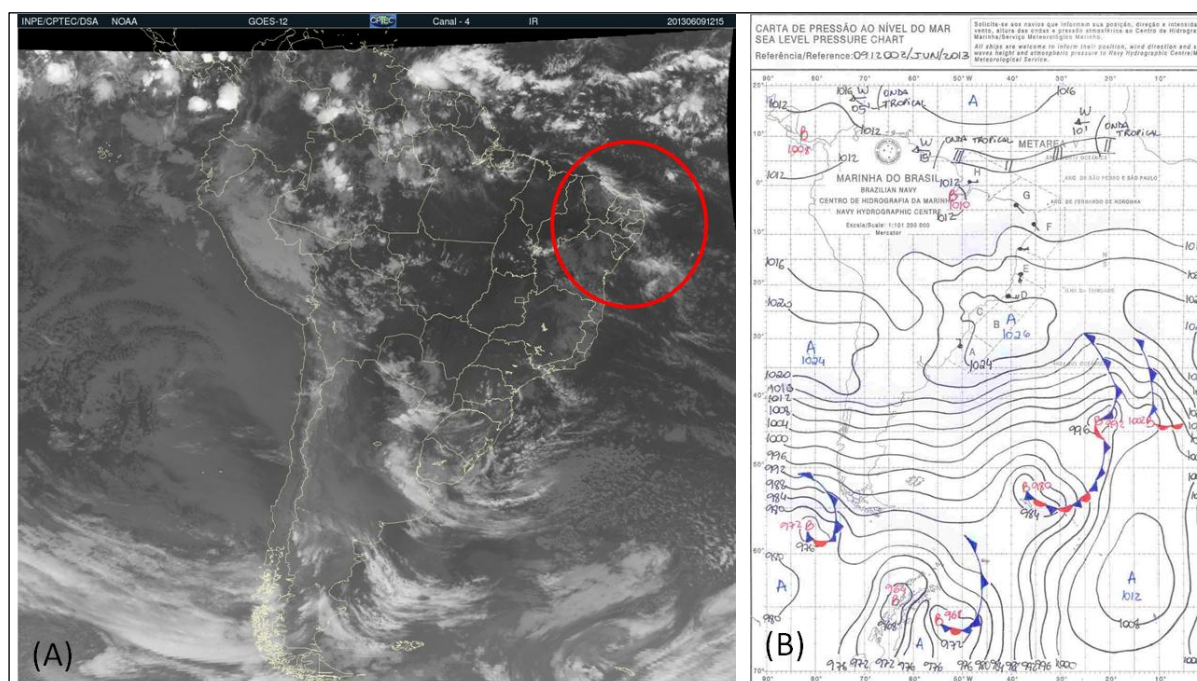


Figura 27. Evento extremo de precipitação associado ao desenvolvimento de uma LI em 09/06/2013. A Figura (A) representa a imagem do satélite GOES em 12 UTC para essa data, enquanto a Figura (B) representa a carta sinótica da DHN em 12 UTC. (Fonte. BELOV, 2015).

Na **Tabela 7** estão evidenciados os eventos extremos com base na velocidade do vento. Foram selecionados todos os eventos com ventos acima de 7 m/s que ocorreram na região de interesse. Com base nos dez eventos extremos de vento evidenciados na **Tabela 7**, percebe-se que cinco deles ocorreram em agosto e setembro, dois em maio, dois em março e um em dezembro. Além disso, em todos estes eventos não ocorreram índices pluviométricos significativos na região de interesse, com exceção do evento em 08/03/2002, onde foi verificado um total pluviométrico de 24,6mm. Isto explica valores elevados de pressão atmosférica em alguns destes eventos, atingindo 1017,0 hPa em 13/08/2014 e

1017,7 hPa em 16/08/2002. A direção do vento nesses eventos é predominantemente de sudeste (60% dos eventos) e de sul (30% dos eventos). O evento de maior magnitude foi registrado em 13/08/2014 com ventos da ordem de 8,8 m/s e direção sul. Isto concorda com a **Figura 22 e Figura 23**, reforçando que os ventos mais fortes tendem a ocorrer em agosto e setembro, período em que o ASAS se encontra bem intensificado e capaz de originar ventos de sul e sudeste de maior magnitude sobre a região de interesse. PEREIRA (2014) ressalta que no início da primavera, a presença da Massa Tropical Atlântica (MTA) já é bem estabelecida sobre João Pessoa, a qual é responsável pela estabilidade e ocorrência de tempo bom sobre a cidade durante a estação seca. Dessa forma, isso corrobora com o fato de que os eventos extremos de vento em João Pessoa não ocorrem necessariamente junto com os grandes totais pluviométricos, visto que seis dos dez eventos extremos de vento ocorreram de agosto até dezembro e nenhum dos eventos apresentou precipitação acima de 25mm.

Tabela 7. Tabela de eventos extremos com base nos valores de vento, considerando o período de 2000 até 2014 da estação do INMET localizada em João Pessoa. (Fonte: BELOV, 2015).

Data	Vento (m/s)	Direção do Vento	Pressão atmosférica (hPa)	Precipitação (mm)	Umidade relativa (%)	Temperatura do ar (°C)
13/08/2014	8,80	S	1017,00	3,20	75,00	29,40
04/05/2002	8,30	SSE	1012,90	0,10	78,00	31,00
16/07/2003	8,30	SSE	1017,00	0,00	68,50	29,00
20/08/2003	8,30	SSE	1014,70	0,60	69,25	29,40
11/07/2014	8, 0	S	1016,40	0,00	81,25	29,60
26/12/2003	7,90	E	1013,10	2,40	68,50	30,80
08/03/2002	7,30	SSE	1014,60	24,60	87,00	30,40
02/03/2012	7,30	SSE	1011,50	0,80	76,00	30,60
13/05/2002	7,10	S	1014,20	0,00	77,50	30,00
16/08/2002	7,10	SSE	1017,70	0,00	89,00	28,60

5.1.2.4 DADOS MEDIDOS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO EMPREENDIMENTO

Para complementar as análises do clima da região de Lucena foram medidos em campo parâmetros atmosféricos com o uso de uma estação meteorológica automática (**Figura 3**). Variáveis como a precipitação, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade do vento e temperatura do ar foram

medidas em intervalos de 15 minutos com médias a cada 4 horas por um período de 15 dias (**Figura 28**). No Anexo C – Relatório Belov desse estudo, também estão apresentados em formato de tabela as medições realizadas em campo.

Nesse período de 15 dias, o total pluviométrico foi de apenas 5,4mm, o qual ocorreu em 21/11/2015 entre 05:08 e 09:08 da manhã. No restante dos dias, não foi verificado qualquer taxa de precipitação. De fato, novembro e dezembro fazem parte da estação seca de João Pessoa e Cabedelo, onde as precipitações não costumam exceder 35mm ao mês. Nesse período, a região costuma estar sob a influência da MTA, o qual é responsável pela estabilidade atmosférica e tempo bom (**Figura 29**).

Com relação à umidade relativa, essa variou entre 68% e 83%, com o valor médio em 76% (**Figura 28**). Naturalmente, por ser uma cidade litorânea, Cabedelo apresenta altos valores de umidade relativa ao longo do ano. No entanto, na estação seca é quando ocorrem os menores valores das normais de umidade, em torno de 73%, o que concorda com os valores medidos em campo. Conforme mostra a **Figura 28**, existe uma variação diária da umidade relativa, que costuma atingir seus valores de pico às 05:00 da manhã. A umidade relativa tende a ser maior nos períodos mais frios do dia, os quais ocorrem nesse horário da manhã, conforme se observa na série medida de temperatura do ar. Ao decorrer do dia, com o aumento da temperatura, o ar se expande e a pressão de saturação do vapor d'água se torna maior, reduzindo então o valor de umidade relativa, que é calculada pela razão entre a pressão atual do vapor d'água e sua pressão de saturação. Essa variação diária de umidade relativa pode chegar até 10%, enquanto as variações de temperatura podem atingir até 1,4°C em apenas 4 horas, como ocorreu em 27/11/2015, entre 05:08 e 09:08 da manhã. Na **Figura 28**, as temperaturas medidas apresentaram um valor médio de 27,1°C, valor mínimo de 26,4°C e valor máximo de 28,7°C.

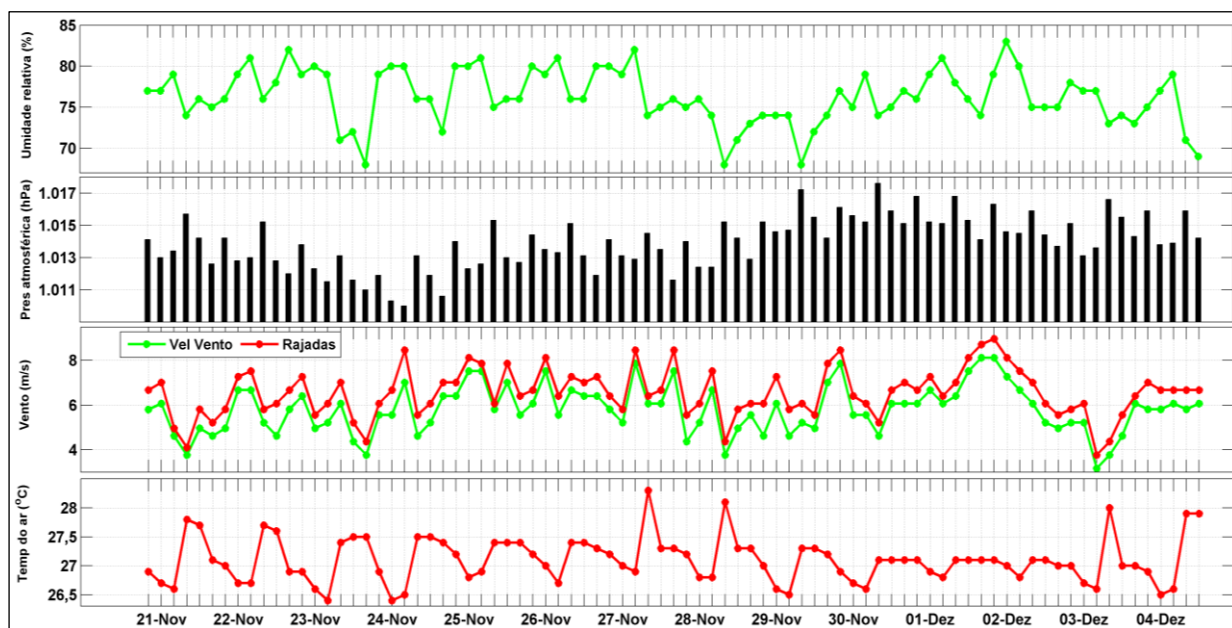


Figura 28. Medições na área de influência do empreendimento dos seguintes parâmetros: umidade relativa (%), pressão atmosférica (hPa), velocidade do vento (m/s) e temperatura do ar (°C). (Fonte. BELOV, 2015).

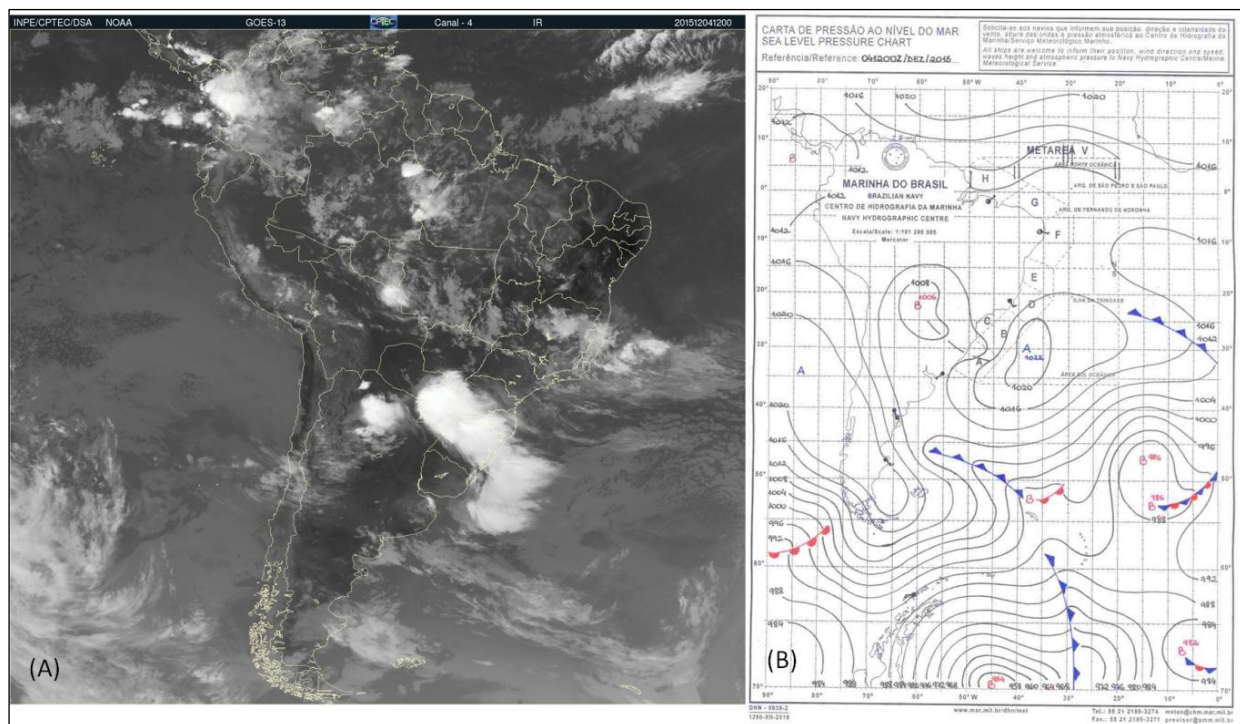


Figura 29. Condições meteorológicas e de pressão atmosférica em 04/12/2015. A Figura (A) representa a imagem do satélite GOES em 12 UTC para essa data, enquanto a Figura (B) representa a carta sinótica da DHN também em 12 UTC. (Fonte. BELOV, 2015).

A pressão atmosférica dos dados medidos em campo variou entre 1010,00hPa e 1017,60hPa, com o valor médio em 1013,95hPa (**Figura 28**). A

normal meteorológica de pressão atmosférica exibida na **Figura 20** para esse período é de 1012,45hPa. Dessa forma, o valor médio obtido em campo durante os 15 dias apresentou-se levemente superior ao da normal climatológica de 15 anos da estação do INMET. Pela quase ausência de precipitação nesse período, é possível sinalizar a influência bem estabelecida da borda norte do ASAS sobre a região de interesse juntamente com a MTA (**Figura 29**). A velocidade do vento variou entre 3,1m/s e 8,1m/s, com uma velocidade média de 5,8m/s. As rajadas atingiram nesse período valores de até 9m/s. A velocidade do vento da estação utilizada no campo apresentou valores superiores aos da estação do INMET, mesmo com o vento sendo corrigido para a altitude de 10m. Isso pode ser explicado em funções dos locais de ambas as estações. A estação utilizada no campo foi instalada em local da orla de Cabedelo na área de influência do empreendimento, suscetível a ação direta dos ventos, enquanto a estação do INMET está localizada em local um pouco mais afastado da costa (**Figura 1**).

Para complementar as análises de vento, também são analisados os diagramas de direção e intensidade do vento medido pela estação automática durante o período de campo (**Figura 30**). É possível observar a presença predominante de ventos de sudeste (31%) oriundos da borda norte do ASAS, e também de ventos de leste (29%) durante o período de medição, o que corrobora com a climatologia do mês de dezembro apresentada na **Figura 22**. Nesse período do ano, o componente de leste se torna mais frequente e junto com os ventos de sudeste formam as direções predominantes de vento que incidem sobre a região de interesse. Por estar localizada na orla da cidade, a estação automática apresenta valores mais elevados de intensidade do vento, com os intervalos de 4 até 7m/s sendo os predominantes da série.

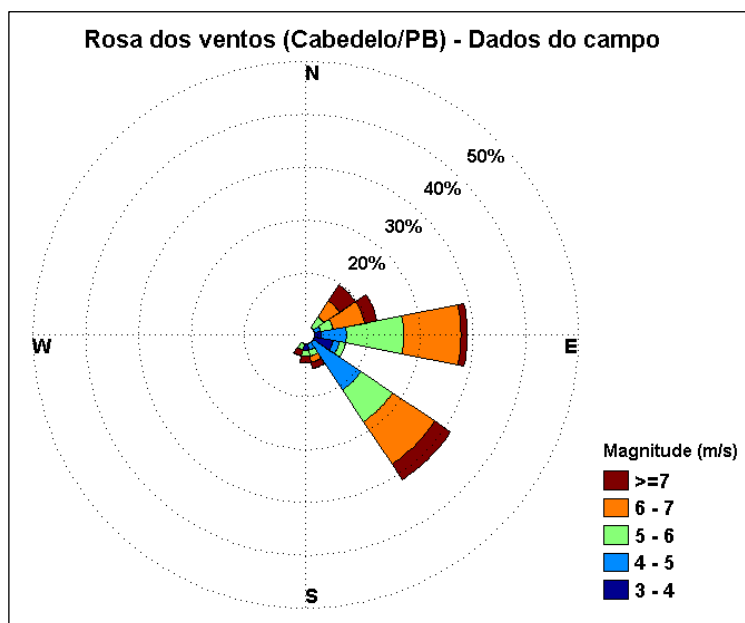


Figura 30. Rosa dos ventos (20/11/2015 – 04/12/2015) dos dados medidos em campo através de estação meteorológica automática. (Fonte: BELOV, 2015).

Em certos dias do período de campo, foram observadas mudanças de direção do vento em intervalo de algumas horas. Por exemplo, em 21/11/2015, de 01:08 até as 17:08, o vento inicialmente de ENE foi mudando gradativamente para, E, ESE, SSE ao longo do dia até finalmente atingir a direção de SE no final da tarde. Esse padrão se repetiu em outros dias, como em 24/11/2015 e 04/12/2015, com mudanças de ENE para S ou SSE em intervalos ainda mais curtos (Anexo C – Relatório Belov). Isso sugere que sistemas bem localizados, como por exemplo, as brisas, provavelmente possam estar contribuindo para alterações no padrão da direção dos ventos. Entretanto, conforme ressaltado por FERREIRA & MELLO (2005), as brisas são dificilmente percebidas em algumas regiões do NEB, principalmente onde os ventos alísios são persistentes e intensos durante todo o ano. Isto faz com que as brisas tenham apenas uma pequena contribuição na direção e velocidade do vento.

5.1.3. Geologia/Pedologia

5.1.3.1 CARACTERIZAÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA E ESTRUTURAL

A área destinada à construção do Estaleiro está inserida no estuário do Rio Paraíba do Norte. A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Norte intercepta 37 municípios paraibanos e é subdividida em: Bacia do Alto Paraíba, Bacia do Médio

Paraíba e Bacia do Baixo Paraíba. O município de Lucena encontra-se na extremidade leste (estuarina) da sub-bacia do Baixo Paraíba. Esta porção estuarina da bacia possui sete rios tributários, quatro na margem esquerda (Rios Paroeira, Tiriri, Ribeira e da Guia) e três na margem direita (Rios Sanhauá, Tambiá e Mandacaru), os quais contribuem com o aporte de água superficial, que carrega materiais erodidos e detritos industriais/domésticos até a foz do canal principal. Esse processo fluvial, aliado à dinâmica das marés, que atua de forma constante na erosão e deposição de sedimentos marinhos, é responsável pela formação da unidade geológica mapeada na área do empreendimento, que ocupa o topo da sequência litoestratigráfica da região. Esta unidade pode ser descrita, portanto, como depósitos flúvio-marinhos, formados por areia, silte e argila de composição e domínios granulométricos indiscriminados.

Abaixo desta unidade aflorante existe um empilhamento litoestratigráfico formado ao longo de milhares de anos, e que remonta a história geológica da região. Geologicamente, o empreendimento encontra-se inserido no domínio da Bacia Marginal Sedimentar Pernambuco-Paraíba.

A Bacia Pernambuco-Paraíba compreende uma faixa costeira limitada, estruturalmente, a sul pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco, e a norte pela falha de Mamanguape, que representa uma ramificação da Zona de Cisalhamento Patos (**Figura 31**). A Bacia Pernambuco-Paraíba comporta uma sucessão sedimentar denominada de Grupo Paraíba, que se inicia com arenitos de idade provável Coniaciano – Santoniano da Formação Beberibe, de origem continental, fluvial e fluviolacustre, depositados sobre o embasamento cristalino (sienito rosa). Logo acima está a Formação Itamaracá, com ocorrências de calcários com siliciclastos, arenitos calcíferos e margas, de idade Neo-Campaniano-Eo-Maastrichtiano. Em seguida ocorrem calcários e margas sem influência de siliciclastos da Formação Gramame, de idade maastrichtiana. Acima destes ocorrem litotipos da Formação Maria Farinha, representados por calcários e margas com um gradual incremento na influência de siliciclastos, de idade Paleoceno-Eoceno. Recobrendo todas estas unidades do Grupo Paraíba e representando o intervalo neógeno no topo da coluna estratigráfica da **Figura 128** ocorrem estratos da Formação Barreiras, de origem plio-pleistocênica. Ainda mais

recentes estão os sedimentos quaternários pleisto-holocênicos que recobrem localmente toda esta sequência descrita.

A base para o modelo litoestratigráfico atualmente usado para a Bacia Pernambuco-Paraíba foram os dados de afloramentos e testemunhos de poços do Projeto Fosfato (CPRM-PE) e de amostras do poço 2 IST-01-PE, perfurado pela Petrobras na Ilha de Itamaracá (**Figura 128**). Esse poço é o único poço amostrado que atravessou toda a sucessão sedimentar da Bacia Pernambuco-Paraíba.

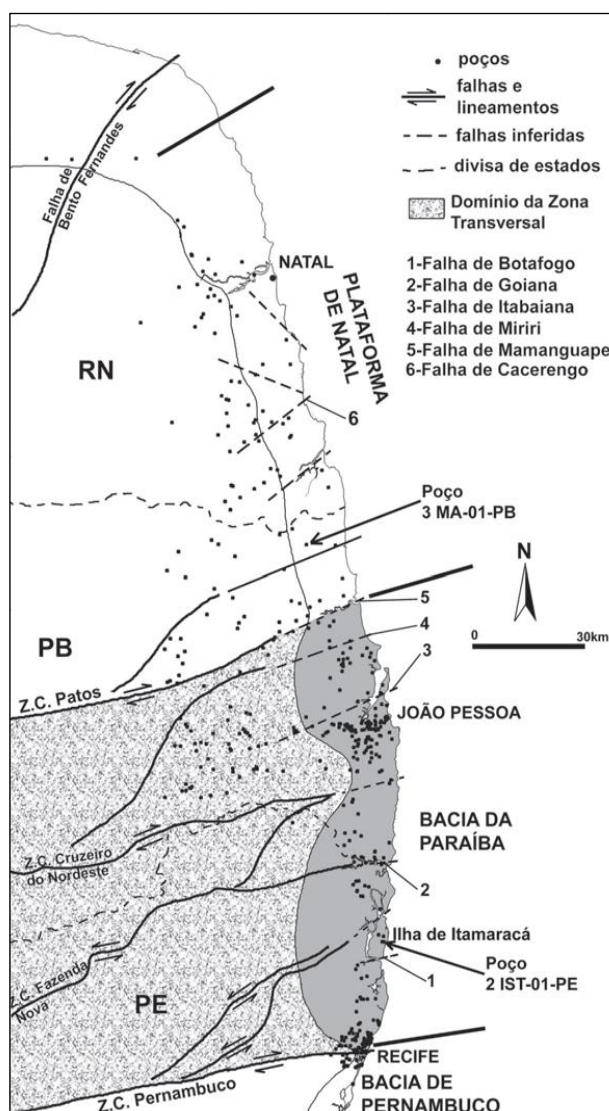


Figura 31. Compartimentação estrutural da Bacia Pernambuco-Paraíba. In: (Fonte. Barbosa 2003).

A seguir estão as características de cada um dos compartimentos que compõem a sequência estratigráfica da Bacia Pernambuco-Paraíba:

5.1.3.1.1 EMBASAMENTO CRISTALINO

É constituído por rochas cristalinas pré-cambrianas, representadas por gnaisses, xistos, quartzitos, granitos e migmatitos, aflorantes ao longo da borda oeste da bacia. Algumas exposições representativas desta unidade ocorrem nas proximidades da ponte da BR-203 sobre o Rio Paraíba, a aproximadamente 40Km (quarenta quilômetros) da linha de costa, na porção oeste do Município de Cruz do Espírito Santo/PB. Na BR-230, também nos entornos do Rio Paraíba, são observados afloramentos de gnaiss bandado em cortes de estrada e nas laterais da linha férrea que margeia o rio, próximos ao município de São Miguel de Taipu.

Estruturalmente ocorre um trend dominante de falhas NE-SW e E-W na Bacia Pernambuco-Paraíba, responsáveis por compartimentar esta bacia em duas sub-bacias. Estas sub-bacias são conhecidas na literatura como Bacia Olinda (porção sul) e Bacia Alhandra-Miriri (porção norte), sendo separadas pelo Alto Estrutural de Goiana.

5.1.3.1.2 GRUPO PARAÍBA

Da base para o topo, o Grupo Paraíba é constituído pelas Formações Beberibe, Itamaracá, Gramame e Maria Farinha. O Grupo Paraíba encontra-se, estratigraficamente, sobreposto ao embasamento e sotoposto a Formação Barreiras.

5.1.3.1.2.1 FORMAÇÃO BEBERIBE

A Formação Beberibe está representada por uma espessa camada de arenitos friáveis a compactos, cinzentos a cremes, mal selecionados, de granulometria média a grossa. É comum a ocorrência de horizontes conglomeráticos em níveis basais, compostos por seixos arredondados a sub-arredondados de quartzo e feldspato, além de intercalações de níveis argilosos. A Formação Beberibe é essencialmente de origem continental, no entanto Nóbrega & Alheiros, 1991, também identificaram depósitos de origem fluvial, de planície de inundação e fluvio-lacustre, atribuídos a esta formação. A idade da Formação Beberibe é inferida como Coniaciano? – Santoniano (Cretáceo Superior Médio), contudo, a idade de sua porção mais basal ainda é motivo de debate. De acordo

com o mapa de isópacas de Barbosa, 2007, a deposição dessa formação está restrita à Bacia Pernambuco-Paraíba, com truncamento a sul pela Zona de Cisalhamento Pernambuco, e a norte pelo Alto de Mamanguape. O Graben de Itamaracá é completamente preenchido pela Formação Beberibe, com uma espessura de aproximadamente 200m, o que sugere que esta depressão já existia desde a formação da bacia costeira.

Esta formação possui grande importância hidrogeológica, por ser um aquífero bastante utilizado no abastecimento de água. Repousa discordantemente sobre o Embasamento Cristalino Pré-Cambriano e ocupa a base da sequência sedimentar da Bacia Pernambuco-Paraíba.

5.1.3.1.2.2 FORMAÇÃO ITAMARACÁ

Essa unidade litoestratigráfica é composta por calcários com siliciclastos, arenitos calcíferos e margas, que apresentam uma espessura aproximada de 100 (cem) metros, com ocorrência praticamente restrita a sub-superfície. A idade da Formação Itamaracá é Neo-campaniana - Eo-maastrichtiana (Cretáceo Superior Tardio).

Essa formação representa uma rápida fase de transição do domínio continental para o domínio marinho, apresentando contato interdigitado com os sedimentos da Formação Beberibe. Os depósitos associados à Formação Itamaracá ficaram preservados em praticamente toda a Bacia Pernambuco-Paraíba, com destaque para uma zona rica em fosfato sedimentar encontrada no topo desta unidade, reconhecida por Amaral et al., 1977. O mapa de isópacas da Formação Itamaracá obtido por Barbosa, 2007, mostra que a deposição de seus estratos também ficou restrita aos domínios da Bacia Pernambuco-Paraíba, sendo truncada a sul pela ZCPE e a norte pelo Alto de Mamanguape.

5.1.3.1.2.3 SEÇÃO CARBONÁTICA DA BACIA PE-PB (FM GRAMAME E MARIA FARINHA)

A Formação Gramame foi depositada durante o Maastrichtiano, e é caracterizada por depósitos de calcários margosos e margas sem influência siliciclástica, depositados em plataforma rasa com energia baixa a moderada e sob a ação periódica de tempestades (Beurlen, 1967; Tinoco, 1971, Lima &

Koutsoukos, 2004). A plataforma carbonática Gramame, a exemplo das formações Beberibe e Itamaracá, também está restrita aos domínios da Bacia Pernambuco-Paraíba. A Formação Gramame apresenta maior expressividade na sub-bacia Alhandra-Miriri. Estratigraficamente, a Formação Gramame encontra-se repousando diretamente sobre a seqüência dos arenitos da Formação Itamaracá e possui um pacote com espessura chegando a atingir 55 metros. Representa o início da seqüência carbonática do Grupo Paraíba, sendo dividida em fácies supra-mesolitoral (composta por sedimentos ricos em grãos de quartzo sub-arredondados e brilhantes, que diminuem para o topo, iniciando uma seqüência de arenitos calcíferos fossilíferos, com exposições na região de Alhandra/PB), fácies fosfática (representada por um horizonte de fosforito descontínuo, de cor creme, com espessura variando entre poucos centímetros até 4 metros, sobreposto à fácies supra-mesolitoral) e fácies calcária (caracterizada pela presença de calcários margosos, dolomíticos, puros e com finos filmes de argilas calcíferas subordinadas, com muitos microfósseis).

A Formação Maria Farinha ocorre contígua à Formação Gramame, mas a sua deposição alcançou o Paleoceno (Beurlen, 1967), podendo ter atingido o Eoceno (Almeida, 2000). Litologicamente, a Formação Maria Farinha é semelhante à Formação Gramame, com variações laterais de fácies nas regiões mais proximais. São observados quatro tipos de calcários: na base, calcários litográficos até sub-litográficos (calcário recristalizado), em seguida calcários finos e puros, calcários detríticos bastante dolomitizados e no topo calcários detríticos argilosos ou mesmo, argilas calcárias. Quase todas estas camadas são macro e micro-fossilíferas e atingem uma espessura total de cerca de 30 (trinta) metros. Os calcários Maria Farinha possuem caráter detrítico, e demonstram em alguns perfis evidências nítidas da existência de uma fase regressiva. Devido ao evento regressivo, os estratos dessa unidade ficaram preservados apenas na Sub-bacia Olinda (sul da Bacia Pernambuco-Paraíba), em faixa estreita próximo ao litoral. A ausência de depósitos dessa formação na Sub-bacia Alhandra-Miriri pode significar que estes nunca foram depositados, ou que existiram e foram erodidos a partir do Paleoceno, por efeito de exposição e erosão da plataforma carbonática na parte norte da Bacia Pernambuco-Paraíba (Barbosa et al., 2003, 2006; Barbosa, 2004, 2007).

5.1.3.1.3 FORMAÇÃO BARREIRAS

A Formação Barreiras é constituída, de uma maneira geral, por sedimentos areno-argilosos, clásticos e continentais. Recobre de forma discordante os estratos do Cretáceo ou do Paleoceno, descritos anteriormente. Localmente, é possível encontrar algum litotipo representante desta unidade repousando diretamente sobre o Embasamento Cristalino.

A idade desta Formação é interpretada de forma geral como plio-pleistocênica (Neógeno-Quaternário). De acordo com Barbosa, 2007, estudos detalhados dos aspectos deposicionais e faciológicos dos estratos da Formação Barreiras na faixa entre Recife e Natal identificaram três faciologias importantes do continente para o litoral: fácies de leques aluviais, que foram observadas desde o norte de Recife até a região do Alto de Mamanguape; fácies fluviais de canais entrelaçados, que são encontradas em toda a faixa entre Recife e Natal; fácies de planície flúvio lacustre, encontradas na faixa de litoral entre Recife e João Pessoa e na região de São José do Mipibu, Rio Grande do Norte. Sua grande variação de fácies indica uma origem flúvio-lacustrina e sua espessura pode atingir 40 metros.

A Formação Barreiras na Bacia Pernambuco-Paraíba apresenta geomorfologia dominada por tabuleiros costeiros de grande extensão recortados por grandes vales de rios na zona mais proximal da faixa costeira. Na zona de litoral ocorrem sob a forma de planícies costeiras e falésias. Entre Recife e João Pessoa, na planície litorânea, essa unidade possui menor espessura ou foi removida, por conta das variações eustáticas neogênicas, onde afloram os calcários das formações Gramame e Maria Farinha. Na região da cidade de Conde, PB, há uma redução da espessura em forma de estrutura alinhada que coincide com um vale encaixado de rio. A Formação apresenta-se espessa na região de João Pessoa, recobrimdo a Sub-bacia Alhandra-Miriri, em seguida, ao norte, ocorre um adelgaçamento que coincide com o Alto de Mamanguape, que limita as duas bacias costeiras. Os vales dos rios que separam os complexos de tabuleiros em geral estão encaixados em falhamentos Pré-Cambrianos com sentido E-W ou NE.

Próximo da borda noroeste da AID do Estaleiro, em contato geológico com os depósitos flúvio-marinhos mapeados na ADA e AID, foram encontrados importantes afloramentos da Formação Barreiras (**Figura 32**), representados por falésias dispostas ao longo de uma direção NNW-SSE, recortadas quase que paralelamente à linha de costa das praias de Costinha e Fagundes.



Figura 32. Exposições da Formação Barreiras nos entornos da AID do empreendimento. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

A – Variações faciológicas verticais observadas em perfil no paredão de uma pedreira.

B – Crosta ferruginosa sobreposta a um afloramento da Fm. Barreiras próximo a AID.

A variação faciológica da Formação Barreiras e a altura do pacote sedimentar registrado na bibliografia disponível também puderam ser observadas nos afloramentos encontrados próximos a zona costeira do município de Lucena (**Figura 33**).



Figura 33. Formação Barreiras na zona costeira do município de Lucena. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

A – Fácies conglomerática, composta essencialmente por grãos arredondados a sub-angulosos.

B – Afloramento da Fm. Barreiras com aproximadamente 20 metros de altura em corte de estrada.

5.1.3.1.4 SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS RECENTES

Estão representados por sedimentos de planície aluvial, com terraços fluviais convergentes para a desembocadura do Rio Paraíba, onde ocorrem

depósitos de areias quartzosas e argilas, representando a sedimentação pleisto-holocênica-recente. Neste compartimento geológico, se enquadra o contexto natural onde o empreendimento será implantado, em que o Rio Paraíba tem sua desembocadura num perfil onde afloram calcários e arenitos na porção marinha, recobertos com sedimentos arenosos e argilosos que recobrem toda região litorânea.

Esta unidade, mapeada e classificada genericamente como depósitos flúvio-marinhos, ocupa o topo da coluna estratigráfica da Bacia Pernambuco-Paraíba e está presente ao longo de toda a faixa litorânea da bacia.

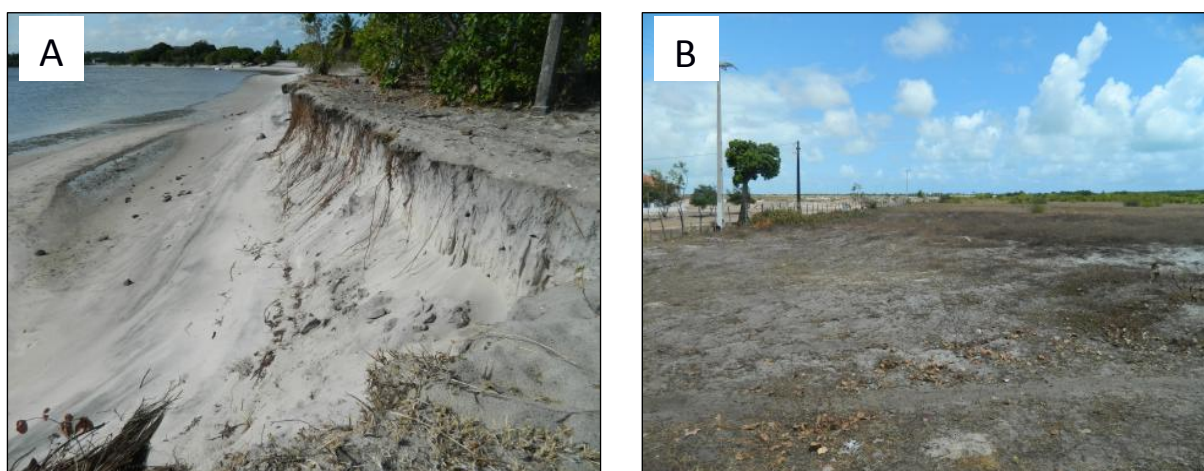


Figura 34. Depósitos flúvio-marinhos na zona costeira do município de Lucena. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

A – Talude da Planície Aluvial arenosa às margens do Rio da Guia, próximo ao estuário do Rio Paraíba.

B – Terraços fluviais arenosos bastante extensos, adjacentes à Praia de Costinha – Lucena/PB.

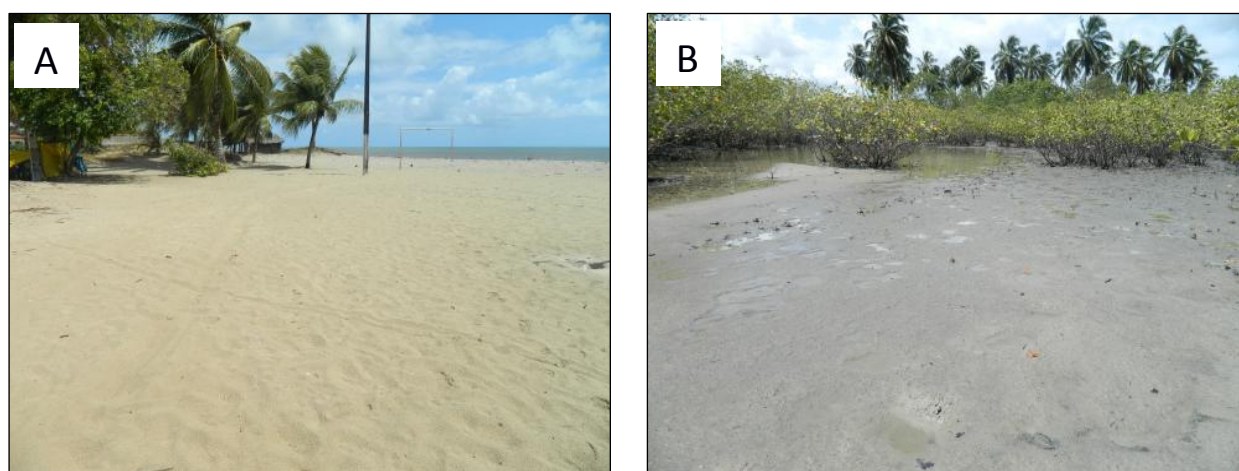


Figura 35. Diversidade de ecossistemas com conteúdo sedimentar incluído nesta classificação geológica. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

A – Depósitos arenosos de praia – Praia de Costinha, Lucena/PB.

B – Depósitos argilosos de mangues – Praia de Costinha, Lucena/PB.

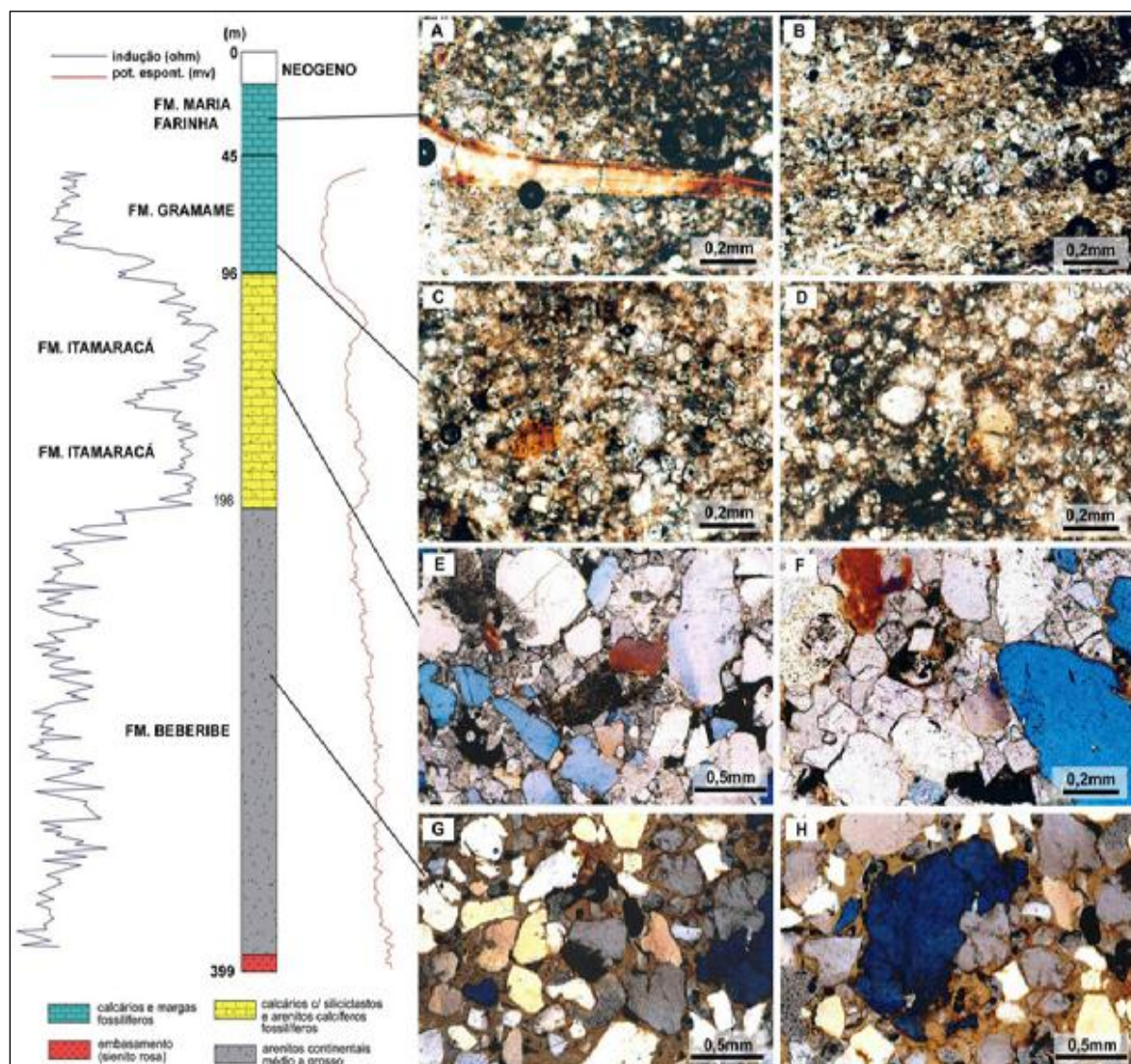


Figura 36. Perfil do poço 2 IST-01-PE, e micrografias de amostras dos poços. A e B) Fm. Maria Farinha (33m), bioespargitos com foraminíferos bentônicos e dolomita; C e D) Fm. Gramame (48m), bioespargitos e margas com foraminíferos planctônicos e calcíferas; E e F) Fm. Itamaracá (100m), arenitos calcíferos com dolomita e calcários com siliciclastos fossilíferos; G e H) Fm. Beberibe (358m), arenitos continentais, médios a grossos, silicificados e com cimentação ferruginosa. (Fonte: Barbosa, 2007).

5.1.3.2 SEDIMENTOLOGIA

De acordo com instruções contidas no Termo de Referência de 15 de novembro de 2015, para a elaboração do EIA/RIMA do Estaleiro de Reparos e Docagem de Lucena, e instruído pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente do Estado da Paraíba (SUDEMA), este tópico se refere a caracterização sedimentológica da área onde ocorrerá a instalação de obras de engenharia e dragagem.

A caracterização sedimentológica aqui presente levou em consideração os parâmetros granulométricos e geoquímicos dos sedimentos coletados tanto na ADA quanto na AID do empreendimento.

Como já descrito no Capítulo 4 deste estudo, a ADA (Meio Físico) engloba dois compartimentos geográficos distintos: o primeiro se refere a área de construção das estruturas físicas do Estaleiro (porção emersa) e o segundo corresponde à área que deverá ser dragada para a viabilização das atividades previstas pelo empreendimento (porção submersa). Na porção emersa foram realizados 9 furos de sondagem a percussão (SPT), com coleta e descrição de amostras a cada 1 (um) metro perfurado. Essa sondagem SPT realizada, resultou na identificação do empilhamento estratigráfico da área investigada, o qual está representado nos perfis apresentados mais adiante (**Figuras 163 a 171**). Já na porção submersa foram coletados sedimentos em sete pontos, distribuídos ao longo do estuário do Rio Paraíba (**Figura 4**), sendo feitas 3 amostras em cada um dos pontos, nomeadas da seguinte maneira:

- Ponto 1 (3 amostras): P1.1, P1.2 e P1.3.
- Ponto 2 (3 amostras): P2.1, P2.2 e P2.3.
- Ponto 3 (3 amostras): P3.1, P3.2 e P3.3.
- Ponto 4 (3 amostras): P4.1, P4.2 e P4.3.
- Ponto 5 (3 amostras): P5.1, P5.2 e P5.3.
- Ponto 6 (3 amostras): P6.1, P6.2 e P6.3.
- Ponto 7 (3 amostras): P7.1, P7.2 e P7.3.

Na AID foram determinados 14 pontos susceptíveis a sofrerem interferências ambientais significativas com eventuais variações do fluxo sedimentar da região estuarina, decorrentes da implantação do Estaleiro, para a instalação de Estações de Amostragem e Monitoramento. Em algumas estações foram coletadas apenas água, em outras apenas solo/sedimento e nas demais solo/sedimento e água. As estações foram nomeadas de acordo com os componentes físicos amostrados, da seguinte maneira:

- Estações para análise exclusivamente de solo/sedimento:
EAM-01.SO, EAM-02.SO, EAM-03.SO e EAM-08.SO.
- Estações para análise exclusivamente de água:
EAM-06. AG, EAM-07.AG, EAM-12.AG e EAM-13.AG.

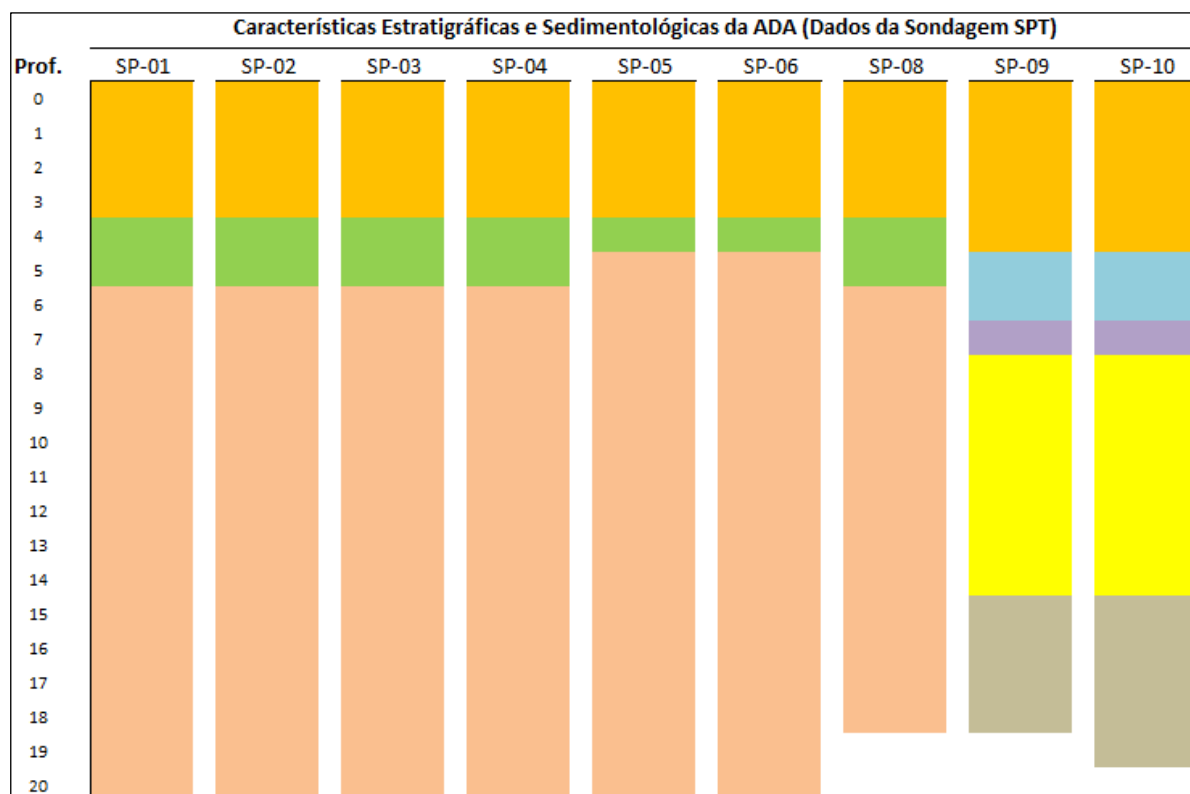
- Estações para análise de solo/sedimento e água:
 EAM-04.SO.AG, EAM-05.SO.AG, EAM-09.SO.AG e EAM-10.SO.AG,
 EAM-11.SO.AG, EAM-14.SO.AG.

É importante ressaltar que a posição das estações de amostragem e monitoramento localizadas entre a ADA e AID do empreendimento (pontos EAM-01 a EAM-14) foi apresentada pela Real Consultoria e Soluções à Superintendência de Administração do Meio Ambiente do Estado da Paraíba (SUDEMA), antes da execução das coletas de campo, e devidamente aprovada pelo órgão regulamentador do estudo.

5.1.3.2.1 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DA ADA

5.1.3.2.1.1 PORÇÃO EMERSA

Abaixo estão sumarizados (**Figura 37**) os perfis estratigráficos obtidos da análise tátil-visual das amostras coletadas da sondagem SPT.










	Areia fina p/ siltosa fofa, com matéria orgânica, amarela
	Areia média e grossa p/siltosa
	Areia fina e média muito compacta com lentes de areia pouco siltosa cinza
	Silte argiloso cinza escuro
	Areia fina e média siltosa
	Silte argiloso compacto, lentes de areia e pedregulhos
	Areia fina muito compacta, médio siltosa

Figura 37. Perfis estratigráficos obtidos da sondagem SPT realizada na ADA do empreendimento. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

Com base nas informações dos perfis apresentados, pode-se dizer que:

- Em toda a ADA do empreendimento (porção emersa) afloram sedimentos de cor amarelada, com predominância de grãos tamanho areia fina a silte, e um percentual marcante de matéria orgânica.
- A sequência estratigráfica dos perfis SP-01 a SP-08 são praticamente iguais, podendo ser descrita, do topo para a base, pela presença de uma camada aflorante de areia fina a siltosa, de cor amarela, sobreposta a uma camada de areia média e grossa, que por sua vez se sobrepõe a um domínio de areia fina e média bastante compacto, contendo lentes de areia pouco siltosa, de cor cinza.
- A sequência estratigráfica dos perfis SP-09 e SP-10 diferenciam-se dos demais muito provavelmente pela localização em que foram realizados, entre o mangue e uma porção abrigada do estuário (**Figura 80 – item 5.1.3.3 adiante**). Neste contexto, predominam as sequências intercaladas de sedimentos terrígenos mais finos.

5.1.3.2.1.2 PORÇÃO SUBMERSA

Este tópico corresponde à caracterização granulométrica e geoquímica dos sedimentos de fundo da área da dragagem.

5.1.3.2.1.2.1 GRANULOMETRIA

Na tabela abaixo (**Figura 38**) estão sumarizados os resultados do peneiramento das 21 amostras de sedimentos de fundo coletadas na porção submersa da ADA:

mm	EQUIVALÊNCIA mm vs ϕ							
	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	0,031
f	-2	-1	0	1	2	3	4	5
CLASSES	SEIXO	GRANULO	AREIA MUITO GROSSA	AREIA GROSSA	AREIA MÉDIA	AREIA FINA	AREIA MUITO FINA	FINOS
P1.1	0	1	1,9805	12,7629	81,8837	38,4064	2,4438	33,1601
P1.2	0,0658	0,7516	1,241	7,0188	41,9369	20,4872	1,5043	49,2118
P1.3	1,4132	3,1855	3,3671	11,5188	66,5569	28,1483	1,5144	12,5868
P2.1	0,4737	0,25	0,8665	7,4744	28,9646	17,7605	0,881	7,1541
P2.2	0,6034	1,005	2,1172	12,9049	41,4445	23,3357	0,9847	4,4807
P2.3	0,1253	0,1254	0,8852	3,1488	6,5841	3,2496	0,3245	13,8980
P3.1	1,8132	3,8648	9,9692	16,6231	27,3185	30,2627	5,9112	5,0979
P3.2	1,4333	4,8868	11,8579	21,9309	30,3134	29,079	5,4769	9,0667
P3.3	1,4665	2,7654	4,6562	7,7831	14,0771	15,5439	2,9163	1,5423
P4.1	0,1204	0,73	6,3664	17,1938	31,4972	4,1093	1,0113	0,2657
P4.2	0,0917	1,1608	4,6064	19,1001	39,7501	3,9815	0,3874	0,3654
P4.3	0,0981	2,0165	11,6605	25,5353	42,5215	4,5365	0,3148	0,3768
P5.1	0	0,0214	0,081	0,1217	0,8396	58,4255	3,6782	7,1149
P5.2	0	0,0762	0,1643	0,6499	2,8599	62,3674	1,9055	0,3632
P5.3	0,1254	0,1936	0,4488	1,7769	5,9045	66,1683	1,4103	0,2080
P6.1	20,0388	13,0696	11,3472	13,4496	32,2255	12,825	2,1003	2,2733
P6.2	12,3621	7,4767	7,2892	11,1544	37,4467	16,4908	2,5625	6,8550
P6.3	39,047	18,5478	12,8996	13,433	28,9126	13,7182	3,1297	14,0968
P7.1	0,3933	2,5831	8,1084	20,9323	44,4075	19,472	0,229	0,5454
P7.2	1,4942	3,417	7,427	16,4178	28,4276	13,3403	0,1717	0
P7.3	0,5482	3,7585	10,3631	21,6843	37,1634	14,0188	0,1005	0

Figura 38. Distribuição granulométrica através do método de peneiramento. Na primeira coluna são apresentados os rótulos das amostras correspondentes às estações amostrais. As colunas subsequentes correspondem aos pesos do sedimento retidos em cada peneira em relação às classes de tamanho. (Fonte. BELOV, 2015).

De maneira geral, entre as amostras de sedimento houve o predomínio, em termos de frequência e peso, das classes arenosas, principalmente, areia média, areia fina e areia grossa. As frações seixo e grânulo tiveram peso representativo apenas na estação P6 (**Figura 38**).

	Média	Seleção	Assimetria	Curtose
P1.1	Areia fina	Pobrememente selecionado	Muito positiva	Leptocúrtica
P1.2	Areia fina	Pobrememente selecionado	Positiva	Muito platocúrtica
P1.3	Areia média	Pobrememente selecionado	Positiva	Muito leptocúrtica
P2.1	Areia média	Pobrememente selecionado	Positiva	Leptocúrtica
P2.2	Areia média	Pobrememente selecionado	Positiva	Leptocúrtica
P2.3	Areia fina	Pobrememente selecionado	Negativa	Muito platocúrtica
P3.1	Areia média	Pobrememente selecionado	Negativa	Mesocúrtica
P3.2	Areia média	Pobrememente selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
P3.3	Areia média	Pobrememente selecionado	Negativa	Mesocúrtica
P4.1	Areia média	Moderadamente selecionado	Negativa	Mesocúrtica
P4.2	Areia média	Moderadamente selecionado	Negativa	Mesocúrtica
P4.3	Areia grossa	Moderadamente selecionado	Negativa	Mesocúrtica
P5.1	Areia fina	Moderadamente selecionado	Positiva	Muito leptocúrtica
P5.2	Areia fina	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Platocúrtica
P5.3	Areia fina	Bem selecionado	Negativa	Leptocúrtica
P6.1	Areia grossa	Pobrememente selecionado	Aproximadamente simétrica	Muito platocúrtica
P6.2	Areia grossa	Pobrememente selecionado	Negativa	Mesocúrtica
P6.3	Areia grossa	Pobrememente selecionado	Muito positiva	Muito platocúrtica
P7.1	Areia média	Pobrememente selecionado	Negativa	Leptocúrtica
P7.2	Areia média	Pobrememente selecionado	Negativa	Leptocúrtica
P7.3	Areia média	Pobrememente selecionado	Negativa	Mesocúrtica

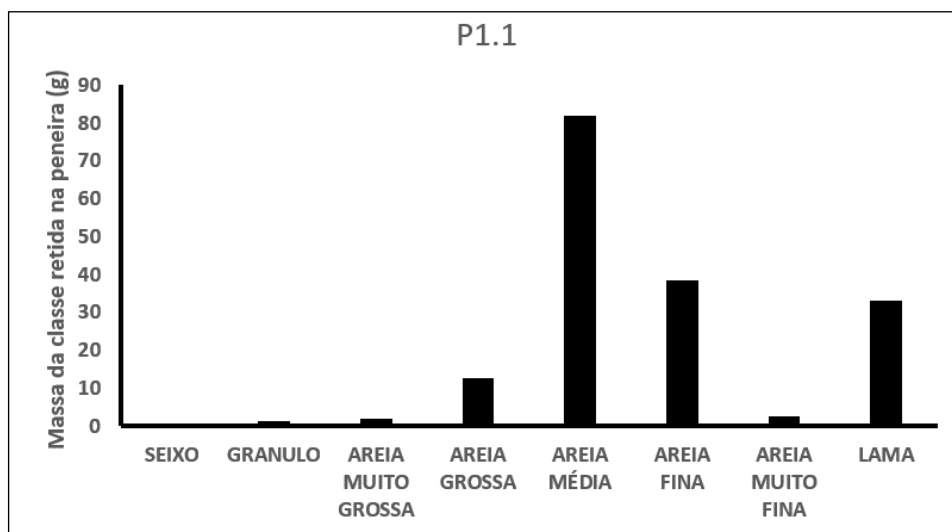
Figura 39. Classificação nominal da análise dos parâmetros estatísticos relacionados ao tamanho da partícula e distribuição granulométrica segundo método de Folk & Ward (1957).

De modo geral, em relação à seleção, o sedimento coletado na maioria das estações amostrais foi classificado como pobrememente selecionado, ou seja, maior número de frações granulométricas distintas em uma mesma amostra. Desta forma, as amostras das estações P1, P2, P3, P6 e P7 representam sedimentos mais heterogêneos ou, em outras palavras, possuem uma distribuição menos uniforme. Entretanto, na estação amostral P4 o sedimento foi classificado como moderadamente selecionado, uma vez que nessa estação a fração lamosa foi pouco representativa e a quantidade de frações distintas é menor. Na estação P5 as réplicas foram classificadas como bem selecionadas (sedimento mais uniforme ou homogêneo) com exceção de P5.1, a qual registrou presença de areia fina e da fração lamosa (i.e. sedimento com diâmetro menor que 0,063mm) (**Figura 38**).

Em relação à assimetria, na estação P1 as réplicas foram classificadas como positivamente assimétricas. Isso significa uma tendência para distribuição de grãos mais finos. Vale destacar que em P1.1 a frequência de grãos finos foi elevada (assimetria muito positiva). Em P2 também prevaleceram grãos finos e a curva de distribuição é mais acentuada para a direita com exceção da réplica P2.3. Apesar de possuir o valor de média que a classifica como areia fina

apresenta as frações areia muito grossa, areia grossa e areia média, classificando-a como negativamente assimétrica. Isso significa que uma maior distribuição de massa entre as amostras causa um deslocamento do valor da mediana em relação à média. A simetria é um importante parâmetro para compreender a natureza da heterogeneidade dos sedimentos. Dessa forma, apesar do valor de média classificar a amostra como areia fina, a assimetria negativa evidencia a presença de sedimentos grossos na amostra. Na estação P3 as réplicas foram classificadas como negativamente assimétricas com exceção da réplica P3.2 (aproximadamente simétrica). Nessa amostra houve uma contribuição representativa das frações de sedimentos grossos (i.e. Areia muito grossa, seixo e grânulo). Na estação P4 a curva de distribuição foi mais acentuada para esquerda (i.e. assimetria negativa) evidenciando a distribuição de grãos mais grossos assim como em P7. Na estação P5, apesar do prevalecimento da fração areia fina, foi observada a existência de valores distintos de assimetria entre as réplicas. O ponto P5 apresentou distintos resultados quanto ao conteúdo de sedimentos grossos e finos entre as réplicas, os quais foram evidenciados pela assimetria. Em P5.1 tendeu para distribuição de grãos mais finos (assimetria positiva), em P5.3 foi registrada quantidade representativa de areia média e grossa (assimetria negativa). Em P5.2 a contribuição das frações areia muito fina e areia média foi muito similar, devido a este fato foi classificada como aproximadamente simétrica. Dessa forma, a partir dos resultados de assimetria na estação P5 pode-se inferir que o ambiente no qual as amostras foram coletas é bastante dinâmico, sujeito a ação de diversos processos (i.e. transporte e deposição) resultando em um sistema heterogêneo evidenciado pelos baixos valores de seleção para cada réplica. Na estação P6 as réplicas também apresentaram valores de assimetria distintos entre si (**Figura 39**). Estas amostras foram classificadas como pobremente selecionadas, evidenciando que não existe o predomínio de apenas uma fração granulométrica. O que sugere também um ambiente bastante dinâmico, sujeito a diferentes processos de transporte, deposição e erosão atuando.

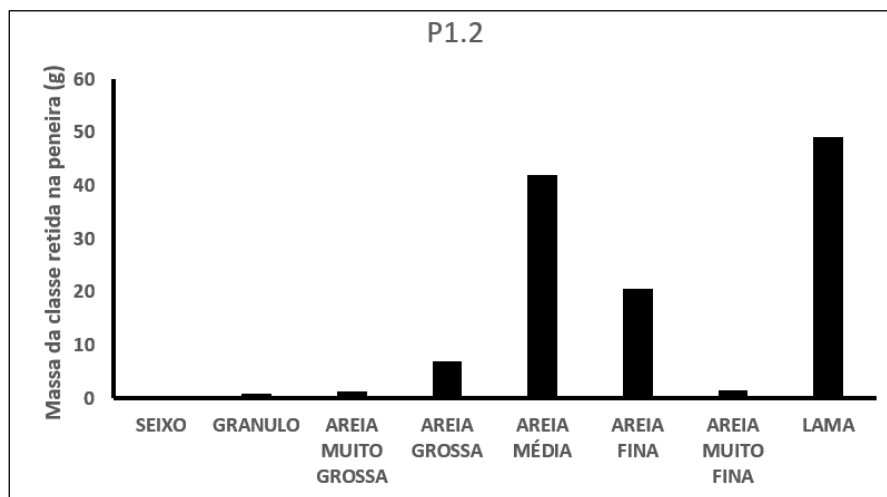
A seguir estão apresentadas, em gráficos, as distribuições das classes granulométricas para cada uma das réplicas analisadas:



PRINCIPAIS FRAÇÕES	
% Cascalho	0,5826
% Areia	80,1
% Silte	19,32

PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
Média	Areia fina
Seleção	Pobrememente selecionado
Assimetria	Muito positiva
Curtose	Leptocúrtica

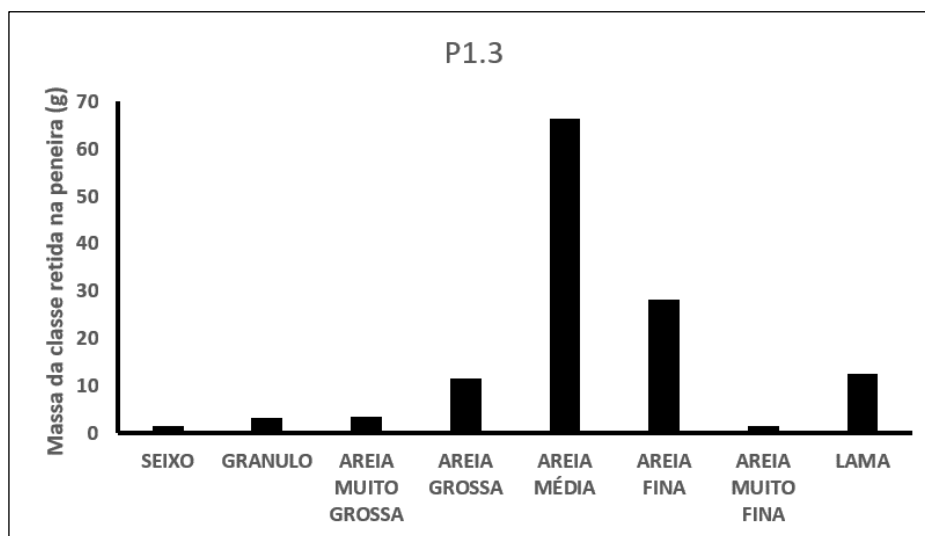
Figura 40. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P1.1. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES	
% Cascalho	0,6688
% Areia	59,07
% Silte	40,27

PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
Média	Areia fina
Seleção	Pobrememente selecionado
Assimetria	Positiva
Curtose	Muito platicúrtica

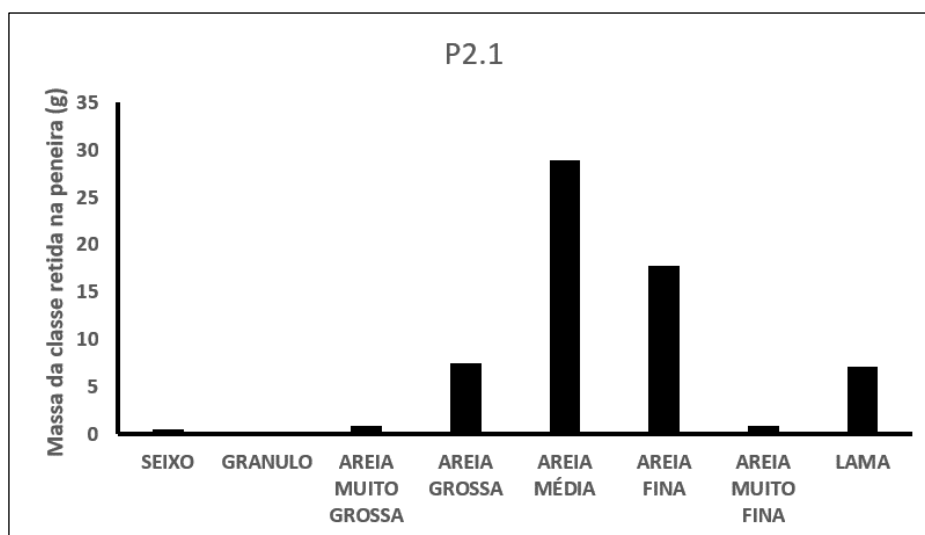
Figura 41. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P1.2. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES	
% Cascalho	3,585
% Areia	86,6
% Silte	9,811

PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
Média	Areia média
Seleção	Pobremente selecionado
Assimetria	Positiva
Curtose	Muito leptocúrtica

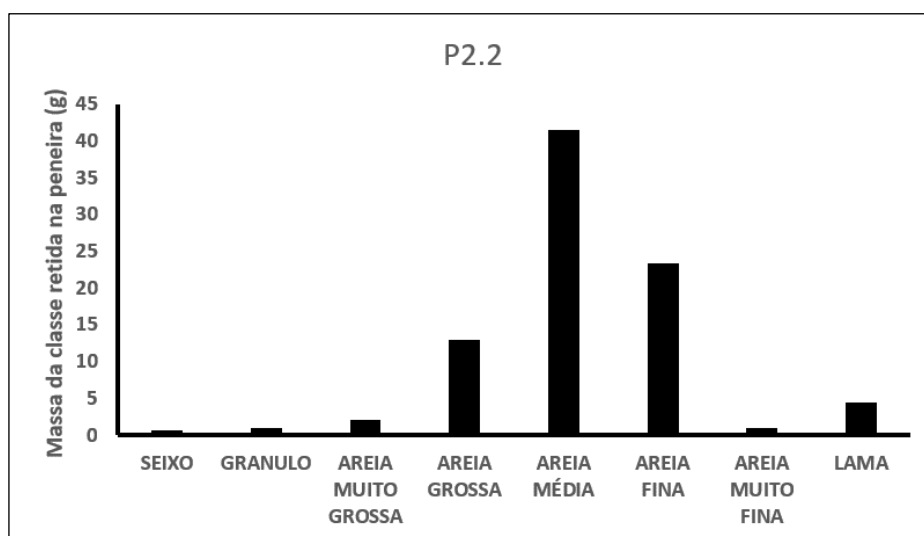
Figura 42. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P1.3. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES	
% Cascalho	1,134
% Areia	87,66
% Silte	11,21

PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
Média	Areia média
Seleção	Pobremente selecionado
Assimetria	Positiva
Curtose	Leptocúrtica

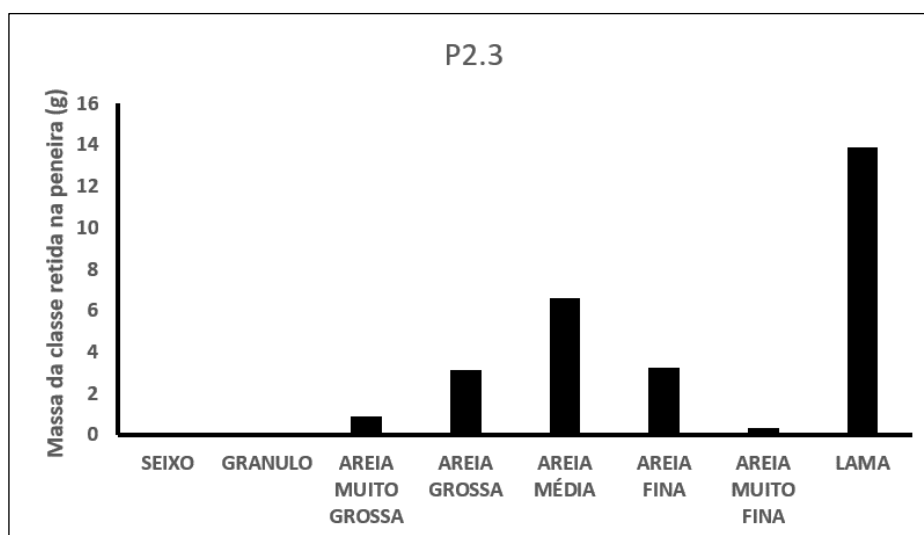
Figura 43. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P2.1. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES	
% Cascalho	1,851
% Areia	92,99
% Silte	5,158

PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
Média	Areia média
Seleção	Pobrememente selecionado
Assimetria	Positiva
Curtose	Leptocúrtica

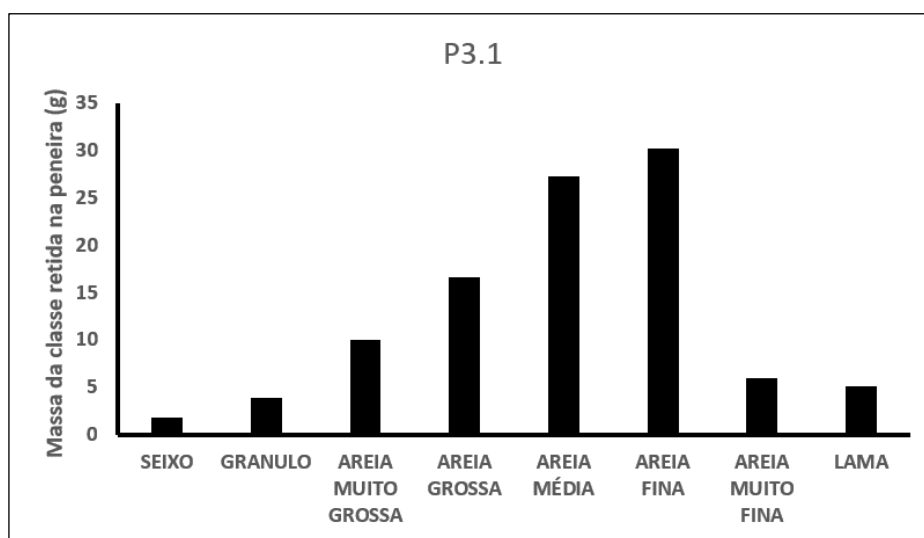
Figura 44. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P2.2. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES	
% Cascalho	0,8846
% Areia	50,08
% Silte	49,04

PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
Média	Areia fina
Seleção	Pobrememente selecionado
Assimetria	Negativa
Curtose	Muito platicúrtica

Figura 45. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P2.3. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES

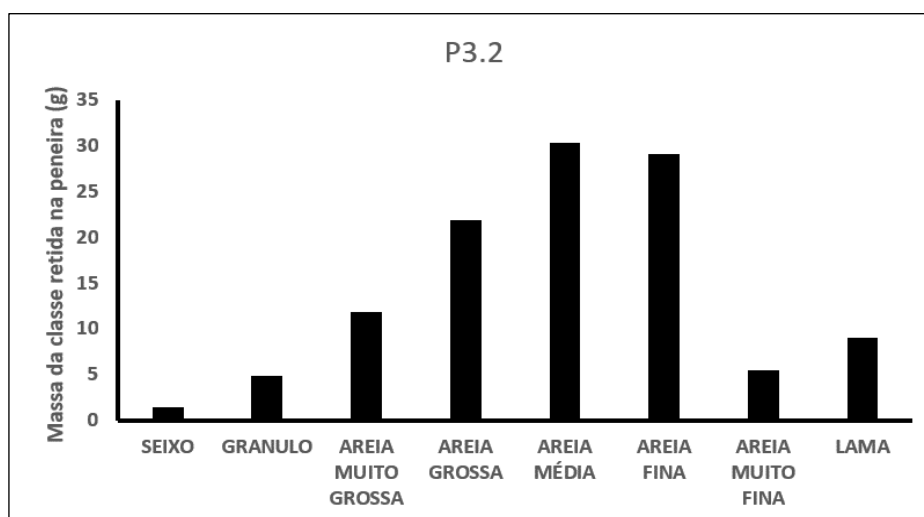
% Cascalho	5,63
% Areia	89,32
% Silte	5,054

PARÂMETROS

Média	Areia média
Seleção	Pobrememente selecionado
Assimetria	Negativa
Curtose	Mesocúrtica

CLASSIFICAÇÃO

Figura 46. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P3.1. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES

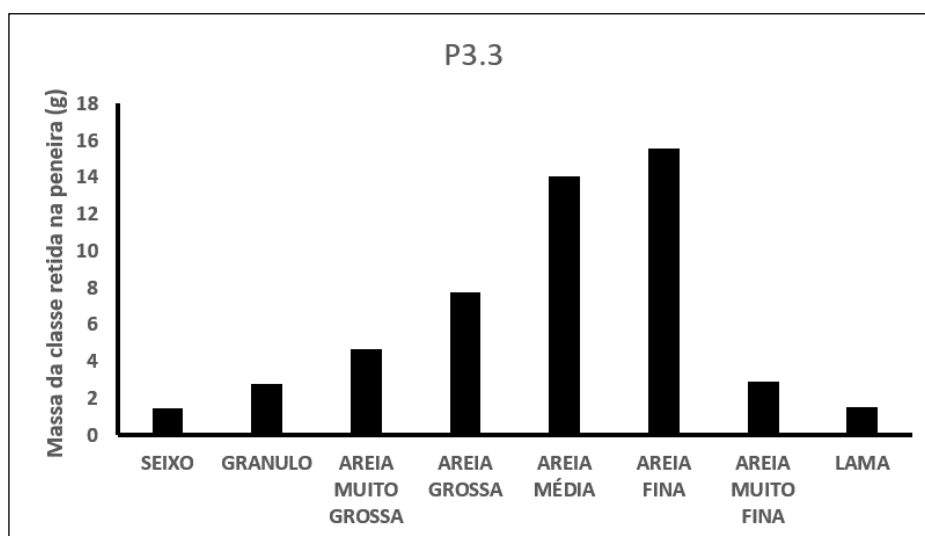
% Cascalho	5,542
% Areia	86,51
% Silte	7,95

PARÂMETROS

Média	Areia média
Seleção	Pobrememente selecionado
Assimetria	Aproximadamente simétrica
Curtose	Mesocúrtica

CLASSIFICAÇÃO

Figura 47. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P3.2. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES

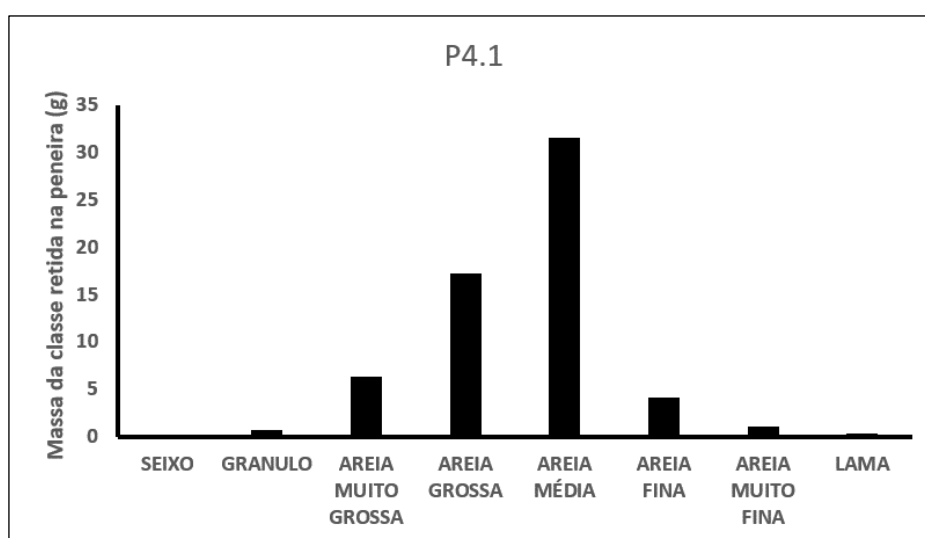
% Cascalho	8,339
% Areia	88,62
% Silte	3,039

PARÂMETROS

Média	Areia média
Seleção	Pobremente selecionado
Assimetria	Negativa
Curtose	Mesocúrtica

CLASSIFICAÇÃO

Figura 48. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P3.3. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES

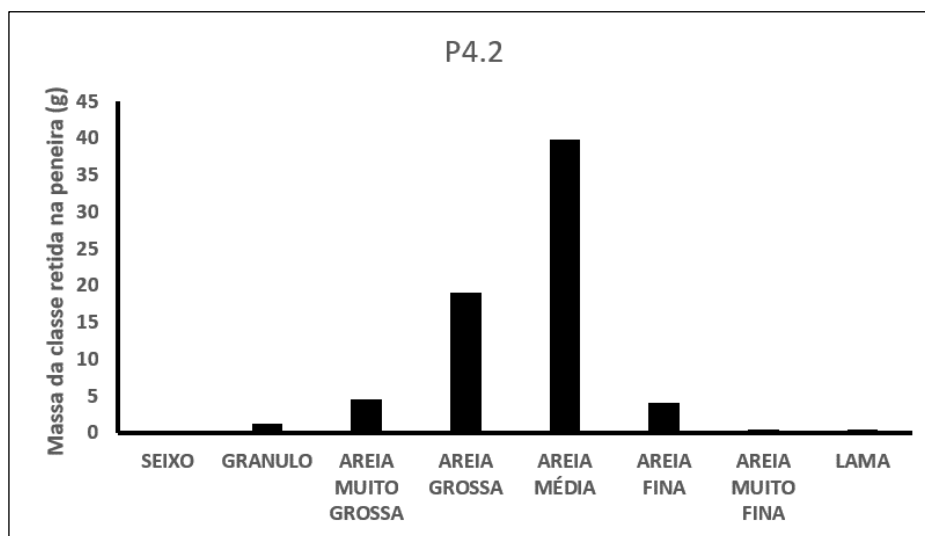
% Cascalho	1,387
% Areia	98,18
% Silte	0,4335

PARÂMETROS

Média	Areia média
Seleção	Moderadamente selecionado
Assimetria	Negativa
Curtose	Mesocúrtica

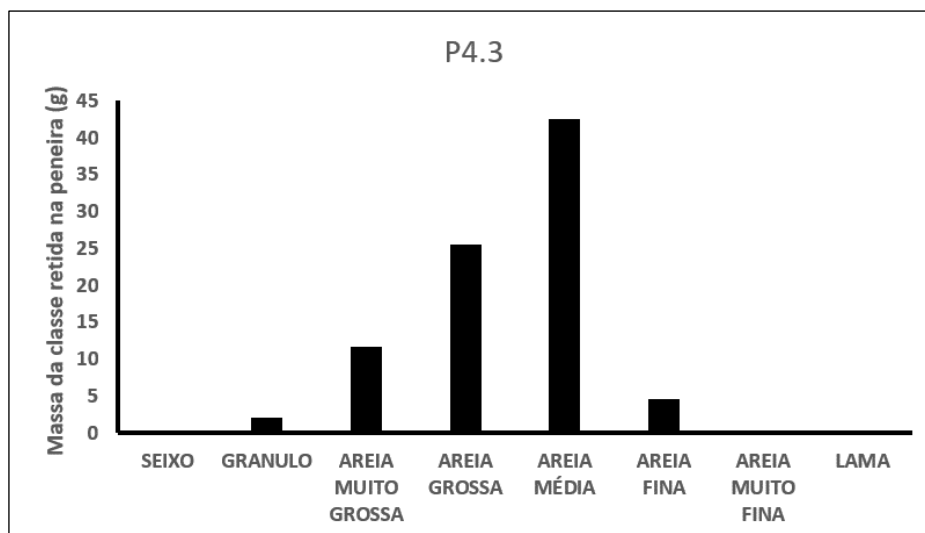
CLASSIFICAÇÃO

Figura 49. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P4.1. (Fonte. BELOV, 2015).



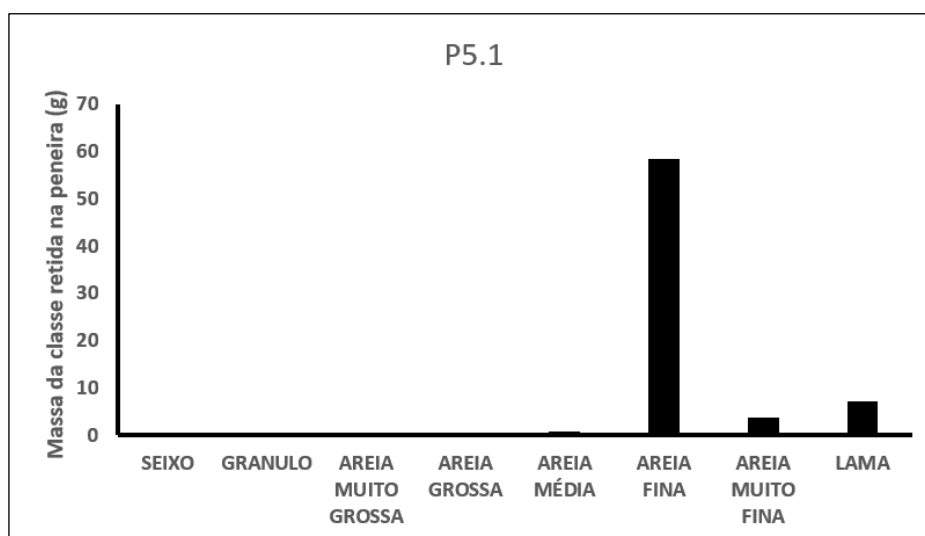
PRINCIPAIS FRAÇÕES		PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
% Cascalho	1,804	Média	Areia média
% Areia	97,67	Seleção	Moderadamente selecionado
% Silte	0,5262	Assimetria	Negativa
		Curtose	Mesocúrtica

Figura 50. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P4.2. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES		PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
% Cascalho	2,429	Média	Areia grossa
% Areia	97,14	Seleção	Moderadamente selecionado
% Silte	0,4328	Assimetria	Negativa
		Curtose	Mesocúrtica

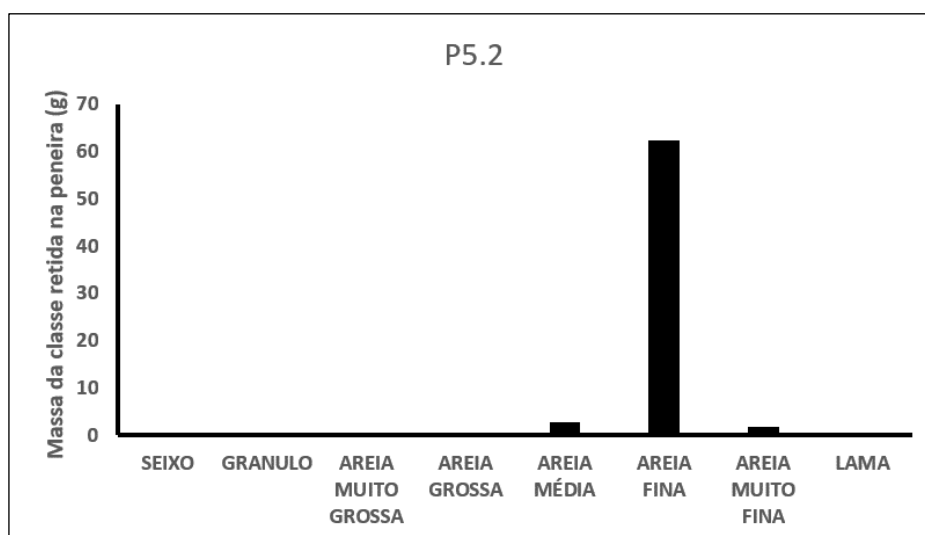
Figura 51. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P4.3. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES	
% Cascalho	0,03045
% Areia	89,85
% Silte	10,12

PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
Média	Areia fina
Seleção	Moderadamente selecionado
Assimetria	Positiva
Curtose	Muito leptocúrtica

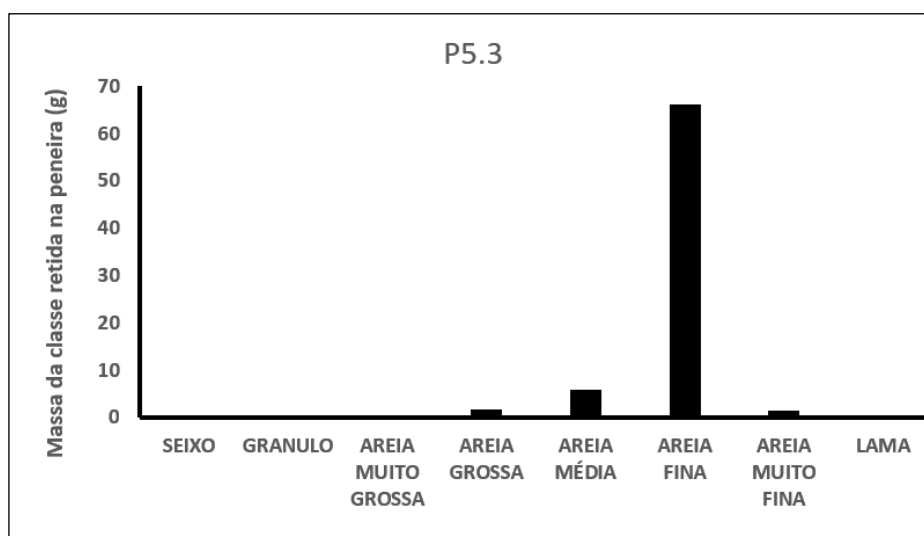
Figura 52. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P5.1. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES	
% Cascalho	0,1114
% Areia	99,36
% Silte	0,5311

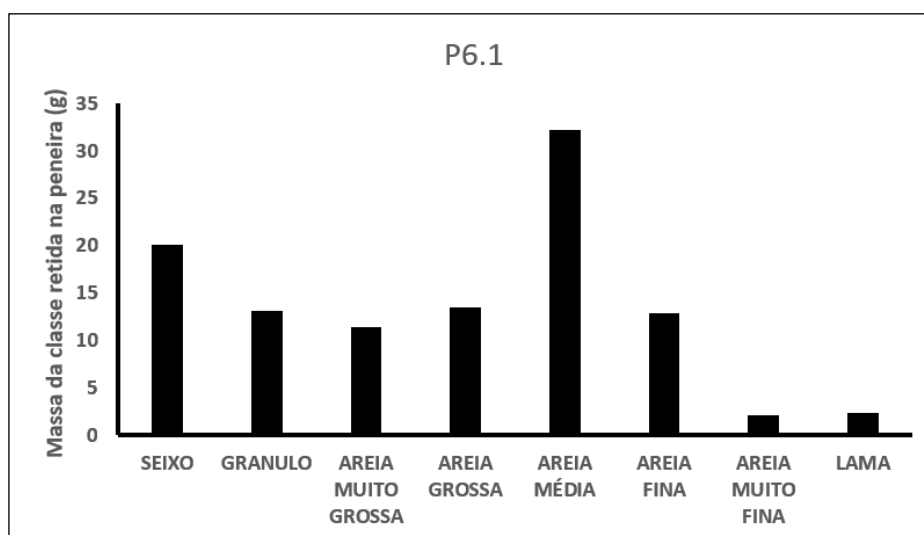
PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
Média	Areia fina
Seleção	Bem selecionado
Assimetria	Aproximadamente simétrica
Curtose	Platicúrtica

Figura 53. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P5.2. (Fonte. BELOV, 2015).



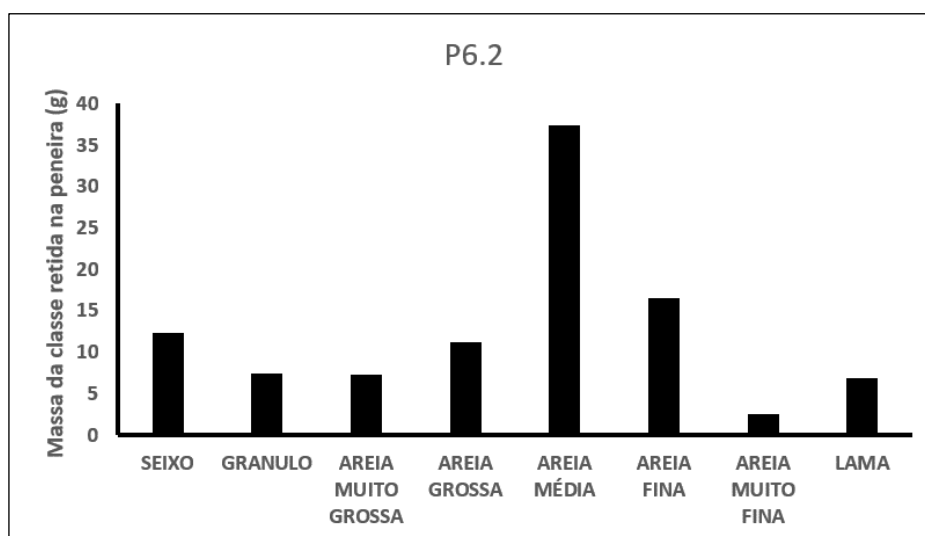
PRINCIPAIS FRAÇÕES		PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
% Cascalho	0,4184	Média	Areia fina
% Areia	99,31	Seleção	Bem selecionado
% Silte	0,2728	Assimetria	Negativa
		Curtose	Leptocúrtica

Figura 54. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P5.3. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES		PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
% Cascalho	30,85	Média	Areia grossa
% Areia	67,03	Seleção	Pobremente selecionado
% Silte	2,118	Assimetria	Aproximadamente simétrica
		Curtose	Muito platicúrtica

Figura 55. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P6.1. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES

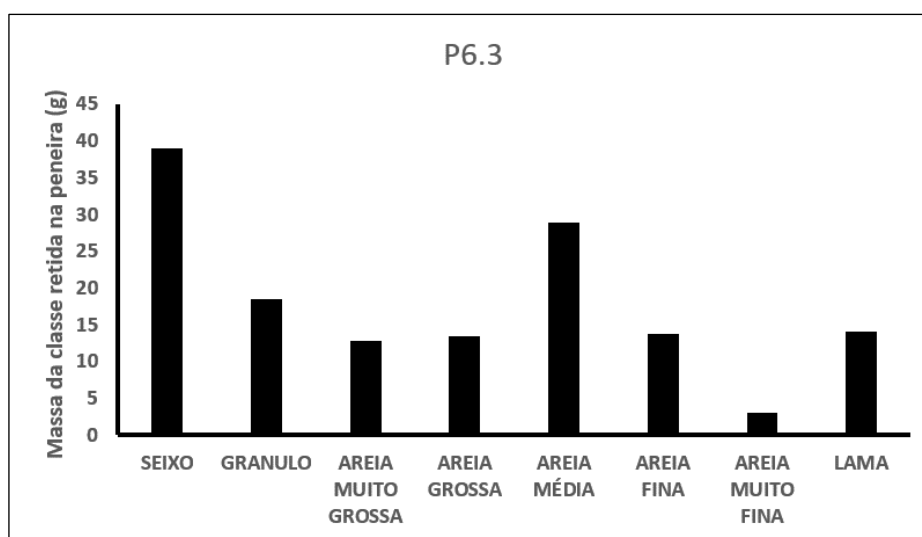
% Cascalho	19,52
% Areia	73,74
% Silte	6,745

PARÂMETROS

Média	Areia grossa
Seleção	Pobremente selecionado
Assimetria	Negativa
Curtose	Mesocúrtica

CLASSIFICAÇÃO

Figura 56. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P6.2. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES

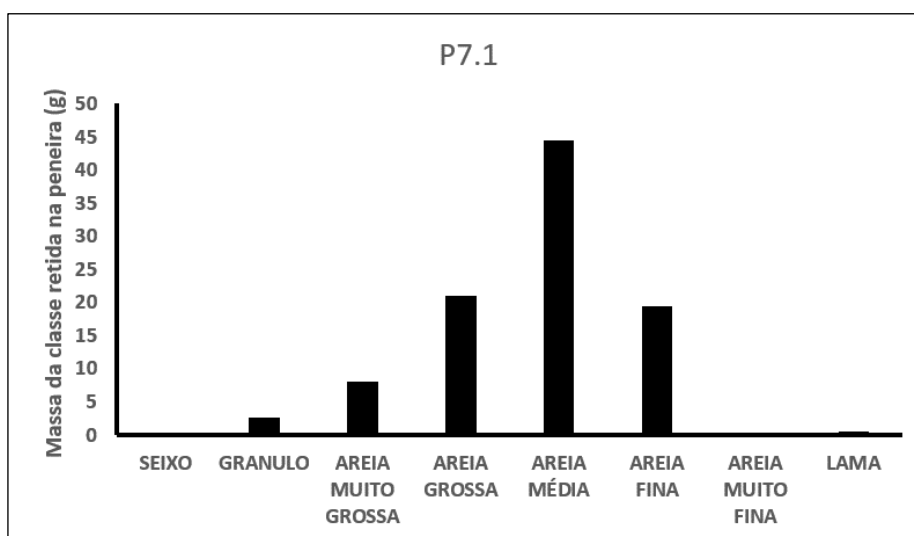
% Cascalho	40,06
% Areia	50,14
% Silte	9,804

PARÂMETROS

Média	Areia grossa
Seleção	Pobremente selecionado
Assimetria	Muito positiva
Curtose	Muito platycúrtica

CLASSIFICAÇÃO

Figura 57. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P6.3. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES

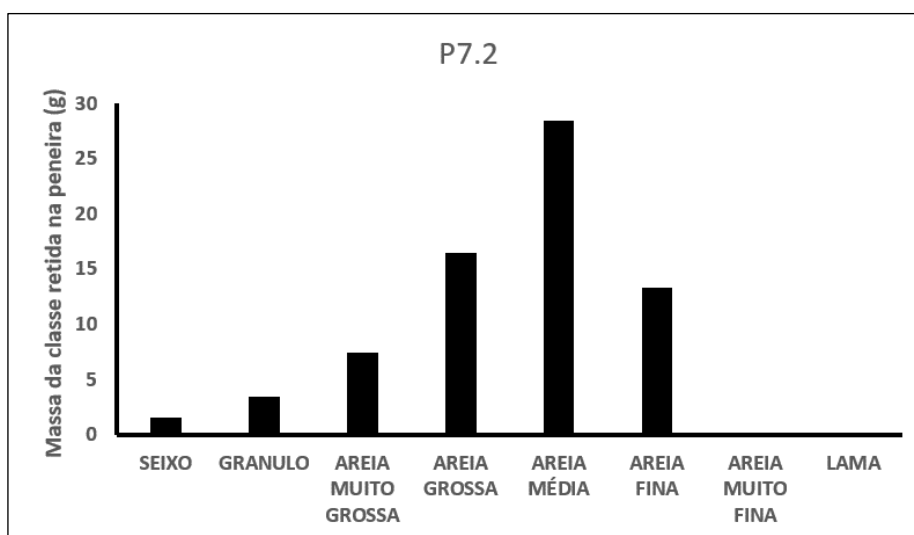
% Cascalho	3,079
% Areia	96,36
% Silte	0,5642

PARÂMETROS

Média	Areia média
Seleção	Pobrememente selecionado
Assimetria	Negativa
Curtose	Leptocúrtica

CLASSIFICAÇÃO

Figura 58. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P7.1. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES

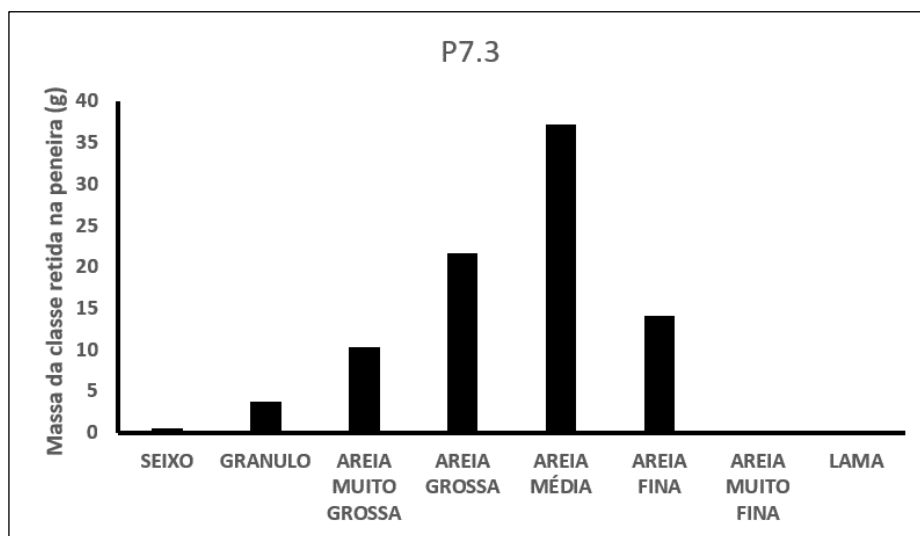
% Cascalho	6,947
% Areia	93,05
% Silte	0

PARÂMETROS

Média	Areia média
Seleção	Pobrememente selecionado
Assimetria	Negativa
Curtose	Leptocúrtica

CLASSIFICAÇÃO

Figura 59. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P7.2. (Fonte. BELOV, 2015).



PRINCIPAIS FRAÇÕES		PARÂMETROS	CLASSIFICAÇÃO
% Cascalho	4,914	Média	Areia média
% Areia	95,09	Seleção	Pobrememente selecionado
% Silte	0	Assimetria	Negativa
		Curtose	Mesocúrtica

Figura 60. Distribuição das classes granulométricas e classificação para a réplica P7.3. (Fonte. BELOV, 2015).

5.1.3.2.1.2.2 GEOQUÍMICA

A primeira campanha de amostragem sedimentológica do presente estudo, realizada com o foco no procedimento das análises geoquímicas, foi feita na Área de Influência Direta do empreendimento (AID).

As análises tiveram como base, os parâmetros estabelecidos pelas Resoluções CONAMA 420/09 e CONAMA 454/12, seguindo uma recomendação do órgão ambiental licenciador, via Termo de Referência. Os resultados estão apresentados no item 5.1.3.2.2.2 a seguir, e não demonstram a presença de qualquer substância química com valores acima dos limites permitidos pela legislação, se tratando, portanto, de uma área estuarina com impactos geoquímicos completamente dentro da normalidade.

Conforme citado no item 5.1.1.2.3 (descrição metodológica), o objetivo desta investigação geoquímica inicial foi a análise da ocorrência de valores anômalos de contaminantes químicos presentes nos sedimentos, e com possibilidade de dispersão na região do empreendimento. A partir de então, a identificação de eventuais contaminantes presentes nas amostras da AID

serviriam de base para a programação locacional dos pontos a serem estudados dentro da ADA do EDPI. É válido destacar que a ADA (porção submersa) apresenta uma área de 75 hectares, integralmente contida na AID do empreendimento.

Com base na normalidade dos resultados geoquímicos das 10 amostras coletadas na AID e à luz da Resolução CONAMA 454/2012 (Anexo I), que trata dos procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado, fazem-se necessárias algumas considerações relativas à necessidade de análise de sedimentos de fundo na ADA do estaleiro:

- Conforme trecho da Resolução CONAMA 454/2012, transcrito abaixo:

Art. 4º, parágrafo único, "Fica dispensado de caracterização ambiental prévia o material a ser dragado que atenda a pelo menos uma das seguintes condições”:

(...)

“III – proveniente de áreas que não apresentem histórico de contaminação, considerando o uso e ocupação do solo ou comprovados por dados representativos de caracterização do sedimento, a critério do órgão ambiental licenciador;”.
(grifo nosso).

a Área Diretamente Afetada pelo empreendimento está dispensada de caracterização ambiental, se considerarmos que a região não apresenta um histórico de contaminação, sendo os usos e ocupações do solo da região baseados essencialmente no atendimento às demandas domésticas. Não existem quaisquer registros de atividades industriais ou relativos ao descarte de resíduos oleosos que justifiquem a existência de contaminantes em níveis considerados não naturais pela legislação em questão. Este fato pode ser evidenciado pelos resultados geoquímicos da AID do empreendimento, que não demonstraram a presença de qualquer substância química anômala (parâmetros das Resoluções CONAMA 420/09 e CONAMA 454/12). Desta maneira, pode-se dizer que a AID, setor geográfico que engloba a ADA, apresenta características geoquímicas típicas de uma área reconhecida por sua qualidade ambiental.

- Outra questão de especial relevância no processo de definição da necessidade de caracterização química do material é a caracterização física deste. O § 1º, do Art. 6º da Resolução CONAMA 454/12, reza que a caracterização física é que indicará a necessidade de caracterização química do material. Considera-se, no Anexo desta mesma resolução, como caracterização física a distribuição granulométrica e volume de dragagem de sedimentos. Já no Art. 7º pode-se observar uma isenção de caracterização química de áreas que apresentem, essencialmente, uma presença dominante de grãos arenosos ou de granulometria superior. Este fato ocorre devido à relação existente entre o tamanho das partículas e o grau de adsorção de compostos químicos poluentes, que afeta diretamente no grau de dificuldade de recuperação de uma determinada área, sendo mais complexa a situação quanto menor forem os grãos. Com base nestas informações, e analisando os dados granulométricos da ADA e entornos do empreendimento (especialmente a amostra da estação P2 - localizada em frente aonde deverão se estabelecer as obras de engenharia), pode-se dizer que na área predominam os sedimentos arenosos médios, constituindo outro fator favorável à promoção da qualidade ambiental da área e dispensação da caracterização química deste setor.

5.1.3.2.2 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DA AID

5.1.3.2.2.1 GRANULOMETRIA

Serão apresentados nas tabelas e gráficos a seguir (**Figuras 61 a 70**) os resultados do peneiramento e distribuição das classes granulométricas das 10 amostras de sedimentos coletadas na AID do empreendimento, correspondentes às Estações de Amostragem e Monitoramento – EAM, apresentadas na **Figura 13**.

As análises foram realizadas pela Analytical Technology, laboratório com certificação nacional e internacional. As cadeias de custódia dos resultados apresentados seguem em **Anexo**.

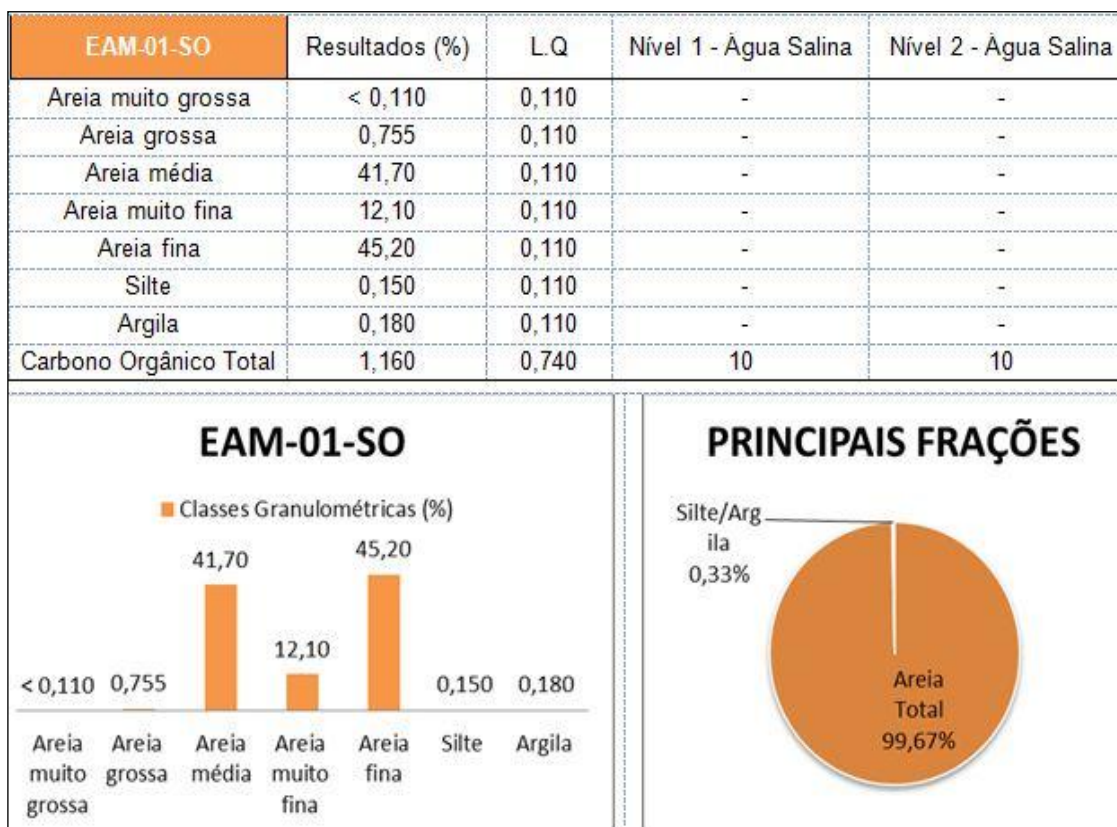


Figura 61. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-01-SO.

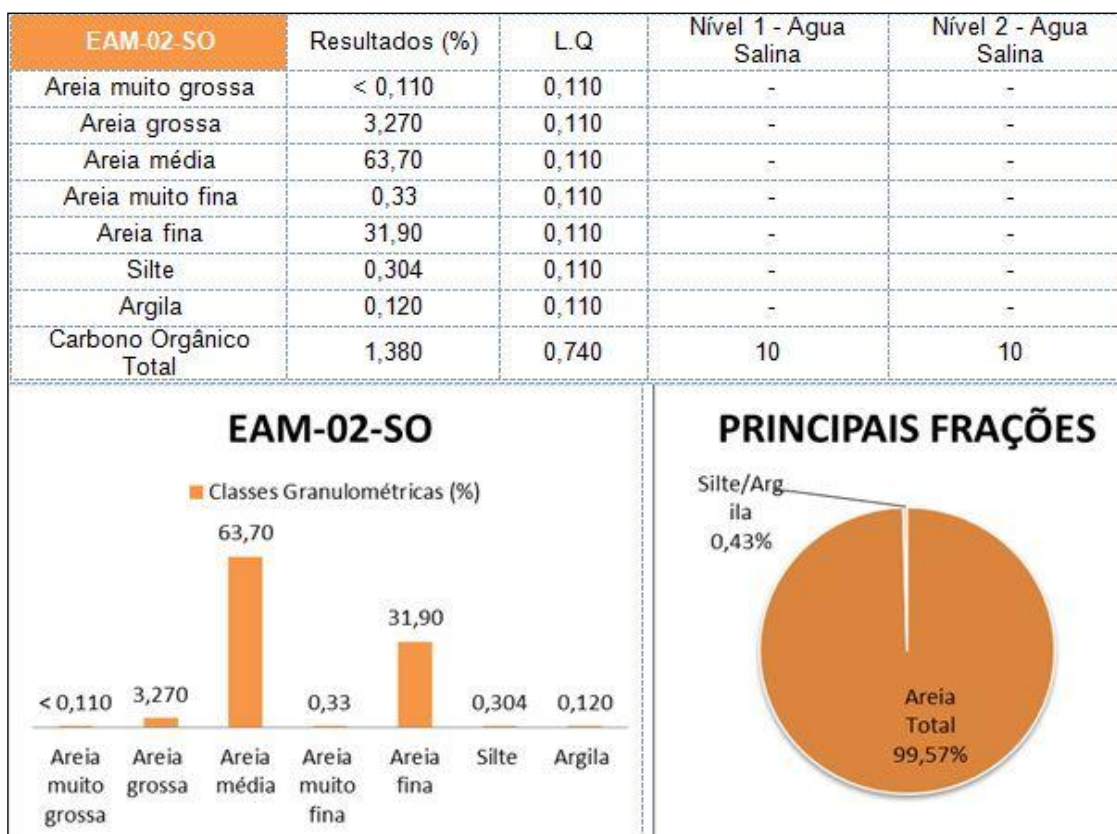


Figura 62. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-02-SO.

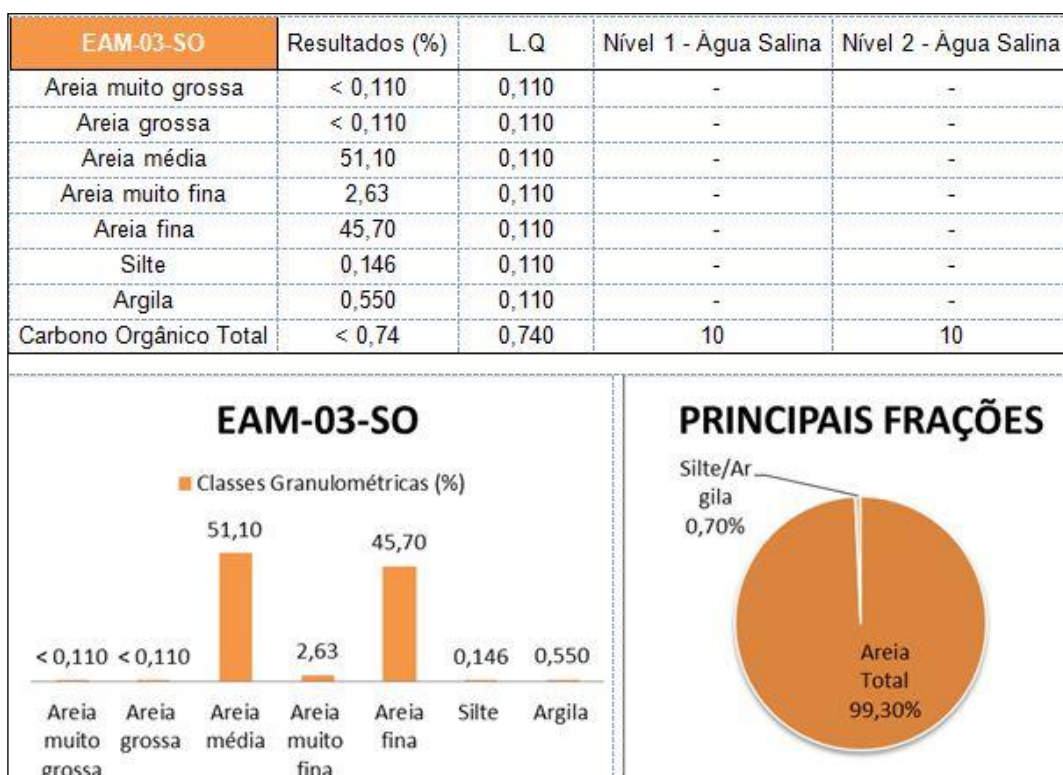


Figura 63. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-03-SO.

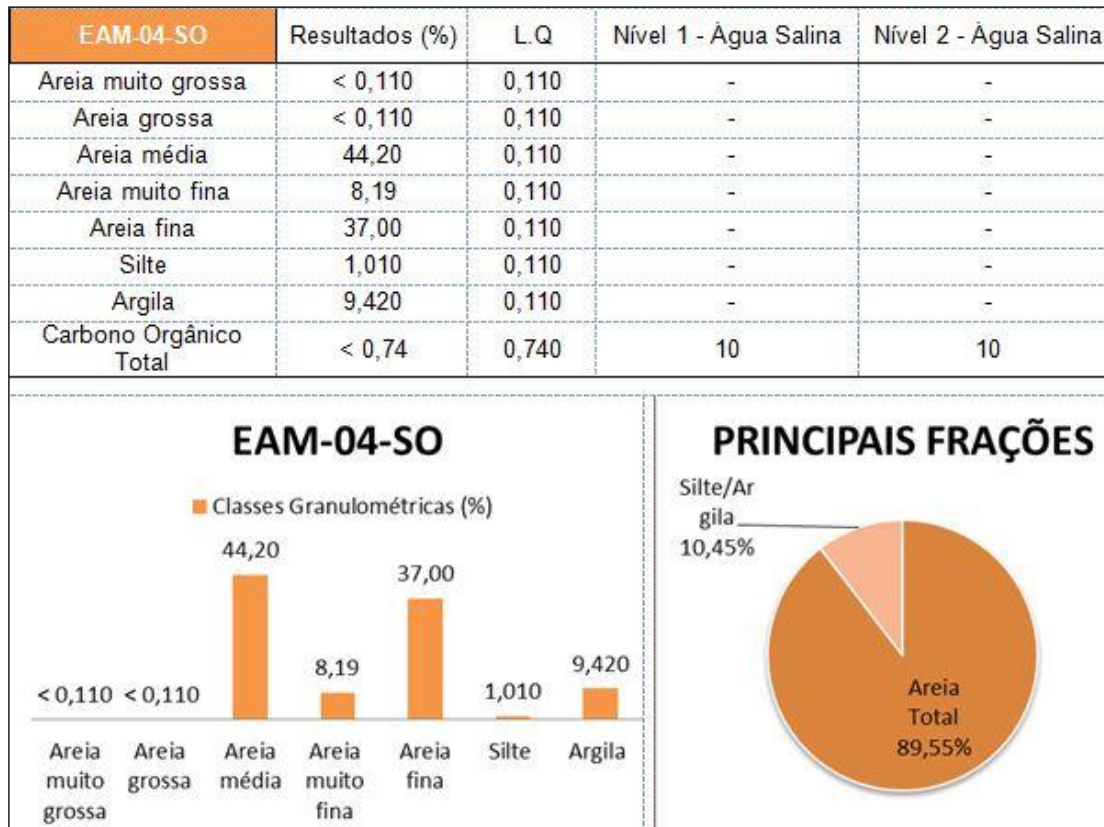


Figura 64. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-04-SO.

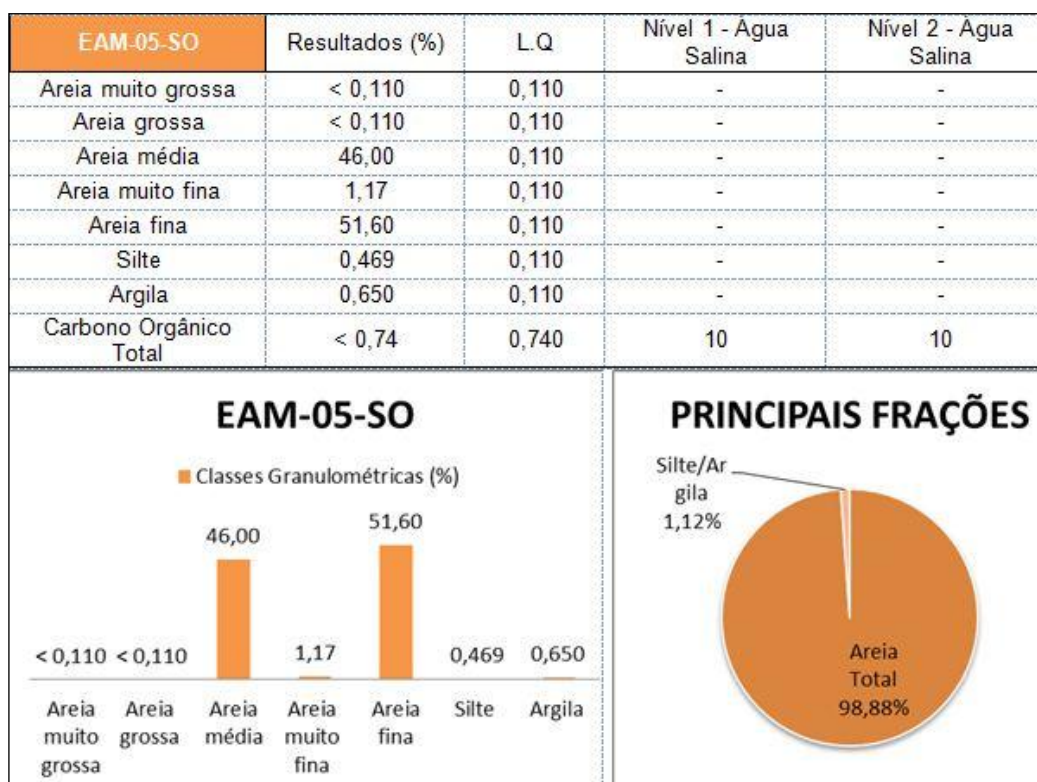


Figura 65. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-05-SO.

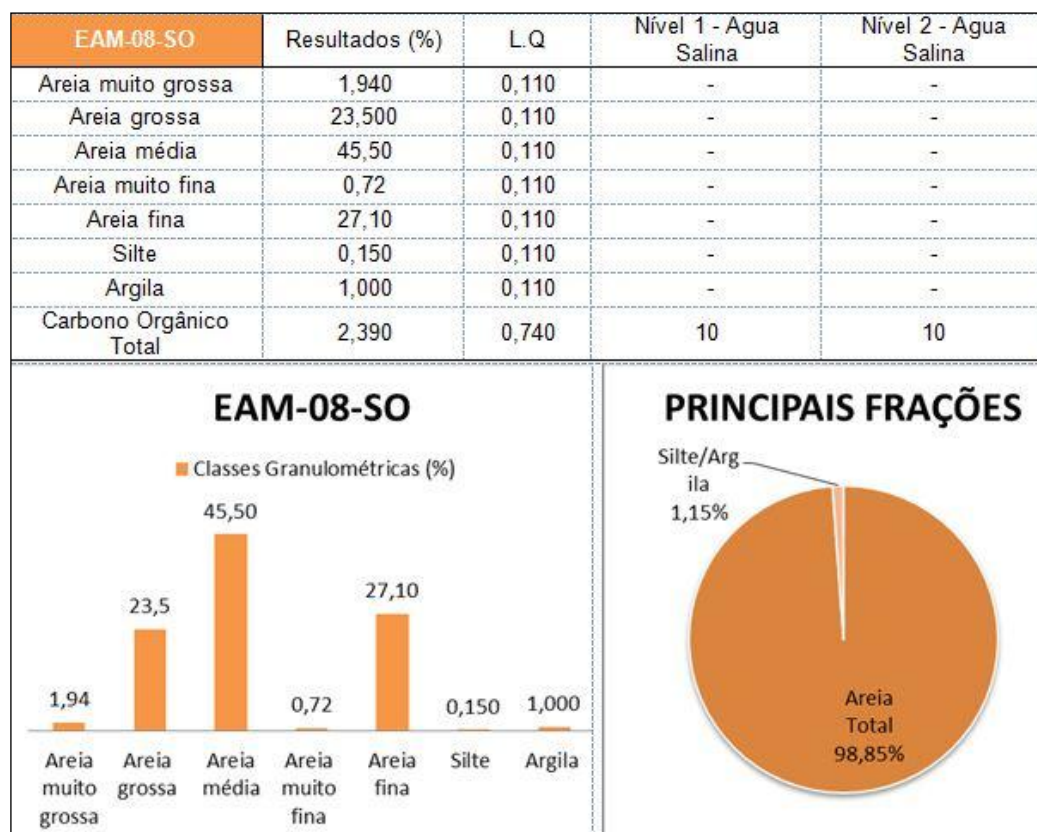


Figura 66. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-08-SO.

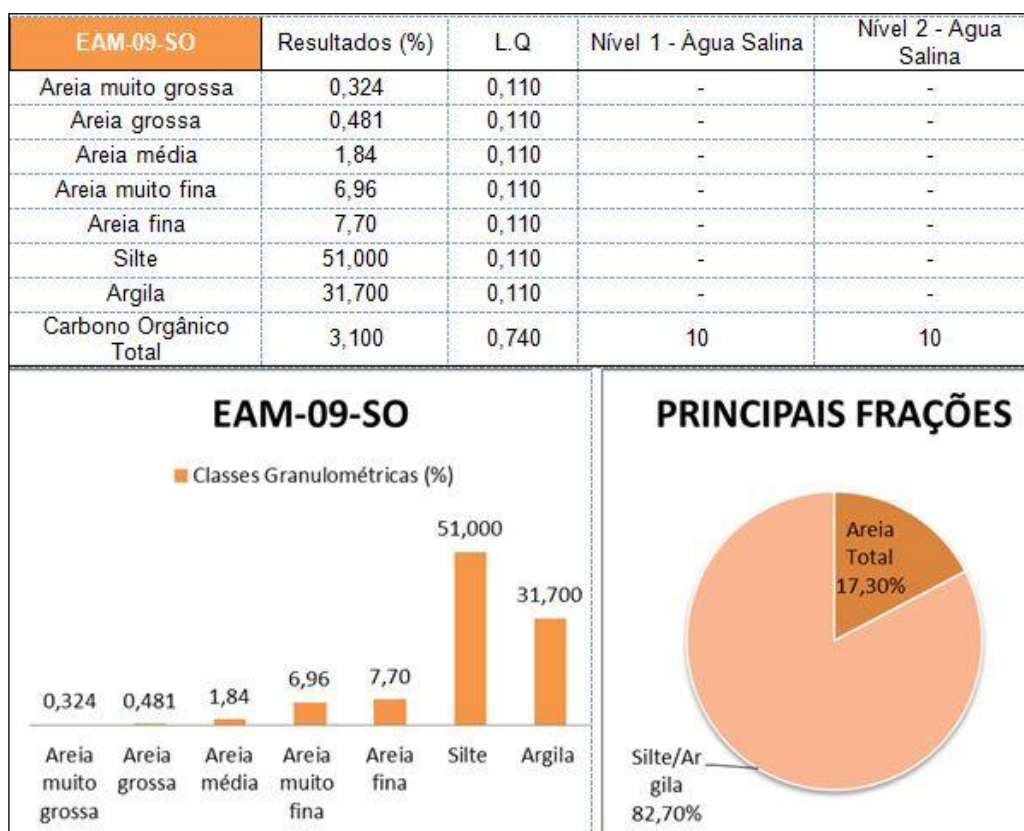


Figura 67. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-09-SO.

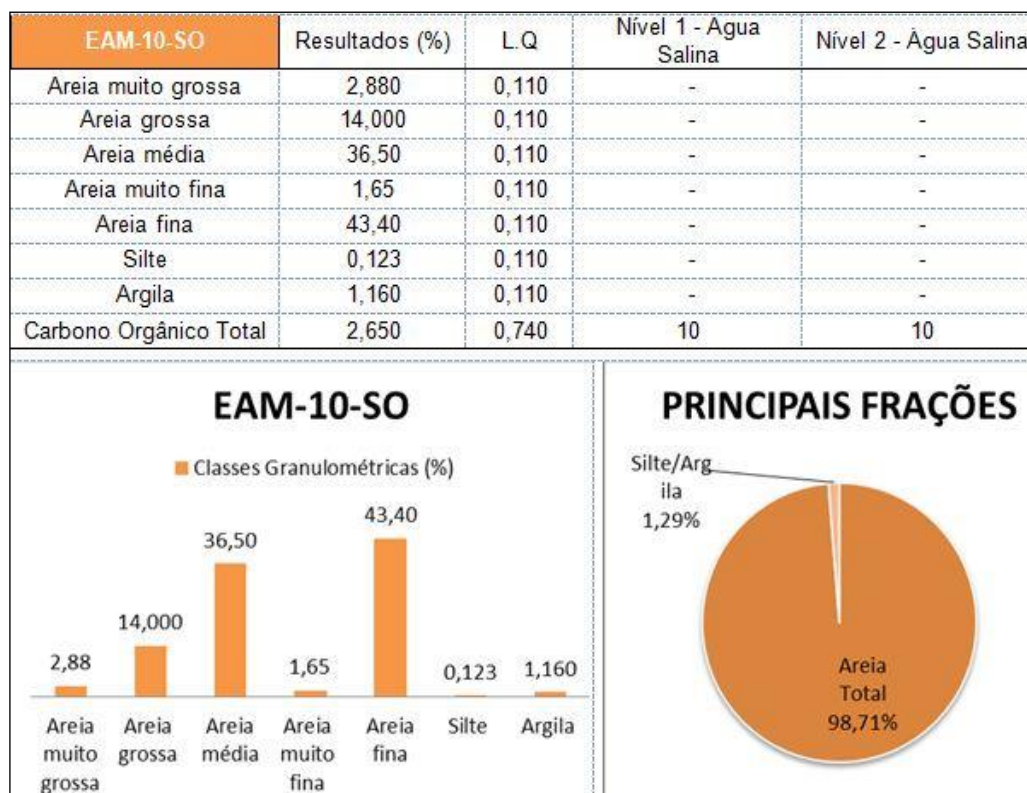


Figura 68. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-10-SO.

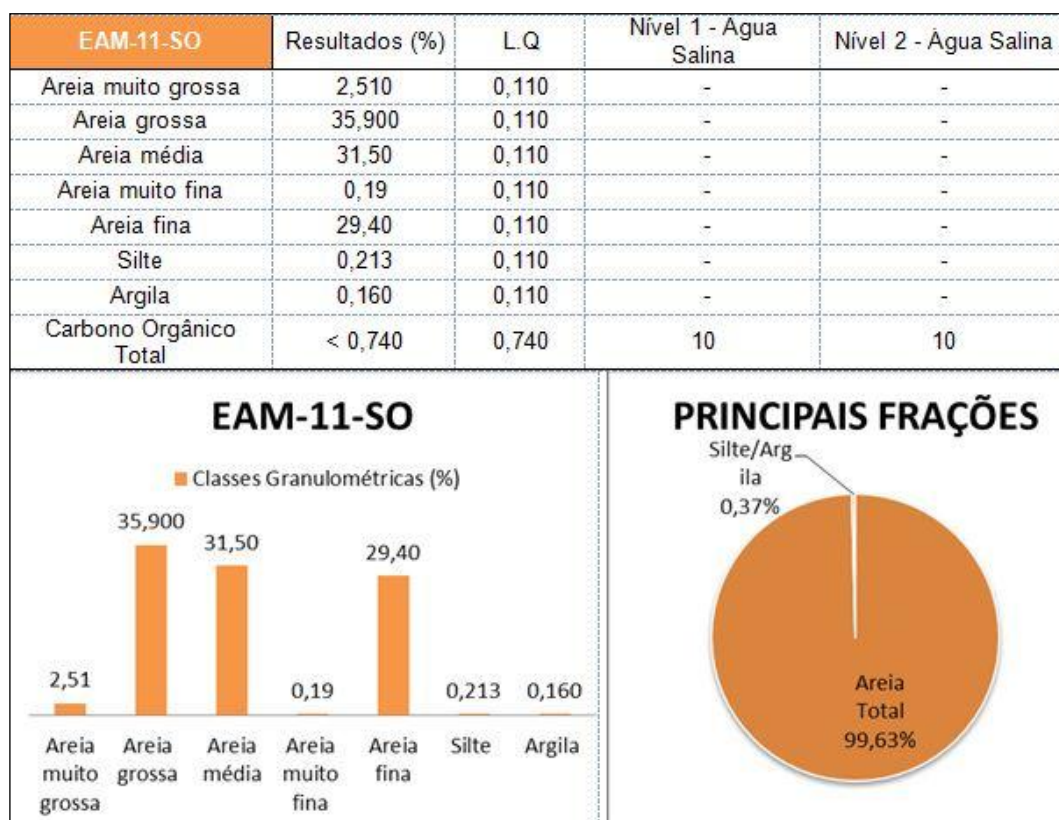


Figura 69. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-11-SO.

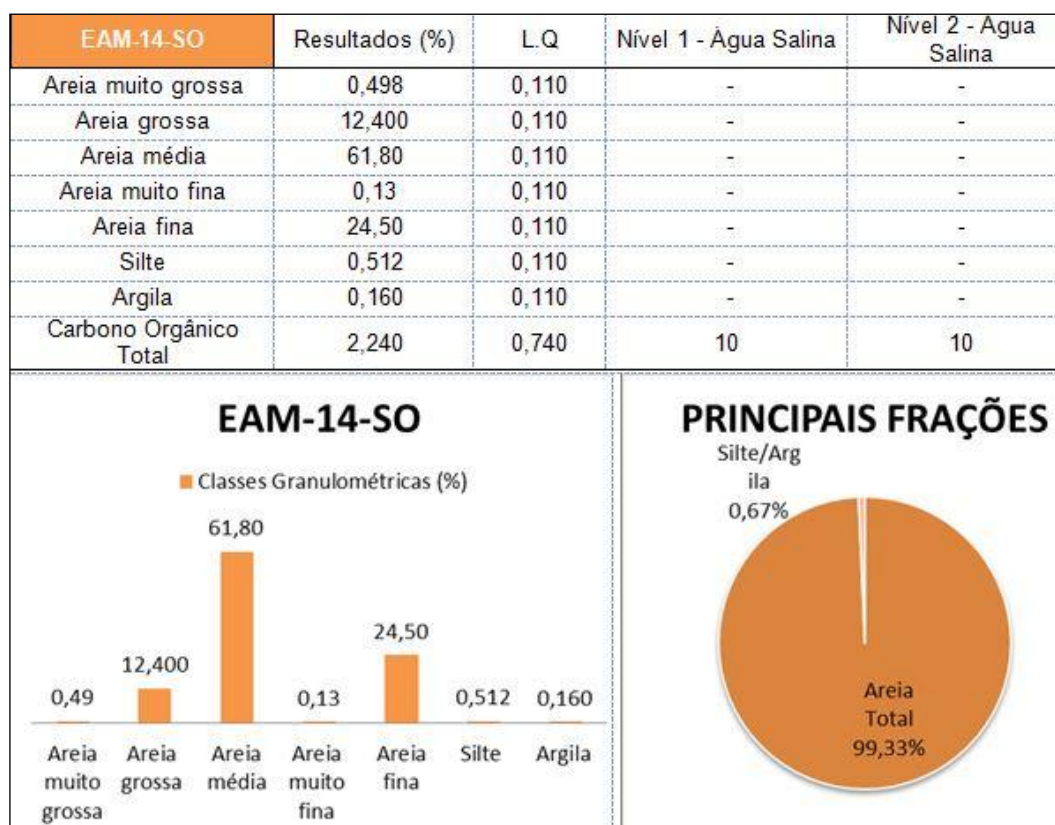


Figura 70. Distribuição das classes granulométricas para a EAM-14-SO.

Nas estações EAM-06, EAM-07, EAM-12 e EAM-13 não foram coletadas amostras de sedimentos, por isso a inexistência dos dados granulométricos. Nestas estações foram coletadas apenas amostras de água.

Assim como na ADA do empreendimento, na AID há um predomínio notório de sedimentos arenosos, principalmente das classes denominadas de areia média e areia fina. As frações seixo e grânulo são inexpressivas nos sedimentos desta região, não tendo sido sequer registradas no peneiramento. Pontualmente se observou o predomínio das frações finas nos sedimentos amostrados, caso específico da EAM-09-SO.

Com base nos dados apresentados, pode-se dizer que 80% das amostras (EAM-01-SO, EAM-02-SO, EAM-03-SO, EAM-05-SO, EAM-08-SO, EAM-10-SO, EAM-11-SO e EAM-14-SO) apresentam um percentual de Areia Total (soma de todas as classes arenosas) superior a 98,85%, confirmando o predomínio de sedimentos arenosos na região onde o empreendimento pretende se instalar. Na estação de amostragem e monitoramento EAM-04-SO também há um predomínio de material arenoso, no entanto equivalente a 89,55%.

A estação de amostragem EAM-09-SO foi a única onde foi registrado um percentual minoritário de areia (equivalente a 17,30%), sendo o restante (82,70%) composto por silte e argila. A EAM-09-SO está localizada em um manguezal na desembocadura do Rio da Guia, região com baixa influência das correntes marítimas e gradiente fluvial bastante suave, o que justifica a predominância de sedimentos finos. Considerando todas as amostras com predominância de areia, é válido destacar que:

- Em nenhuma delas foi registrado percentual de Areia Média inferior a 31,5%, sendo a média desta classe equivalente a 46,89%;
- A maior representatividade granulométrica, após a Areia Média, são das classes com diâmetro dos grãos imediatamente maiores e menores que a Areia Média, classificados na escala Wentworth, respectivamente, como Areia Grossa e Areia Fina;
- A classe denominada de Areia Fina é mais representativa do que a classe denominada de Areia Grossa;
- As classes denominadas de Areia muito Fina e Areia muito Grossa, em geral, não ultrapassam os 3% cada uma.

Em linhas gerais, em relação à AID do empreendimento, especificamente ao longo das Estações de Amostragem e Monitoramento, os sedimentos coletados podem ser classificados como moderadamente selecionados, ou seja, caracterizados pela predominância de Areia Média, no entanto, com homogeneidade na frequência desta classe comprometida pela ocorrência de frações de classes próximas, como Areia Fina e Areia Grossa. Quanto ao grau de seleção dos grãos, a EAM-09-SO pode ser enquadrada como bem selecionada, devido à presença quase que unânime de sedimentos silto-argilosos.

Os resultados relativos à seleção, assimetria na distribuição das classes granulométricas e padrão granulométrico observado comprovam o fato de que a AID recebe uma influência hidrodinâmica bastante intensa e, portanto, encontra-se sujeita a ação de diversos processos naturais, como a erosão e a deposição. Estes processos atingem a região litorânea, modificando constantemente a morfologia das porções emersas que compõem o estuário.

5.1.3.2.2 GEOQUÍMICA

Serão apresentados nas tabelas a seguir os resultados das análises do solo seguindo as Resoluções CONAMA nº 420/09 e nº 454/12, destacando os parâmetros que apresentaram alterações baseadas no L.Q., que é definido como a menor concentração do composto/substância que pode ser determinada com um nível aceitável de exatidão e precisão, e pode ser obtido a partir dos estudos de LD, acompanhado do parâmetro indicado pela legislação para análise e investigação.

Resultados segundo a Resolução CONAMA nº 454/12

Tabela 8. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 01		MATRIZ - SOLO	ÁGUA SALINA/SALOBRA	
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Nível 1	Nível 2
Chumbo	0,650	0,529	46,7	218
Cromo	1,27	1,19	81	370
Zinco	5,74	1,32	150	410
Fósforo Total	50,0	0,793	2000	2000

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 9. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 02		MATRIZ - SOLO	ÁGUA SALINA/SALOBRA	
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Nível 1	Nível 2
Zinco	9,87	1,34	150	410
Fósforo Total	28,4	0,805'	2000	2000

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 10. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 03		MATRIZ - SOLO	ÁGUA SALINA/SALOBRA	
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Nível 1	Nível 2
Chumbo	0,564	0,548	46,7	218
Cromo	1,62	1,23	81	370
Zinco	10,1	1,37	150	410
Fósforo Total	27,1	0,821	2000	2000

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 11. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 04		MATRIZ - SOLO	ÁGUA SALINA/SALOBRA	
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Nível 1	Nível 2

Nitrogênio Total	151,1	36,5	4800	4800
Chumbo	1,67	0,608	46,7	218
Cromo	8,49	1,37	81	370
Zinco	21,0	1,52	150	410
Fósforo Total	44,3	0,912	2000	2000

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 12. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 05		MATRIZ - SOLO	ÁGUA SALINA/SALOBRA	
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Nível 1	Nível 2
Chumbo	0,966	0,631	46,7	218
Cromo	2,12	1,42	81	370
Zinco	20,1	1,58	150	410
Fósforo Total	33,1	0,947	2000	2000

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

PONTO EAM 06	NÃO HOUVE COLETA DE SOLO NESTE PONTO
--------------	--------------------------------------

PONTO EAM 07	NÃO HOUVE COLETA DE SOLO NESTE PONTO
--------------	--------------------------------------

Tabela 13. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 08		MATRIZ - SOLO	ÁGUA SALINA/SALOBRA	
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Nível 1	Nível 2
Nitrogênio Total	114,5	39,0	4800	675
Chumbo	1,43	0,649	46,7	218
Cobre	1,09	0,649	34	270
Cromo	1,52	1,46	81	370
Zinco	7,05	1,62	150	410
Fósforo Total	65,3	0,974	2000	2000

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 14. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 09		MATRIZ - SOLO	ÁGUA SALINA/SALOBRA	
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Nível 1	Nível 2
Chumbo	7,75	1,13	46,7	218
Cobre	8,76	1,13	34	270
Cromo	27,1	2,54	81	370
Níquel	10,1	1,13	20,9	51,6
Zinco	46,1	2,82	150	410
Fósforo Total	378,8	1,69	2000	2000

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 15. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 10		MATRIZ - SOLO	ÁGUA SALINA/SALOBRA	
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Nível 1	Nível 2
Zinco	7,47	1,50	150	410
Fósforo Total	22,7	0,898	2000	2000

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 16. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 11		MATRIZ - SOLO	ÁGUA SALINA/SALOBRA	
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Nível 1	Nível 2
Zinco	5,94	1,30	150	410
Fósforo Total	23,8	0,781	2000	2000

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

PONTO EAM 12	NÃO HOUVE COLETA DE SOLO NESTE PONTO
---------------------	---

PONTO EAM 13	NÃO HOUVE COLETA DE SOLO NESTE PONTO
---------------------	---

Tabela 17. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 14		MATRIZ - SOLO	ÁGUA SALINA/SALOBRA	
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Nível 1	Nível 2
Nitrogênio Total	38,9	34,4	4800	4800
Zinco	9,35	1,43	150	410
Fósforo Total	12,9	0,860	2000	2000

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Resultados segundo a Resolução Conama nº420/09

Tabela 18. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 01		MATRIZ	SOLO
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Investigação Industrial
Nitrato (N)	1,47	0,159	-
Alumínio	94,4	2,65	-
Bário	2,32	0,530	750,0
Boro Total	1,67	1,06	-
Chumbo	0,538	0,530	900,0
Cromo	1,20	1,19	400,0
Ferro	457,8	1,33	-
Manganês	16,5	0,795	-
Zinco	3,71	1,33	200,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 19. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 02		MATRIZ	SOLO
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Investigação Industrial
Nitrato (N)	2,29	0,161	-
Alumínio	107,9	2,68	-
Bário	2,52	0,536	750,0

Ferro	484,2	1,34	-
Manganês	16,0	0,805	-
Zinco	6,41	1,34	200,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 20. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 03		MATRIZ	SOLO
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Investigação Industrial
Nitrato (N)	2,88	0,168	-
Alumínio	97,9	2,81	-
Bário	1,98	0,561	750,0
Boro Total	2,03	1,12	-
Ferro	226,9	1,40	-
Manganês	3,33	0,842	-
Zinco	9,81	1,40	200,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 21. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 04		MATRIZ	SOLO
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Investigação Industrial
Nitrato (N)	6,57	0,159	
Alumínio	111,0	2,65	-
Bário	1,98	0,529	750,0
Boro Total	1,54	1,06	-
Ferro	446,3	1,32	-
Manganês	17,3	0,794	-
Zinco		6,50	1,32

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 22. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 05		MATRIZ	SOLO
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Investigação Industrial
Nitrato (N)	24,2	0,179	-
Alumínio	136,0	2,99	-
Bário	2,66	0,597	750,0
Boro Total	1,96	1,19	-
Ferro	328,3	1,49	-
Manganês	2,97	0,896	-
Zinco	5,19	1,49	200,00

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

PONTO EAM 06	NÃO HOUVE COLETA DE SOLO NESTE PONTO
---------------------	---

PONTO EAM 07	NÃO HOUVE COLETA DE SOLO NESTE PONTO
---------------------	---

Tabela 23. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 08		MATRIZ	SOLO
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Investigação Industrial
Alumínio	150,9	3,05	-
Bário	3,46	0,611	750,0
Boro Total	2,42	1,22	-
Chumbo	0,980	0,611	900,0
Cobre	1,83	0,611	600,0
Cromo	1,51	1,37	400,0
Ferro	472,5	1,53	-
Manganês	7,46	0,916	-
Zinco	4,38	1,53	200,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 24. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 09		MATRIZ	SOLO
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Investigação Industrial
Nitrato (N)	0,452	0,339	-
Alumínio	3346,7	5,66	-
Bário	26,3	1,13	750,0
Chumbo	4,88	1,13	900,0
Cobalto	3,13	0,848	90,0
Cobre	5,01	1,13	600,0
Cromo	15,7	2,55	400,0
Ferro	7341,6	2,83	-
Manganês	84,7	1,70	-
Níquel	6,28	1,13	130,0
Vanádio	12,6	2,26	1000
Zinco	22,6	2,83	200,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 25. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 10		MATRIZ	SOLO
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Investigação Industrial
Nitrato (N)	24,2	0,179	-
Alumínio	136,0	2,99	-
Bário	2,66	0,597	750
Boro Total	1,96	1,19	-
Chumbo	0,696	0,597	900,0
Ferro	328,3	1,49	-
Manganês	2,97	0,896	-
Zinco	5,19	1,49	200,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 26. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 11		MATRIZ	SOLO
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Investigação Industrial
Nitrato (N)	6,57	0,159	-
Alumínio	111,0	2,65	-
Bário	1,98	0,529	-
Boro Total	1,54	1,06	-
Ferro	446,3	1,32	-
Manganês	17,3	0,794	-
Zinco	6,50	1,32	200,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

PONTO EAM 12	NÃO HOUVE COLETA DE SOLO NESTE PONTO
---------------------	---

PONTO EAM 13	NÃO HOUVE COLETA DE SOLO NESTE PONTO
---------------------	---

Tabela 27. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento de solo

PONTO EAM 14		MATRIZ	SOLO
Parâmetro	Resultado	L.Q.	Investigação Industrial
Nitrato (N)	2,88	0,168	-
Alumínio	97,9	2,81	-
Bário	1,98	0,561	-
Boro Total	2,03	1,12	-
Ferro	226,9	1,40	-
Manganês	3,33	0,842	-
Zinco	9,81	1,40	200,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

5.1.3.3 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS E CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Quanto à caracterização pedológica regional, descreve-se os parâmetros reportados por Ferreira (1991), que demonstra que o clima é um dos condicionantes do intemperismo, aliado ao relevo existente, aos organismos, ao material sedimentar e rochoso de origem e ao tempo geológico. Este fato é particularmente marcante em clima quente e úmido, como é o caso do clima da região analisada. Segundo a autora, os processos intempéricos podem evoluir ainda mais, desta feita para processos pedogenéticos, genericamente agrupados em adições, perdas, transformações e translocações, dando origem ao solo no “stricto-sensu” pedológico, o que aumenta a complexidade do estudo no compartimento geológico quaternário.

Convertendo a nomenclatura do Mapa Pedológico do Estado da Paraíba (2004) para o novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999), Borges (2004) menciona que a distribuição dos solos da região está intimamente relacionada ao relevo local.

Sobre os Tabuleiros Litorâneos da Formação Barreiras predominam: Argilossolos Vermelho-Amarelos, muitas vezes associados aos Latossolos Vermelho-Amarelos e aos Espodossolos (Podzóis):

- Latossolo - É o produto da latolização, que é a remoção de sílica e bases do perfil com o conseqüente aumento de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, gerando os solos mais desenvolvidos e que ocupam as áreas de maior estabilidade da paisagem. São solos profundos (superiores a 2 metros) sem grande diferenciação de horizontes. São quimicamente pobres com valores baixos para a capacidade de troca de cátions (T) e de saturação de bases (V%). O pH varia, mas sempre na faixa ácida (entre 4,3 - 5,3). Possui textura média a argilosa. É conveniente lembrar que os latossolos se desenvolveram nos sedimentos da Formação Barreiras, principalmente nos topos planos (“solos de tabuleiros”), em estreita associação com os podzólicos. O desenvolvimento destes solos estão intimamente ligados ao processo de “lateritização”, processo

bastante comum observado na superfície dos litotipos da Formação Barreiras.

- Podzol - Esta classe de solo resulta da podzolização, que é fundamentalmente a translocação de material do horizonte A para o horizonte B. Neste caso a translocação é de matéria orgânica (Bhs) ou (Bs) sesquióxidos do horizonte A para horizonte B, resultando no B espódico. Este processo se verifica nos materiais arenosos, apresentando uma forte diferenciação de horizonte o que torna fácil a identificação dos mesmos no campo: espesso horizonte A formado por areia. Os sedimentos arenosos da Formação Barreiras e os terraços pleistocênicos e holocênicos são o seu material de origem. Em geral são fortemente ácidos (ph 4,3 - 5,3), com baixa capacidade de troca de cátions (T) e saturação de bases (V%). Este processo pode originar areias quartzosas brancas nos morros da fáceis fluvial com pouca argila. Daí estarem associados às areias quartzosas.

Nas planícies fluviais, desenvolvem-se Neossolos Flúvicos e Gleissolos (de várzea aluviais e hidromórficos), nas flúvio-marinhas, são encontrados os Solos Indiscriminados de Mangue, e nas marinhas, ocorrem os Neossolos Quartzarênicos (arenosos de praias, restingas e cordões litorâneos) (Nascimento, 2008 in Soares, 2011). A seguir são descritos os tipos de solos associados ao domínio geomorfológico em que se encontra o empreendimento, de acordo com descrição da Embrapa:

- Neossolos Flúvicos - São solos minerais não hidromórficos, oriundos de sedimentos recentes referidos ao período Quaternário. São formados por sobreposição de camadas de sedimentos aluviais recentes sem relações pedogenéticas entre elas, devido ao seu baixo desenvolvimento pedogenético. Geralmente apresentam espessura e granulometria bastante diversificadas, ao longo do perfil do solo, devido a diversidade e a formas de deposição do material originário. No geral estes solos ocorrem nos ambientes de várzeas, planícies fluviais e terraços Aluvionares, ao longo das linhas de drenagens das principais bacias hidrográficas, sob vegetação natural de campos higrófilos de várzea ou floresta perenifolia de várzea. Na

Zona da Mata Paraibana, ocorrem principalmente nas várzeas com melhores condições de drenagem, associados com os Gleissolos.

- Gleissolos - São solos minerais, hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos recentes não consolidados, de constituição argilosa, argilo-arenosa e arenosa, do período Holocênico. Podem ocorrer com algum acúmulo de matéria orgânica, porém, com o horizonte glei iniciando dentro de 50 cm da superfície, ou entre 50 e 125cm, desde que precedido por horizontes com presença de mosqueados abundantes e cores de redução. Compreende solos mal a muito mal drenados e que possuam características resultantes da influência do excesso de umidade permanente ou temporário, devido a presença do lençol freático próximo à superfície, durante um determinado período do ano.
- Solos Indiscriminados de Mangue - Este tipo de solo é um dos substratos da área de estudo e se refere a uma unidade bastante representativa do mapa de solos em anexo, em termos de área. São solos halomórficos muito pouco desenvolvidos, lamacentos, escuros e com alto teor de sais provenientes da água do mar, formados em ambientes de mangues a partir de sedimentos flúvio-marinhos recentes misturados com detritos orgânicos, de natureza e granulometria variada, referidos ao período Holoceno. Tais sedimentos são decorrentes da deposição pelas águas dos rios quando encontram-se com as águas do mar, em condição de baixa energia.
- Neossolos Quartzarênicos - Denominados de “Areias Quartzosas Marinhas Distróficas (Dunas)” no mapa de solos em anexo, os neossolos quartzarênicos são solos derivados de sedimentos arenoquartzosos da Formação Barreiras do período Terciário e sedimentos marinhos do período Holocênico. São essencialmente arenoquartzosos, não hidromórficos ou hidromórficos sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade da superfície. São excessivamente drenados, com menos de 4% de minerais primários facilmente intemperizáveis e pouco desenvolvidos devido à baixa

atuação dos processos pedogenéticos e pela resistência do material de origem ao intemperismo. Ocupa boa parte da faixa litorânea do município de Lucena, sob a forma de cordões alongados paralelos à linha de costa.

Os riscos geológicos-geotécnicos associados aos empreendimentos humanos podem estar atribuídos ao dinamismo natural dos ambientes onde estes estão estabelecidos ou serem potencializados ou minimizados a partir da implantação de estruturas antrópicas capazes de modificar os processos naturais existentes em um determinado local. O empreendimento em questão, em sua fase de instalação, prevê a construção de estruturas de atracação de navios para o oferecimento de serviços de docagem. Esse investimento em infraestrutura certamente traz consigo um aumento no número e tamanho de embarcações circulando em torno da área do empreendimento, agora durante a fase de operação do Estaleiro.

As obras para a construção do Estaleiro ocorrerão dentro da Área Diretamente Afetada (ADA), e por apresentarem limitação espacial e temporal não deverão causar grandes modificações na dinâmica fluvial local, não representando, assim, um fator de risco geológico-geotécnico para o empreendimento.

No entanto, estas estruturas estão sendo montadas para o recebimento de embarcações de porte compatível com o investimento econômico previsto. Para viabilizar o tráfego destas embarcações deverão ser aprofundados tanto o canal quanto a bacia de evolução em frente ao empreendimento, por meio de dragagem do leito do rio e ao longo da plataforma rasa adjacente. Diferentemente das obras de implantação das estruturas físicas do complexo, a dragagem pode vir a alterar a hidrodinâmica costeira local, gerando riscos de erosão de estruturas humanas e de componentes naturais encontrados ao longo do canal do rio, na porção estuarina e nas praias dos municípios de Cabedelo e Lucena, atingindo tanto a Área Diretamente Afetada (ADA) como também a Área de Influência Direta (AID) do empreendimento.

Uma avaliação mais apurada quanto aos riscos geológicos-geotécnicos existentes deverá constar em um tópico a parte, que tratará especificamente das operações de dragagem.

No que se refere às condições geotécnicas da área, Tuma (2004) realizou um trabalho de mapeamento geotécnico da Grande João Pessoa, incluindo o município de Cabedelo, local que pela proximidade que tem do município de Lucena possivelmente demonstra ter características geotécnicas análogas. Portanto, a área de abrangência deste estudo geotécnico é perfeitamente correlacionável com a Área de Influência Direta do empreendimento em pauta. O autor aborda aspectos importantes relacionados à natureza e resistência do material encontrado em superfície, aos tipos de fundações mais usuais para cada tipo de terreno e aos principais impactos ambientais ligados a este tipo de ambiente geológico-geotécnico.

A seguir serão trazidas algumas destas questões colocadas pelo autor do trabalho supracitado, relevantes para o estudo em questão.

Neste sentido, Tuma (2004) identificou que:

- Os principais usos e ocupações do solo nesta região são destinados para fins habitacionais, instalações industriais, pecuária, agricultura e mineração.
- A rede hidrográfica está representada por pequenos, médios e grandes afluentes, com destaque para o Rio Paraíba do Norte, onde nas suas margens se concentra a atividade de extração de areia através de desmonte hidráulico. Esse fato evidencia a presença de materiais inconsolidados residuais provenientes da alteração de rochas da Formação Gramame e da Formação Barreiras ou de materiais inconsolidados formando os depósitos praias, de mangue, aluvionares e coluvionares, resultantes do retrabalhamento sedimentar na bacia.
- As áreas consideradas de alto potencial à erosão, ou seja, as zonas que apresentam menor resistência mecânica às intempéries naturais concentram-se, principalmente, nas margens dos rios, devido ao trabalho progressivo das águas correntes nos materiais de cobertura. Secundariamente, é possível relacionar a faixa litorânea, que sofre a ação erosiva do mar, atuando na destruição das saliências e reentrâncias do relevo, representadas pelas falésias

abruptas da Formação Barreiras encontradas em certas porções do litoral. Nesse contexto encontra-se o empreendimento em foco.

- A atuação dos processos erosivos de intensidade média ocorre em terrenos contendo solos residuais com comportamento mecânico variável de acordo com a inclinação natural do terreno, proteção da cobertura vegetal e o desenvolvimento de processos antrópicos. A instalação de processos erosivos dos tipos sulcos e ravinamentos são mais visíveis nos horizontes superficiais do solo em locais de desmatamento clandestino, áreas de empréstimo abandonadas, cortes de barrancos em vias de acesso e ocupações urbanas em áreas inadequadas.
- Os terrenos localizados em regiões com baixas altitudes e baixas declividades ou onde afloram litologias calcárias, caracterizadas por certa resistência mecânica, os processos erosivos atuam com menor intensidade.

Soares (2005) relaciona os tipos de estacas mais utilizadas na construção civil na Grande João Pessoa. Essa preferência se dá em função da disponibilidade e viabilidade econômica dos equipamentos, além das adequações geotécnicas aos tipos de terrenos existentes. São elas:

- Estacas de compactação (tripé ou torre);
- Estacas escavadas (perfuratriz sobre caminhão);
- Estacas Franki (Franki);
- Estacas metálicas (torre);
- Estacas pré-moldadas de concreto (torre).

O autor relata duas situações distintas: a primeira se refere a parte alta de João Pessoa, em relação ao nível do mar, com predominância da Formação Barreiras. Nessa região, na grande maioria dos casos, o perfil geotécnico apresenta a existência de solos coesivos (siltes argilosos) e inexistência de lençol freático, pelo menos até profundidades mais resistentes que oferecem boa capacidade de carga. Dessa forma, a solução escolhida para as fundações são tubulões a céu aberto ou estacas escavadas (perfuratriz sobre caminhão), geralmente a 12 metros de profundidade na região da Formação Barreiras, ao norte do Rio Jaguaribe. No trecho que corresponde ao sul do rio, na região da

Cidade Universitária (Bairros do Castelo Branco, Bancários, etc.) o autor menciona a ocorrência de fundações diretas (superficiais) com profundidade variando entre 1 e 1,5 metros. A segunda área é a região litorânea, com perfil geotécnico constituído por solos granulares (areias, areias siltosas) e presença de lençol freático. Por razões óbvias, as estacas escavadas e os tubulões a céu aberto se tornam inadequados para essa área. Às vezes há ocorrência de uma camada intermediária compressível que ora se apresenta como silte arenoso, ora silte argiloso, ou argila siltosa mole, variando de 7m a 12m de profundidade.

Soares (2005) lista as soluções para melhorias de fundações mais usuais para esta região:

- Melhoria com Estaca de Compactação – aumenta a capacidade de carga de solos arenosos e reduz os recalques das fundações, viabilizando o uso de fundações diretas. As sapatas de fundação são assentadas sobre as estacas, que, geralmente, são de areia e brita, ou traços fracos de solo cimento. Com espaçamentos eixo a eixo entre 80 e 100cm, alcançando no máximo 5m de profundidade, as estacas não são projetadas como elemento estrutural e sim como parte de um sistema em que o solo tem sua resistência aumentada para valores de tensos admissíveis da ordem de 5kgf/cm^2 . Com poucas quantidades de finos, a compactação do solo litorâneo é bastante eficiente e têm-se prédios com mais de 30 lajes com esse tipo de solução de fundação. Pelo fato de utilizarem-se materiais de menor custo, reduzir o volume de sapatas e de escavações, de mão de obra e de ter uma alta produção, em torno de 60m diários, essa solução se torna bastante econômica em relação às demais, e desde que os estudos de recalques e distorções angulares sejam favoráveis, a melhoria de solo com estacas de compactação é aprovada e utilizada como solução de fundação da obra;
- Estacas Tipo Franki – Nos casos de inviabilidade para a solução em melhoria, é necessário atravessar a camada compressível de modo que a ponta da estaca se encontre em profundidades inferiores ou iguais a 14m, por questão de custos;

- Estacas Metálicas – Para profundidades ainda maiores (de 18m a 34m);
- Estacas Pré-Moldadas de Concreto – Ainda no caso cujo alcance necessário é para maiores profundidades (de 15m a 21m) e as sondagens SPT não apresentam, ao longo da cravação, valores superiores a 20/30;
- Tubulões Pneumáticos – Em obras como pontes ou viadutos.

Ultimamente, vem crescendo bastante o uso de estacas tipo hélice contínua, em ambos os setores da cidade (parte alta e baixa), uma vez que esse tipo de fundação não apresenta limitações com lençol freático. Nas praias, as estacas tipo hélice contínua costumam alcançar mais de 20 metros de profundidade, onde o NSPT atinge mais de 50 golpes.

Além desta contextualização regional, foram levantados dados geotécnicos específicos da porção emersa da Área Diretamente Afetada (ADA) do empreendimento. Como já explicado no item referente à metodologia, foram realizados 09 (nove) furos de sondagem a percussão, totalizando 178 metros e 90 centímetros. A caracterização dos materiais recuperados na sondagem foi realizada considerando-se os aspectos geológicos regionais e análise tátil-visual do amostrado. O produto final desta investigação se refere a produção de perfis individuais de sondagem (**Figuras 71 a 79**), contendo dados como: a profundidade metro a metro e a de parada, os valores do SPT, a classificação geológica-geotécnica e o nível d'água encontrado. Na **Figura 80** podem ser visualizados os locais perfurados ao longo desta campanha.

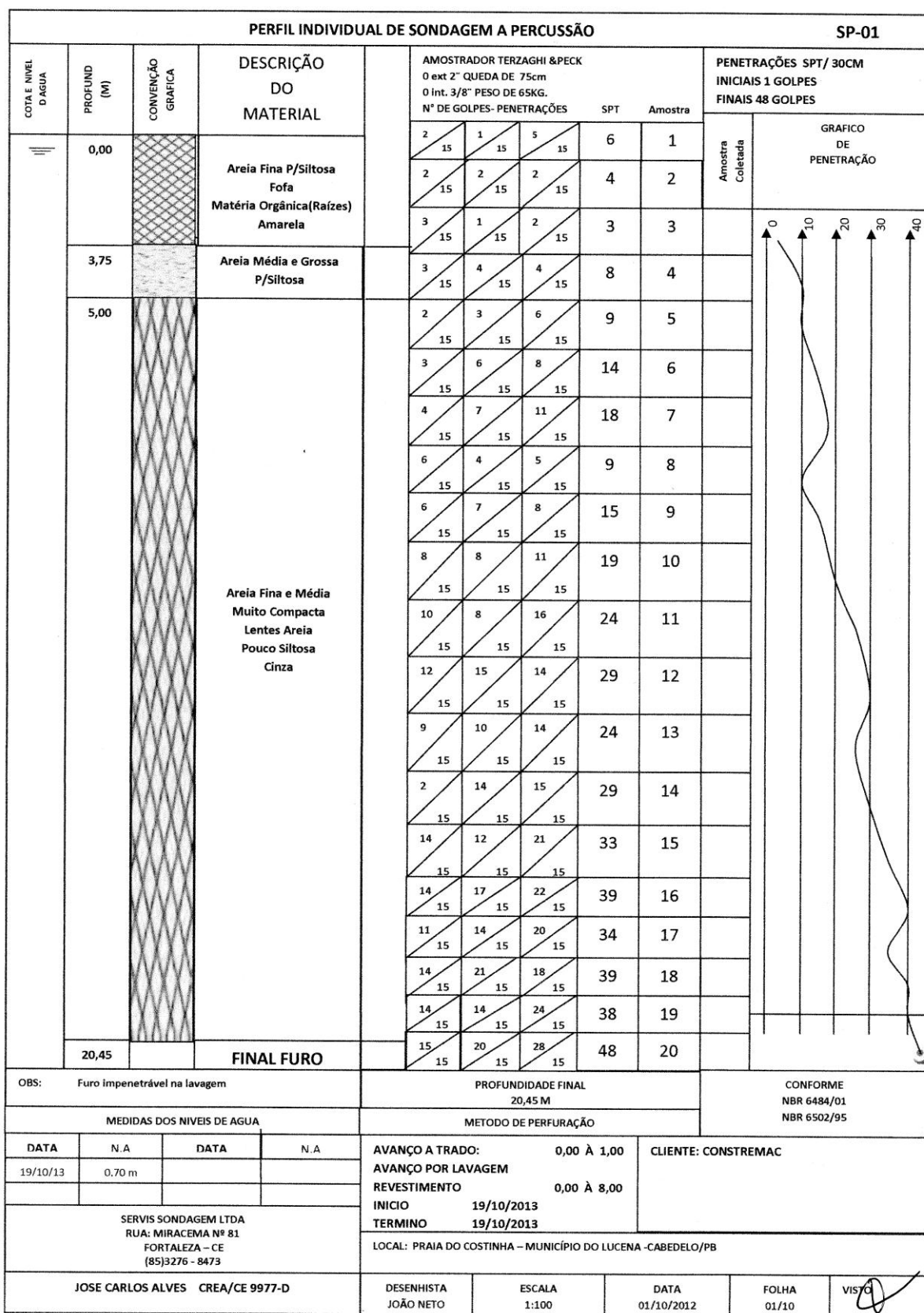


Figura 71. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-01.

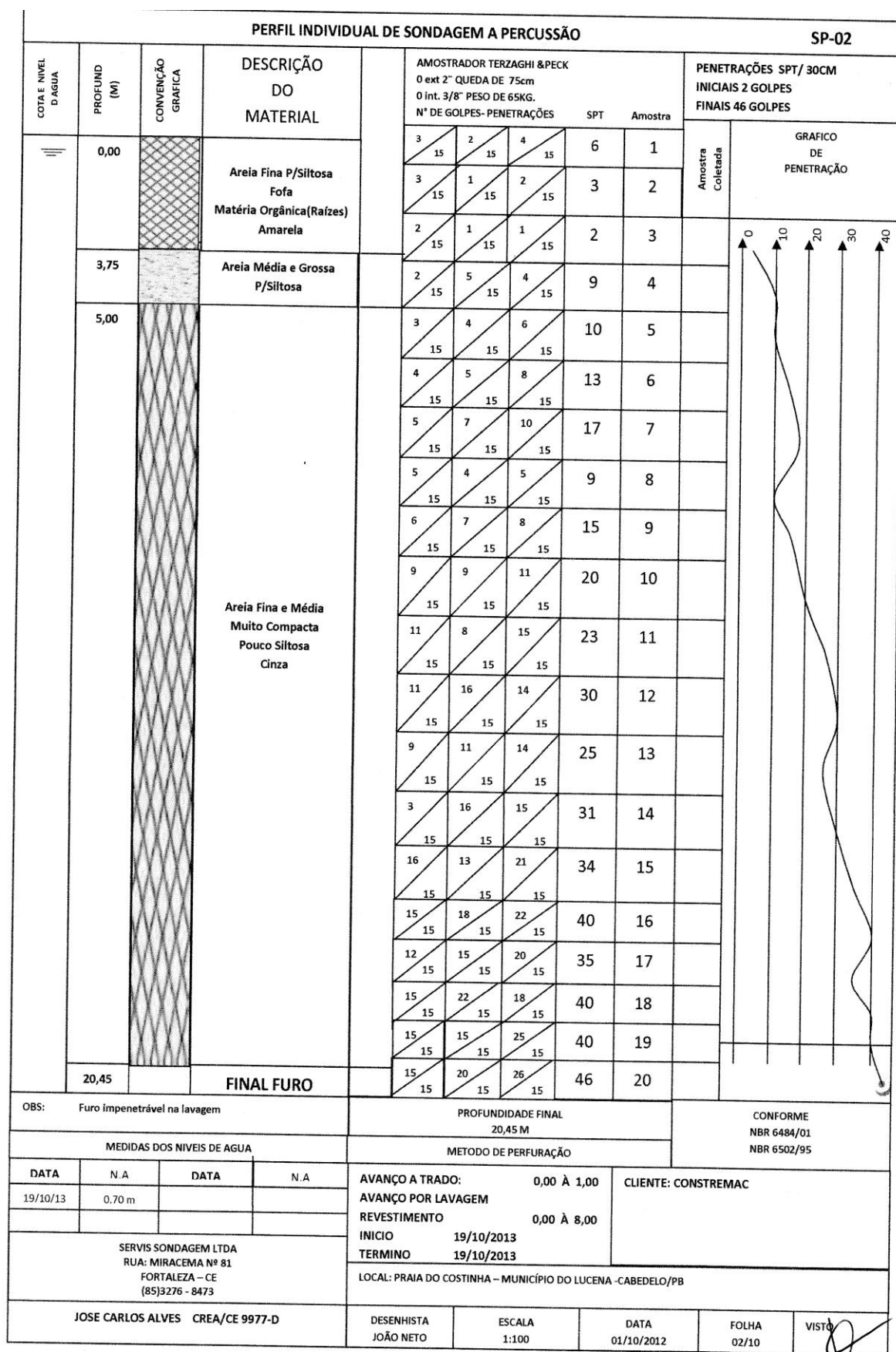


Figura 72. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-02.

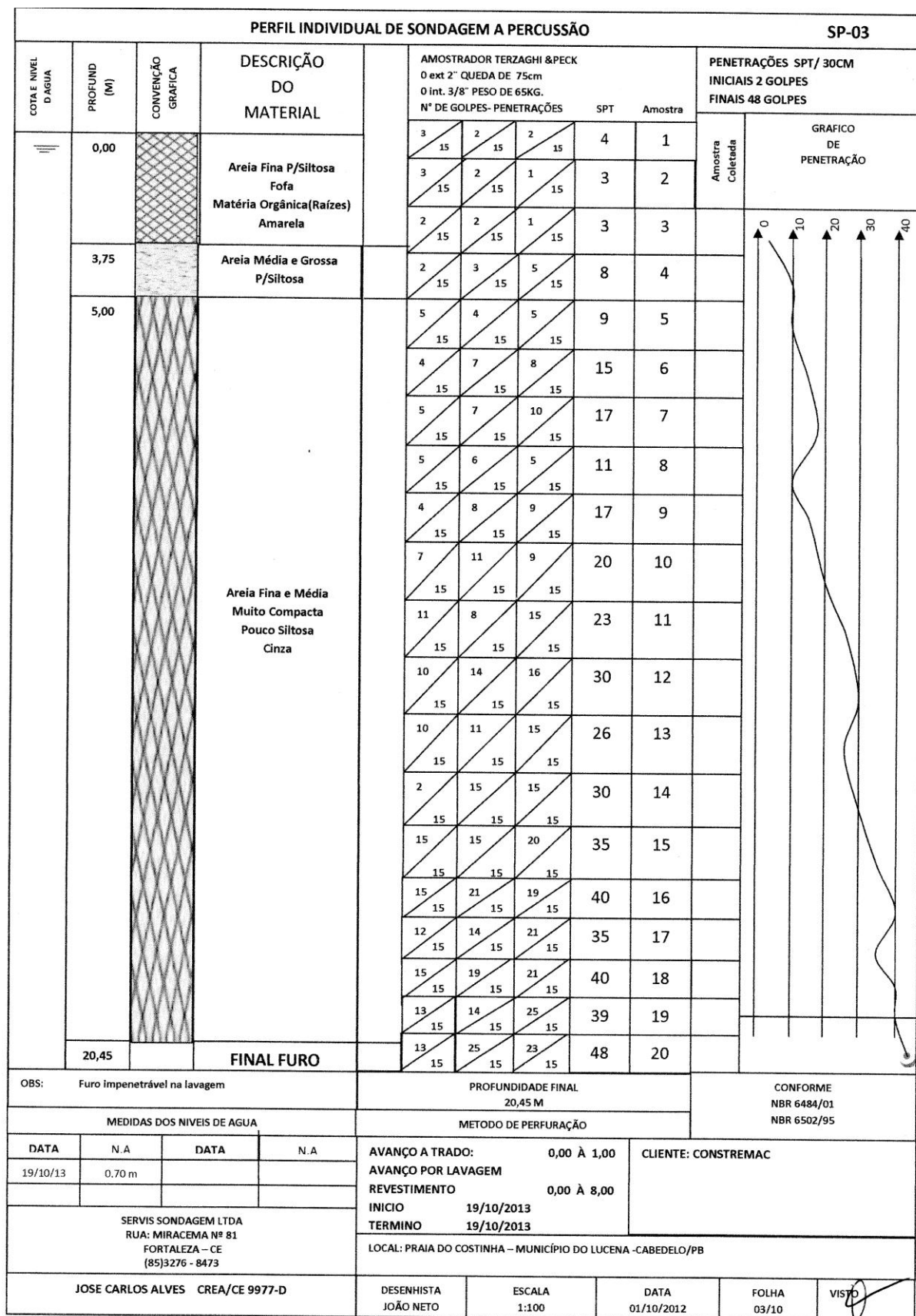


Figura 73. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-03.

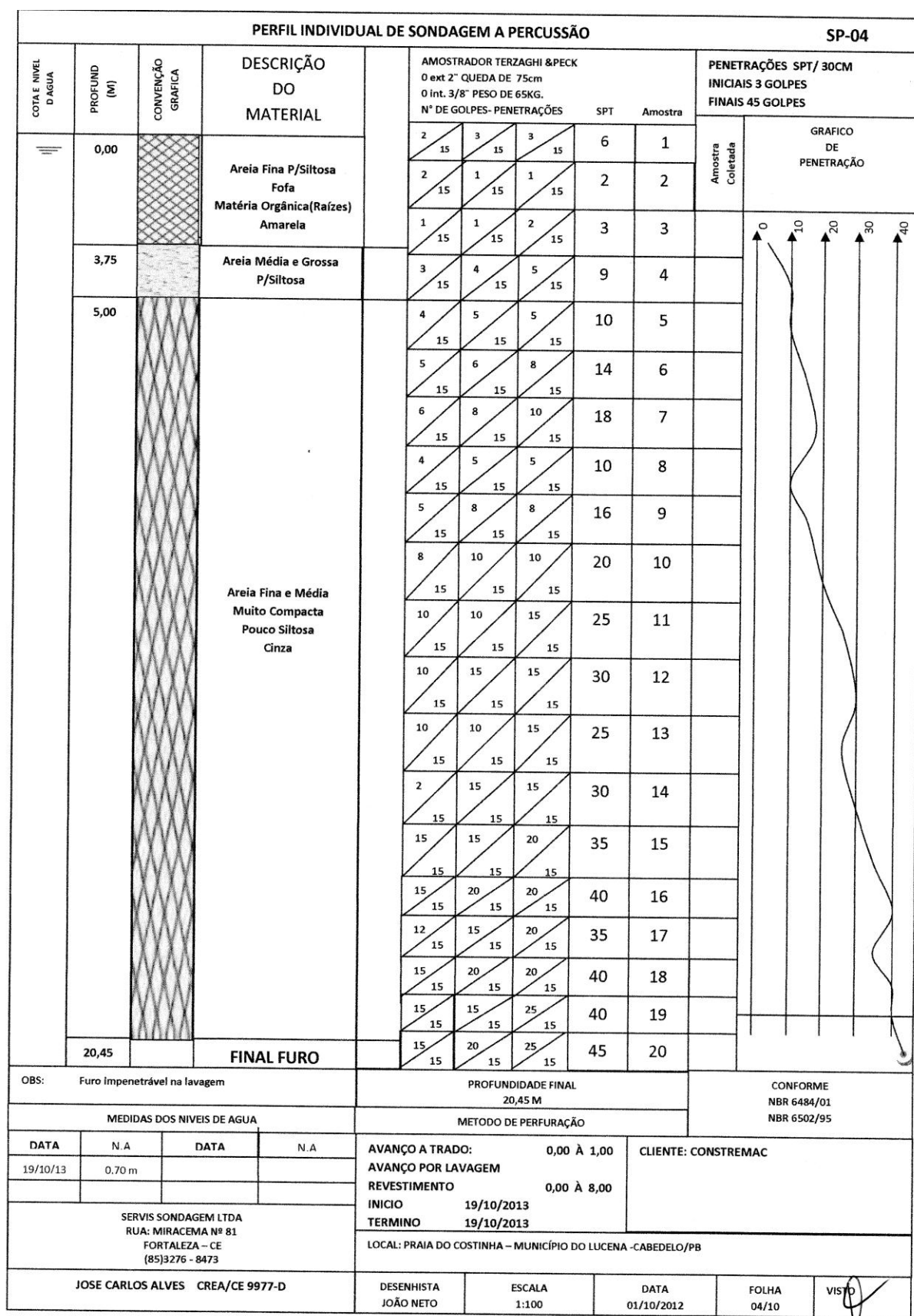


Figura 74. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-04.


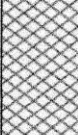
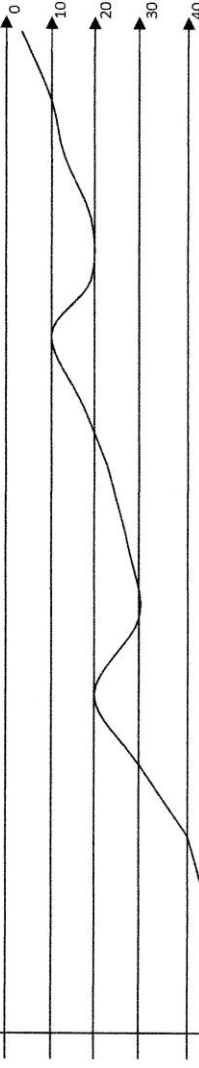


PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAAGEM A PERCUSSÃO										SP-05	
COTA E NÍVEL D'ÁGUA	PROFUND (M)	CONVENÇÃO GRÁFICA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	AMOSTRADOR TERZAGHI & PECK 0 ext 2" QUEDA DE 75cm 0 int. 3/8" PESO DE 65KG. N° DE GOLPES- PENETRAÇÕES					PENETRAÇÕES SPT/ 30CM INICIAIS 3 GOLPES FINAIS 47 GOLPES		
							SPT	Amostra	Amostra Coletada	GRÁFICO DE PENETRAÇÃO	
	0,00		Areia Fina P/Siltosa Fofa Matéria Orgânica(Raízes) Amarela	2 15	3 15	3 15	6	1			
				1 15	2 15	1 15	3	2			
				1 15	2 15	2 15	4	3			
	3,75		Areia Média e Grossa P/Siltosa	4 15	5 15	5 15	10	4			
	4,85		Areia Fina e Média Muito Compacta Pouco Siltosa Fragmentos de Valvas Cinza	5 15	6 15	6 15	12	5			
				6 15	8 15	10 15	18	6			
				8 15	10 15	10 15	20	7			
				4 15	4 15	6 15	10	8			
				5 15	8 15	10 15	18	9			
				8 15	10 15	12 15	22	10			
				10 15	10 15	18 15	28	11			
				10 15	15 15	15 15	30	12			
				10 15	10 15	10 15	20	13			
				12 15	15 15	15 15	30	14			
				15 15	20 15	20 15	40	15			
				15 15	20 15	25 15	45	16			
				20 15	20 15	30 15	50	17			
				20 15	25 15	25 15	50	18			
				22 15	25 15	25 15	50	19			
20,45		FINAL FURO	16 15	22 15	25 15	47	20				
OBS: Furo ímpenetrável na lavagem				PROFUNDIDADE FINAL 20,45 M				CONFORME NBR 6484/01 NBR 6502/95			
MEDIDAS DOS NÍVEIS DE ÁGUA				MÉTODO DE PERFURAÇÃO				CLIENTE: CONSTREMAC			
DATA	N. A	DATA	N. A	AVANÇO A TRADO: 0,00 À 1,00							
19/10/13	0.70 m			AVANÇO POR LAVAGEM 0,00 À 8,00							
				REVESTIMENTO 0,00 À 8,00							
SERVIS SONDAAGEM LTDA RUA: MIRACEMA Nº 81 FORTALEZA – CE (85)3276 - 8473				INICIO 19/10/2013							
				TERMINO 19/10/2013							
				LOCAL: PRAIA DO COSTINHA – MUNICÍPIO DO LUCENA -CABEDELO/PB							
JOSE CARLOS ALVES CREA/CE 9977-D				DESENHISTA JOÃO NETO	ESCALA 1:100	DATA 01/10/2012	FOLHA 05/10	VISTO			

Figura 75. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-05.

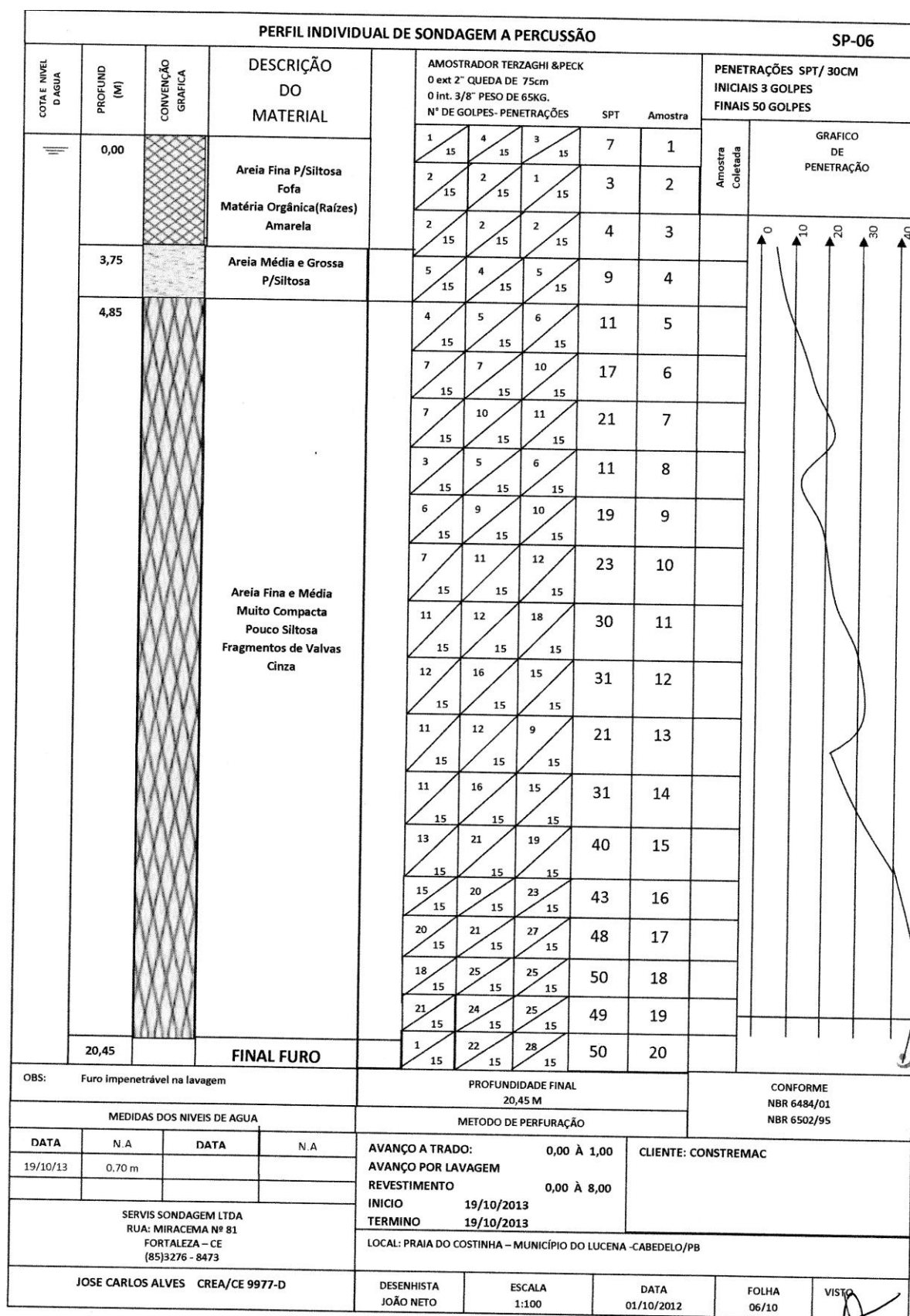


Figura 76. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-06.

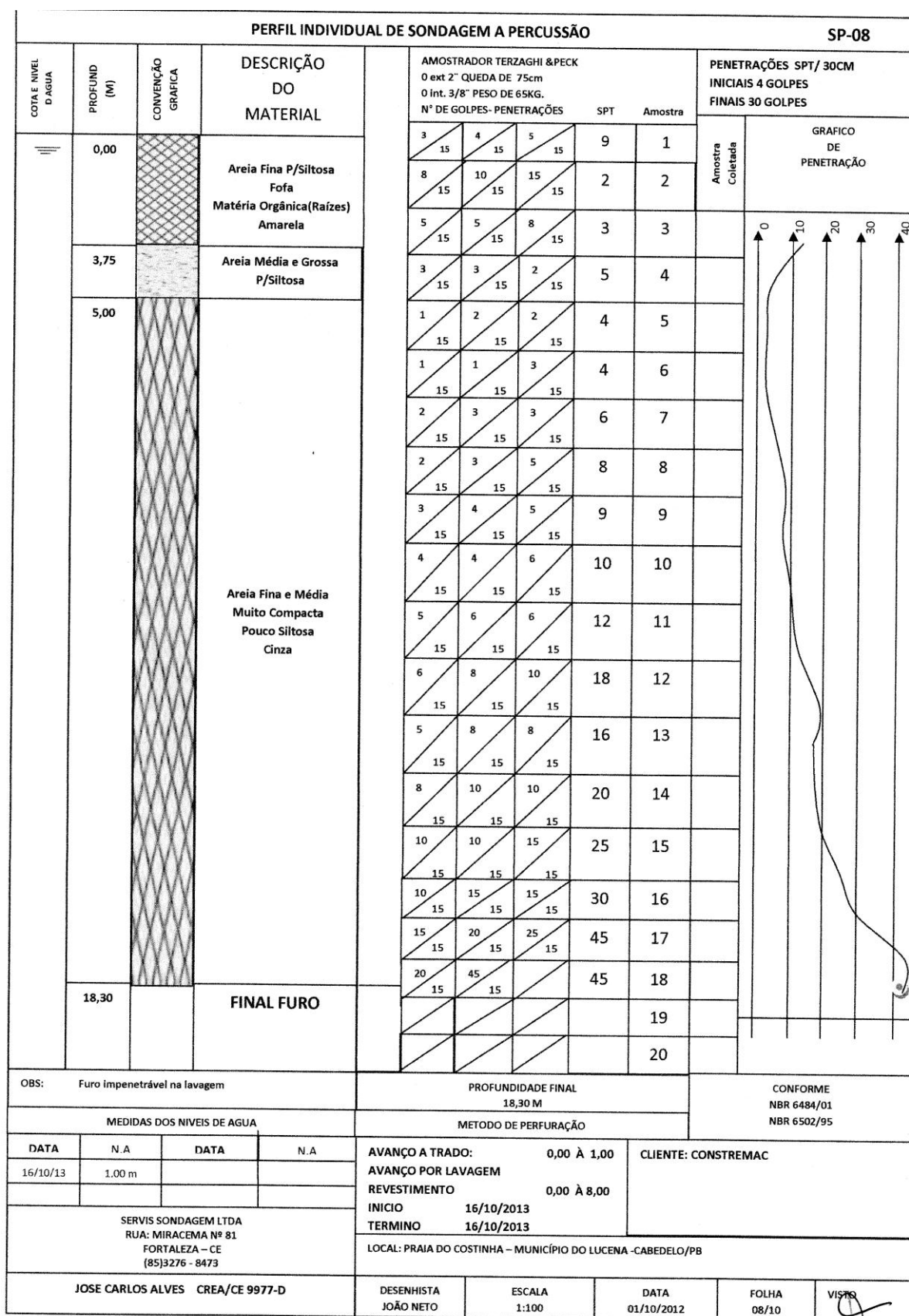


Figura 77. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-08.

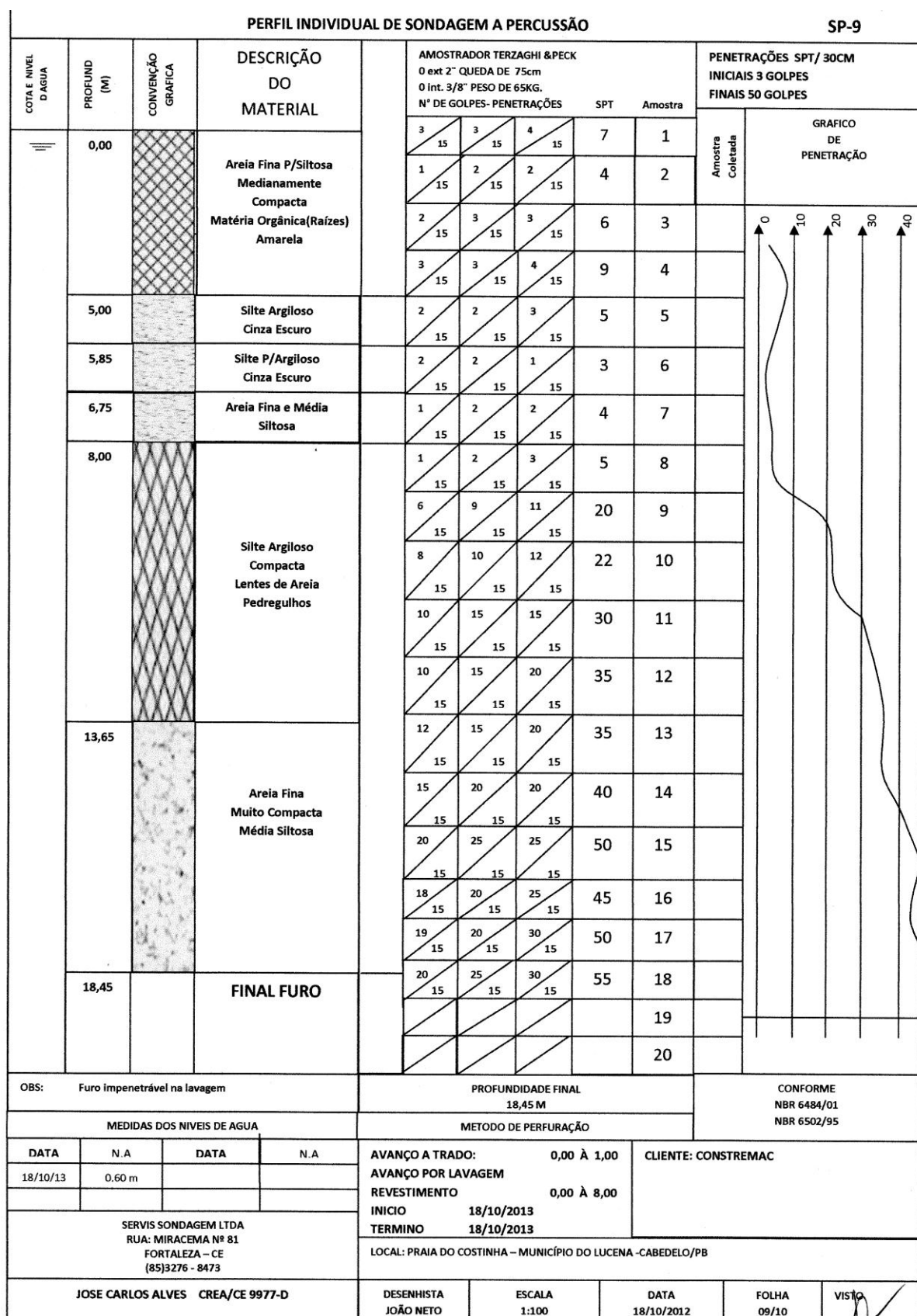


Figura 78. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-09.

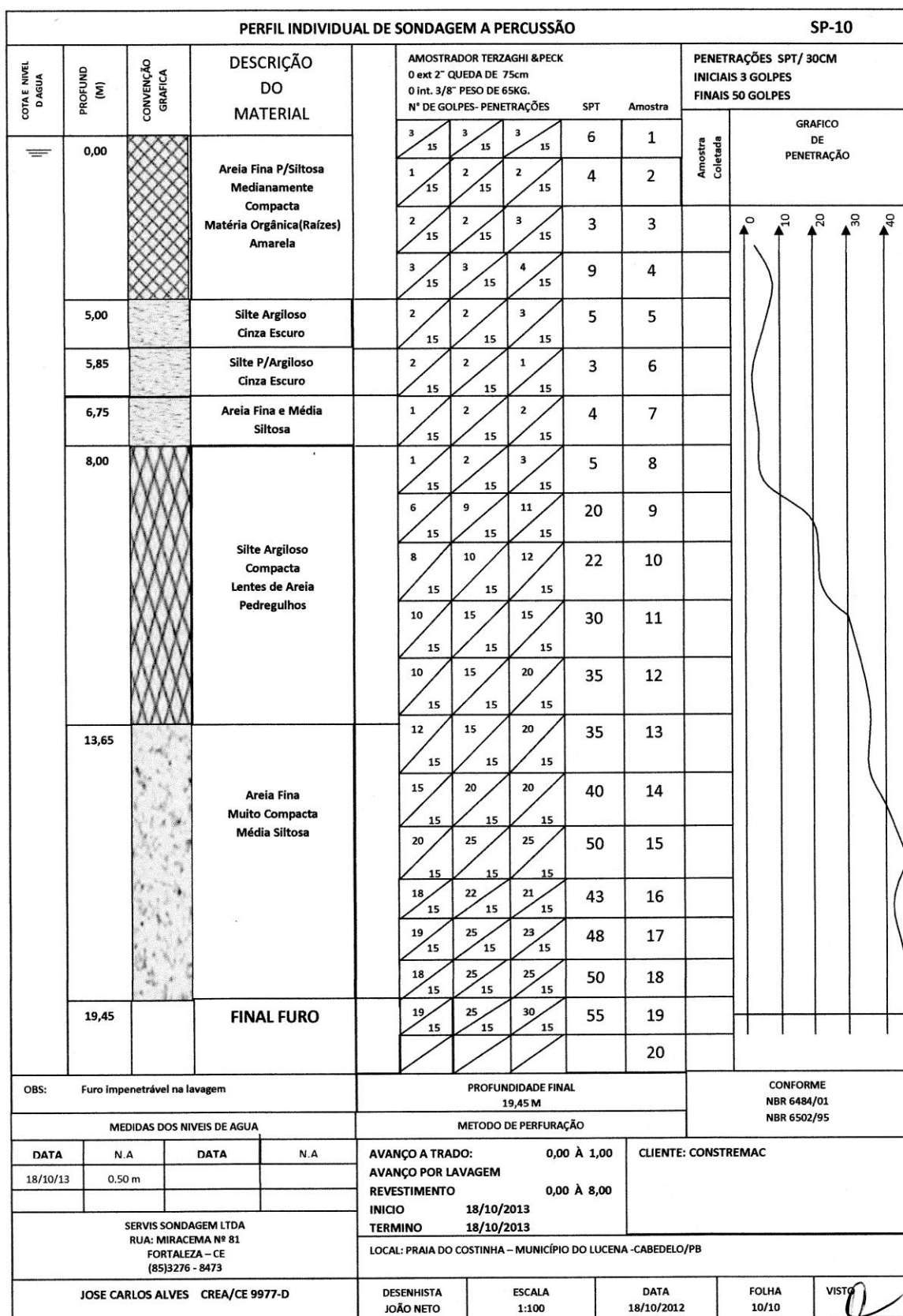


Figura 79. Perfil individual de sondagem a percussão – SP-10.



Figura 80. Mapa de localização da sondagem SPT na ADA do empreendimento. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

Em linhas gerais, o que se observa é um N_{SPT} variando entre 1 e 4 no início dos furos e entre 45 e 50 no final dos furos, com exceção do furo SP-08, que termina com apenas 30 golpes (**Figura 81**).

Os furos SP-01, SP-02, SP-03, SP-04, SP-05 e SP-06 atingiram a profundidade de 20,45 metros e o furo SP-10 atingiu 19,45 metros, a partir da qual a sondagem não avançava mais, pela própria limitação do método. Os furos SP-08 e SP-09 atingiram uma profundidade de apenas 18,30m e 18,45m, respectivamente. Essa profundidade-limite é conhecida como superfície impenetrável a percussão, que muitas vezes corresponde ao encontro da rocha sã (rocha fresca).

Todos os furos interceptaram o nível d'água com profundidade inferior a 1 metro.

Número de golpes necessários para a cravação de 30 cm no solo (N_{SPT})									
Prof.	SP-01	SP-02	SP-03	SP-04	SP-05	SP-06	SP-08	SP-09	SP-10
0									
1	$N_{SPT} = 1$	$N_{SPT} = 2$	$N_{SPT} = 2$	$N_{SPT} = 3$	$N_{SPT} = 3$	$N_{SPT} = 3$	$N_{SPT} = 4$	$N_{SPT} = 3$	$N_{SPT} = 3$
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18							$N_{SPT} = 30$	$N_{SPT} = 50$	
19									$N_{SPT} = 50$
20	$N_{SPT} = 48$	$N_{SPT} = 46$	$N_{SPT} = 48$	$N_{SPT} = 45$	$N_{SPT} = 47$	$N_{SPT} = 50$			

Figura 81. N_{SPT} dos furos de sondagem na ADA do empreendimento.

5.1.3.4 POTENCIAL MINERAL E SITUAÇÃO LEGAL

Nesta seção estão apresentados os processos minerários localizados nos entornos da AID do empreendimento e a relação com as áreas de empréstimo devidamente legalizadas. Entende-se como “áreas de empréstimo” os locais onde poderiam ser extraídos bens minerais de uso imediato “in natura” para atendimento de uma determinada obra civil. Em geral, caracterizam-se como produtos destas áreas de empréstimo: a areia, o cascalho, o saibro, a argila e a canga laterítica. A metodologia utilizada para o levantamento dos processos (**Tabela 27**) foi descrita no **item 5.1.1.2.6** deste trabalho.

A relação dos processos DNPM apresentada abaixo (**Tabela 27**) teve como base as áreas localizadas num raio de até 10km da Área de Influência Direta do empreendimento, ou seja, com uma distância logisticamente interessante para a busca de eventuais materiais de empréstimo para as obras de engenharia. Dentre as 20 áreas selecionadas, foi identificado um processo mineral (nº 846.209/2014) em fase de disponibilidade, cujo edital de habilitação

ainda encontra-se com data indefinida e, portanto, pode representar uma opção ao empreendedor a possibilidade de concorrência ao direito à pesquisa e lavra de areia na área, concomitantemente ao processo de retirada da licença de instalação do estaleiro. O processo nº 846.209/2014 está localizado cerca de 4km de distância (em linha reta), a NW, da AID. O processo 846.286/2015, requerido para pesquisa de areia pela Empresa de Extração Mineral Ltda ME ainda não possui o alvará de autorização para início dos trabalhos de reconhecimento mineral, além de não representar uma logística muito favorável, pois localiza-se cerca de 12km a SW da AID. Os demais processos identificados estão autorizados para pesquisa de fosfato e calcário, não constituindo interesse mineral para as obras de implantação do estaleiro.

Tabela 28. Relação dos processos DNPM nos entornos da AID do empreendimento.

Processo	Área (Hectares)	Fase	Nome	Substância
846074/2000	624,00	Autorização de Pesquisa	Armando Nunes	Calcário
846041/2005	493,82	Autorização de Pesquisa	Armando Nunes	Calcário
846019/2006	990,01	Autorização de Pesquisa	Itamambuca Participações S.A.	Calcário
846020/2006	994,86	Autorização de Pesquisa	Itamambuca Participações S.A.	Calcário
846021/2006	915,02	Autorização de Pesquisa	Itamambuca Participações S.A.	Calcário
846022/2006	41,10	Autorização de Pesquisa	Itamambuca Participações S.A.	Calcário
846473/2008	933,10	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846474/2008	946,28	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846475/2008	1169,81	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846476/2008	768,51	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846477/2008	203,87	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846460/2008	1927,28	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846462/2008	1924,15	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846479/2008	1438,88	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846464/2008	1879,92	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846478/2008	339,09	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846036/2009	98,00	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846472/2008	1441,26	Autorização de Pesquisa	Agua Metais Ltda	Fosfato
846286/2015	50,00	Requerimento de Pesquisa	Empresa de Extração Mineral Ltda ME	Areia
846209/2014	8,00	Disponibilidade	André do Nascimento Justino	Areia

Quanto a sobreposição dos processos minerários com a Área de Influência Direta nota-se que um pequeno trecho (15,7 hectares) da AID encontra-se em intersecção com o limite NE do processo DNPM nº 846.477/2008. Esta zona de intersecção encontra-se no estuário do Rio da Guia, em ambiente completamente inserido na porção aquática.

Conforme evidenciado na **Figura 82**, não existe nenhum processo minerário que possa atrapalhar ou impedir a implantação e operacionalização do empreendimento, já que no município a atividade mineral é incipiente e de pequena magnitude.



Figura 82. Processos DNPM nos entornos da AID do empreendimento. (Fonte: SIGMINE/DNPM).

5.1.4. Geomorfologia

5.1.4.1 DESCRIÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA

A região onde o empreendimento deverá ser implantado apresenta dois domínios geomorfológicos distintos. Cada um destes domínios abrange várias unidades morfológicas. Caracterizados por Furrier (2007), os domínios recebem as denominações de Baixos Planaltos Costeiros e Baixada Litorânea.

Os Baixos Planaltos Costeiros representam uma subdivisão dos Tabuleiros Litorâneos, sustentada pelos sedimentos areno-argilosos mal consolidados da Formação Barreiras. Constituem superfícies aplainadas, com inclinação suave em direção ao litoral (leste), sendo abruptamente interrompidas pelos entalhes fluviais. Os limites desse domínio com a planície marinha são assinalados por uma linha de falésias (vivas) esculpidas, na atualidade, por processos marinhos, ou por uma linha de falésias mortas (inativas), encontradas como assinaturas da antiga posição da linha de costa (**Figura 83**).

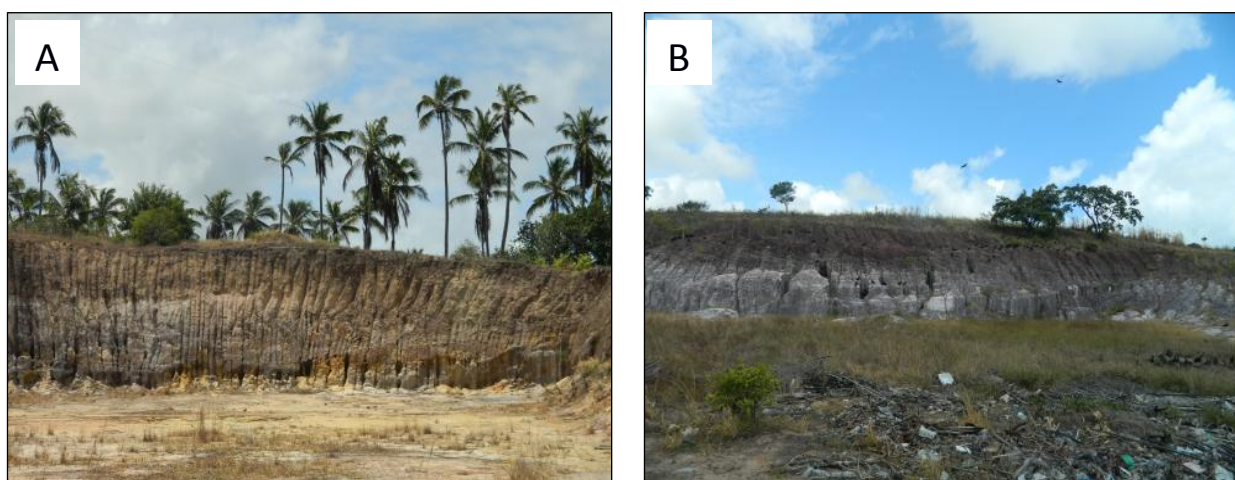


Figura 83. Baixos Planaltos Costeiros nos entornos da AID do empreendimento. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

A e B – Exemplos de falésias mortas. Não sofrem mais ação marinha.

A Baixada Litorânea corresponde a terrenos relativamente planos de baixa altitude, formados por sedimentos depositados no Quaternário. Possuem altitudes modestas, geralmente inferiores a 10m. É composta de formas variadas que resultam da acumulação de sedimentos marinhos, fluviais e flúvio-marinhos. Suas feições geomorfológicas são divididas em praias, terraços marinhos (planícies marinhas), planícies flúvio-marinhas, terraços fluviais (planícies fluviais) e mangues. Na Figura HB é possível visualizar algumas imagens destas feições geomorfológicas correspondentes à Baixada Litorânea.



Figura 84. Baixada Litorânea nos entornos da AID do empreendimento. (Fonte. Real Consultoria, 2016).
A – Extensa planície marinha, localizada próxima às falésias dos Planaltos Costeiros.
B – Feição geomorfológica característica na retroárea do empreendimento (mangues).
C – Planície Aluvial arenosa às margens do Rio da Guia, próximo ao estuário do Rio Paraíba.

Os terraços marinhos pleistocênicos são caracterizados morfológicamente como áreas planas (planícies) com cotas variando entre 7m e 8m, e compostos por areias quartzosas de granulometria média e grossa, tendo grãos arredondados e subarredondados, e irregulares quanto ao grau de seleção. Com o aprofundamento estratigráfico destes terraços, os sedimentos começam a variar de cor: branca para cinza até chegar a um arenito compacto de coloração parecida com Café, ocasionado pela ação do ácido húmico (Alheiros; Ferreira, 1991).

Já os terraços marinhos holocênicos, mais popularmente conhecidos como cordões litorâneos, atuam como testemunhos de antigas linhas da costa, dispostas próximas e paralela à linha de costa atual. Os sedimentos são, em geral, de cores claras e composição quartzosa. Estes terraços representam a faixa de praia atual, instalada a cerca de 5 mil anos, quando mostrados nas cotas de 3m e 5m ou 50m acima do nível atual (Dominguez et al, 1990).

Os depósitos de mangue, basicamente são constituídos de sedimentos pelíticos misturados a restos vegetais e matéria orgânica em decomposição, com cotas altimétricas susceptíveis à influência das marés. Estão sempre associados às margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagunas e reenências costeiras, onde há o encontro de águas dos rios com a do mar, ou diretamente expostos à linha da costa. Esta unidade pode também ser denominada de área alagada, ou “alagável”, sujeita às oscilações diárias da maré.

5.1.4.2 LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO DA ADA E ANÁLISE DE RISCO

Conforme relatado no **item 5.1.1.3.2** deste estudo, foi realizado o levantamento topográfico planialtimétrico da ADA no dia 24/10/2013 pela empresa catarinense denominada Campos Topografia Ltda. As principais informações levantadas foram: o perímetro da propriedade, as vias de acesso, a rede de drenagem, as áreas de mangue, as curvas de nível, as cotas altimétricas, as cercas, os contornos dos viveiros de camarão, etc (**Figura 85**).



Figura 85. Levantamento Planialtimétrico da ADA. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

A planta do levantamento planialtimétrico detalhada segue em anexo ao presente estudo. Os dados deste levantamento foram analisados em conjunto com informações colhidas em campo, referentes à geomorfologia e pedologia, permitindo a geração de diversos outros mapas (mapa hipsométrico, de declividade, de vulnerabilidade à erosão, etc), os quais foram utilizados na interpretação e individualização das áreas susceptíveis a enchentes, cujos dados estão sumarizados na **Figura 86**. Esta questão será tratada com maior ênfase no **item 5.1.5.1.5** adiante.

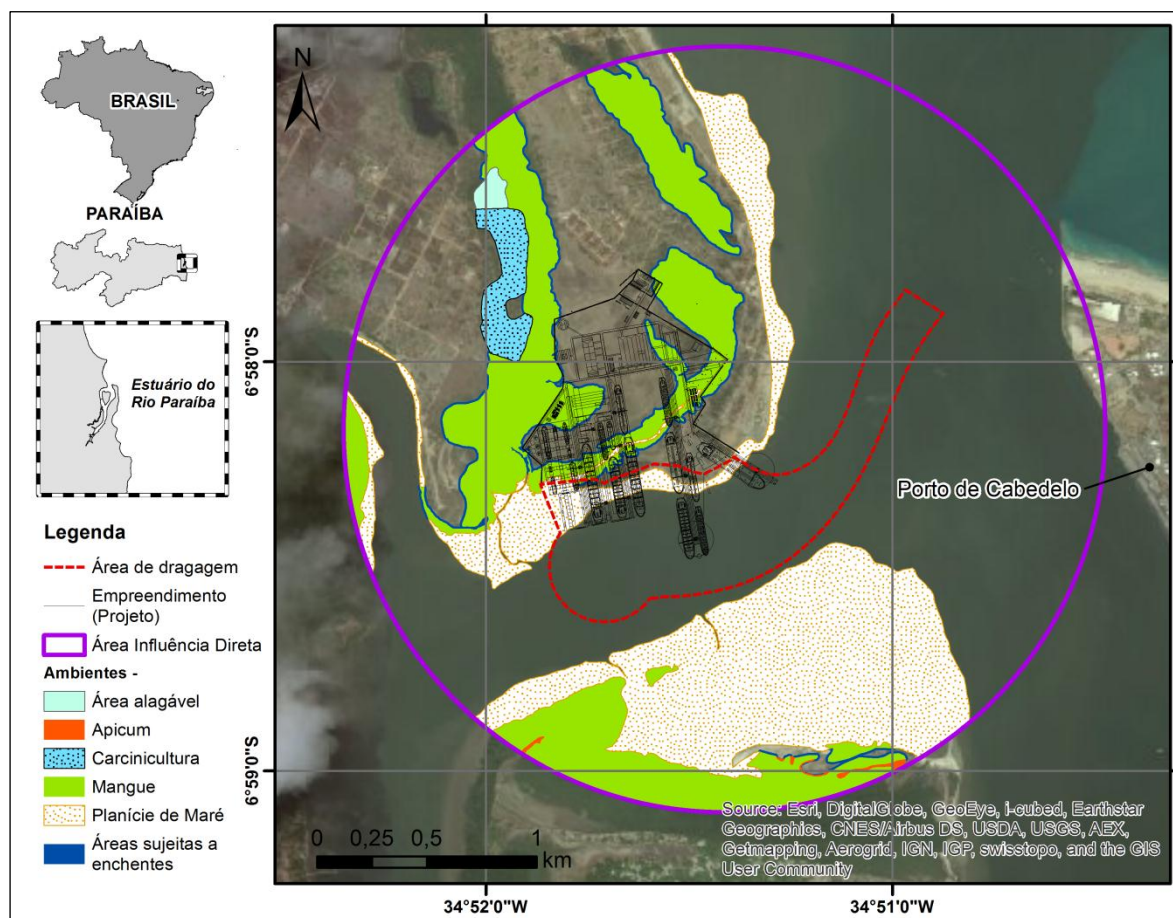


Figura 86. Áreas Susceptíveis a enchentes na AID do empreendimento (feições com contorno azul). (Fonte: Real Consultoria, 2016).

As porções continentais localizadas no estuário do Rio Paraíba do Norte, por apresentar cotas altimétricas praticamente equivalentes à do rio e devido ao relevo quase plano encontrado nestas áreas, são fortemente influenciadas pelas variações diárias do nível do mar, sendo, portanto, ambientes susceptíveis a enchentes e alagamentos, em casos de eventos extremos, e que combinem elevada precipitação e marés astronômicas, com picos de altura de maré acima da altura média de sizígia. Como já colocado anteriormente na avaliação das condições geotécnicas da área, o empreendimento se encontra plotado numa planície fluvial, na desembocadura do Rio Paraíba do Norte, em ambiente de fragilidade geotécnica agravada pela forte antropização local, sujeito a processos erosionais, a alagamentos, dispersão de efluentes oleosos e resíduos sólidos, exigindo assim um controle efetivo e uma análise integrada dos diversos parâmetros ambientais da área, de modo a compreender e evitar os riscos associados à prática da atividade.

O **item 5.1.6.4** deste EIA tratará do Diagnóstico da Progradação e Erosão Costeira na área do empreendimento, no entanto valem a pena ser adiantadas algumas considerações. No ano de 2005, o Ministério do Meio Ambiente realizou um trabalho ao longo de toda a costa paraibana, no sentido de compreender quais as tendências de comportamento da linha de costa quanto aos processos de erosão e progradação. Parte do produto final deste trabalho está apresentada na **Figura 87**. O que se observa é que a área onde o estaleiro pretende ser construído encontra-se em franco processo de erosão, provocado por fatores naturais, eventualmente acentuados pelas atividades antrópicas já desenvolvidas na região do estuário.



Figura 87. Tendências de comportamento da linha de costa para o Estado da Paraíba. (Fonte: MMA).

A erosão costeira tem constituído um grave problema no Estado da Paraíba, resultando em perda de propriedades e no investimento de recursos significativos para a construção de obras de proteção. A instalação do Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá numa área de comportamento erosivo poderia representar um impacto ambiental positivo, se considerada a possibilidade de

estabilização de um processo natural, através da implantação das obras de engenharia previstas.

Segundo uma estatística trazida pelo estudo do Ministério do Meio Ambiente, 42% da costa paraibana demonstra um comportamento erosivo. Os demais trechos apresentam-se em equilíbrio (21%), em progradação (33%) e estabilizados pela presença de obras de engenharia (4%) – **Figura 88**.

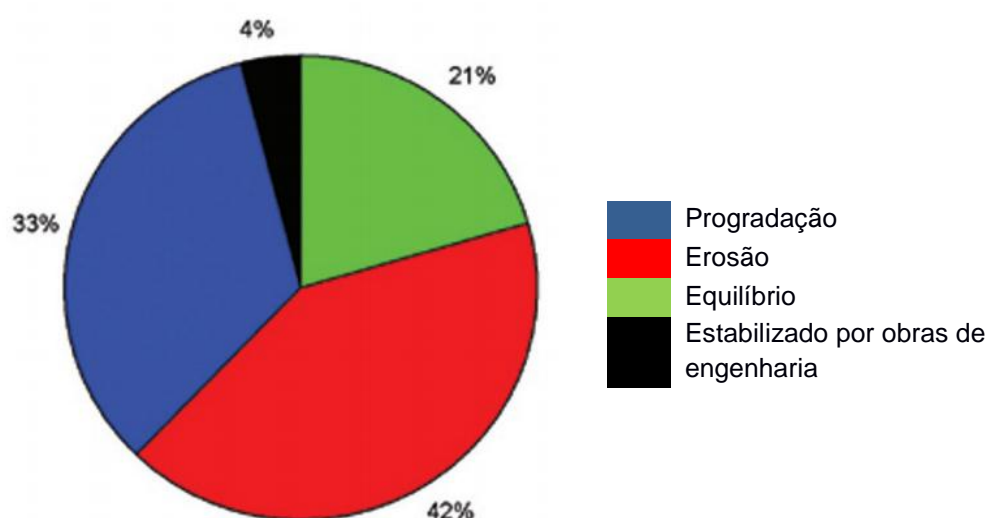


Figura 88. Síntese das tendências de comportamento da linha de costa da Paraíba. (Fonte: MMA).

Os mapas de apoio às interpretações aqui apresentadas constam nos Anexos deste estudo, a saber: mapa hipsométrico, geomorfológico, de declividade, de vulnerabilidade à erosão, de tendência da costa à erosão/acreção, erodibilidade de solos, etc.

5.1.5 Recursos Hídricos

5.1.5.1 HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA

Segundo o Termo de Referência que balizou este estudo, a análise hidrológica da área do empreendimento deve considerar a caracterização da bacia hidrográfica e/ou região hidrográfica onde se inserem as suas áreas de influências. A caracterização da bacia hidrográfica do estuário no qual está localizada a área de influência do empreendimento levará em consideração as suas características fisiográficas, descarga fluvial e sedimentar, balanço de

evaporação e precipitação, além de mapear áreas suscetíveis a enchentes e assoreamento dentro da área de influência direta do empreendimento.

Desta feita, é válido destacar que uma bacia hidrográfica pode ser definida como uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes (Araújo et al., 2009), convergindo para um único ponto fixo, seu exutório. As bacias hidrográficas são caracterizadas através do clima, geologia e geomorfologia, ocupação do solo, disponibilidade hídrica, além do seu regime pluviométrico e fluviométrico.

Os sistemas aquáticos, apesar de importantes para a manutenção da vida, vêm sofrendo, devido às ações humanas, um processo acelerado de deterioração das suas características físicas, químicas e biológicas. Atualmente, a maioria dos corpos de água em todo o mundo, tanto continentais como costeiros, possui algum grau de contaminação, prejudicando a população que necessita deste recurso. As bacias hidrográficas estão sujeitas a diversos impactos ambientais, como: ocupação do solo indevida, uso indiscriminado da água, desmatamento de matas ciliares, sedimentação, assoreamento, construção de barragens, desvios de cursos d'água, erosão, salinização, contaminação, impermeabilização, compactação, diminuição da matéria orgânica dentre outras degradações. Todos esses impactos têm contribuído para o desaparecimento de rios e lagos, afetando profundamente o ciclo da água e o clima (Araújo et al., 2009).

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba é um dos sistemas hidrográficos mais importantes do semiárido nordestino e é a segunda maior bacia do estado da Paraíba. Essa bacia compreende cerca de 38% do território estadual, drenando uma área de 20.127,17km² (AESAs, 2006). Seu curso principal possui aproximadamente 300km de extensão, nasce na Serra Jabitacá, no Município de Monteiro, com o nome de rio do Meio, sendo sua mais alta vertente originária do Pico da Bolandeira, a 1.079 metros de altitude (Silva, 2003). A Bacia do Rio Paraíba possui 32 municípios (Silva, 2003) e é responsável pelo abastecimento das duas cidades mais importantes do Estado, Campina Grande e João Pessoa.

Na região do baixo Paraíba, feições tipicamente estuarinas são observadas desde a região de Bayeux até a foz do rio, em Cabedelo, numa

distância aproximada de 20km. Essa porção estuarina é margeada por uma vegetação de mangue em quase toda a sua extensão e possui sete tributários, os quais contribuem com aporte de água superficial de baixa salinidade, que carrega materiais erodidos, detritos domésticos e/ou industriais (Frazão, 2011). A degradação e os focos de poluição das águas superficiais e subterrâneas da bacia do Paraíba estão relacionados ao uso indiscriminado de agrotóxicos, assoreamento dos mananciais em decorrência do uso inadequado do solo, despejos de esgotos domésticos e industriais, atividades mineradoras e desmatamento (AESAs, 2006).

5.1.5.1.1 BACIA HIDROGRÁFICA

A **Tabela 29** apresenta aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, além da descarga líquida, sedimentar e taxa de sedimentação, essas últimas serão apresentadas nos itens subsequentes.

Tabela 29. Variáveis da bacia hidrográfica utilizadas para o cálculo da descarga sedimentar. Área da bacia de drenagem (A), perímetro da bacia de drenagem (P), descarga fluvial média (QM), descarga fluvial acumulada durante um ano (QAC), temperatura média do ar (TM), altitude máxima da bacia (RM), carga sedimentar (QS) e taxa de sedimentação do estuário do rio Paraíba.

Rio	A	P	Q _M	Q _{AC}	T _M	H	Q _S	T _{SED}
	(km ²)	(km)	(m ³ /s)	(km ³ /ano)	(°C)	(m)	10 ⁹ kg/ano	(mm/ano)
Paraíba	19888	1088	36,7	0,92	22,4	1194	1,42	11,2

A bacia de drenagem do rio Paraíba apresenta área total de 19.888km², perímetro de 1088km, comprimento total do curso d'água principal de 402km e altitude máxima de 1194m. O curso do Paraíba é subdividido em 4 regiões: Alto, Médio e Baixo Paraíba e Rio Taperoá (AESAs, 2006).

A nascente do rio Paraíba encontra-se no seu alto curso, que possui altitudes entre 250 a 1.194m, porém predominam altitudes entre 500 a 750m. O clima predominante nesta região é o semiárido (parte central) e pequenas áreas com clima semiúmido e úmido nas regiões com maiores altitudes da bacia.

A sub-bacia do Taperoá apresenta clima semiárido em sua totalidade, variando apenas o número de meses secos. Possui a maior parte de sua área em

altitudes superiores a 500m, com menores altitudes (250 a 500m) próximas ao encontro com o rio Paraíba.

A maior parte do médio curso do rio Paraíba possui altitudes entre 250 a 500m, com altitudes superiores a 500m nos seus limites norte e sul e inferiores a 250m na sua região sudeste, onde o rio passa para o seu baixo curso. Em termos climáticos, os climas semiárido e semiúmido dividem-se entre os trechos oeste e leste da sub-bacia, respectivamente.

O clima predominante no baixo curso da bacia é o semiúmido, tornando-se úmido em direção ao litoral a partir da longitude da estação fluviométrica Ponte da Batalha. Altitudes inferiores a 250m ocupam a maior parte da sub-bacia.

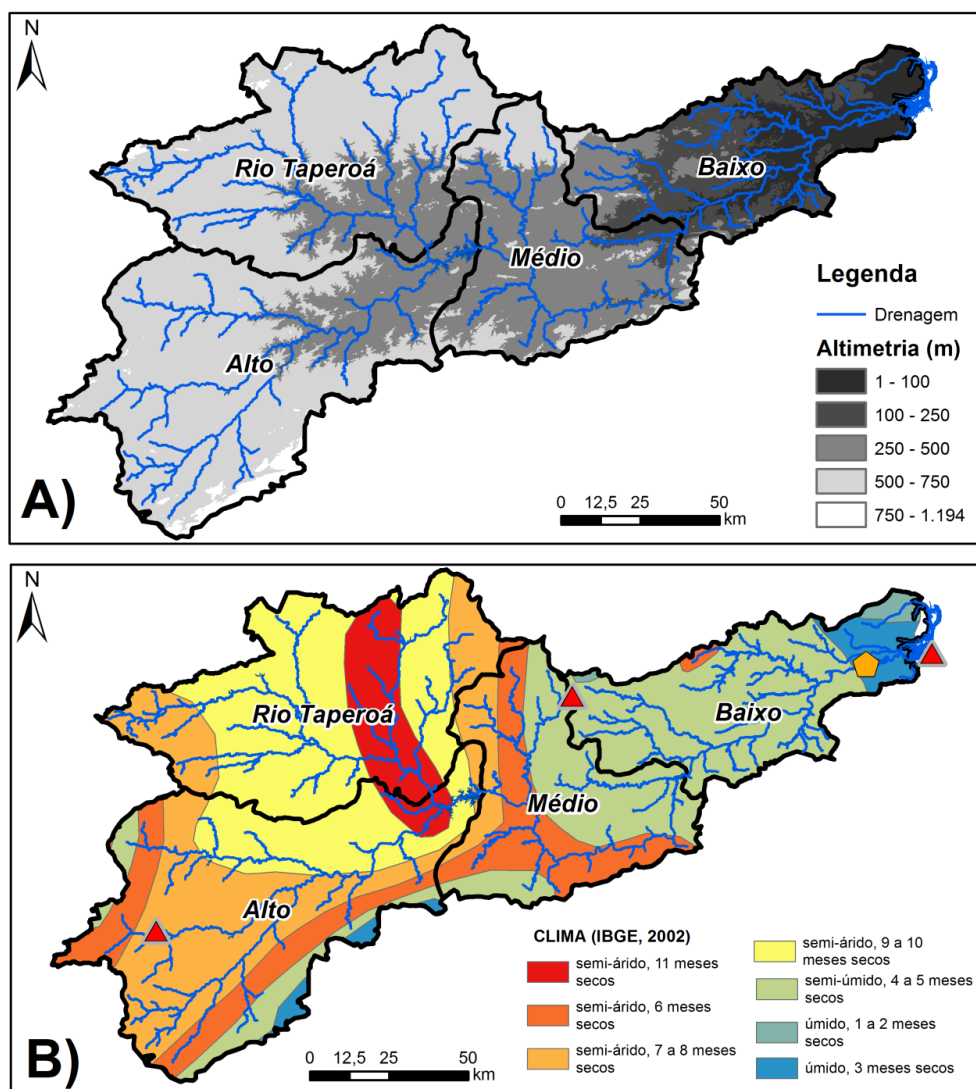


Figura 89. A) Mapa de altimetria da bacia do Rio Paraíba.
B) Mapa dos tipos de clima na bacia do Rio Paraíba (IBGE, 2002).

De acordo com a **Figura 90**, que representa uma síntese dos níveis de antropização e dos riscos potenciais de poluição para a bacia do Rio Paraíba, pode-se dizer que:

- No alto curso do rio Paraíba observa-se uma predominância de médio grau de antropismo, com áreas significativas de risco de poluição por atividades de agricultura com irrigação e atividades de mineração;
- A maior parte da sub-bacia do rio Taperoá apresenta médio grau de antropismo, porém sua margem leste apresenta alto grau. Áreas com risco de poluição por atividades de agricultura com irrigação e atividades de mineração predominam na parte central da sub-bacia e representam aproximadamente um terço de sua área total;
- No médio curso do rio Paraíba predominam áreas com alto grau de antropismo, seguidas por áreas de risco por poluição por atividades de agricultura com irrigação e atividades de mineração e uma pequena faixa de médio grau de antropismo na porção sudoeste;
- No baixo curso do rio Paraíba o antropismo é extremamente alto, com agricultura extensiva (monocultura de cana de açúcar), usinas de açúcar e álcool, plantações de abacaxi, carcinicultura em trechos de rios e nos estuários, ampla expansão imobiliária e esgotos industriais e domésticos escoando para os rios, etc (AESAs, 2006).

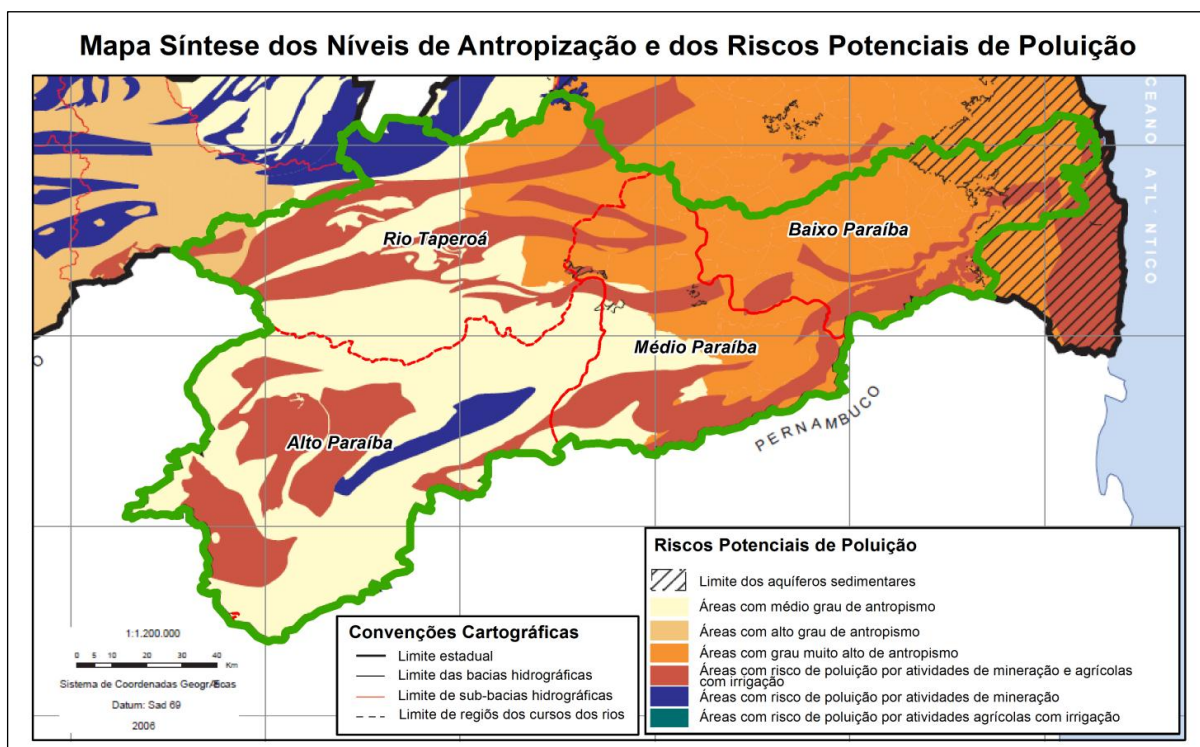


Figura 90. Mapa Síntese dos Níveis de Antropização e dos Riscos Potenciais de Poluição para a bacia do Rio Paraíba (modificado de AESA, 2006).

O baixo curso do rio Paraíba tem seu exutório no seu estuário (**Figura 91**), quando o regime do rio passa a ser controlado por marés. Uma análise das marés do estuário do Paraíba foi feita através do seu número de Forma (NF), seu prisma de maré e altura média da maré de sizígia. O NF e altura média de sizígia da estação maregráfica do Porto de Cabedelo, indicam que o estuário possui regime semidiurno e de mesomarés. O estuário possui área total de 85km², 8km² de apicum (Santos e Lessa, 2007), 41km² de mangue e 3,1km² de planícies de maré (Guedes, 2002). O prisma de maré do estuário possui volume de 136,9km³, e sua razão de fluxo tem valor de 0,006, isso indica que o prisma é 3 ordens de grandeza maior que a descarga fluvial média acumulada em um ciclo de maré, indicando maior influência da maré e potencialmente boa capacidade de mistura das massas d'água. A razão de fluxo também mostra que a região continental ao largo do estuário dificilmente sofrerá com enchentes devido à descarga fluviais acima da média.

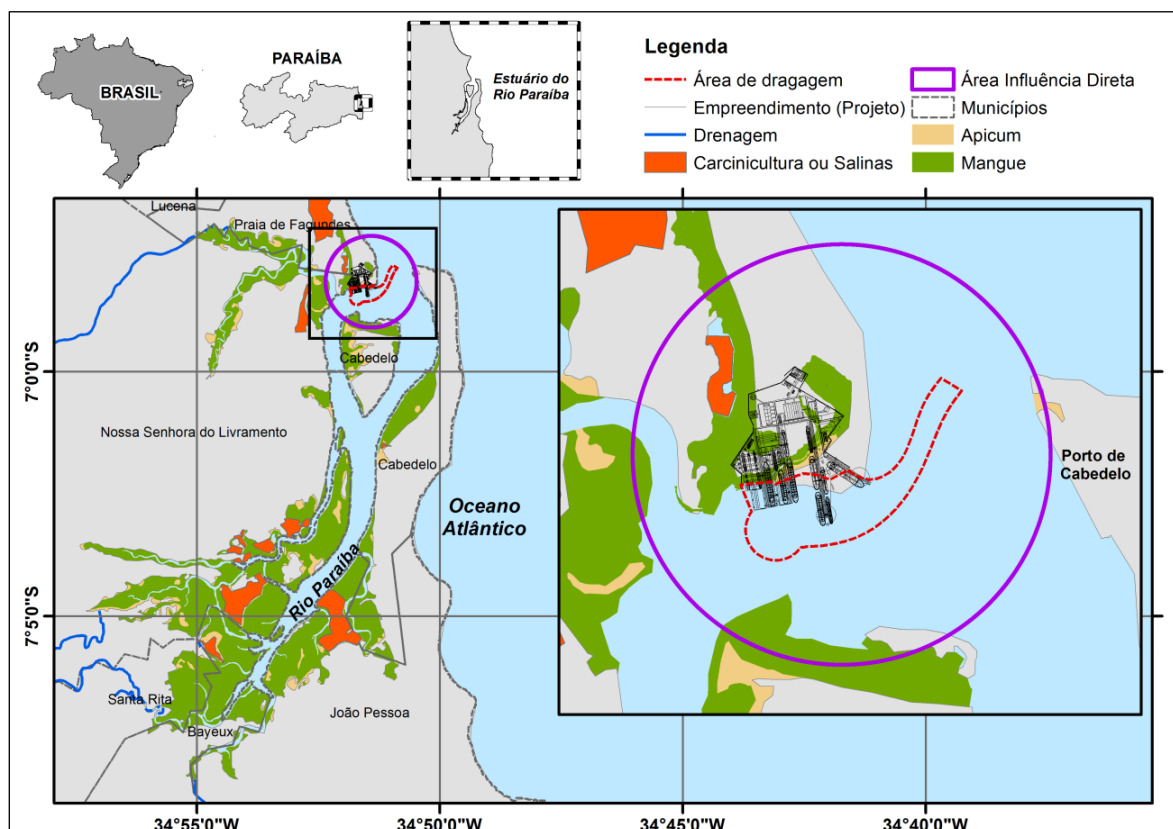


Figura 91. Mapa de localização do estuário do rio Paraíba, áreas de mangue, carcinicultura, apicum e área de influência direta do empreendimento. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

O estuário do rio Paraíba é alvo de diversos estudos (Guedes, 2002; Frazão, 2011) devido a sua importância comercial, já que nele encontra-se o principal porto do estado da Paraíba (Cabedelo), cultivos de camarão, salinas, além da capital estar localizada em seu entorno.

5.1.5.1.2 BALANÇO EVAPORAÇÃO – PRECIPITAÇÃO (E-P)

As médias mensais de evaporação, precipitação e balanço EP para as estações meteorológicas de João Pessoa, Campina Grande e Monteiro são apresentadas na **Figura 92** e nas **Tabelas 29,30 e 31**, abaixo.

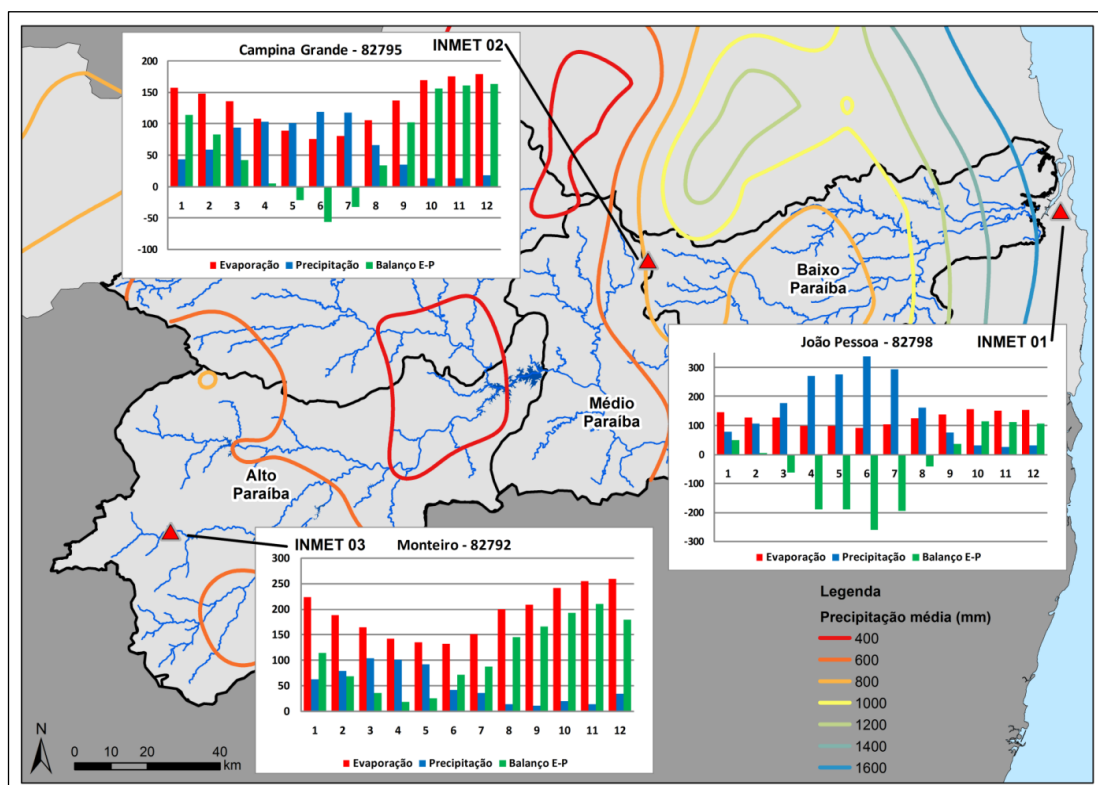


Figura 92. Mapa de precipitação anual média (linhas coloridas – Fonte: AESA) ao longo da bacia hidrográfica e gráficos das médias mensais de evaporação, precipitação e balanço evaporação-precipitação para as estações meteorológicas de João Pessoa, Campina Grande e Monteiro.

Os valores de evaporação são superiores a 100mm em quase todos os meses nas 3 estações analisadas, exceção aos meses de maio a julho em Campina Grande e julho em João Pessoa. As maiores médias de evaporação ocorrem entre os meses de agosto e março, atingindo valores máximos de 157,6mm em outubro (João Pessoa), 179,2mm e 259,3mm em dezembro nas estações de Campina Grande e Monteiro, respectivamente. As menores médias de evaporação ocorrem entre os meses de abril e julho, com valores mínimos em junho em todas as estações, 90,7mm em João Pessoa, 75,6mm em Campina Grande e 131,7mm em Monteiro.

As maiores precipitações em João Pessoa acontecem entre os meses de março a agosto, com médias acima de 150mm e máxima de 338,9mm em junho. O período com menores precipitações compreende os meses entre setembro a janeiro, com valores inferiores a 80mm e precipitação mínima de 26,8mm em novembro. Entre os meses de março a julho ocorrem as maiores precipitações em Campina Grande, com médias próximas a 100mm e máxima de 119,2mm em junho. O período com menores precipitações compreende os meses

entre setembro a janeiro, com valores inferiores a 50mm e precipitação mínima de 13,5mm em novembro. Em Monteiro, as maiores médias ocorrem entre janeiro (62,1mm) e maio (103,6mm), enquanto as precipitações mínimas ocorrem entre agosto e novembro, com médias inferiores a 20 mm e mínima de 10,3 mm em setembro.

A estação de João Pessoa apresentou as maiores precipitações médias entre as estações, é notável a diminuição da precipitação média em direção a estação de Monteiro, a qual apresentou os menores valores. Esse gradiente negativo é observado através das isoietas (**Figura 92**). Observa-se que João Pessoa está localizada numa região com precipitação média acima de 1.600mm, Campina Grande está entre isoietas de 800-1.000mm e Monteiro numa região com precipitação média de 600mm.

A estação de Monteiro foi a única a apresentar balanço EP positivo para todos os meses, reflexo do seu clima semiárido com 7 a 8 meses secos (IBGE, 2002). Nas demais estações ocorre balanço negativo entre maio e julho (Campina Grande) e entre março e agosto (João Pessoa), com máximas de -55,8 e -259,4mm em junho, respectivamente. Em termos gerais, o clima úmido com apenas 3 meses secos em João Pessoa favorece o balanço negativo, e a média anual do balanço EP para o período analisado é de -43,4mm, ou seja, a precipitação predomina em relação a evaporação ao longo do ano. Em todas as estações o balanço EP tende a ter valores positivos máximos entre outubro e janeiro, meses de menor precipitação.

Tabela 30. Médias mensais de Evaporação, Precipitação e Balanço Evaporação-Precipitação para a estação de João Pessoa (INMET 1).

Ano	Evaporação (mm)	Precipitação (mm)	Balanço EP (mm)
JAN	145,5	79,7	51,3
FEV	129,0	106,3	7,0
MAR	128,3	178,5	-63,0
ABR	99,8	270,5	-190,2
MAI	100,6	277,6	-189,6
JUN	90,7	338,9	-259,5
JUL	104,1	294,9	-193,8
AGO	126,3	161,4	-40,6
SET	137,3	77,2	38,0
OUT	157,6	32,4	114,5
NOV	151,4	26,8	113,3
DEZ	154,0	32,9	106,2
ANUAL	127,4	157,2	-43,4

Tabela 31. Médias mensais de Evaporação, Precipitação e Balanço Evaporação-Precipitação para a estação de Campina Grande (INMET 2).

Ano	Evaporação (mm)	Precipitação (mm)	Balanço EP (mm)
JAN	158,0	44,1	114,2
FEV	147,5	59,7	83,6
MAR	136,3	93,6	42,7
ABR	108,8	103,0	4,5
MAI	89,4	101,4	-21,7
JUN	75,6	119,2	-55,8
JUL	81,1	117,6	-32,7
AGO	106,2	66,9	33,9
SET	137,5	35,6	102,6
OUT	169,9	13,9	156,6
NOV	175,7	13,5	161,4
DEZ	179,2	18,5	164,0
ANUAL	131,7	65,7	65,32

Tabela 32. Médias mensais de Evaporação, Precipitação e Balanço Evaporação-Precipitação para a estação de Monteiro (INMET 3).

Ano	Evaporação (mm)	Precipitação (mm)	Balanço EP (mm)
JAN	224,1	62,1	114,5
FEV	188,3	79,4	68,9
MAR	164,9	103,6	35,6
ABR	142,9	101,4	18,5
MAI	134,5	92,2	25,5
JUN	131,7	42,7	72,1
JUL	151,5	35,5	87,6
AGO	200,0	14,1	144,7
SET	208,7	10,3	166,8
OUT	242,2	19,5	193,3
NOV	255,3	14,5	211,2
DEZ	259,3	34,6	180,0
ANUAL	224,1	62,1	114,5

5.1.5.1.3 DESCARGA FLUVIAL

As descargas fluviais médias para a estação fluviométrica Ponte da Batalha são apresentadas na **Figura 93**. A vazão média anual é de $25,84\text{m}^3\text{s}^{-1}$, correspondente a uma área de drenagem de 19.225km^2 . As maiores vazões médias ocorrem nos meses de março a julho, resultado da elevada precipitação e baixa evaporação nestes meses nas três estações meteorológicas estudadas. O mês com maior vazão média é abril, com máxima de $96,6\text{m}^3\text{s}^{-1}$, enquanto o mês de novembro apresenta vazão mínima de $1,4\text{m}^3\text{s}^{-1}$. Os meses de outubro a janeiro apresentam vazões médias inferiores a $2,5\text{m}^3\text{s}^{-1}$, meses que normalmente

apresentam os maiores valores positivos de balanço EP. Percebe-se claramente a influência do balanço EP no controle da vazão fluvial no Rio Paraíba.

As vazões a jusante da estação Ponte da Batalha até o estuário do Paraíba foram baseadas na vazão média anual da bacia rio Mumbaba, que está inserida em área de 826 km² com vazão conhecida. Os dados de vazão do rio Mumbaba foram adquiridos do trabalho de Silva e Alencar (2002), provenientes da estação Fazenda Mumbamba, entre os anos de 1972 a 1983. A vazão média anual do rio Mumbaba é de 1,8m³s⁻¹ e sua bacia de drenagem possui área de 163,4km².

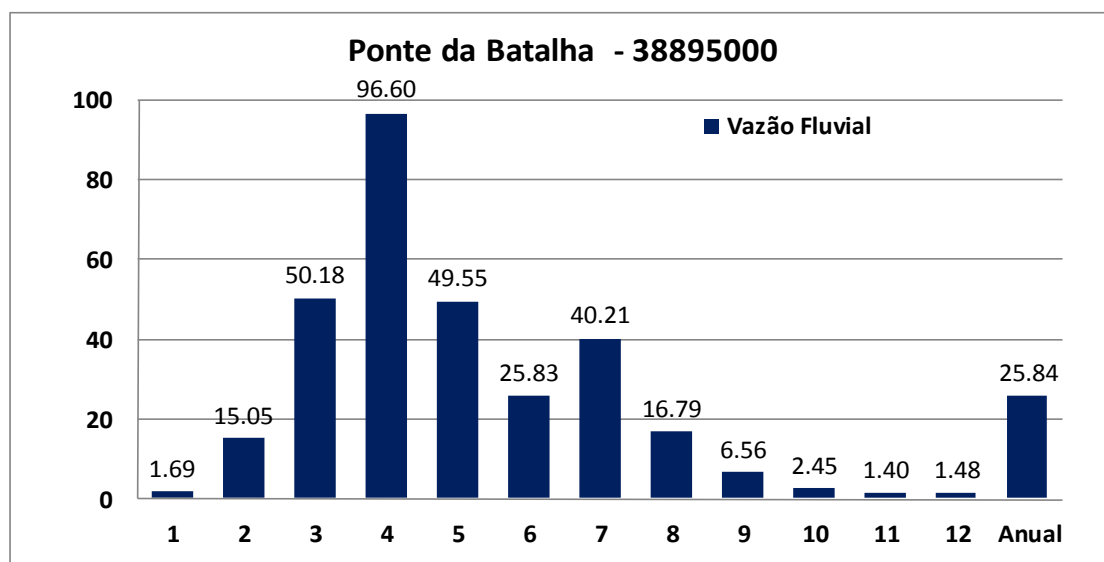


Figura 93. Gráfico de vazões médias mensais e anuais para a estação Ponte da Batalha.

A partir da hipótese de que a precipitação e evapotranspiração nas bacias com vazões conhecidas e desconhecidas sejam iguais, podemos extrapolar a vazão conhecida para o restante da área através do método de transposição de áreas (Miranda et al., 2002). A vazão da área a jusante da estação fluviométrica é de 9,1 m³s⁻¹, totalizando uma descarga fluvial anual média de 36,7m³s⁻¹ para toda a bacia do Paraíba.

Ao dividirmos as descargas fluviais a jusante e a montante da estação Ponte da Batalha por suas respectivas áreas, encontramos valores de 0,0013 e 0,0556 m³s/km², demonstrando a importância da influência do clima e precipitação nas descargas fluviais. Analisando a **Figura 89(B)** e a **Figura 92** nota-se que a bacia a jusante da estação fluviométrica encontra-se em clima úmido e com

precipitação anual média acima de 1200mm. Esse fato explica uma área de drenagem com 6% do valor total da bacia do Paraíba apresentar descarga fluvial por quilômetro quadrado, uma ordem de grandeza maior que o restante da bacia.

5.1.5.1.4 DESCARGA SEDIMENTAR

Os valores de descarga sedimentar e variáveis utilizadas no modelo BQART, proposto por Syvitski e Milliman (2007), são apresentados na **Tabela 28**.

A bacia do rio Paraíba apresenta 93% da sua bacia composta por litologias duras (alto/médio Paraíba e rio Taperoá), rochas ígneas e/ou metamórficas (**Figura 94**) e o restante composto por litologias friáveis, rochas sedimentares ou sedimentos. Portanto, o valor da classe litológica de acordo com a classificação proposta pelos autores é de 0,5.

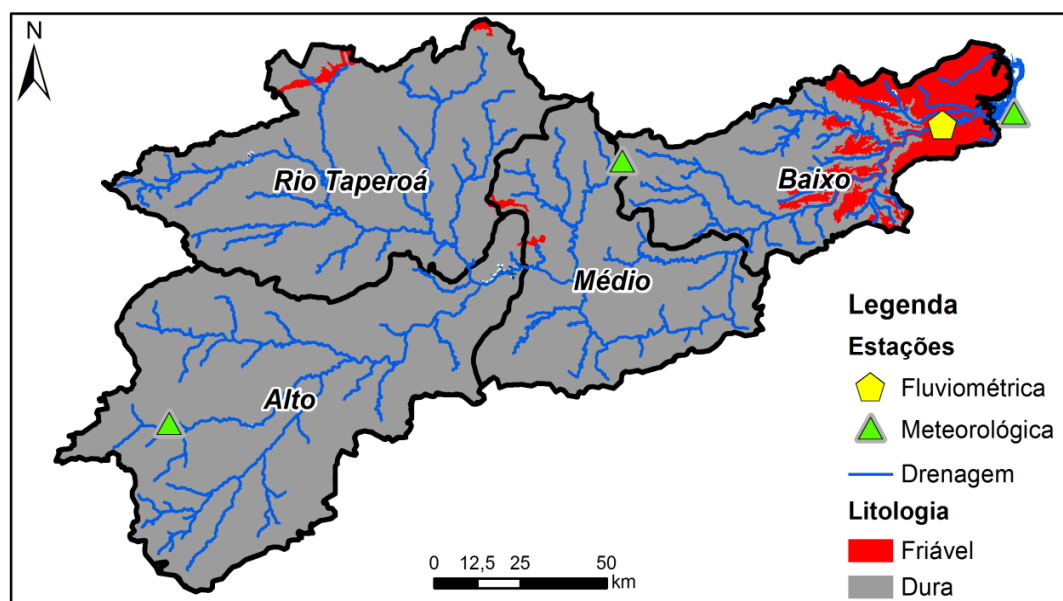


Figura 94. Mapa das litologias da bacia de drenagem do rio Paraíba e localização das estações meteorológicas e fluviométricas. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

O valor da descarga sedimentar que chega ao estuário do rio Paraíba é de $1,42 \times 10^9$ kg.ano⁻¹, valor comparável a descarga sedimentar de estuários com bacias de drenagem inferiores a 4000km², como as baías de Paranaguá ($1,97 \times 10^9$ kg.ano⁻¹) e Guanabara ($1,79 \times 10^9$ kg.ano⁻¹), calculados com o mesmo modelo de descarga sedimentar por Santos et al. (2010). Como evidenciado pelo trabalho dos autores citados, a magnitude das descargas fluviais e sedimentares não é proporcional ao tamanho das bacias de drenagem, e a descarga fluvial

aparenta ter um peso maior na produção de sedimentos nas bacias hidrográficas em relação a área da bacia.

As vazões fluviais de Paranaguá ($230\text{m}^3\text{s}^{-1}$) e Guanabara ($85\text{m}^3\text{s}^{-1}$) são 6,3 e 2,3 vezes maiores que a do rio Paraíba, respectivamente, porém possuem bacias de drenagem 6,4 e 5,4, respectivamente. Esse fato mostra a importância do clima para a descarga fluvial e sedimentar, já que a maior bacia de drenagem (Paraíba) tem grande parte de sua bacia inserida numa região semi-árida e possui descarga fluvial inferior a bacias de drenagem com área 6 vezes menor (Paranaguá).

A taxa de sedimentação do Rio Paraíba pode ser estimada dividindo-se a descarga sólida pela área total do estuário e pela densidade do sedimento, assumindo que o sedimento não saia do estuário. Valores de densidade publicados na Baía de Guanabara variam entre 1.256 e 1.744 kg.m^{-3} (Amador, 1980), e na Baía de Paranaguá possui densidade de 1.800 kg.m^{-3} (Mantovanelli, 1999).

Santos e Lessa (2007) mapearam a área estuarina do rio Paraíba através de imagens de satélite do sensor Landsat 7 ETM+, encontraram uma área estuarina de 85 km^2 . Utilizando esta área e um valor médio de 1500 kg.m^{-3} para a densidade de sedimento, estimou-se a taxa de sedimentação dentro do estuário e o valor encontrado foi de $11,2\text{mm.ano}^{-1}$. Este valor serve como um valor teórico a ser comparado aos valores por medições *in situ* ao longo do estuário e por modelos de dispersão de sedimentos.

5.1.5.1.5 ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ENCHENTES E ASSOAREAMENTOS

As áreas suscetíveis a enchentes e a assoreamento estão identificadas na **Figura 95**. As planícies de maré em estuários são habitats sedimentares intermarés criados pela deposição de sedimento em ambientes costeiros de baixa energia (De Backer et al., 2010), este ambiente está sujeito a estabilização devido a sua colonização por vegetação de mangue, portanto podemos considerá-lo um ambiente sujeito a assoreamento dentro da Área de Influência Direta (AID).

Como já tratado, o estuário do rio Paraíba é dominado por marés e a influência de descargas fluviais acima da média não influenciam a região na qual

a AID se encontra. As áreas sujeitas a enchentes nessa região são as áreas sujeitas ao regime de marés, a exemplo dos mangues, apicuns e planícies de marés. Como existem marés astronômicas incomuns, com alturas de sizígia acima da altura média de sizígia, considera-se um limite de 10 metros continente adentro como área que possivelmente sofreria inundação numa situação extrema.

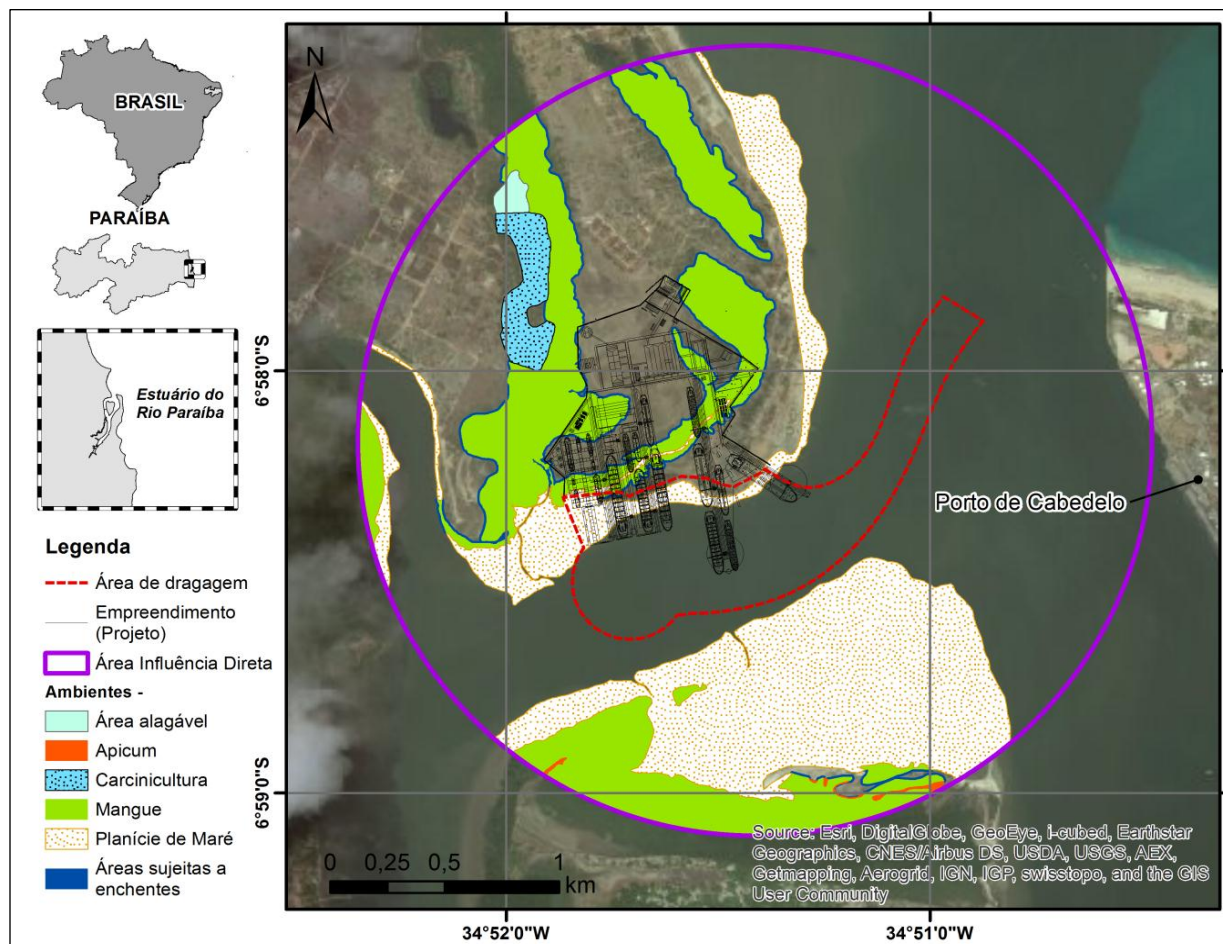


Figura 95. Mapa de ambientes suscetíveis a enchentes e a assoreamento na Área de Influência Direta (AID) do empreendimento. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

5.1.5.1.6 ÓRGÃO GESTOR DA BACIA

As informações contidas neste tópico foram colhidas do website da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA. O órgão gestor dos recursos hídricos paraibanos é a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, criada pela Lei nº 7.779, de 07/07/2005, sob a forma jurídica de uma Autarquia, vinculada à Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia – SERHMACT.

Conforme o Art. 3º da citada lei, "são objetivos da AESA, o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais de domínio do Estado da Paraíba, de águas originárias de bacias hidrográficas localizadas em outros Estados que lhe sejam transferidas através de obras implantadas pelo Governo Federal e, por delegação, na forma da Lei, de águas de domínio da União que ocorrem em território do Estado da Paraíba."

As principais linhas de ação/instrumentos de gestão desenvolvidos pela AESA são:

- Instrumentos Legais, Institucionais e de Articulação com a Sociedade: inclui a implantação de Comitês de Bacias Hidrográficas, a criação de Associações de Usuários de Água e elaboração de Campanhas Educativas sobre o Uso da Água;
- Instrumentos de Planejamento: inclui a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH-PB (concluído), a elaboração do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas dos Rios Paraíba e Piranhas (em elaboração), a confecção do Plano de Controle de Cheias e Usos Múltiplos de Reservatórios nas Bacias Litorâneas (em elaboração) e o Mapeamento dos Aquíferos Aluviais do Estado da Paraíba para Fins de Abastecimento Rural (Humano e Animal) e Produção Agrícola (concluído);
- Instrumentos de Informação: envolve a implantação do Sistema de Informação de Recursos Hídricos, o Monitoramento Quantitativo de 122 Reservatórios, o Monitoramento do Clima e do Tempo e o Cadastramento de Obras Hídricas e Usuários de Água;
- Instrumentos Operacionais: envolve a Concessão de Outorga de Água, a Expedição de Licença para Implantação de Obra Hídrica, Ações de Fiscalização do Uso dos Recursos Hídricos, a Operação e Manutenção de Reservatórios, a Cobrança pelo Uso de Água Bruta (proposta em elaboração), Manual de Fiscalização e o Manual de Outorga.

Atualmente o Estado da Paraíba tem sua gestão compartimentada em quatro setores, de acordo com a **Figura 96**, que correspondem às regiões de atuação dos comitês das bacias hidrográficas estaduais. A região do Baixo Curso do Rio Paraíba (área do empreendimento) está sob a jurisdição do Comitê do Rio Paraíba, o qual está representado na **Figura 96** como “PB 1”. Os demais domínios representam os comitês do Litoral Norte (PB 3), Litoral Sul (PB 2) e Piranhas-Açu.

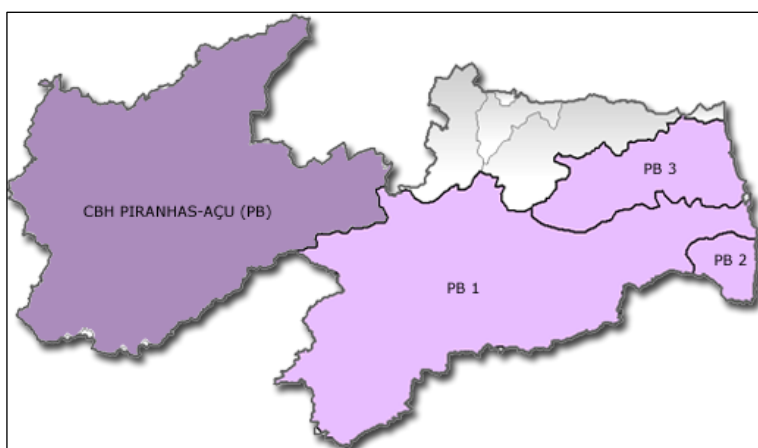


Figura 96. Mapa dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba.

5.1.5.1.7 ESTIMATIVAS DE USO DA ÁGUA PELO EMPREENDIMENTO

O uso da água pelo empreendimento será feita de várias maneiras e em grande quantidade. Quando o navio acostar no estaleiro, este passará por vários processos que se utilizam de água, que vai desde a lavagem do casco à lavagem do convés através do jateamento. Também será utilizada água para a limpeza do própria estrutura do empreendimento, nas dependências do Estaleiro. O funcionamento do refeitório, sanitários e escritórios demanda grandes volumes de água, devido ao amplo números de funcionários empregados pelo estaleiro.

Considerando o atendimento à demanda supracitada, o volume previsto de água pelo empreendimento, em sua fase de operação, será de 700.000m³. O abastecimento será feito através da utilização de água do Rio Paraíba do Norte, bem como pelo seu reuso após passar pela Estação de Tratamento de Efluentes. Nas atividades que necessitam necessariamente de água doce para o seu funcionamento adequado, o empreendimento também contará com estruturas de captação de águas pluviais e instalação de poços

artesianos, além do volume fornecido pela rede de abastecimento estadual (CAGEPA).

5.1.5.1.8 PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NA AID

No município de Lucena, 91% da população afirma estar ligada a rede oficial de abastecimento, o que garante a qualidade do produto utilizado e colabora para os índices de qualidade pública de saúde e prevenção a propagação de doenças de veiculação hídrica. Não foram registrados no município outras formas de acesso à água, como poços ou carros pipa. Lucena não conta com nenhuma indústria de transformação seja de pequeno, médio ou grande porte. Em análise aos dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA – constam 43 usuários cadastrados com licença de outorga de captação de água, dentro da Região da Bacia do Baixo Paraíba, sub-bacia do rio Miriri, tendo os mais diversos fins.

No município de Cabedelo 89% da população é abastecida pela CAGEPA, enquanto 11% não conta com o abastecimento da rede. Não foram registradas nenhuma outra forma de acesso a este recurso. De acordo com os dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA – existem 25 usuários cadastrados com licença de outorga de captação de água, dentro da Região da Bacia do Baixo Paraíba, sendo a CAGEPA a principal usuária, com a finalidade de abastecimento público.

Do município de Santa Rita foram consideradas nesta análise três comunidades que se utilizam do baixo curso do Rio Paraíba do Norte para transporte de passageiros e mercadorias, a saber: Forte Velho, Ribeira e Tambauzinho, tendo em vista à proximidade destas com a localização de instalação do Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá. A região que abrange os três distritos do município de cidade Santa Rita tem uma população de aproximadamente 2.835 pessoas, segundo dados da secretaria de infraestrutura do município de Santa Rita. O fornecimento do serviço de abastecimento de água é um indicador do nível de salubridade e desenvolvimento urbano. Na pesquisa realizadas nestas três comunidades de Santa Rita podemos observar que 74% dos entrevistados afirmam não receber água da concessionária oficial de abastecimento, o que pode favorecer a propagação de doenças de veiculação

hídrica, ou adicionar um custo ao acesso e tratamento domiciliar deste recurso, contudo sem garantir necessariamente sua qualidade para consumo humano. Os demais, ou seja, 26% dos entrevistados afirmam estar ligados a rede oficial de distribuição. Segundos dados secretaria de infraestrutura a rede de abastecimento hídrico da região está baseada na perfuração de poços artesanais domiciliares.

No banco de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA – constam no município de Santa Rita 109 usuários cadastrados com licença de outorga de captação de água, dentro da Região da Bacia do Baixo Paraíba, sub-bacia do rio Miriri, tendo os mais diversos fins como, irrigação, abastecimento comunitário e abastecimento rural. Segundo dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA – o município de Santa Rita conta com: 36 - Usuários Outorgados; 105 - Usuários com outorga vencida; 39 - Usuários com processo de outorga em andamento e 109 - Usuários Cadastrados. Dentre esses usuários cadastrados, os que estão localizados na bacia do baixo curso do rio Paraíba são:

Quadro 2. Quadro de usuários cadastrados na AESA, para a Região do Baixo Curso do Rio Paraíba.

	Nome do Usuário	Bacia	Tipo de Uso	Fonte Hídrica	Manancial
1.	AEROPORTO CASTRO PINTO	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Comercial	Poço Tubular	Poço
2.	AEROPORTO CASTRO PINTO II	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Industrial	Poço Tubular	Poço
3.	AVON I	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Industrial	Poço Tubular	Poço
4.	CAGEPA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
5.	CAGEPA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
6.	COPS - PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
7.	COSIDRA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Industrial	Poço Tubular	Poço
8.	COSIDRA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Industrial	Poço Tubular	Poço
9.	COSIDRA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Industrial	Poço Tubular	Poço
10.	FSESP	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Comercial	Poço Tubular	Poço
11.	HOSPITAL P. S. INFANTIL	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Urbano Predial	Poço Tubular	Poço
12.	ITACOATIARA	Região do Alto Curso do	Comercial	Poço Tubular	Poço

		Rio Paraíba			
13.	IVAN GOMES	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Industrial	Poço Tubular	Poço
14.	JOÃO FRANCISCO FERNANDES	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Rural	Poço Tubular	Poço
15.	José Francisco de Queiroga	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Irrigação	Poço Amazonas	Poço
16.	JOSEFA DA SILVA SOUSA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Rural	Poço Tubular	Poço
17.	MINISTERIOS DOS TRANSPORTES	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
18.	ODILON RIBEIRO COUTINHO	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Industrial	Poço Tubular	Poço
19.	ODILON RIBEIRO COUTINHO	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Industrial	Poço Tubular	Poço
20.	ODILON RIBEIRO COUTINHO	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Industrial	Poço Tubular	Poço
21.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
22.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
23.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
24.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
25.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
26.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
27.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Urbano Predial	Poço Tubular	Poço
28.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
29.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Urbano Predial	Poço Tubular	Poço
30.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
31.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
32.	REFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço

33.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
34.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
35.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
36.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
37.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
38.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
39.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
40.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
41.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
42.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Irrigação	Poço Tubular	Poço
43.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Irrigação	Poço Tubular	Poço
44.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Alto Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
45.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
46.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Rural	Poço Tubular	Poço
47.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
48.	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
49.	REC MEC	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
50.	SEVERINO MAROJA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Rural	Poço Tubular	Poço
51.	SINDULFO SANTIAGO	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Comunitário	Poço Tubular	Poço
52.	TRIBUNAL DE JUSTIÇA	Região do Baixo Curso do Rio Paraíba	Abastecimento Urbano Predial	Poço Tubular	Poço

Através dos dados apresentados na tabela acima, podemos identificar os mais diversos usos da água na Região do Baixo Curso Paraíba, local onde será instalado o empreendimento. Além do abastecimento da CAGEPA para uso doméstico, destacam-se os usos de poços tubulares com as seguintes finalidades: abastecimento comunitário, irrigação, abastecimento rural e industrial.

5.1.5.1.9 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS NA ADA PELO EMPREENDIMENTO

O empreendimento em sua totalidade está inserido na bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba, onde está localizado o Aquífero Barreiras (**Figura 97**). Este aquífero é do tipo poroso e, portanto, caracterizado por apresentar uma maior capacidade de armazenamento de água em relação a outros tipos de aquífero, e devido a sua porosidade ser quase sempre homogênea a água apresenta a propriedade de fluxo em todas as direções.

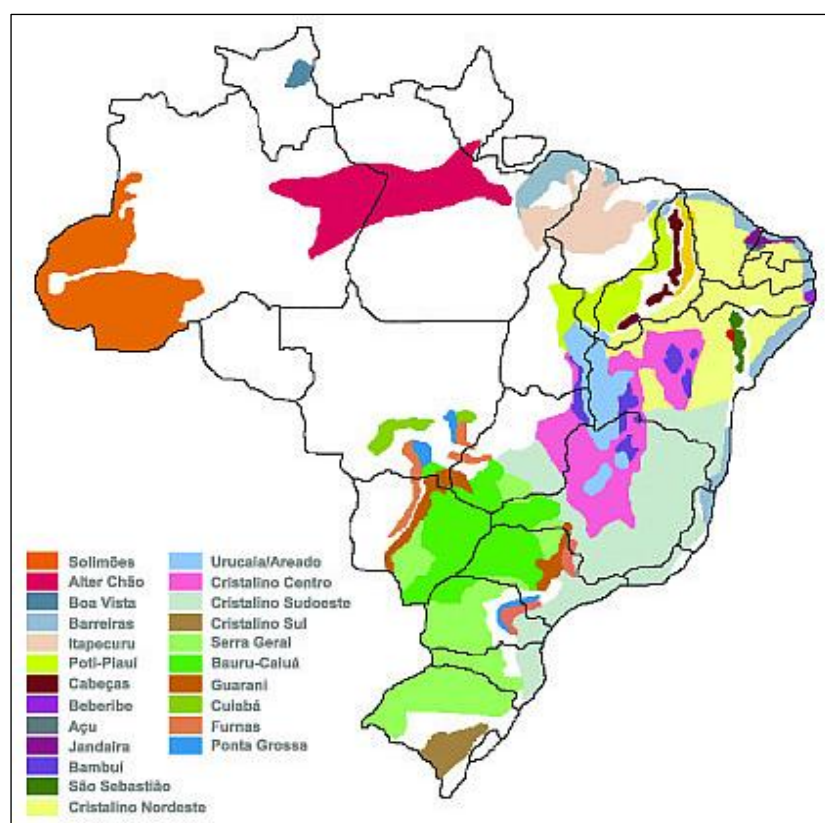


Figura 97. Representação esquemática dos principais aquíferos brasileiros. *Fonte: MMA, 2003.*

Segundo a ANA (Agência Nacional das Águas), o sistema aquífero barreiras tem uma vasta distribuição pela costa brasileira, aflorando de forma descontínua desde a região norte até a sudeste ocupando uma área de 176.532 km².

O Aquífero Barreiras é um sistema livre e está contido na Formação Barreiras e eventualmente nos sedimentos inconsolidados do quaternário, que lhe sobrepõem, e mais restritamente nos calcários sotopostos à Fm. Barreiras, referentes à Formação Gramame. É caracterizado por uma alternância de camadas bem estratificadas ou com estratificação incipiente, de constituição arenosa, argilosa ou siltosa, com ocasionais níveis de seixos. Cores variegadas com tonalidades de amarelo, roxo e vermelho são características desta formação (Costa et al, 2003). Por sua heterogeneidade faciológica e granulométrica, o aquífero barreiras se constitui em um sistema freático heterogêneo em virtude das intercalações clásticas-pelíticas no qual o nível hidrostático acomoda-se graças a sua configuração em tabuleiros ou planaltos sub-estruturais. Quando essas intercalações são predominantemente areníticas e permeáveis, elas se revelam boas fornecedoras de águas subterrâneas (PMCR-JP, 2010).

De acordo com a AESA as condições regionais de alimentação do Aquífero Barreiras na Paraíba são excelentes, devido a características climáticas e fisiográficas, com ênfase na morfologia bastante favorável. A circulação regional se dá em gradientes suaves e com significativos volumes, ou restituídos aos rios, via de regra perenizando-os, ou escoados diretamente ao mar, anualmente.

5.1.5.2 QUALIDADE DA ÁGUA

Segundo a resolução CONAMA 357/05, os pontos de monitoramento ambiental para o recurso natural água, foram realizadas seguindo os parâmetros indicados. Para a coleta e análises laboratoriais seguiram as recomendações de Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2012).

Segundo a resolução CONAMA 357/05 foram analisados os parâmetros indicados na Tabela VII – Classe 1 – Águas Salobras, como apresentada no item 5.1.1.4.2 Qualidade da Água.

As coletas de água foram realizadas nos dias 16 e 17 de fevereiro de 2016, tendo sido efetuada uma única campanha no período seco, que vai de janeiro a maio. As amostras foram coletadas seguindo normatização do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras – água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidos (2011).

Desta maneira, o plano de amostragem foi definido, levando-se em consideração: o uso da água, que será para navegação e na utilização no processo de hydrolift para acostagem dos navios, este processo segue a descrição apresentada no Cap. 02 – Dados do Empreendimento.

A água analisada é de natureza salobra, superficial e costeira, estando localizada no estuário do Rio Paraíba em contato com o oceano atlântico com influência fluviomarinha. Com o objetivo de determinar uma caracterização instantânea da área de estudos devido a limitações de tempo e espaço, associado às restrições laboratoriais para executar outros parâmetros de análise.

Não foram identificadas na região da sub bacia hidrográfica do baixo curso do Rio Paraíba, instalações de unidades industriais, assim como não foram identificados eventos históricos que indicassem possíveis contaminações por produtos químicos diversos, nem foi possível identificar pontos de contribuição ao corpo hídrico de estações de tratamento de efluentes, domésticos ou industriais, como orienta o Termo de Referência de novembro de 2015 emitido pela Sudema, desta forma as análises procederam para caracterizar a qualidade físico-química do corpo hídrico.

Não foram identificadas concentrações anômalas nas análises realizadas, levando em consideração os parâmetros observados na CONAMA 357/05. Seguem nas **Tabelas 33 a 41** os parâmetros que apresentaram variações nas concentrações, ficando em destaque os compostos inorgânicos:- Alumínio Dissolvido, Boro Total, Ferro Dissolvido, Carbono Orgânico Total e Nitrogênio Amoniacal que apresentaram variações em todos os pontos amostrados.

Segundo dados da “FIT – Ficha de Informação Toxicologia da Cetesb - elaborada com informações básicas sobre a substância química e os efeitos à saúde humana na exposição ambiental” o alumínio é o elemento químico de maior presença na crosta terrestre, sendo encontrado em conjunção com hidróxidos, íons fluoretos, íon sulfatos e em suas formas silicadas. Sua presença

natural na água está intimamente ligada ao processo de lixiviação dos solos, à intensa presença de matéria orgânica diluída e aos períodos de estiagem da localidade a ser analisada, além de fatores artificiais, como o despejo de resíduos industriais nos reservatórios.

A sua concentração apresenta uma razão direta de proporcionalidade com o pH, ou seja, quanto mais ácido o pH, maior a concentração do elemento no meio aquoso.

Vale ressaltar que sua quantidade em excesso representa uma contaminação dos reservatórios utilizados por uma dada população, tendo, portanto, um potencial poluidor e de degradação da qualidade da saúde desta.

Tabela 33. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água

PONTO EAM 04		MATRIZ - ÁGUA	Unidade mg/L
ÁGUA SALOBRAS – PARAMETROS INORGÂNICOS			
Parâmetro	Resultado	L.Q.	VMP
Alumínio Dissolvido	0,079	0,030	0,1
Boro Total	2,20	0,015	0,5
Ferro Dissolvido	0,141	0,030	0,3
Sulfeto (como H ₂ S não dissociado)	0,002*J	0,005	0,002
Carbono Orgânico Total	15	1,0	3,0
Nitrogênio Amoniacal	0,338	0,060	0,40

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados à presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Seguindo o relatório “Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem” elaborado pela Cetesb (2009), o ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água, conforme a reação:



O carbonato ferroso é solúvel e frequentemente encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de ferro. Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens.

Por estes motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,3 mg/L na Portaria 518/04 do Ministério da Saúde. É também padrão de emissão de esgotos e de classificação das águas naturais.

Tabela 34. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água

PONTO EAM 05		MATRIZ - ÁGUA	Unidade mg/L
ÁGUAS SALOBRAS – PARAMETROS INORGÂNICOS			
Parâmetro	Resultado	L.Q.	VMP
Alumínio Dissolvido	0,197	0,030	0,1
Boro Total	3,20	0,015	0,5
Ferro Dissolvido	0,787	0,030	0,3
Manganês Total	0,083	0,010	0,1
Sulfeto (como H ₂ S não dissociado)	0,002*J	0,005	0,002
Carbono Orgânico Total	11	1,0	3,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados à presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 35. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água

PONTO EAM 06		MATRIZ - ÁGUA	Unidade mg/L
ÁGUA SALOBRAS – PARAMETROS INORGÂNICOS			
Parâmetro	Resultado	L.Q.	VMP
Boro Total	4,19	0,015	0,5
Carbono Orgânico Total	1,5	1,0	3,0
Nitrogênio Amoniacal	0,394	0,060	0,40

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados à presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Não foram identificadas informações que atribuam contaminação ou poluição decorrente da presença do elemento Boro no meio ambiente, seguindo assim as informações descritas na *“Proposta a ser apresentada no Grupo de Trabalho para atualização dos padrões de lançamento de efluentes constantes das tabelas da Resolução CONAMA 357/2005”*.

O boro é uma substância sólida que ocorre naturalmente na Natureza. Não é encontrado em sua forma elementar sendo usualmente encontrado na forma de sais – boratos de sódio ou cálcio. A forma natural da presença de boro nas águas é o H_3BO_3 – ácido bórico, não sendo transformado nem degradado no meio ambiente.

Como composto inorgânico é encontrado em sedimentos e rochas sedimentares. É transportado para o meio ambiente lentamente em baixas concentrações a partir de processos naturais de erosão. Estima-se que os processos de erosão naturais emitem mais boro mundialmente que fontes industriais (Butterwick et al. 1989).

As principais fontes industriais de geração de boro incluem a produção de vidros, queima de carvão em plantas de geração de energia, fundição de cobre e do uso de fertilizantes e fitossanitários na agricultura. Estima-se que a geração antropogênica seja menor que a resultante de processos naturais de erosão.

A erosão natural de rochas contendo boro é a maior fonte de boro encontrado nas águas (Butterwick et al. 1989). A quantidade de boro emitida varia consideravelmente com as diferenças geográficas de depósitos minerais ricos em boro.

Emissões de boro para o meio ambiente resultam da produção e uso de boro e compostos correlatos (boratos e ácido bórico), não consta na Lista Prioritária de Substâncias Perigosas da CERCLA referente à exposição humana e efeitos à saúde de substâncias perigosas por apresentarem toxicidade suspeita ou conhecida.

Desta forma é considerado um elemento essencial para o crescimento de plantas, mas não há evidências de que ele é requerido por animais, desta forma o relatório indica que concentrações naturais de boro não afetam a vida aquática.

Analisando os resultados obtidos nas análises laboratoriais o elemento Boro Total encontrado, mesmo acima dos padrões determinados pela legislação pode ser atribuído que em águas salinas contém aproximadamente 5 mg B/L, sendo que o boro é encontrado em associação com outros sais marítimos, sendo esta a área de desenvolvimento do estuário do baixo curso do Rio Paraíba do Norte.

Tabela 36. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água

PONTO EAM 07		MATRIZ - ÁGUA	Unidade mg/L
ÁGUA SALOBRAS – PARAMETROS INORGÂNICOS			
Parâmetro	Resultado	L.Q.	VMP
Boro Total	4,08	0,015	0,5
Nitrato	0,0224	0,0150	0,40
Carbono Orgânico Total	1,7	1,0	3,0
Nitrogênio Amoniacal	0,389	0,060	0,40

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados à presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

A descrição sobre o Carbono Orgânico, segue análise do relatório “Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas apêndice D” emitido pela Cetesb, onde Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Carbono Orgânico Total (COT) é a concentração de carbono orgânico oxidado a CO₂, em um forno a alta temperatura, e quantificado por meio de analisador infravermelho.

Existem dois tipos de carbono orgânico no ecossistema aquático: carbono orgânico particulado - COP e carbono orgânico dissolvido - COD. A análise de COT considera as parcelas biodegradáveis e não biodegradáveis da matéria orgânica, não sofrendo interferência de outros átomos que estejam ligados à estrutura orgânica, quantificando apenas o carbono presente na amostra.

O carbono orgânico em água doce origina-se da matéria viva e do componente de vários efluentes e resíduos. Sua importância ambiental deve-se ao fato de servir como fonte de energia para bactérias e algas, além de metabolizar os metais. A parcela formada pelos excretos de algas cianofíceas

pode, em concentrações elevadas, tornar-se tóxica, além de causar problemas estéticos. O carbono orgânico total na água também é um indicador útil do grau de poluição do corpo hídrico. Sendo encontrado em todos os pontos analisados, devido à decomposição natural da matéria orgânica da região estuarina com presença de mangues e possíveis contribuições de esgotos domésticos que possam estar sendo lançados próximos aos pontos onde foram realizadas as coletas das amostras.

Tabela 37. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água

PONTO EAM 09		MATRIZ - ÁGUA	Unidade mg/L
ÁGUA SALOBRAS – PARAMETROS INORGÂNICOS			
Parâmetro	Resultado	L.Q.	VMP
Alumínio Dissolvido	0,118	0,030	0,1
Boro Total	2,69	0,015	0,5
Ferro Dissolvido	0,231	0,030	0,3
Nitrato	0,0301	0,0150	0,40
Carbono Orgânico Total	2,4	1,0	3,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

O nitrogênio, pela versatilidade de seu ciclo natural, é um elemento encontrado no meio natural, incluindo como constituinte fundamental de organismos biológicos. A sua forma específica amoniacal (NH_3 ou NH_4^+) existe em reservatórios de água naturalmente em baixa concentração, dado a sua volatilidade e seu alto teor de adsorção às partículas sólidas dos solos.

Contudo, em grandes concentrações, além de sua alta toxicidade, o nitrogênio presente em sua fórmula química é utilizado como nutriente para algas e plantas aquáticas, gerando a eutrofização, dentre outros desequilíbrios ao ecossistema aquático.

Essa alta concentração é indicativo de despejo recente de águas residuais ou efluentes líquidos por parte de empreendimentos próximos ao reservatório em questão, já que apresentam a amônia como principal componente.

Os sulfetos, a rigor, são quaisquer compostos cujos componentes sejam o enxofre em conjugação com outro elemento qualquer ou com algum radical. O sulfeto de hidrogênio, comumente conhecido como “ácido sulfídrico”, é encontrado na natureza no estado gasoso, cuja principal característica é o seu odor de “ovo podre”, dissolvido em águas subterrâneas e próximo a regiões vulcânicas.

Quando encontrado em grandes concentrações em águas superficiais, muito provavelmente se deve à descarga de matéria orgânica em condições anaeróbias, com a ação de decomposição microbiana dos sulfatos abundantes em efluentes líquidos. É tóxico, provocando sintomas desde irritação e dificuldades de respiração até o óbito, a depender da quantidade posta em contato.

Tabela 38. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água

PONTO EAM 10		MATRIZ - ÁGUA	Unidade mg/L
ÁGUA SALOBRAS – PARAMETROS INORGÂNICOS			
Parâmetro	Resultado	L.Q.	VMP
Alumínio Dissolvido	0,092	0,030	0,1
Boro Total	3,19	0,015	0,5
Ferro Dissolvido	0,210	0,030	0,3
Carbono Orgânico Total	1,9	1,0	3,0

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados a presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 39. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água

PONTO EAM 11		MATRIZ - ÁGUA	Unidade mg/L
ÁGUA SALOBRAS – PARAMETROS INORGÂNICOS			
Parâmetro	Resultado	L.Q.	VMP
Alumínio Dissolvido	0,148	0,030	0,1
Boro Total	3,18	0,015	0,5
Ferro Dissolvido	0,441	0,030	0,3

Carbono Orgânico Total	2,6	1,0	3,0
Nitrogênio Amoniacal	0,320	0,060	0,40

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados à presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 40. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água

PONTO EAM 12		MATRIZ - ÁGUA	Unidade mg/L
ÁGUA SALOBRAS – PARAMETROS INORGÂNICOS			
Parâmetro	Resultado	L.Q.	VMP
Boro Total	5,66	0,015	0,5
Carbono Orgânico Total	3,2	1,0	3,0
Nitrogênio Amoniacal	0,301	0,060	0,40

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados à presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

Tabela 41. Parâmetros que apresentaram alterações do monitoramento da água

PONTO EAM 13		MATRIZ - ÁGUA	Unidade mg/L
ÁGUA SALOBRAS – PARAMETROS INORGÂNICOS			
Parâmetro	Resultado	L.Q.	VMP
Boro Total	3,84	0,015	0,5
Carbono Orgânico Total	1,8	1,0	3,0
Nitrogênio Amoniacal	0,378	0,060	0,40

Para os demais itens solicitados pela legislação não foram identificados à presença dos compostos investigados, como apresentado no relatório completo em anexo.

O transporte de metais ao longo da bacia de drenagem está fortemente associado à dispersão do material dissolvido e particulado em suspensão que é geralmente um componente da função de diversas variáveis, tais como: condições hidráulicas; processos de mistura de sedimentos contaminados e não

contaminados; coagulação, deposição e estocagem nas planícies de inundação, substrato fluvial, lagos, represas, e estuários; distribuição de partículas de acordo com tamanho e densidade, etc. Almeida (2007)

Estes resultados representam a decomposição da matéria orgânica referente ao ecossistema de mangue da região estuarina. Sendo observados os fluxos das marés apresentado nos mapas do item 5.1.4.2 Qualidade da água (**Figuras 10 e 11**), entendemos que o ecossistema para o dia da coleta encontra-se em equilíbrio.

Podemos identificar que não ocorre nenhuma descarga de efluentes contaminados por metais pesados ou compostos químicos na sub-bacia do baixo Rio Paraíba, dentre os elementos observados para análise baseado na CONAMA 357/05, sendo o corpo hídrico classificado como apto a receber a contribuição de efluentes, desde que o mesmo receba o devido tratamento na Estação de Tratamento de Efluentes seguindo as determinações que as legislações pertinentes exijam.

Também podemos concluir que não há contribuição de efluentes químicos não autorizados, ficando os resultados obtidos com as análises laboratoriais como valores referência ou “Ponto de Branco” inicial para subsidiar o Programa de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais e Subterrâneas descritas nesse estudo.

Os relatórios detalhados com todos os parâmetros analisados, assim como as Cadeias de Custódia de verificação da coleta de campo e comprovação da segurança analítica das amostras seguem anexas neste relatório.

5.1.6 Oceanografia e Hidrodinâmica Costeira

5.1.6.1 DADOS OBSERVADOS

Nessa seção serão caracterizadas a hidrodinâmica (correntes e maré) e ondas do ERPEN para o período entre 8 a 21 de dezembro de 2015 (verão). Devido à ausência de dados observados para o inverno, a modelagem numérica foi utilizada para entender a sazonalidade na região.

As variações AASM na região são principalmente causadas pelas oscilações de maré, as quais são responsáveis por 94,1% da variabilidade dessa grandeza. Os valores de profundidade coletados pelo ADCP mostraram valores

entre 5,2 e 7,3m (**Figura 98**), o que correspondem à valores de AASM iguais a -1,0 e 1,1m para o período de coleta. Assim, a altura de maré máxima (sizígia) para o período foi de 2,1m e a mínima foi igual 1,2m, marcando o centro do intervalo de quadratura.

A onda de maré em Cabedelo se comporta como uma onda estacionária, com velocidades máximas 90° fora de fase com as cristas e cavados de AASM (**Figura 98**). Sendo assim, os maiores valores de correntes em direção ao oceano (positivas) ocorreram durante a meia maré de vazante e os menores (negativos) durante as meias marés de enchente. Os maiores valores de velocidade ($\sim 0,6$ m/s), associados à vazante, foram identificados durante 11 e 14 de dezembro, que está contido período de sizígia (9 a 16 de dezembro). No mesmo período foi observado o maior fluxo de enchente ($\sim -0,4$ m/s). Entretanto, antes do dia 9/12/2015 e após o dia 16/12/2015, menores valores foram identificados, tanto para vazante, quanto para enchente, caracterizando um período de quadratura. É possível observar uma tendência de redução ou até inversão das correntes na superfície durante a vazante. Tal fenômeno pode ser explicado pela componente de leste do vento sempre atuante na região, a qual tende a empurrar água da superfície em direção ao estuário.

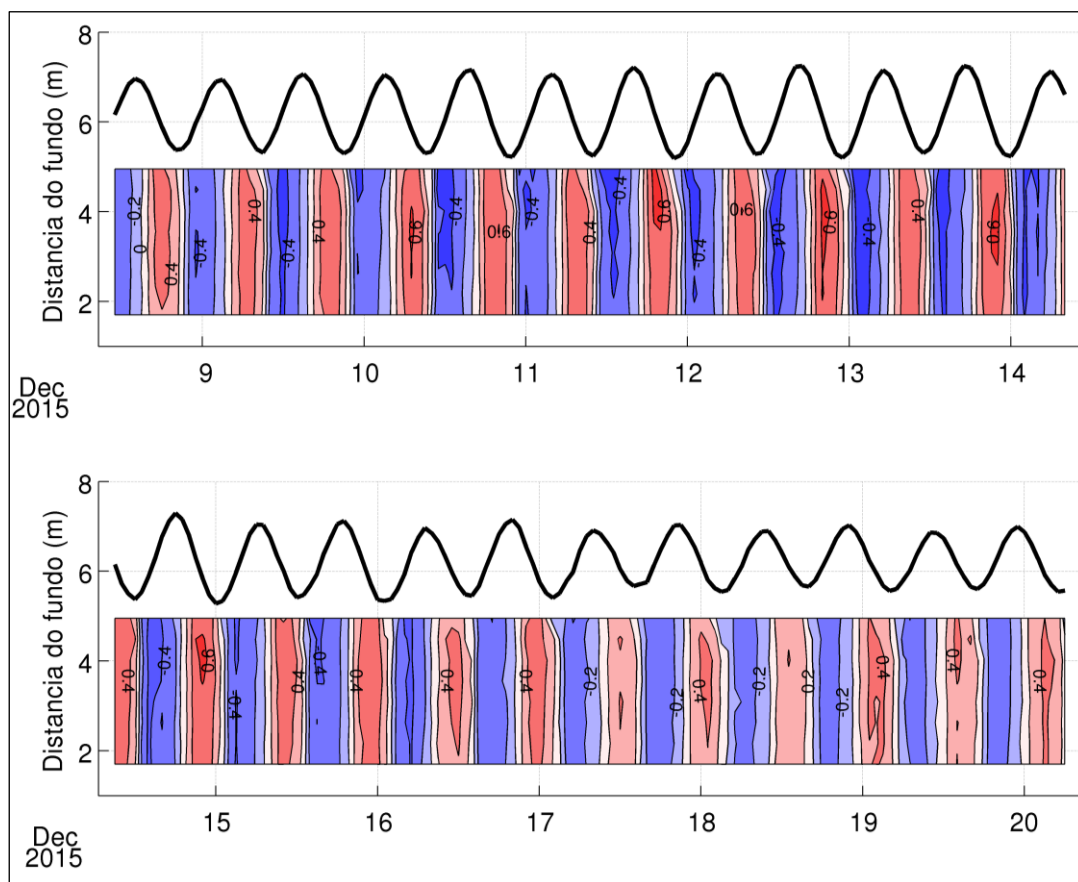


Figura 98. Altura da superfície do mar em relação ao ADCP e correntes paralelas ao eixo do canal no período entre 8 e 20 de dezembro de 2015. (Fonte. BELOV, 2015).

Analisando as correntes médias no tempo (residuais) para cada profundidade é evidente uma estrutura fortemente barotrópica, com domínio do regime de vazante em quase toda a coluna d'água (**Figura 99**). Com exceção da superfície, que apresentou uma redução e até inversão dos valores em resposta à tensão do vento, que possui uma componente de leste, como supracitado.

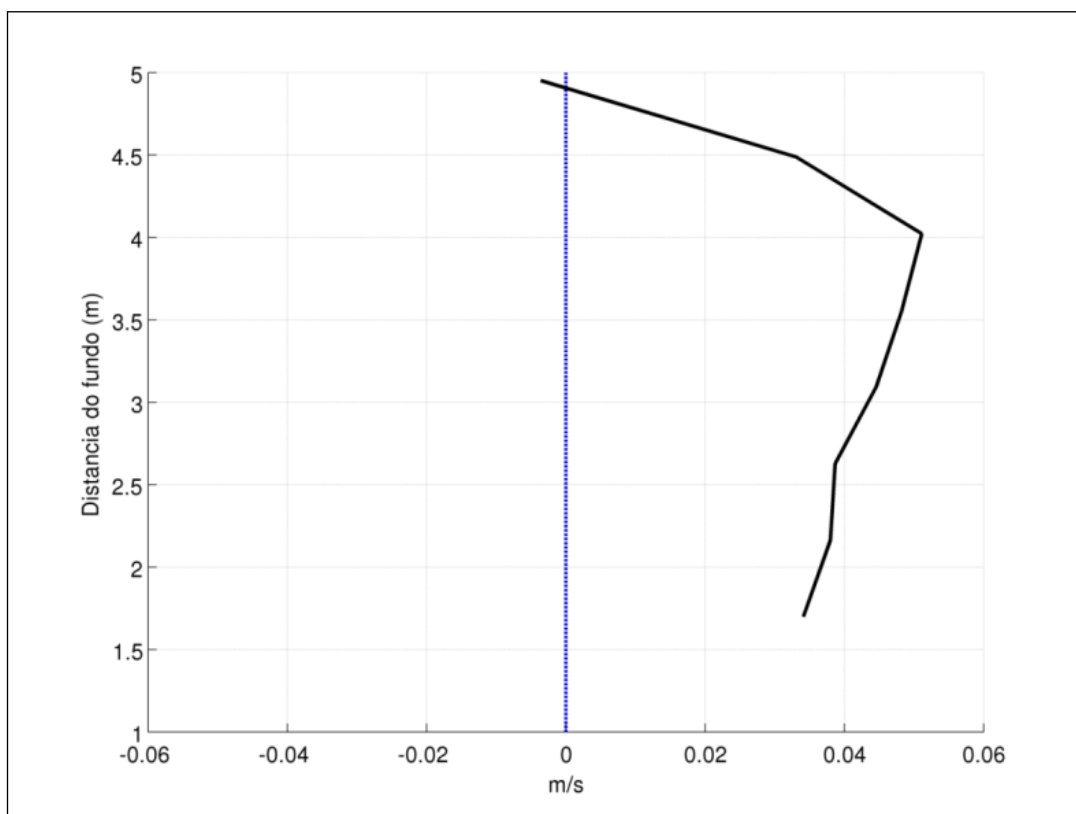


Figura 99. Corrente residual paralela ao eixo do canal para o período de 8 e 20 de dezembro de 2015. A linha preta representa os valores de correntes e a azul marca o valor de velocidade nula. (Fonte. BELOV, 2015).

Para o período observado, a altura máxima de onda registrada pelo ADCP fundeado (**Figura 100**, painel superior) foi de 0,81 m em 19 de dezembro de 2015, enquanto que a altura mínima foi de 0,45 m no dia 18 de dezembro. Ambos os dias apresentaram ondulações do quadrante leste (**Figura 100**, painel central), entre 77° e 88°N. Ao longo da medição a direção de onda variou entre NE (56°N) e ESE (126°N), corroborando os resultados apresentados na seção anterior. Com relação ao período de onda (**Figura 100**, painel inferior), o máximo ocorreu no dia 18 de dezembro (8,5s) e o mínimo de 3,1 s foi observado em três datas distintas (12, 13 e 15 de dezembro).

A altura significativa das ondas durante o período amostrado é apresentada na forma da rosa direcional (**Figura 194**). É possível observar que aproximadamente 58% das ondulações que incidiram na região provêm da direção E, enquanto que 37% correspondeu a direção ESE, para alturas de onda entre 0.4 e 0.8 m. A direção ENE, menos frequente durante o período amostrado, representou 20% das ondulações para alturas significativas entre 0.6 a 1m.

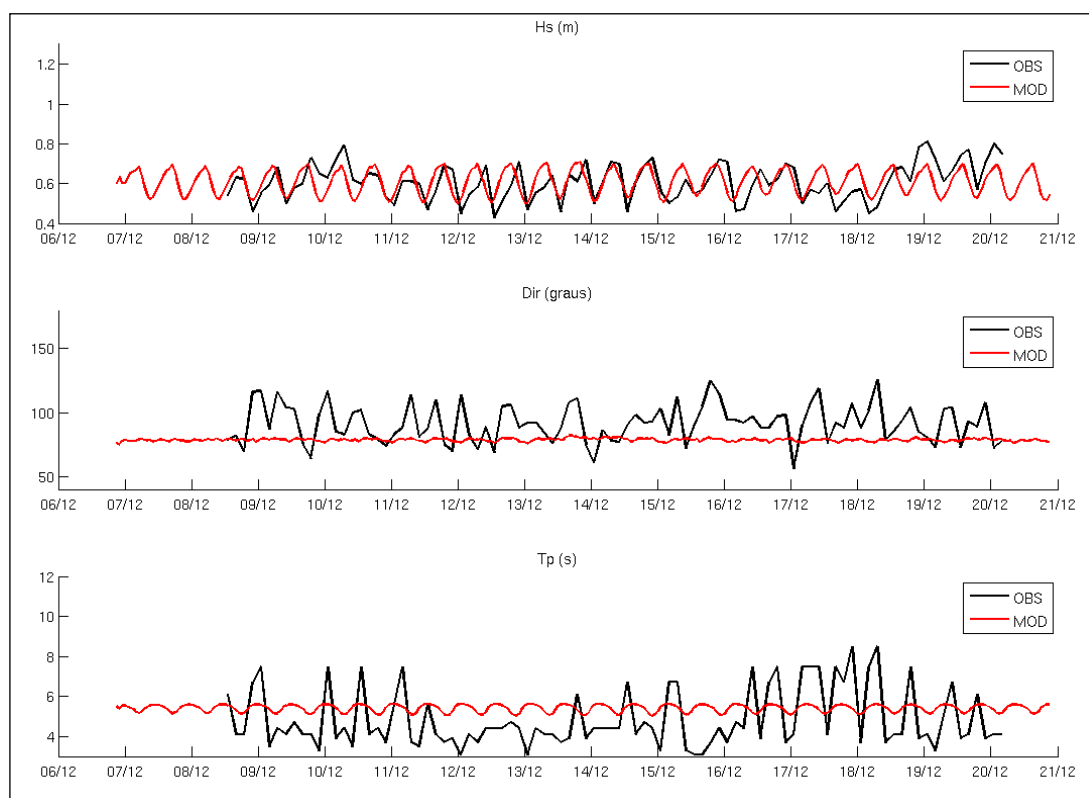


Figura 100. Série temporal da altura significativa (painel superior), direção (painel central) e período (painel inferior) para os dados coletados com o ADCP fundeado (linha preta) (**Figura 98**) e modelagem de ondas (linha vermelha). (Fonte. BELOV, 2015).

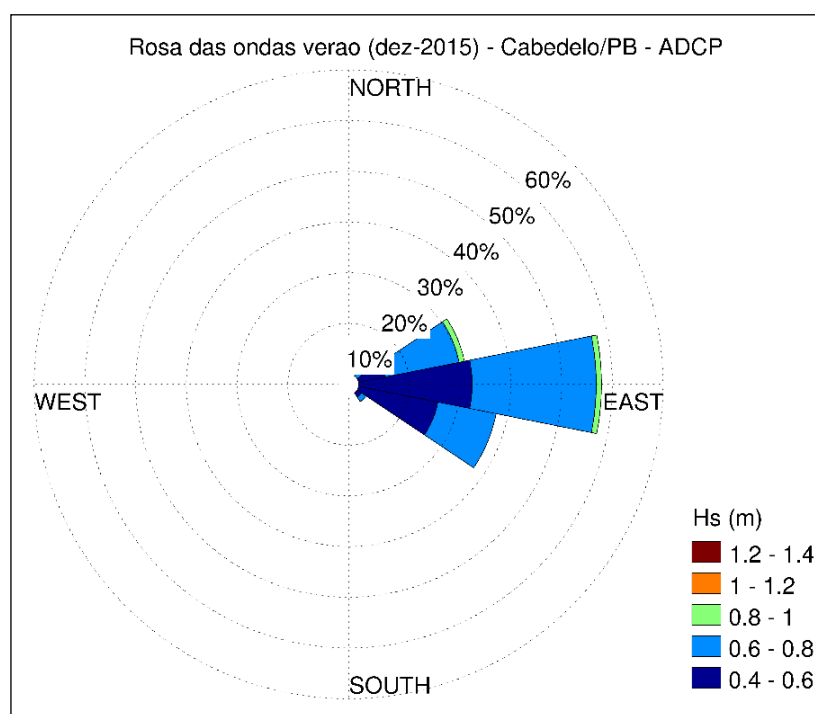


Figura 101. Rosa das ondas de altura significativa para o período entre 8 e 20 de dezembro de 2015, proveniente do ADCP fundeado no ERPN (**Figura 98**). (Fonte. BELOV, 2015).

5.1.6.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Como condições de contorno na superfície livre, representando o campo atmosférico, foram utilizados os dados de vento provenientes da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (**Figura 102 e 103**). No verão, a circulação atmosférica é dominada principalmente pelo regime dos alísios e pela posição da alta subtropical do Atlântico Sul que forçam ventos de SE e E (**Figura 102**) (Frazão, 2011 e Pereira, 2014). Entre 17/11/2015 e 20/12/2015 - período que compreende a campanha de coleta dos dados oceanográficos - os ventos foram principalmente de E e SE, com alguns episódios de NE. Além disso, as velocidades variaram entre 1,0 e 3,6m/s e com média igual a 2,28m/s.

No inverno, apesar da forte presença dos ventos de SE, existe a ocorrência de vento de S com certa relevância, os quais sinalizam uma influência maior dos remanescentes de frentes frias, que podem atingir a região com maior frequência nessa estação, conforme sinaliza Pereira (2014). No período de estudo, que compreende de 01/07/2015 a 30/07/2015, foram observados uma predominância de ventos de SE, com algumas incursões do vento de S (**Figura 103**). As velocidades máxima, mínima e média foram iguais a 9,26, 0,51 e 2,74 m/s, respectivamente.

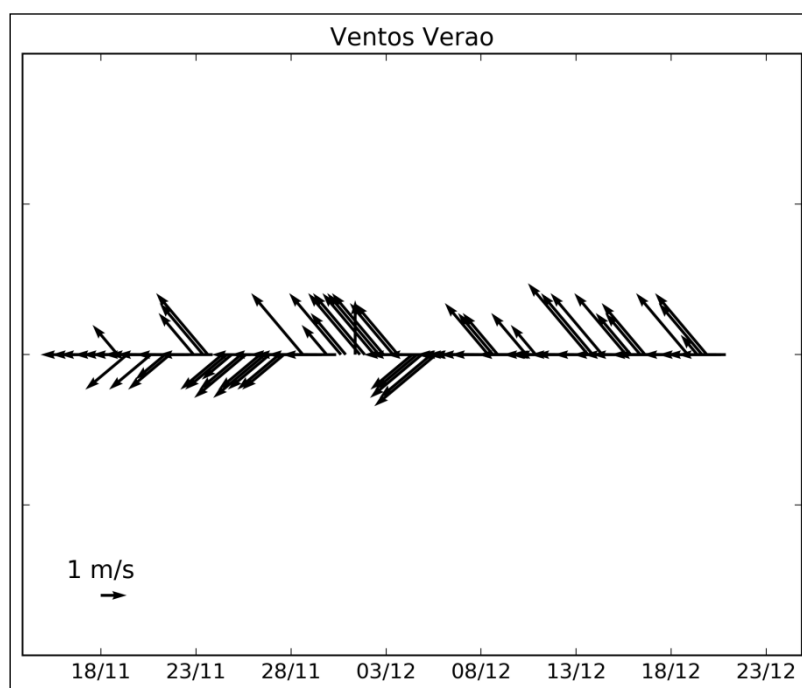


Figura 102. Série temporal de intensidade e direção do vento, proveniente da estação do INMET (**Figura 98**), para o período da simulação numérica de verão (17/11/2015 a 23/12/2015). (Fonte. BELOV, 2015).

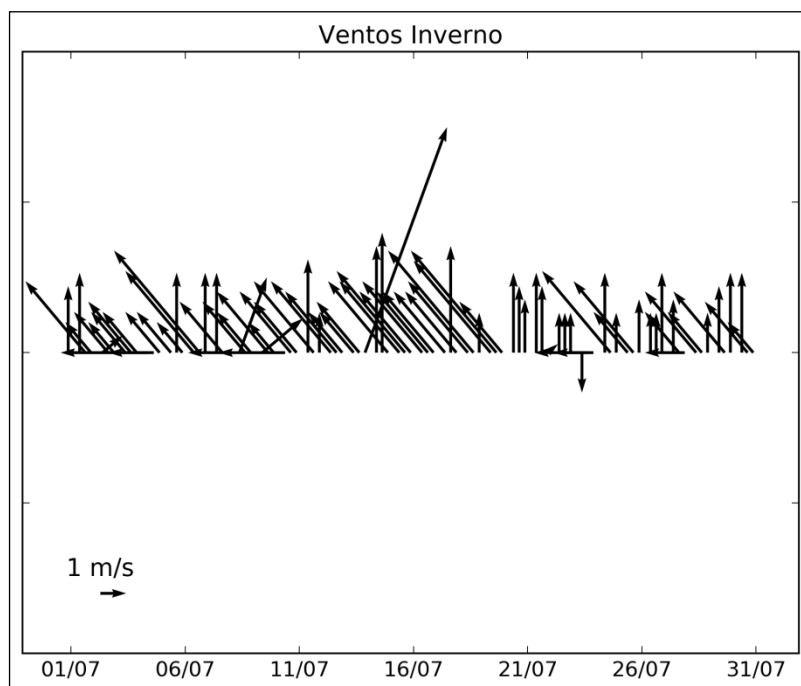


Figura 103. Série temporal de intensidade e direção do vento, proveniente da estação do INMET (**Figura 98**), para o período de simulação numérica de inverno (01/07/2015 a 31/07/2015). (Fonte. BELOV, 2015).

Como forçantes oceanográficas para o contorno lateral foram utilizados os dados do modelo global de maré TPXO 7.2 (<http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html>) e dados de onda do modelo global WaveWatch III. A forçante de maré foi inserida no modelo através imposição da amplitude e fase das principais constituintes de maré (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, MF, MM, M4, MS4 e MN4). O TPXO 7.2 computa a maré através de equações laplacianas e dados de satélite provenientes do TOPEX/Poseidon e Jason. As informações extraídas para as condições de contorno de ondas foram: altura significativa, período de pico e direção. As condições de contorno de onda utilizadas na presente modelagem são constantes no tempo e espaço. Para o verão (inverno) uma altura significativa de 0,9 (1,9) m, período de 5,5 (8) s e direção de onda de 90° (125°) foram utilizadas nos contornos do domínio (**Figura 101**). As informações foram retiradas do modelo global e otimizadas com dados da literatura (Neves et al. 2010).

5.1.6.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados obtidos através dos dados históricos disponibilizados pelo SMC-Brasil, pela coleta realizada com o ADCP fundeado logo após a desembocadura do estuário e dos dados gerados pelo modelo numérico na região de estudo.

Dados Históricos

Os dados apresentados nessa seção compreendem um conjunto histórico de 60 anos de informações de onda e nível do mar, validados com dados de satélite e marégrafos (SMC-Brasil).

O histograma da maré astronômica na entrada do ERPN (**Figura 104**) apresenta uma distribuição bimodal devido a preamar e baixamar e uma amplitude máxima de 2,5m. A maré na região é caracterizada como semi-diurna, com número de forma $[F = (K1+O1) / (M2+S2)]$ igual a 0,09, utilizando as constituintes de maré fornecidas pela Fundação de Estudos do Mar (FEMAR, 2016) (**Tabela 41**). É possível observar que a maré meteorológica (**Figura 105**) é praticamente nula ao longo de toda a série temporal, o que evidencia a pouca influência de frentes frias e fenômenos meteorológicos extremos na região. No ERPN a maré meteorológica apresenta uma distribuição normal. As características aqui apresentadas demonstram que o ERPN é bem protegido e possui variações do nível do mar que favorecem o fluxo de navios e atividade portuária.

As características das ondulações que atingem o ERPN são apresentadas nas **Figuras 106, 107 e 108**. Os parâmetros de onda (**Figura 106**) no ponto localizado na entrada do canal principal (**Figura 100**) são caracterizados por ondulações de, aproximadamente, 1m com períodos de 6 a 8s (**Figura 106, 110**) do quadrante leste (**Figura 107, 109**). Alturas significativas com menores frequências de ocorrência, porém de grande importância na região, são em torno de 1,5m. Tais alturas agregadas a períodos maiores, entre 10 e 14s, afetam a navegação no entorno do estuário e amplificam a maré meteorológica. As **Figuras 109, 110** de Função de Probabilidade de Densidade (PDF) corroboram as características supracitadas. O histograma de altura significativa apresenta

uma distribuição normal, enquanto que os histogramas de direção e período possuem uma distribuição gaussiana assimétrica.

Tabela 42. Principais constituintes de maré para o Porto de Cabedelo disponibilizadas pela FEMAR. A série utilizada para o cálculo compreende o período de 18/01/1981 a 18/01/1982.

Constituinte	Amplitude	Fase
	(m)	(graus)
Estação: Porto de Cabedelo		
M_2	0.80	123
S_2	0.28	142
O_1	0.05	161

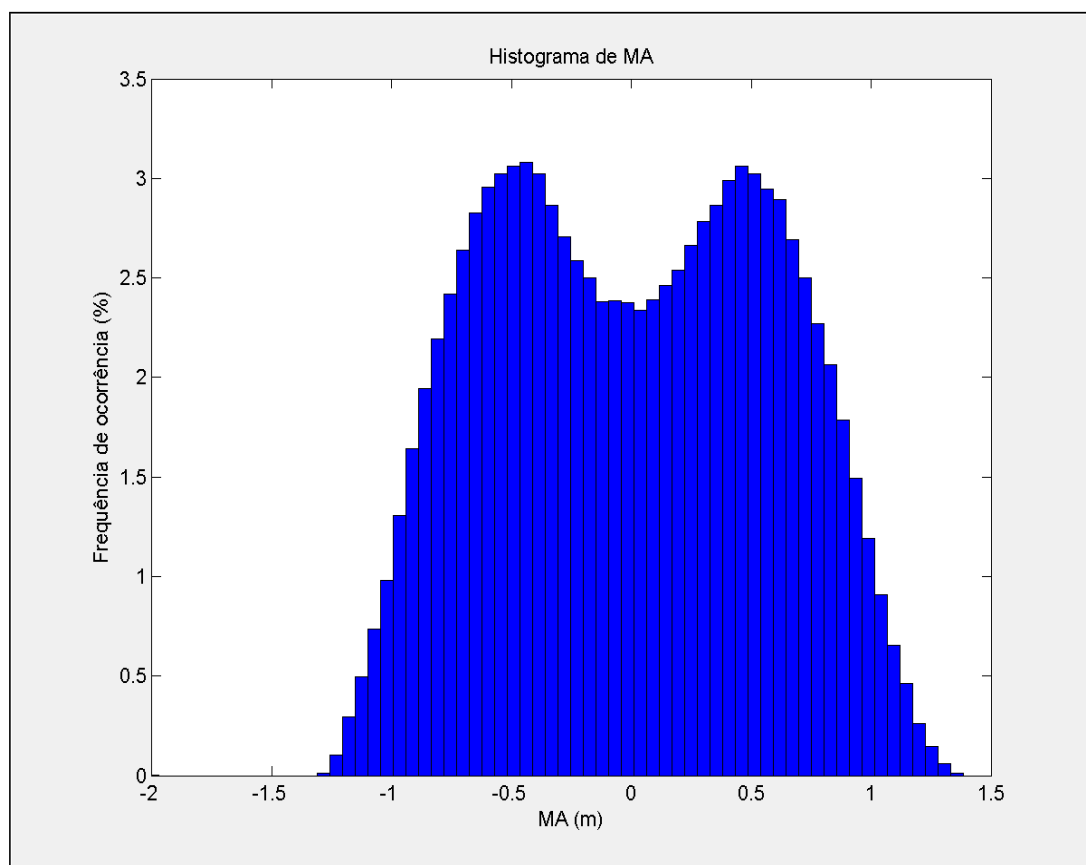


Figura 104. Histograma da maré astronômica no ponto apresentado na **Figura 100**. (Fonte: BELOV, 2015).

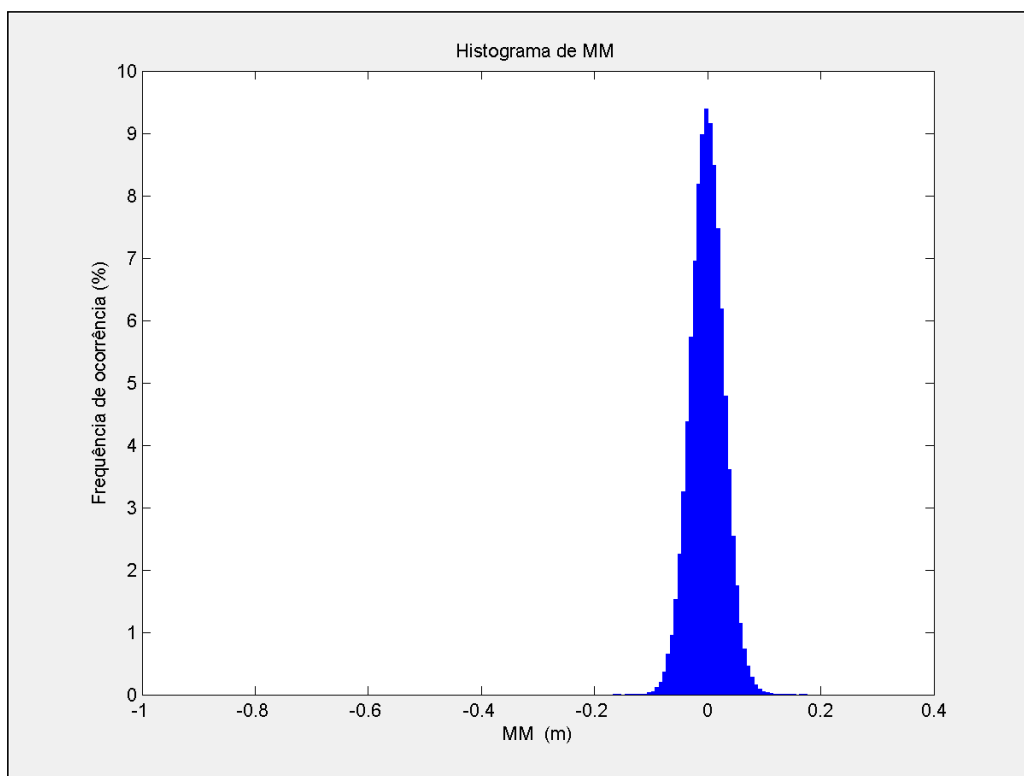


Figura 105. Histograma da maré meteorológica no ponto apresentado na **Figura 100**.
(Fonte. BELOV, 2015).

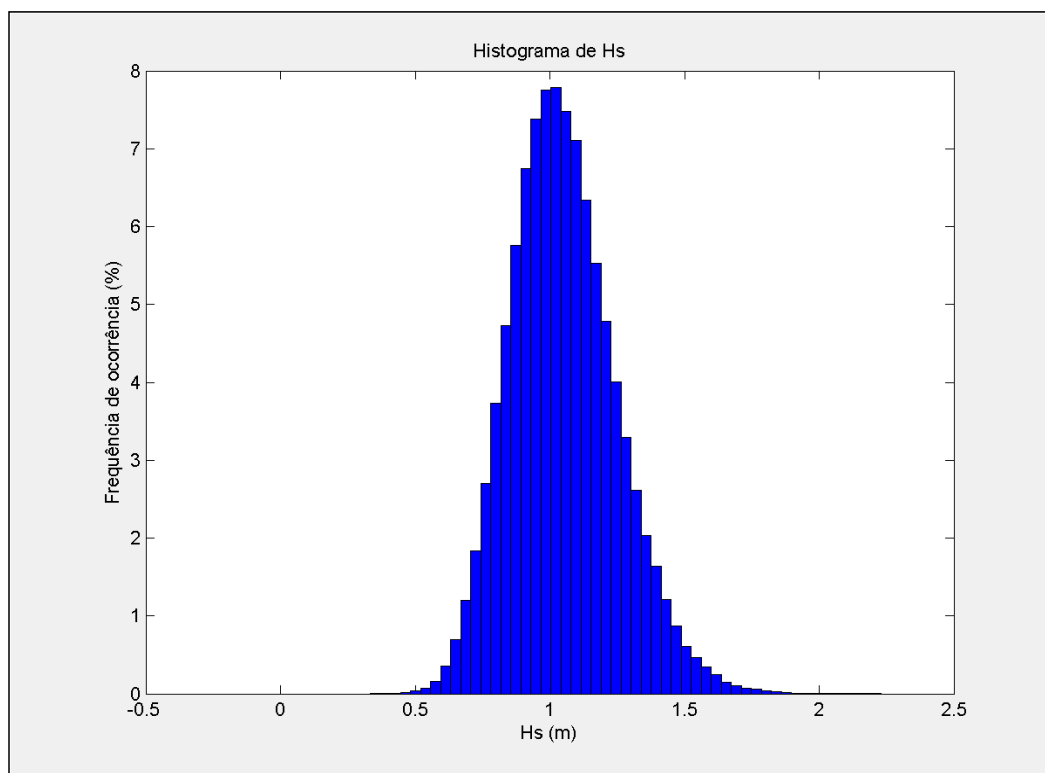


Figura 106. Histograma da altura significativa da onda (Hs) no ponto apresentado na **Figura 100**. (Fonte. BELOV, 2015).

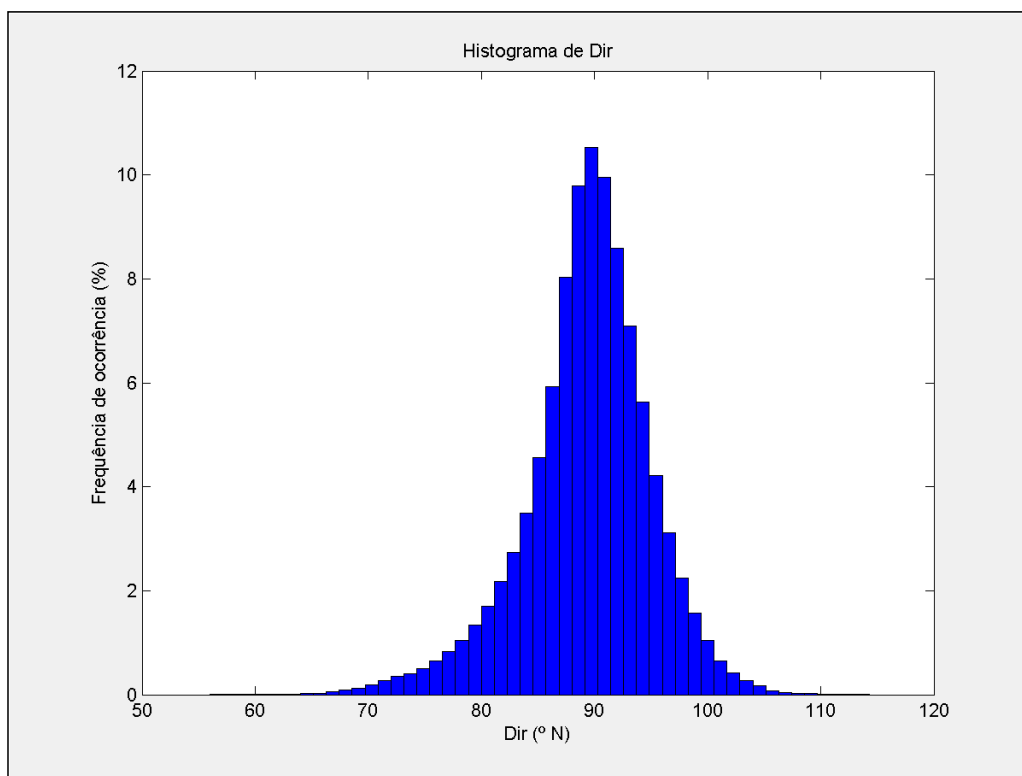


Figura 107. Histograma da direção da onda no ponto apresentado na **Figura 100**. (Fonte. BELOV, 2015).

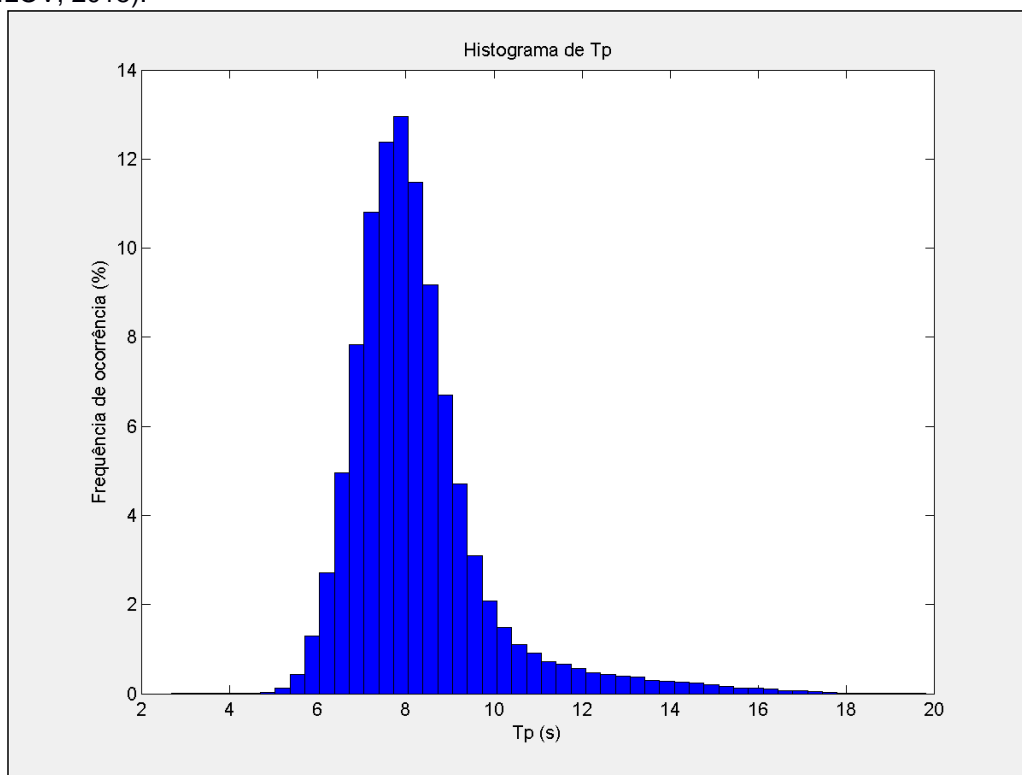


Figura 108. Histograma do período da onda (T_p) no ponto apresentado na **Figura 100**. (Fonte. BELOV, 2015).

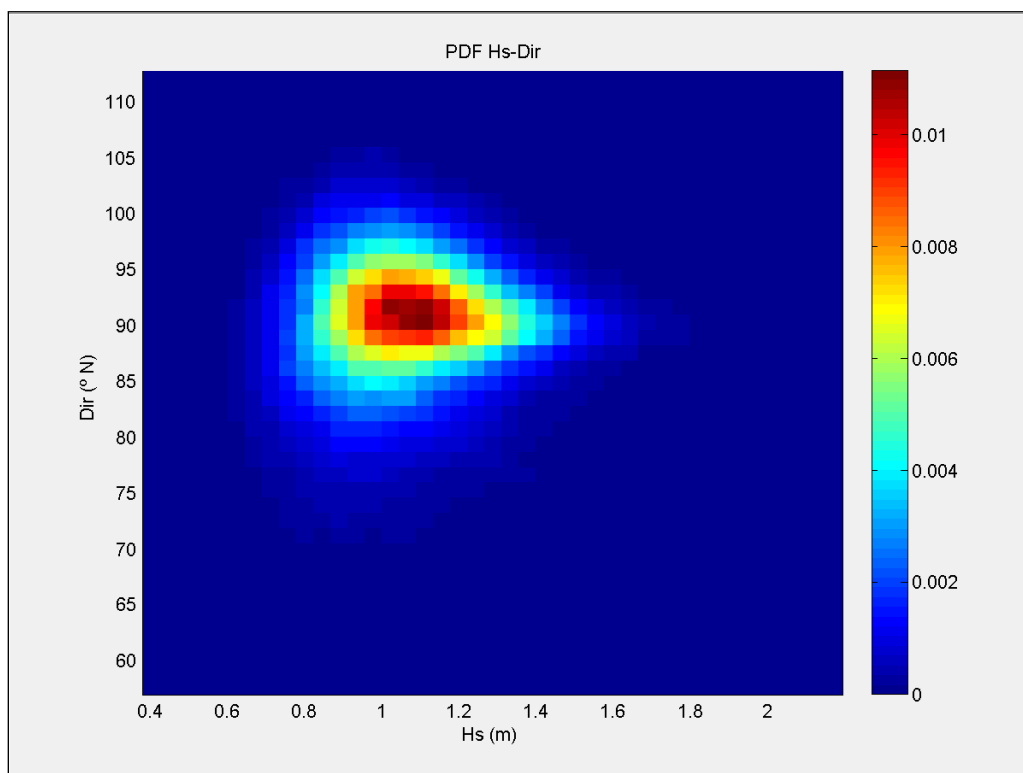


Figura 109. Função de probabilidade de densidade (PDF) de altura significativa e direção de onda para o ponto apresentado na **Figura 100**. (Fonte. BELOV, 2015).

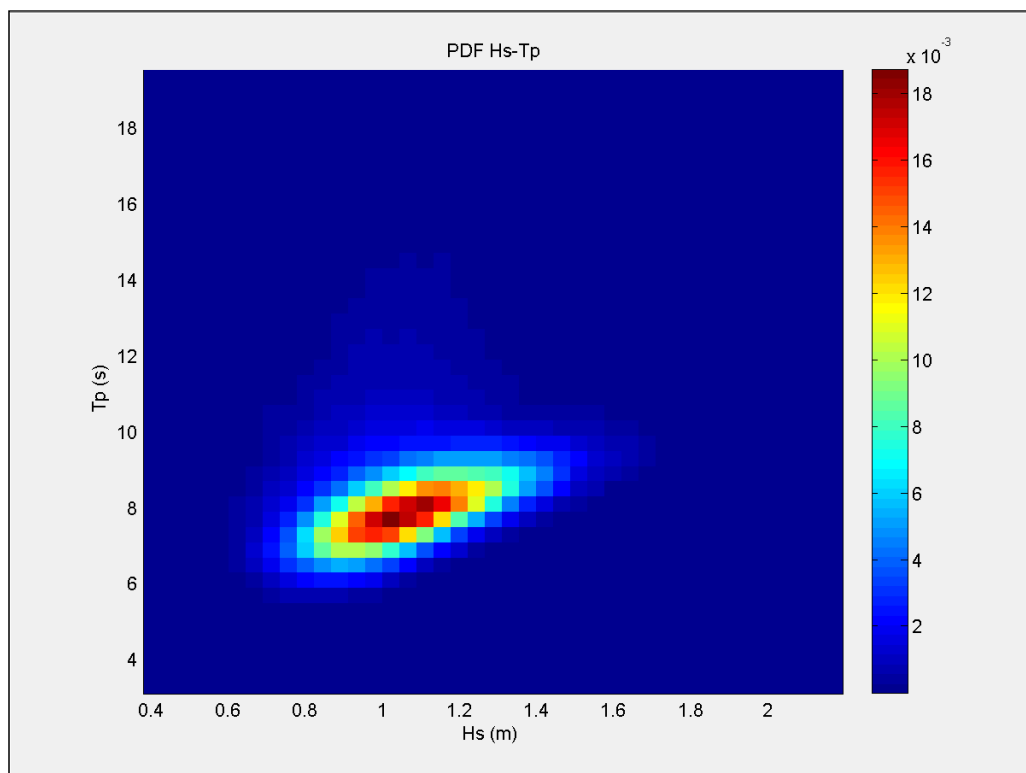


Figura 110. Função de probabilidade de densidade (PDF) de altura significativa e período de onda para o ponto apresentado na **Figura 100**. (Fonte. BELOV, 2015).

5.1.6.4 DIAGNÓSTICO DA PROGRADAÇÃO E EROSÃO COSTEIRA

Em conformidade com a metodologia apresentada no item 5.1.1.5.3, relativa ao estudo de tendência a erosão ou progradação da linha de costa do litoral paraibano realizado pelo Ministério do Meio Ambiente, e com ênfase no trecho de praia onde estão previstas a instalação e operação do estaleiro, estão apresentados na **Figura 111** os resultados de forma visual.

Os trechos de linha de costa com praias arenosas foram enquadrados em quatro categorias (Neves 2003):

- Linha de Costa em Erosão: Inclui todos os trechos caracterizados por evidências notáveis de recuo continuado da linha de costa, tais como vegetação com raízes expostas, coqueiros caídos, falésias, propriedades ameaçadas etc. Estas evidências de campo foram depois confrontadas e confirmadas por meio do exame de fotografias aéreas verticais, imagens de satélite e entrevistas com moradores.
- Linha de Costa em Equilíbrio: Nesta categoria foram incluídos os trechos que se encontram em equilíbrio dinâmico, ou seja aqueles em que a linha de costa não sofre grandes alterações existindo, entretanto, uma variação sazonal de erosão e reconstrução do prisma praial, observadas em visitas não sistemáticas ao longo dos trabalhos.
- Linha de Costa em Progradação: Os trechos em progradação foram identificados como aqueles onde se verificou acumulação significativa de sedimentos, possibilitando a recomposição da vegetação e apresentando larga faixa de praia.
- Linha de Costa Estabilizada por Obras de Engenharia: Inclui os trechos onde se verificou a presença de revestimentos, muros de proteção e molhes, construídos para proteção de propriedades ameaçadas pela erosão.

Conforme demonstrado na **Figura 111**, na região do empreendimento só foram identificados dois tipos de comportamento da linha de costa, segundo o enquadramento apresentado acima.

O primeiro se refere a um trecho de praia em franca erosão costeira (**Figura 111 – Linha Vermelha**), correspondente a Praia de Costinha, que tem seu início marcado próximo a gamboa onde foi criada a EAM-10.SO.AG (**Figura 13**) e seu término no limite entre as praias de Costinha e Fagundes, compreendendo uma extensão de aproximadamente 1,5km. Neste contexto está inserido a ADA do empreendimento em foco.

No segundo trecho, correspondente a Praia de Fagundes (**Figura 111 – Linha Azul**), observa-se, no entanto, um comportamento progradante da linha de costa.

Num contexto mais regional, o estudo relata que os trabalhos de campo e a caracterização da linha de costa paraibana possibilitaram a identificação dos trechos mais críticos sob o ponto de vista da erosão costeira, dos trechos que se encontram em equilíbrio, daqueles estabilizados por obras de engenharia e os que se encontram em progradação. Deste modo, do total de 140km de praias, cerca de 42% experimentam recuo da linha de costa, 33% experimentam progradação, 21% encontram-se em equilíbrio e 4% estão estabilizados por obras de engenharia.

Os autores do estudo supracitado concluem que os valores encontrados são sem dúvida alarmantes e indicam que quase 50% da linha de costa do Estado da Paraíba encontram-se ameaçados pelo fenômeno da erosão costeira, o que parece ser em grande parte decorrente do fato da costa da Paraíba se encontrar em uma região caracterizada por um déficit de sedimentos e, portanto, uma tendência de longo prazo para erosão costeira.

Partindo deste princípio, pode-se concluir que a instalação do empreendimento no local pretendido, caracterizado por estar sofrendo atualmente um processo de erosão natural, decorrente da hidrodinâmica atuante na região estuarina, poderia constituir um impacto ambiental positivo, se considerada a estabilização dos processos erosivos pelas obras de engenharia associadas, garantida pelo barramento de sedimentos carregados e/ou estruturas de contenção de ondas e correntes.

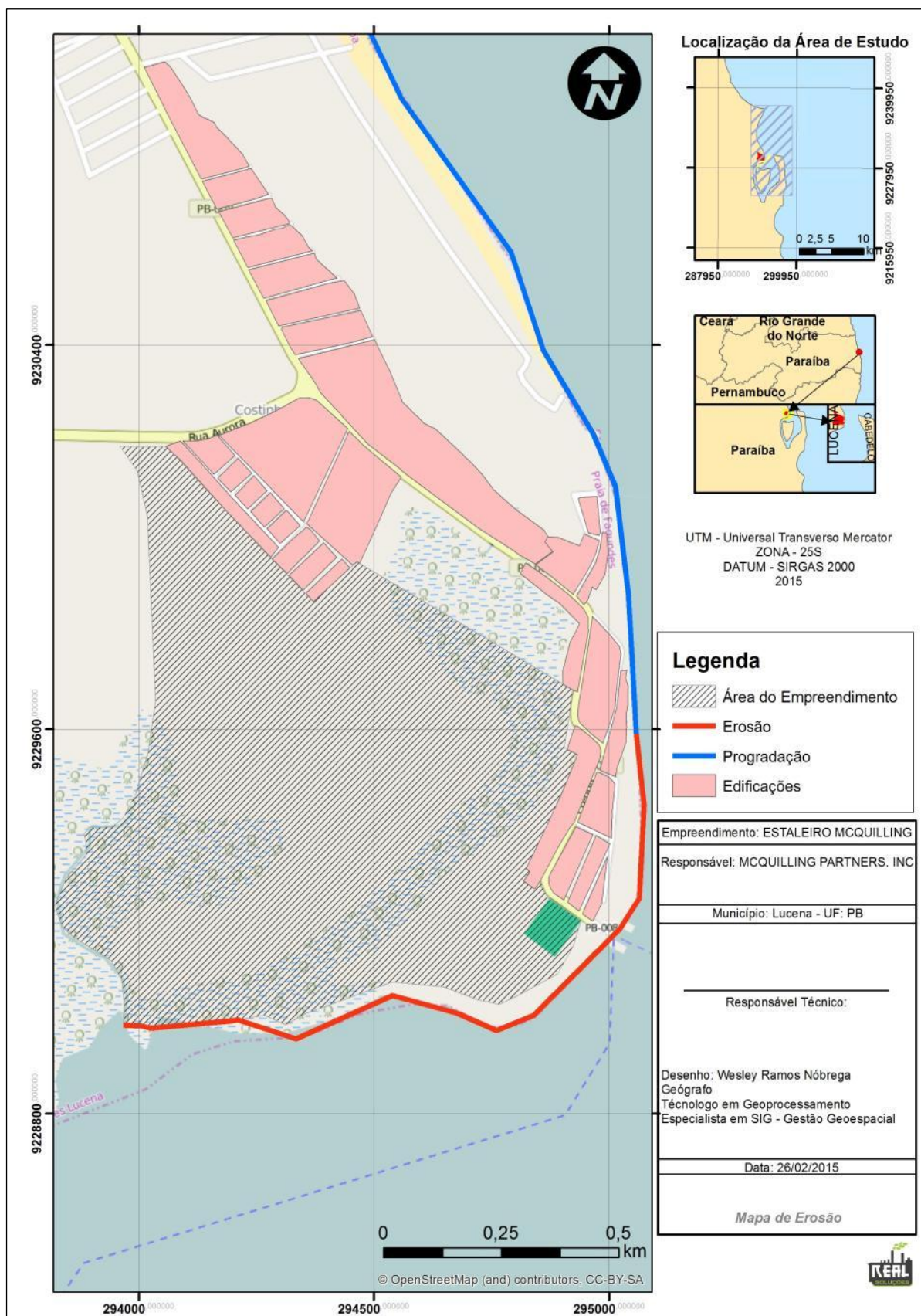


Figura 111. Tendências do comportamento da linha de costa em torno da área do empreendimento. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

5.1.6.5 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA GEOMORFOLOGIA DA LINHA DE COSTA

5.1.6.5.1 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS E LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO

O movimento de sedimento ao longo da costa conduzido pela ação das ondas é chamado de deriva litorânea. Esse movimento depende da obliquidade de incidência das ondas, ou seja, o ângulo formado entre a crista das ondas durante a arrebentação e a linha de praia (Muehe, 2003). A deriva litorânea ocorre de dois modos: a onda dirige o movimento da areia ao longo da praia exposta, e a corrente de deriva movimenta a areia na zona de surfe somente costa afora (Garrison, 2010). Além da deriva litorânea, o espraçamento na face praial é um dos principais mecanismos de transporte de sedimentos entre as zonas subaérea e subaquática da praia. Então, esse é um fator relevante nas mudanças ocorrentes na linha de costa, ou seja, erosão e deposição (MASSELINK & HUGHES, 1998).

De acordo com os resultados da climatologia de ondas, bem como da modelagem de ondas para o ERPN, a direção principal de incidências de ondas é do quadrante leste. Além disso, os ventos alísios de SE predominam na região e também contribuem para o sentido preferencial de S-N da deriva litorânea. A combinação da ação dos ventos, ondas e correntes, exerce um papel fundamental na configuração da linha de costa dos municípios de Lucena e Cabedelo. As correntes residuais exibem o domínio da maré na região, conforme apresentado anteriormente no item referente às ondas, correntes e marés. Na desembocadura do estuário as correntes residuais são de vazante nas margens do canal, enquanto que correntes residuais de enchente são predominantes no centro do canal, em concordância com o modelo conceitual de Li e O'Donnell (2005).

Na zona abrigada, dentro do ERPN, sete tributários do Rio Paraíba - Sanhauá, Paroeira, Mandacaru, Tiriri, Ribeira e Guia são responsáveis por aportar sedimentos costeiros que são depositados ao longo das praias (**Figura 112, 113, 114 e 115**). A bacia do rio Paraíba apresenta 93% da sua bacia composta por litologias duras (alto/médio Paraíba e rio Taperoá), rochas ígneas e/ou metamórficas e o restante composto por litologias friáveis, rochas sedimentares

ou sedimentos. Portanto, o valor da classe litológica de acordo com a classificação proposta por Syvitski e Milliman (2007) é de 0,5. O valor da descarga sedimentar que chega ao estuário do rio Paraíba é de $1,42 \times 10^9 \text{ kg.ano}^{-1}$, valor comparável a descarga sedimentar de estuários com bacias de drenagem inferiores a 4000 km^2 , como as baías de Paranaguá ($1,97 \times 10^9 \text{ kg.ano}^{-1}$) e Guanabara ($1,79 \times 10^9 \text{ kg.ano}^{-1}$), calculados com o mesmo modelo de descarga sedimentar por Santos et al. (2010). Santos e Lessa (2007) mapearam a área estuarina do rio Paraíba através de imagens de satélite do sensor Landsat 7 ETM+, encontraram uma área estuarina de 85 km^2 . Utilizando esse valor e um valor médio de 1500 kg.m^{-3} para a densidade de sedimento, o valor da taxa de sedimentação, dentro do estuário, encontrado foi de $11,2 \text{ mm.ano}^{-1}$. Esse valor serve como um valor teórico a ser comparado aos valores por medições *in situ* ao longo do estuário e por modelos de dispersão de sedimentos.

Ao longo do litoral de Cabedelo, espigões (**Figura 112**) foram construídos para evitar o processo de erosão decorrente do transporte costeiro de sedimento. Esse recurso normalmente acelera a erosão costeira a jusante da corrente e aumenta a deposição de sedimentos a montante da mesma. É possível observar através da **Figura 112A**, que o acúmulo de sedimentos ocorre no canto inferior da imagem e erosão no canto superior. Sendo assim, a corrente residual transporta os sedimentos em direção ao oceano, proveniente da descarga sedimentar supracitada. A **Figura 112B** apresenta duas estruturas rochosas construídas para evitar a erosão à jusante da corrente. Os espigões da zona desabrigada (**Figura 113**), que sofrem a ação das ondas de forma direta, também apresentam a mesma feição da **Figura 112A**, o qual o acúmulo de sedimentos ocorre a montante da deriva litorânea, sendo assim em direção à margem superior da figura.

A **Figura 115** apresenta o setor litorâneo dentro da AID do empreendimento colonizado pela vegetação de mangue, portanto um ambiente sujeito a assoreamento, já que a vegetação estabiliza os sedimentos depositados. Durante a visita de campo, observou-se que os sedimentos dessa região afundavam mais rapidamente, em relação aos sedimentos das outras regiões. Esse fenômeno sugere que ainda existe certa quantidade de ar entre as partículas e que os sedimentos foram recém-depositados. Isto é observado

através da **Figura 114**, localizada na mesma área da **Figura 115**, na qual o processo de sedimentação é recente, já que o sedimento apresenta baixa compactação.



Figura 112. Espigões dentro do ERPN na AID do empreendimento. (A) Fotografia direcionada para dentro do estuário. (B) Fotografia direcionada para Ilha da Restinga. (Fonte. Real Consultoria, 2016).



Figura 113. Espigões em praia da zona desabrigada na AID do empreendimento. Fotografia direcionada para fora do estuário. (Fonte. Real Consultoria, 2016).



Figura 114. Sedimentação recente na AID do empreendimento. (Fonte. Real Consultoria, 2016).



Figura 115. Praia com a presença da vegetação de mangue dentro do ERPN. (A e B) Fotografias direcionadas para dentro do estuário. (Fonte. Real Consultoria, 2016).

5.1.6.5.2 IMAGENS DE SATÉLITE

O mapeamento da linha de costa e as suas respectivas imagens para todas as datas utilizadas nesse estudo estão apresentadas na **Figura 118**.

A sobreposição das linhas de costa entre 1973 e 2016 é apresentada na **Figura 116**. Observa-se um padrão erosivo na margem oeste da

desembocadura do ERP, enquanto existe um padrão de acreção na margem leste, junto ao molhe existente nesta região. Na Ilha da Restinga nota-se que um esporão de areia que ligava a ilha a uma porção de terra mais ao norte também foi erodido.

Devido à diferença de resolução espacial entre a imagem do ano de 1973 e 2016, além de possíveis erros derivados do georreferenciamento para ajustá-la às demais cenas, o estudo comparativo entre a linha de costa pretérita e atual será apresentado para o período entre 1985-2016, compreendendo um intervalo de 31 anos.

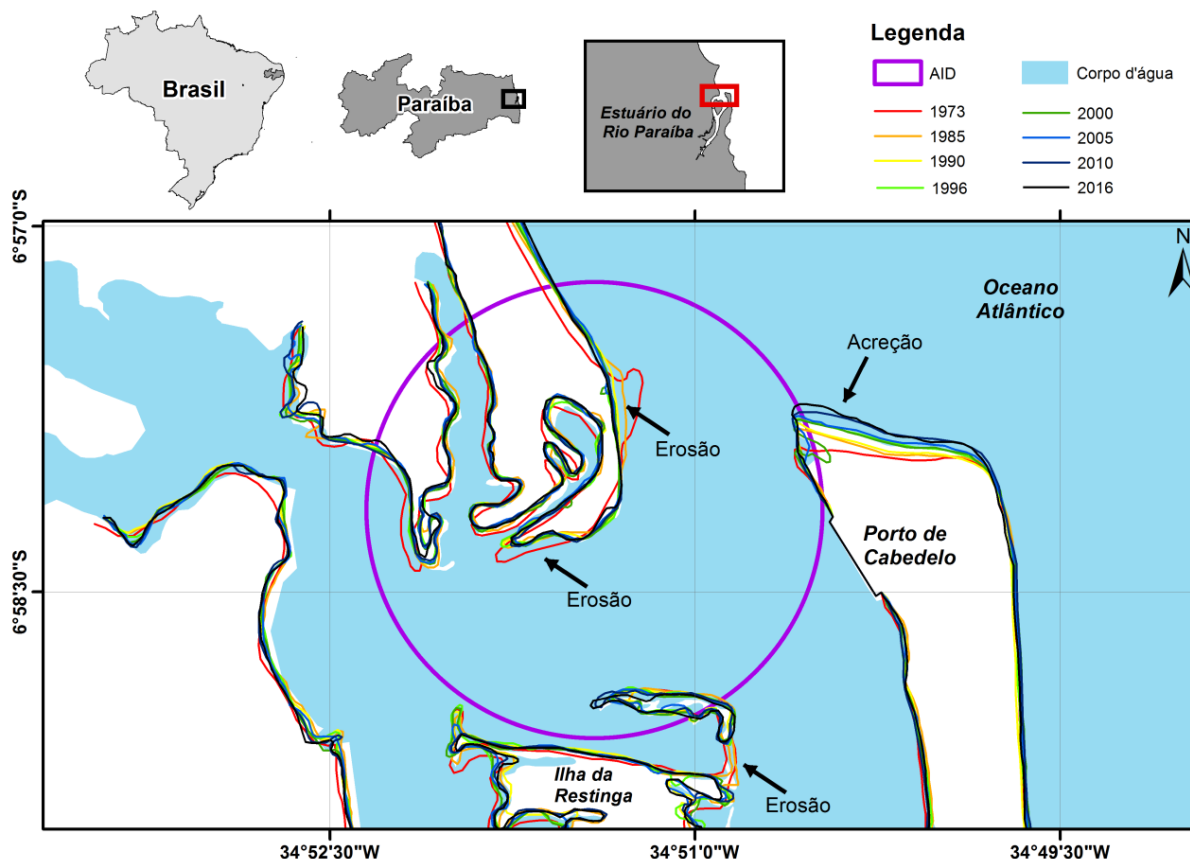


Figura 116. Linha de costa das imagens Landsat para os seguintes anos: 1973, 1985, 1990, 1996, 2000, 2005, 2010 e 2016. (Fonte. BELOV, 2016).

A **Figura 117** apresenta as áreas de erosão e acreção no período entre 1985 e 2016. A área total de acreção no período foi de 58 hectares, enquanto a área de erosão foi de 68 hectares. As áreas de acreção concentram-se principalmente na faixa litorânea e áreas adjacentes ao Porto de Cabedelo, e a faixa mais extensa de acreção encontra-se ao norte do Porto, junto ao molhe

construído na foz do estuário, com extensão máxima de 215m. As áreas de erosão são mais extensas no interior do estuário do rio Paraíba, estando a maior parte ocupada por ambientes de mangue e apicum, até o presente. A faixa de erosão mais extensa encontra-se na foz do estuário, na sua margem oeste, com extensão máxima de 130m.

Guedes (2002) estudou a mudança na morfologia da linha de costa no estuário do rio Paraíba a partir de cartas topográficas da SUDENE (1969) e imagens SPOT (1999) e Landsat 7 (2001). O autor também detectou áreas de acreção e erosão nas margens da desembocadura do estuário, com área de acreção de até 300 metros junto ao molhe e áreas de erosão na margem oposta, na praia de Costinha, município de Lucena. Guedes (2002) relata que o provável motivo das mudanças na linha de costa da foz do estuário está relacionado à construção do Porto de Cabedelo e posterior construção do molhe, de 1200 m de extensão, perpendicular à deriva litorânea. A obra de engenharia alterou a morfodinâmica local, concentrando sedimentos junto ao molhe e impedindo que estes sedimentos alimentassem a outra margem, causando erosão na praia de Costinha.

Outros processos que atuam na evolução morfodinâmica do estuário do rio Paraíba são controlados por ondas, ventos, marés, correntes marítimas e geologia local (Ulbricht e Heckendorff, 1998), esses processos devem ser estudados a longo prazo e em conjunto para a identificação das principais causas de erosão e acreção na área de estudo.

Com base em todas estas informações apresentadas, pode-se concluir que o estudo da morfologia da linha de costa baseada na série de imagens Landsat permitiu identificar áreas de acreção e erosão na entrada do estuário do rio Paraíba e corroboram com a literatura existente. A construção do molhe na margem leste da entrada do estuário causou o acúmulo de uma faixa de sedimentos com 215 metros de extensão junto ao mesmo, e ao mesmo tempo impediu que estes sedimentos chegassem à margem oposta através da deriva litorânea, causando erosão de uma faixa de 130 metros de extensão na praia de Costinha, município de Lucena. Outras áreas de acreção e erosão também foram identificadas, porém com menor magnitude. A deriva litorânea de S-N, as ondas e

correntes residuais são os principais processos de transporte de sedimento dentro do ERPN.

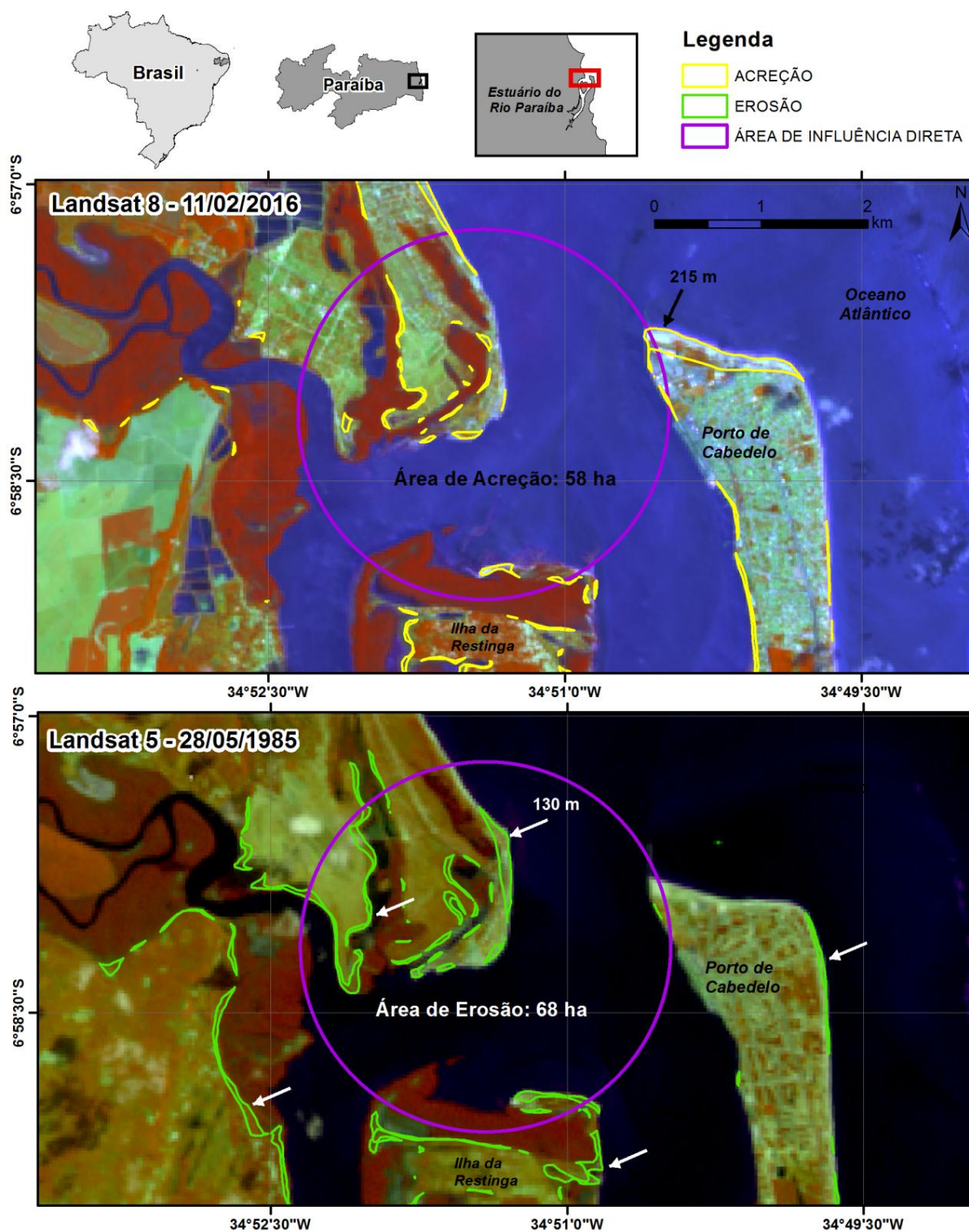


Figura 117. Mapa de localização das áreas de acreção e erosão no entorno da área de influência direta do empreendimento, período entre 1985 e 2016, representadas por imagens Landsat 8 e Landsat 5, respectivamente. (Fonte. BELOV, 2016).

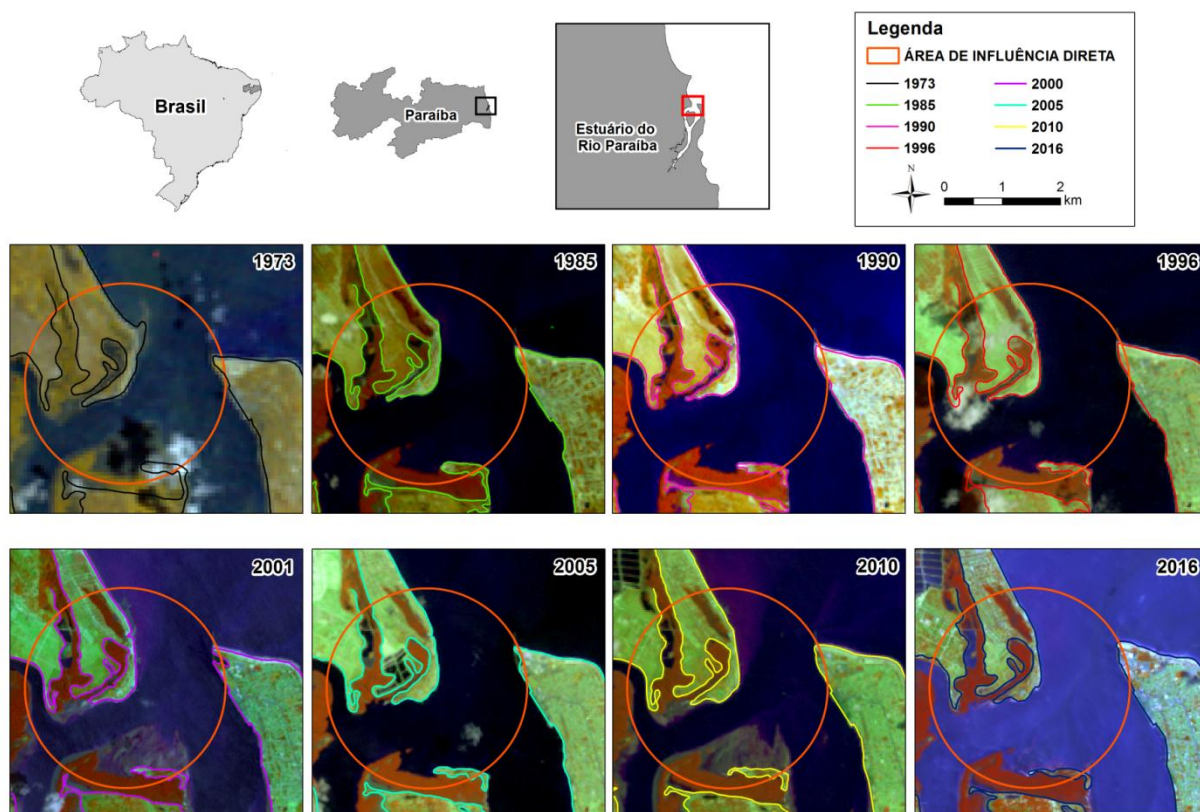


Figura 118. Imagens Landsat de 1973, 1985, 1990, 1996, 2001, 2005, 2010 e 2016, com a vetorização de suas respectivas linhas de costa. (Fonte. BELOV, 2016).

5.1.7 Assoreamento, Necessidade de Dragagem de Aprofundamento e Previsão de Dragagens de Manutenção

Como parte do processo de modernização e atendimento a logística dos transportes marítimos mundiais, associado ao interesse do Governo Estadual da Paraíba em movimentar o Porto de Cabedelo, surge a necessidade de ampliação do canal de acesso ao estuário do Rio Paraíba, para a viabilização de operação do Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá/EDPI.

Com posição geográfica tanto estratégica em relação aos principais portos internacionais (Europa e EUA), como também privilegiada em termos de condições de navegabilidade por mares de águas calmas, este plano converge para o engrandecimento do Estuário do Rio Paraíba, enquanto polo de desenvolvimento socioeconômico para toda a região do baixo paraíba.

Com a construção do Canal de acesso ao Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá, o próprio Porto de Cabedelo abre caminho para a expansão das suas atividades, possibilitando melhorias no atendimento a demanda existente, hoje

carente de maiores e melhores atividades no ramo do comércio naval, assim como no perfil social e econômico do Estado da Paraíba.

Neste caso, visando oferecer melhores condições de navegabilidade e atracação aos navios que irão aportar nas dependências do EDPI, e da região portuária como um todo, este tópico visa reunir as informações básicas relativas ao Projeto de Dragagem do canal de acesso.

É válido salientar que as informações aqui apresentadas não constituem o Projeto de Dragagem, propriamente dito, devendo este ser apresentado em processo à parte do presente estudo. Consta aqui, portanto, as informações preliminares e básicas do projeto de ampliação e manutenção do canal, como por exemplo, a profundidade, a largura, a localização, volumes estimados para as dragagens de instalação e manutenção, periodicidade das ações e etc, visando à adequação das condições de acessibilidade ao EDPI.

As estimativas foram realizadas com base nos estudos geológicos e oceanográficos apresentados nos tópicos anteriores, aliadas ao levantamento de dados bibliográficos complementares, e tiveram como produtos a obtenção de modelos preditivos, valores numéricos, mapas e textos descritivos, os quais estão apresentados a seguir.

5.1.7.1 DRAGAGEM DE IMPLANTAÇÃO

O acesso marítimo ao Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá/EDPI deverá ser feito através da criação de um canal na região estuarina do baixo curso do Rio Paraíba, com cerca de 1,5km de extensão. Este canal interligará a bacia de evolução deste EDPI (**Figura 119**), ao canal de acesso ao Porto de Cabedelo, cujo terminal dista cerca de 2km da área do empreendimento. Analisando a profundidade identificada no levantamento batimétrico da ADA do empreendimento, e ao porte dos navios que deverão trafegar ao longo deste canal durante a operação do estaleiro, observou-se a necessidade de aprofundamento do substrato fluvio-marinho ao longo do local previsto para entrada e manobra das embarcações. A realização desta referida atividade, aqui denominada de Dragagem de Implantação, demanda uma série de estudos complementares, os quais deverão ser apresentados em processo à parte,

cabendo aqui serem feitas algumas considerações no tocante aos aspectos gerais do projeto, o qual deverá balizar o rumo das pesquisas futuras.

5.1.7.1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA A SER DRAGADA

A bacia de evolução e o canal de acesso ocupam, juntos, uma área de aproximadamente 85,4ha, com uma largura aproximada de 200m, imediatamente a norte da Ilha da Restinga (**Figura 119**).

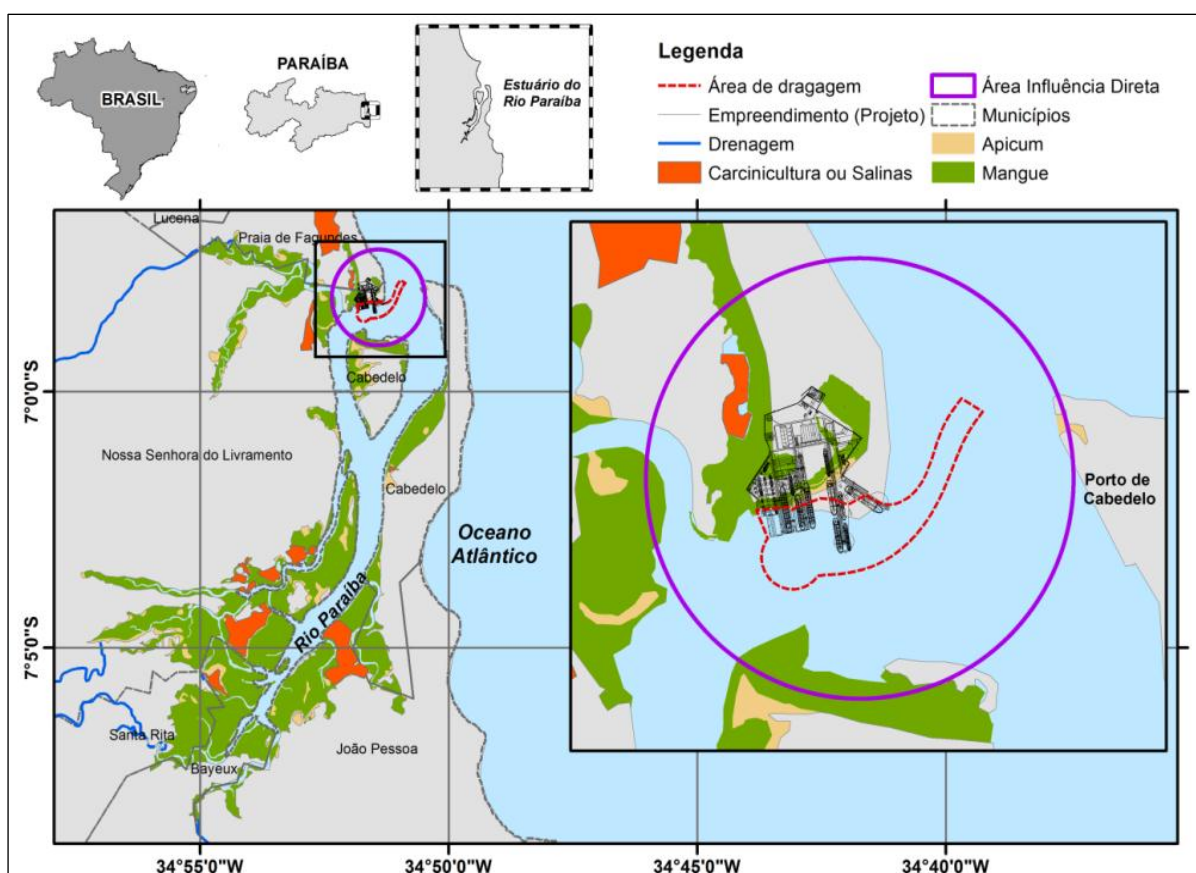


Figura 119. Mapa de localização da área de dragagem dentro do estuário do Rio Paraíba e área de influência direta do empreendimento. (Fonte: BELOV, 2016).

5.1.7.1.2 VOLUME ESTIMADO DE MATERIAL A SER DRAGADO

Para a realização da estimativa do volume necessário de dragagem é preciso primeiro conhecer as dimensões das embarcações que deverão fazer uso dos serviços oferecidos pelo estaleiro, e em contrapartida, levantar as

características atuais da superfície estuarina (profundidade e natureza sedimentológica do material a ser dragado).

De posse destas informações é possível prever quais as adequações deverão ser necessárias para que o canal consiga comportar o tráfego marítimo previsto.

Para tanto, foi selecionado um “navio-tipo” (padrão) para a base de cálculos. A embarcação escolhida foi o Navio Porta-Contêiner (**Figura 120**).



Figura 120. Navio Maersk Eindhoven. (Fonte. McQuilling Partners, Inc.).

As características (porte, LOA, boca e calado) do “Navio Tipo” encontram-se na **Tabela 43**. O Coeficiente do bloco (C_b) foi obtido com base em navios de porte similar.

Tabela 43. Principais dimensões do “Navio Tipo”.

Navio Post: Marek Eindhoven	Cumprimento		Boca (m)	Calado Vazio (m)	C_b^*
	LOA (m)	Lpp (m)			
Cargueiro	366	278	50	7	1,15

De acordo com a metodologia PIANC/IAPH de análise do valor determinante da profundidade requerida pelo navio padrão (**Tabela 43**), deve ser determinada a partir da adição do calado deste navio, das suas parcelas

características, acompanhado da representativa influência dos movimentos verticais das embarcações, bem como do efeito “squat” e da natureza do fundo com suas tolerâncias.

Cabe destacar que o calado do navio modelo (**Tabela 43**) deve ser considerado com a embarcação vazia, por se tratar de um Estaleiro para manutenção e reparos, não devendo os navios transportarem cargas em seu interior quando buscarem pelos serviços do Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá/EDPI.

5.1.7.1.2.1 MOVIMENTOS VERTICAIS

Quando se considera o fator das águas rasas, os navios acabam provocando uma superfície de abatimento, ao longo de seu perfil, capaz de acarretar um aumento em sua imersão, denominada “squat”, que sob a ação das ondas, pode-se deslocar também no plano vertical.

Neste caso, a tolerância sob a quilha (TSQ) transforma-se num fator crítico para a navegação uma vez que a sua determinação imprecisa, para navios de grande calado principalmente, entrando ou saindo dos canais com profundidade limitada, pode gerar várias consequências, tanto econômicas quanto ambientais.

A tolerância sob a quilha tem dois componentes principais, e a diferença entre eles, é igual ao nível d’ água total mínimo (NAT_{min}) no local, menos no calado dinâmico máximo (CD_{max}) do navio. Sendo o calado dinâmico a distância da superfície da água medido até o ponto mais baixo do navio, ou a sua quilha/hélice, quando em movimento. Cada um destes componentes tem vários elementos (**Figura 121**).

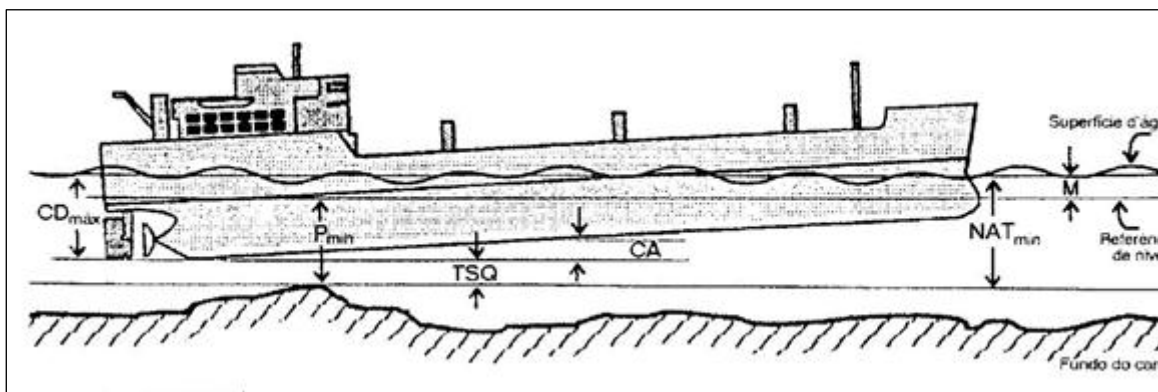


Figura 121. Elementos da tolerância sob a quilha. Fonte: Parker e Huff (1998).

$TSQ = \text{Nível d'água total mínimo (NAT}_{\min}) - \text{Calado dinâmico máximo (Cdmáx)}$

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

Onde:

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

5.1.7.1.2.2 FOLGA SOB A QUILHA DEVIDO À NATUREZA DO SOLO

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

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

5.1.7.1.2.3 RELAÇÃO VELOCIDADE/CALADO

A resistência hidrodinâmica ao movimento de um navio em águas rasas é regida pelo Número Froude de Profundidade “Fr”, que é de modo geral a razão não dimensional entre velocidade e profundidade. Ele é definido como:

$$Fr = V / (\sqrt{gh})$$

Onde:

“V” é a velocidade através da água em metros/segundo

“H” é a profundidade de águas tranquilas em metros

“g” é a aceleração da gravidade (cerca de 9,81m/s²)

Quando Fr se aproxima ou se iguala à unidade, a resistência ao movimento atinge valores muito altos, que navios de maior deslocamento não têm potência suficiente para superar. De fato, é improvável que tais navios sejam capazes de superar valores de Fr de 0,6 ou 0,7, os quais constituem verdadeiras barreiras à velocidade.

$$Fr = V / (\sqrt{gh})$$

$$Fr = 7 (\sqrt{9,81.8})$$

$$Fr = 0.32$$

5.1.7.1.2.4 SQUAT

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

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

Apesar de existirem inúmeras formulações teóricas e empíricas sobre a determinação do *Squat*, utilizaremos a recomendada por PIANC/IAPH; Fórmula de *Squat*.

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

Onde:

Δ : Volume de deslocamento (m³): $C_b \times L_{pp} \times B \times T$

C_b : Coeficiente de Bloco: $V / LOA \cdot B \cdot t$

L_{pp} : Comprimento da embarcação entre perpendiculares

B : Boca

T : Calado mínimo

Substituindo:

Δ : 111.895m³

C_b : 1,15 (valor considerado extremo)

L_{pp} : 278m

B : 50m

T : 7m

Formula (aplicação):

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

$$(2,4 \times 111.895 \times (0.32)^2) / (278^2 \times (1 - 0.32^2)^{(1/2)}) = 0.1575$$

5.1.7.1.2.5 PROFUNDIDADE MÍNIMA DO CANAL DE ACESSO

De acordo com PIANC o cálculo da profundidade do canal é obtido a partir da equação:

$$P = B_m + T + Squat + \text{Efeito Onda} + \text{Folga Quilha}$$

Onde:

P = Profundidade

B_m (baixamar) = 0,0m

$Squat$ = 0,1576

Efeito Onda = Quando o comprimento do navio se apresentar menor que o comprimento da onda (L), deve-se utilizar a equação: Efeito Onda = (altura da onda (Hs))/2, não tendo esta relação a equação será considerada 0 (zero).

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

Com base nas premissas apresentadas chegou-se ao seguinte cálculo para a profundidade do canal de acesso:

$$P = Bm + T + Squat + \text{efeito Onda} + \text{Folga Quilha}$$

Substituindo os valores encontrados na equação, temos:

$$P = 0,0m + 7m + 0,15 + 0,0m + 0,5m \approx 7,65m$$

Neste caso, o canal a ser dragado, deverá atingir uma profundidade mínima de 7,65m acrescidos de mais 1,0m de margem recomendado pela Metodologia PIANC para tratamento de projetos em portos e canais de navegação em águas calmas.

5.1.7.1.2.6 BATIMETRIA DA ÁREA DE DRAGAGEM

O levantamento batimétrico utilizado como base foi realizado pela Companhia Docas de Cabedelo e pela BELOV, estando os dados do referido levantamento liberados pela autorização 402/13 do Centro de Hidrografia da Marinha.

Aquisição e processamento dos dados

Planejamento de campo

A partir da base cartográfica digital georreferenciada, fornecida pela Companhia Docas da Paraíba, foi realizado o primeiro passo: mensurar a área onde se realizaria os levantamentos e georreferenciar a base cartográfica para o Datum WGS 1984, projeção UTM. Em seguida essa base cartográfica foi inserida no Software HYPACK 2011, onde foram definidas as seções batimétricas e perfis sísmicos na área do Canal de Acesso ao Porto de Cabedelo.

Calibração e Posicionamento dos Dados

A calibração da ecossonda de feixe vertical foi realizada a cada início de operação, levando em consideração a velocidade do som de 1526,18 m/s para a região com base nos dados de temperatura e salinidade medidos com os CTD's (Conductivity-Temperature-Depth) modelo 3231 da AANDERAA e modelo 108 MkIII da VALE-PORT. O posicionamento foi realizado a partir de um receptor Trimble, modelo DSM-232 pelo método DGPS (Diferencial Global Positioning System), que possui receptores Beacon - Rádio Farol e OmniSTAR XP/HP. Os dados de coordenadas (GGA) foram coletados com projeção UTM, no datum horizontal WGS 1984.

Aquisição de dados de campo

Os dados para este trabalho foram adquiridos e cedidos pela Cia Docas de Cabedelo. Os trabalhos de campo foram executados em duas etapas: (1) a primeira consistiu da instalação do marégrafo digital e sua aferição na estação maregráfica instalada no cais do Porto de Cabedelo e (2) a segunda compreendeu a aquisição de dados hidroacústicos batimétricos e sísmicos ao longo do canal de acesso a Forte Velho (margem esquerda do rio Paraíba do Norte).

A área de estudo, situada na margem esquerda do estuário do Rio Paraíba do Norte, está representada na **Figura 122**. Nesta mesma figura também consta a localização da região portuária de Cabedelo/PB.

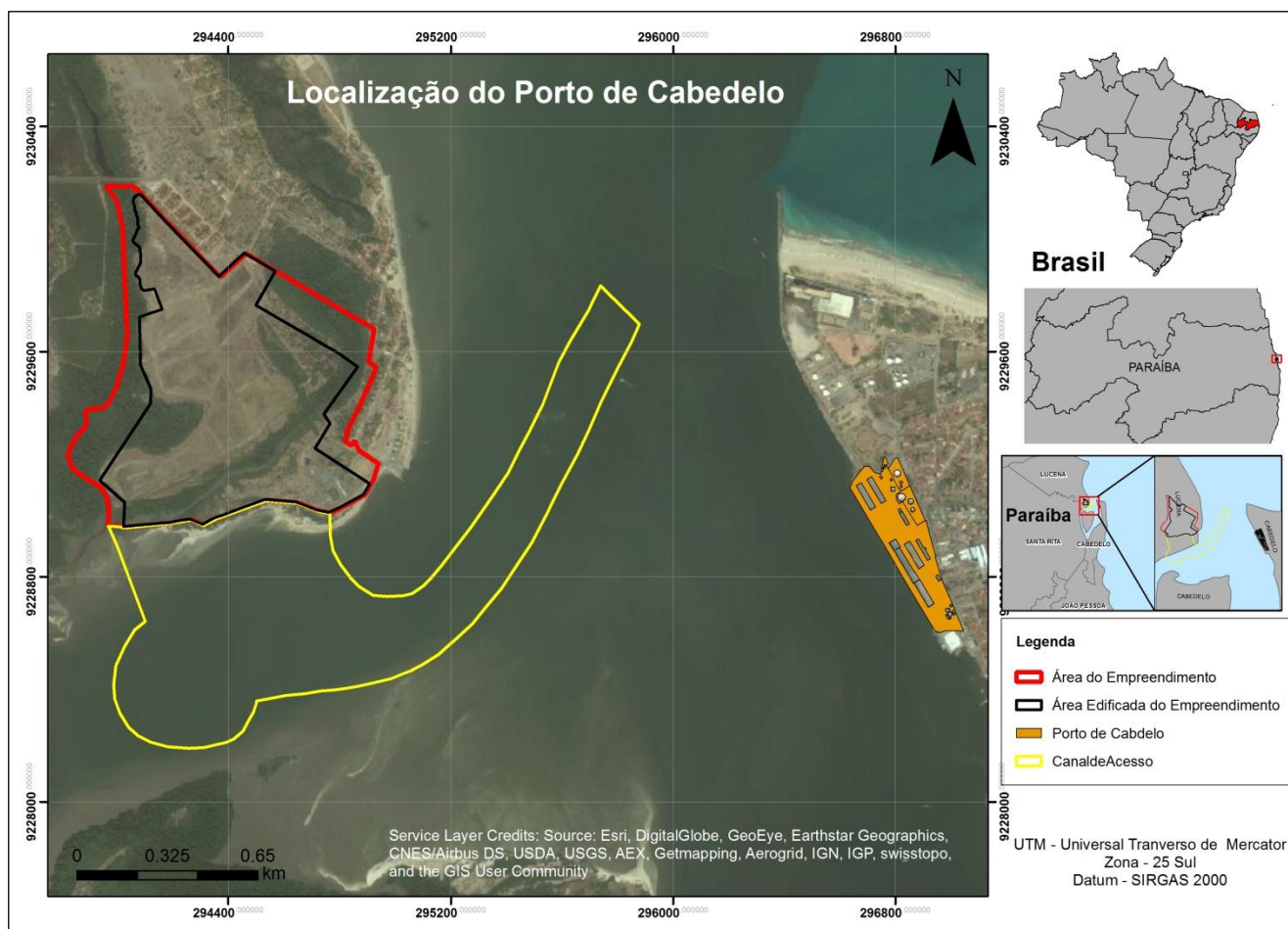


Figura 122. Base cartográfica da área a ser dragada. Fonte: Companhia Docas de Cabedelo/PB.

Instalação e Calibração da Estação Maregráfica

Para maior precisão na aquisição dos dados batimétricos, foram solicitadas ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) informações sobre o funcionamento da estação maregráfica localizada no Porto de Cabedelo, porém esta estação não estava mais em funcionamento. Foi então instalada uma estação maregráfica no Porto de Cabedelo, com as seguintes coordenadas geográficas $06^{\circ} 58'.1 \text{ S}$ e $34^{\circ} 50'.2 \text{ W}$, com duas referências de nível (RN-1 e RN-2). Neste nivelamento foi instalada uma régua de PVC com 4 metros de comprimento e múltiplos a cada 2 cm. O nível de redução calculado para esta estação foi de 11,4 cm acima do zero da régua, sendo este nível obtido a partir do nivelamento geométrico da estação maregráfica.

Em seguida, foi realizada a leitura da amplitude de maré a cada 15 minutos para a correção dos dados batimétricos (FRAZÃO, 2011).

Aquisição dos dados hidroacústicos batimétricos e sísmicos

Os levantamentos batimétrico e sísmico foram realizados ao longo do canal de acesso a Forte Velho, margem esquerda do rio Paraíba do Norte, com o intuito de tornar representativas as feições morfológicas do canal de acesso, bem como, de revelar o topo do embasamento rochoso. As coletas foram feitas com uma embarcação de 6 metros de comprimento e 0,20m de calado, o que permitiu sondagens em áreas bastante rasas e recobrimento de praticamente toda a área do canal. No levantamento batimétrico, foram realizados 185 perfis com uma equidistância de 25m transversais ao canal do rio (*linhas em azul na Figura 123*), seguindo a orientação prévia de cartas náuticas. Na aquisição foi utilizada uma ecossonda da Syqwest modelo Bathy-500 DF operando na frequência de 200 kHz, com resolução do feixe vertical de 0.01m, capaz de medir profundidades de até 300 m, com intervalo de gravação de 5s.



Figura 123. Mapa com levantamento do canal a ser dragado. Fonte: Companhia Docas de Cabedelo/PB.

O levantamento sísmico monocanal foi feito ao longo de 5 seções (perfis representativos em amarelo, sinalizados de “a” a “e” - **Figura 124**), com extensões respectivas de 960m, 1750m, 1400m, 1320m e 1480m, com um perfilador sísmico da SyQwest modelo StrataBox 3510 operando na faixa de frequência de 3,5 a 10 KHz, com resolução vertical de 6 cm. Os perfis obtiveram uma equidistância de 70m longitudinais a partir do centro do canal (**Figura 124**).



Figura 124. Mapa de localização e distribuição espacial dos perfis sísmicos. Fonte: Cia Docas da Paraíba.

Processamento dos dados de campo

O método sísmico de reflexão é amplamente utilizado em levantamentos de exploração para detectar e mapear estruturas e interfaces em subsuperfície. O método consiste basicamente na caracterização da profundidade das superfícies de reflexão e sua influência sobre a velocidade de propagação das ondas acústicas nas camadas em subsuperfície (LOWRIE, 2006). A geofísica de alta resolução, acústica de alta resolução ou perfilagem acústica contínua (SIECK; SIEF, 1977) compreende métodos geofísicos (ecossondas mono ou multifeixe, sonografia de varredura lateral e perfilador de subfundo) que investigam meios em pequenas profundidades com espectros de alta frequência, empregando os mesmos princípios de reflexão da sísmica convencional.

Entretanto, são diferentes os seus sistemas de aquisição de dados, as fontes acústicas, os espectros de frequências emitidos, os receptores, os sistemas de processamento e até mesmo as formas de apresentação dos dados.

(GOMES et al. 2011) A sísmica de alta-resolução tem aplicações limitadas a regiões de águas rasas (dez a cem metros, em casos de lagoas, estuários e rios) e tem melhor resolução que a sísmica convencional, uma vez que é capaz de imagear estruturas na escala de centímetros (BRUNETTA, 2005).

Pré-Processamento dos Dados Batimétricos e Sísmicos

Após a aquisição dos dados batimétricos, estes foram analisados e editados (no software Hypack) para que observações de profundidade irreais (spikes), decorrentes de problemas ocorridos durante a aquisição fossem corrigidos. Após estes procedimentos, os dados foram organizados e amostrados em uma malha regular com espaçamento de 04 metros para que depois fossem realizados os cálculos de volumes de dragagem e derrocagem juntamente com a sísmica. O pré-processamento dos dados sísmicos de alta-resolução consistiu basicamente no agrupamento dos dados sísmicos ao longo dos cinco perfis adquiridos e na aplicação de um aumento do contraste da seção (AGC - Automatic gain control).

Processamento dos dados batimétricos

O processamento dos dados batimétricos consistiu na organização dos dados onde se tem os pontos amostrados com hora da aquisição, profundidade, latitude, longitude e observações referentes a determinados trechos do perfil. De posse desses dados organizados foi possível gerar um grid que deu origem a um mapa batimétrico, que foi plotado sob a base cartográfica concedida pela Marinha do Brasil, para que se pudesse verificar a confiabilidade desta base e utilizá-la na edição final dos dados.

Processamento dos dados sísmicos

Até pouco tempo os dados sísmicos de alta-resolução eram interpretados sem nenhum tratamento prévio. Os estudos e referências na área são bastante raros, muito recentes ou pouco abordados na literatura pertinente

(por exemplo, BRUNETTA, 2005; GOMES et al. 2010). Neste trabalho o fluxo de tratamento dos dados sísmicos de alta-resolução consistiu no agrupamento dos dados sísmicos adquiridos, aumento do contraste da seção (AGC - Automatic gain control) e na aplicação do ganho variável de tempo (TVG – Time Variable Gain) para amplificar o sinal acústico das imagens adquiridas.

Interpretação dos dados sísmicos

Após a aquisição dos dados, a interpretação sismoestratigráfica foi realizada segundo os conceitos propostos por Mitchum JR. et al. (1977). Os parâmetros utilizados para a definição das sismofácies no presente estudo foram as configurações dos refletores sísmicos, amplitude das reflexões e a continuidade dos traços sísmicos. Uma fácies sísmica é definida pelos padrões de reflexão distintos incluindo a configuração do refletor, continuidade, amplitude, frequência e forma externa (LURTON, 2002). Uma combinação destes parâmetros possibilita uma interpretação geológica a ser desenvolvida, incluindo a localização ambiental, processos deposicionais e uma avaliação da litologia. Com base na análise sismoestratigráfica, foi possível confeccionar mapas de isópacas até o topo de uma superfície interpretada (denominada) preliminarmente como “embasamento acústico rochoso”, utilizado para o cálculo do volume de material sedimentar a ser dragado/derrocado.

Análise do topo do “embasamento acústico rochoso” – TEAR

O topo do embasamento acústico rochoso – TEAR é a região do primeiro refletor fortemente marcado que indica um horizonte de superfície basal, sendo uma superfície de erosão ou não deposição (GOMES et. al 2011). Nas **Figuras de 125 a 129** têm-se as seções sísmicas após processamento com a marcação do que foi chamado de “embasamento rochoso”. É verificado que a sua ocorrência se dá tanto na superfície do leito como a ~3,8 metros abaixo da subsuperfície, este limite está marcado com uma linha vermelha ao longo de todos os sismogramas. Através da aquisição sísmica ao longo do canal de acesso a Forte Velho foi possível observar a espessura variável do pacote sedimentar sendo pouco espesso próximo a Forte Velho e no canal de acesso ao

Porto de Cabedelo, devido ao encontro da superfície do “embasamento acústico rochoso” neste setor. Observa-se em todas as seções sísmicas que o TEAR forma uma superfície bastante irregular proveniente de erosões quando o nível do mar estava abaixo do atual.

A seguir são apresentados os perfis sísmicos (**Figuras 125 a 129**), apresentando os pacotes sedimentares inconsolidados a serem dragados acima do TEAR, representativos do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo, operando numa faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o TEAR.

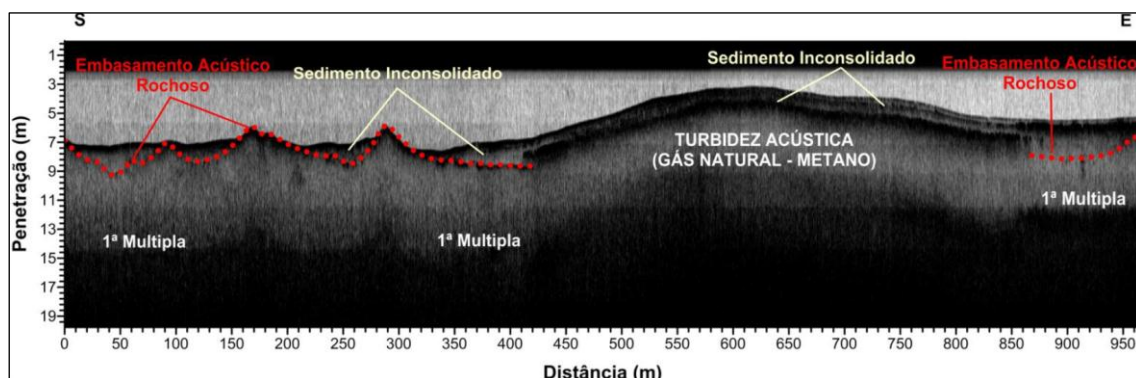


Figura 125. Perfil a) mostrado na Figura 124.

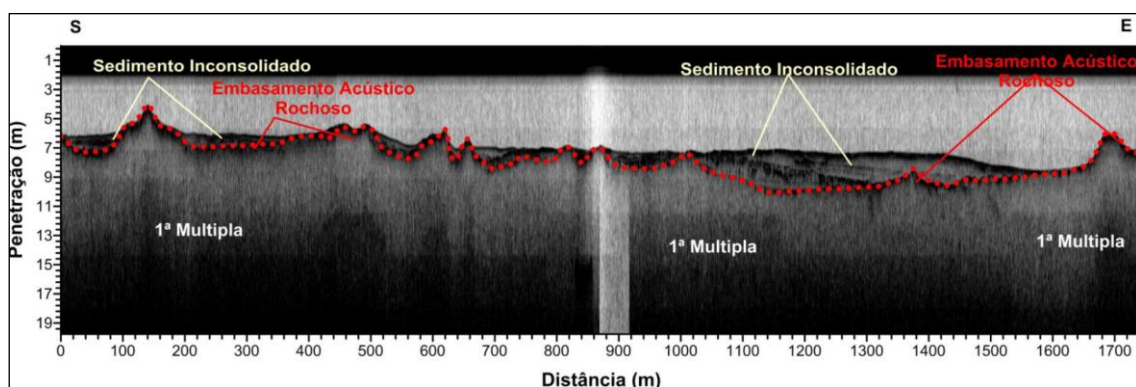


Figura 126. Perfil b) mostrado na Figura 124.

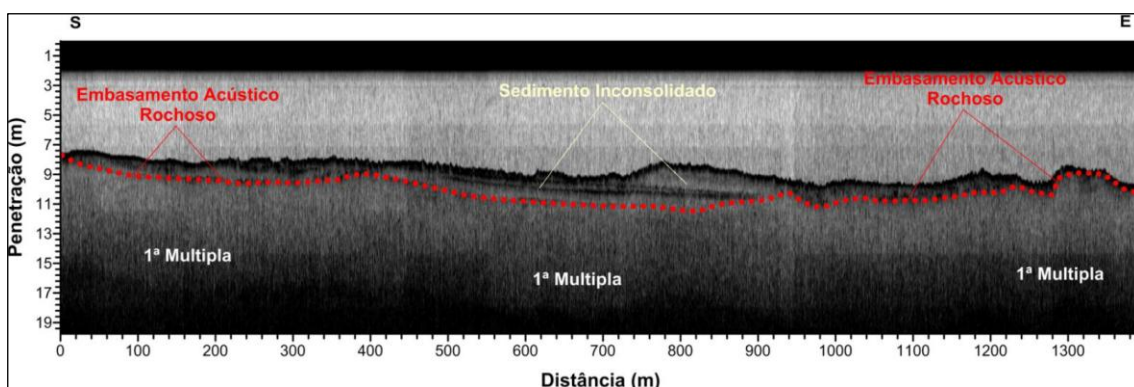


Figura 127. Perfil c) mostrado na Figura 124.

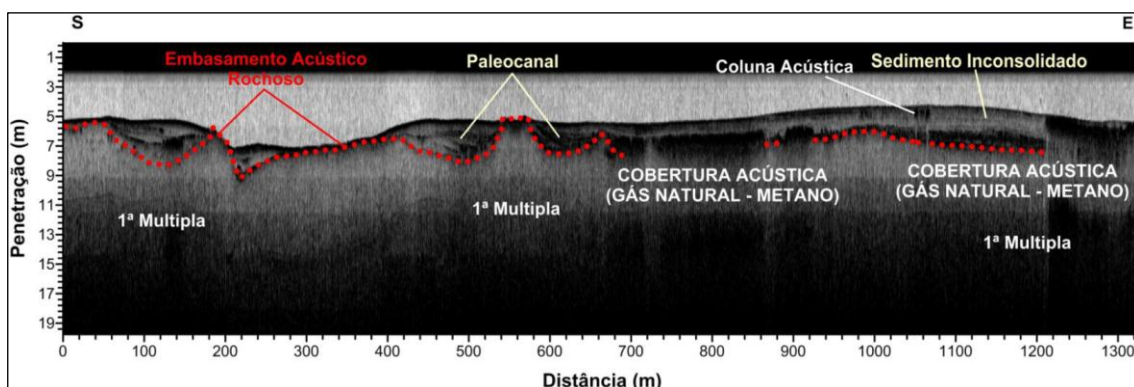


Figura 128. Perfil d) mostrado na Figura 124.

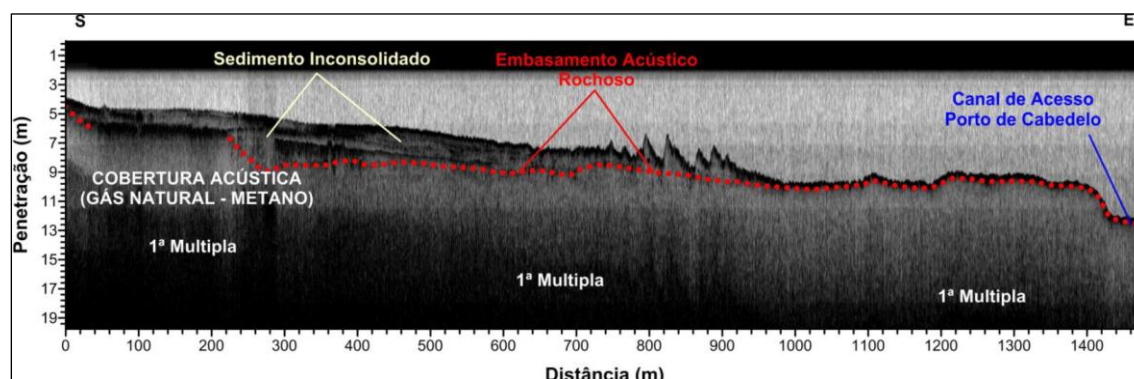


Figura 129. Perfil e) mostrado na Figura 124.

Ocorrências de Gás

Neste setor do sistema estuarino do rio Paraíba do Norte foi mapeada ocorrências e acumulações de gás utilizando-se dados sísmicos, levando-se em conta suas assinaturas sísmicas, geometria e dimensões de acordo com Frazão e Vital (2007). A turbidez acústica foi à ocorrência de gás mais comum ao longo das seções sísmicas, que consiste de um grau variável de distúrbio no registro sísmico, porém é possível seguir os refletores através do distúrbio. A origem

deste tipo de acumulação é explicada pela reflexão e dispersão de energia acústica através de um grande número de bolhas de gás in situ, provocando mascaramento nos registros sísmicos. Este efeito pode ser produzido com apenas 1% do volume de gás no sedimento (FANNIN, 1980). A cobertura acústica ou *blankets* foi à acumulação de gás mais frequente nas seções sísmicas adquiridas. Esta ocorrência de gás é identificada por uma forte reflexão superior, coerente ou interrompida (aumento da reflexão), além de mascarar completamente o registro sísmico subjacente sem possibilidades de estabelecer conexão com a fonte de gás. Outras formas de ocorrência de gás mapeadas nas seções foram as colunas acústicas, em que são identificadas como estruturas verticais manchadas. Hovland e Judd (1988) descrevem essas assinaturas sísmicas como sendo perturbações colunares transparentes originadas pela migração ascendente dos fluidos, provavelmente gás. O limite superior apresenta uma forte reflexão com fase invertida. Neste caso, pode-se reconhecer a conexão com o nível da fonte do gás. Estas estruturas estão frequentemente localizadas perto de acumulações de gás dos tipos *blankets* e cortinas acústicas.

5.1.7.1.2.7 SONDAGEM COM JET PROBE

A prospecção com Jet Probe realizada em área marítima interior tem como objetivo determinar a composição do substrato marinho. A prospecção com Jet Probe consiste na penetração de um tubo de aço galvanizado no solo marinho, por onde é injetada água por meio de uma moto-bomba centrífuga a uma pressão tal que permita o carreamento do material do solo até a saída no tubo, sendo recolhido pelos mergulhadores em sacos apropriados. O tubo de penetração é graduado em metros, até o limite de 6 metros (com expansão para 12 metros), permitindo a identificação da espessura da camada.

A perfuração é interrompida antes da cota máxima mencionada, quando da existência de obstrução que impeça esta penetração. Estas obstruções podem estar relacionadas com o embasamento rochoso ou material de dureza elevada.

As coletas por Jet Probe foram programadas para atingir três níveis do subsolo, a fim de garantir uma reconstituição do pacote sedimentar em uma área

próxima da região prevista para a dragagem do canal de acesso ao EDPI, especificamente no canal de acesso ao Porto de Cabedelo. Pela proximidade e intersecção de uma pequena porção entre os canais de acesso ao Porto de Cabedelo e ao Estaleiro, foram adotados os dados apresentados a seguir para estimativa do topo do embasamento rochoso na região, além do levantamento de informações relativas aos tipos de sedimentos com necessidade de dragagem.

O posicionamento da embarcação durante o levantamento foi realizado com o equipamento DGPS MAX – CSI, com correção diferencial por banda L, com precisão submétrica acoplado a um computador portátil, com o software hidrográfico Hypack Max, desenvolvido pela Coastal Oceanographics Inc. Para obtenção das profundidades de coleta foi utilizado um ecobatímetro digital, operando com um transdutor com 200 Khz de frequência, precisão de 0,1% da profundidade obtida, dotado também de registro analógico, contínuo, em papel graduado. O ecobatímetro foi calibrado no início e no final do levantamento batimétrico, por uma placa metálica fixada a um cabo de aço graduado de metro em metro, arriada abaixo do transdutor mergulhado (draft) a 0.85m do nível d'água. Esta calibragem foi realizada de metro em metro entre as profundidades de 2 a 12 metros. Os trabalhos de sondagem com Jet Probe foram executados com auxílio de mergulhador na condução do testemunhador hidrojato acoplado a uma bomba de 1200 psi.

Os trabalhos foram realizados pela Eicomnor Engenharia no dia 16/03/2013, a partir da execução de um total de 44 sondagens no Canal de Acesso ao Porto de Cabedelo/PB. Deste total, 15 são referentes à sondagem com Jet Probe supracitada, realizada praticamente na porção NE da área de dragagem prevista para a criação do canal de acesso ao Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá (**Figura 131**). Na tabela abaixo (**Figura 130**) constam os pares de coordenadas (UTM_Este e UTM_Sul), horário, profundidade, penetração e respectivo código de cada sondagem. Todos os perfis estão em anexo ao presente estudo.

BOLETIM DE SONDAGEM JET - PROB / ROTATIVA								
COORDENADAS UTM - DATUM WGS-84								
Furo	UTM_Leste	UTM_Norte	Data	Início (hs)	Término (hs)	Prof (m)	Penetração (m)	Código
JP-01	296,044.20	9,229,719.10	12/04/2013	11:40	13:07	9.2	3.8	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-030
JP-02	295,923.10	9,229,908.00	12/04/2013	14:40	15:50	8.8	4.2	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-031
JP-03	295,961.50	9,230,039.40	12/04/2013	16:25	17:06	8.8	4.2	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-032
JP-04	295,820.50	9,230,065.00	12/04/2013	07:40	08:11	9.5	3.5	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-033
JP-05	295,693.50	9,230,167.70	30/03/2013	12:40	13:05	6.5	6.5	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-034
JP-06	295,848.00	9,230,217.40	31/03/2013	07:26	08:04	8.3	4.7	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-035
JP-07	295,968.80	9,230,191.60	31/03/2013	08:34	08:56	9.2	3.8	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-036
JP-08	295,696.50	9,230,330.20	12/04/2013	08:52	09:50	8.3	4.7	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-037
JP-09	295,893.60	9,230,386.40	12/04/2013	08:00	08:45	7.8	5.2	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-038
JP-10	295,832.90	9,230,467.90	01/04/2013	14:45	15:40	7.6	4.5	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-039
JP-11	296,018.20	9,230,466.90	10/04/2013	10:14	10:50	7.8	5.2	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-040
JP-12	296,074.30	9,230,690.20	10/04/2013	09:22	10:10	7.5	5.5	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-041
JP-13	296,352.10	9,230,658.50	02/04/2013	14:25	14:45	10.8	2.2	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-042
JP-14	296,265.10	9,230,272.30	02/04/2013	15:08	15:28	10.2	2.8	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-043
JP-15	296,282.00	9,229,858.60	10/04/2013	07:30	08:25	8.3	4.7	BS-DPB-13.03.0-331-EIC-044

Figura 130. Informações da Sondagem com Jet Probe descrita. (Fonte. BELOV, 2015).

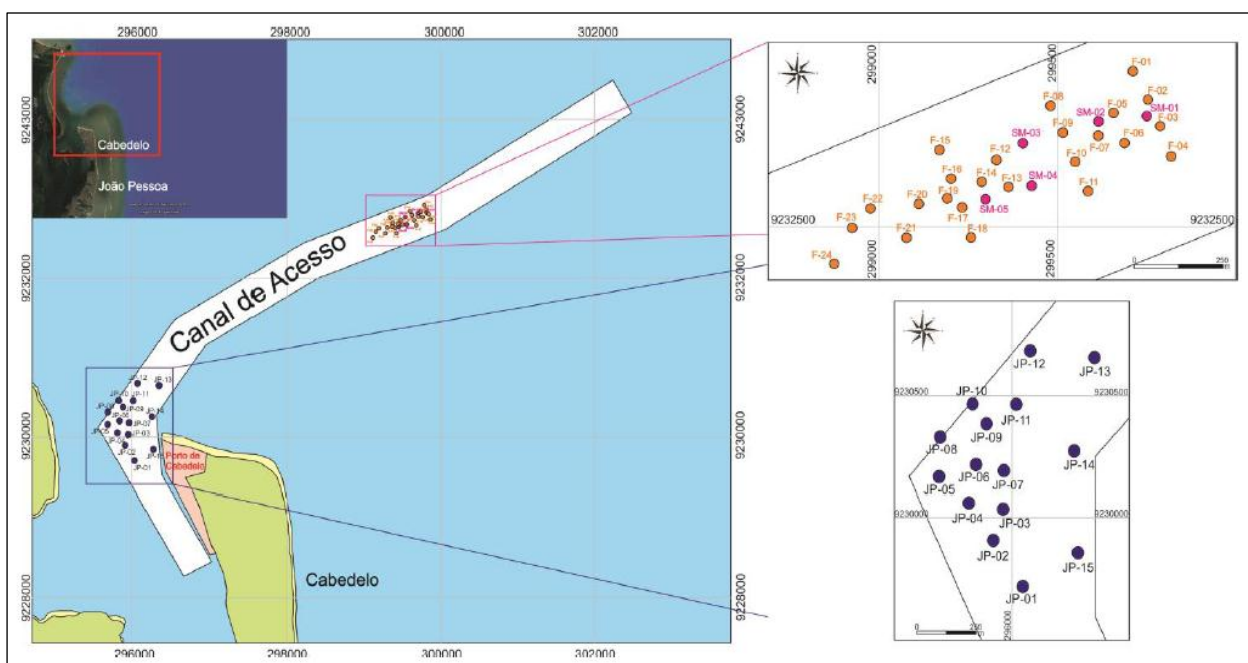


Figura 131. Sondagens geotécnicas (jet-probe e rotativa) no canal de acesso ao Porto de Cabedelo. (Fonte. BELOV, 2015).

De acordo com os serviços executados, foi constatado pela Eicomnor Engenharia que em todos os pontos de sondagem SM (**pontos rosa da Figura 131**) e a maioria dos pontos F (**pontos laranja da Figura 131**) existe uma grande quantidade de rochas calcárias aflorando na superfície do solo marinho, no entanto, nos pontos denominados de JP (sondagem com Jet Probe realizada na área de interesse de dragagem pelo EDPI) não foi encontrado material duro, apenas sedimentos arenosos inconsolidados.

5.1.7.1.2.8 ANÁLISE DO PACOTE SEDIMENTAR À LUZ DOS ESTUDOS APRESENTADOS

Diante da apresentação dos perfis estratigráficos e fotografias relativas a investigação geológica direta realizada com o Jet Probe no canal de acesso ao Porto, entende-se que o Topo do Embasamento Acústico Rochoso (TEAR), definido pelo levantamento sísmico descrito, não se trata de uma superfície composta por material consolidado, e sim de um horizonte representado por um sedimento areno-argiloso mais compactado devido a pressão litostática da camada sobrejacente, e portanto mais resistente às ações intempéricas e erosionais provocadas pela hidrodinâmica típica das regiões estuarinas. Esta característica de resiliência aos processos hidrodinâmicos demonstrada por este horizonte interfere diretamente no alcance das ondas sísmicas, limitando a obtenção de informações indiretas a partir da profundidade de ocorrência desta superfície, sendo portanto interpretada precipitadamente como Topo do Embasamento Acústico Rochoso. Para ser utilizado o termo "Rochoso" precisariam haver evidências de que esses sedimentos sofreram os processos químicos de litificação e diagênese, próprios de uma rocha sedimentar. Na contramão destes fatos o que se percebe nos dados da sondagem SPT na ADA do empreendimento (**tópico 5.1.3.3 deste estudo**) e na sondagem com Jet Probe na porção NE do canal de dragagem do Estaleiro é que a presença de rocha "dura" não ocorre antes dos 15 metros de profundidade. A partir dos 15 metros possivelmente começam a surgir as primeiras unidades geológicas com impossibilidade de penetração à percussão, provavelmente correlacionadas com a Fm. Maria Farinha. Este fato pode ser corroborado ainda pelo Perfil do poço 2 IST-01-PE (**Figura 36**), que representa a coluna estratigráfica da Bacia Pernambuco-Paraíba. Desta maneira é possível afirmar que a profundidade de aprofundamento do canal prevista por meio da dragagem para a operação da atividade não será capaz de atingir qualquer superfície de rocha compactada, descartando o risco de eventuais modificações quanto aos métodos escolhidos desde o início para a dragagem e elevações de custos relativos às condições estratigráficas do substrato estuarino".

5.1.7.1.2.9 CÁLCULOS DO VOLUME DE SEDIMENTOS DA DRAGAGEM

Um dos objetivos deste tópico é identificar o quantitativo de material a ser dragado e descartado em áreas pré-definidas (**Capítulo 3 das Alternativas Locacionais**).

Para o cálculo dos volumes de sedimento a serem dragados ao longo do canal principal de navegação ao estaleiro, foram feitas análises em conjunto dos dados batimétricos e sísmicos sendo utilizado o método para cálculo de volume chamado Philadelphia, nativo do software HYPACK 2011.

Tabela 44. Volume do Material a ser dragado. (Fonte: Companhia Docas da Paraíba)

Volumes (m ³)	Distrito de Costinha, Lucena/PB
Sedimento inconsolidado sondado	1.998.016
Abaixo da Superfície de Limite Acústico	2.997.026
Volume total	4.995.042

Os MDE's (modelos digitais de elevação) da batimetria e da superfície não atravessada pela sondagem sísmica (doravante interpretada como superfície de limite acústico) foram gerados pela interpolação por triangulação com uso da técnica TIN (Triangulated Irregular Network) e os pontos foram conectados de acordo com a triangulação de Delaunay, como sugere Amaro et al. (2013), que usa o critério da maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo (SANTOS et al. 2011). As variações dos MDE's obtidos ao longo do tempo foram calculadas pela subtração entre os modelos com o método da álgebra de mapas, com o software HYPACK versão 2011, da Odom. O controle de qualidade dos MDE's foi realizado a partir de um conjunto de pontos de controle selecionados aleatoriamente na área de estudo e que não foram usados na geração dos modelos, como em Ferreira et al., (2014).

Enquanto o dado batimétrico mapeia a superfície do leito marinho ou fluvial (superfície de topo dos cálculos de volume), através do dado de sísmica de alta resolução é possível ter uma estimativa do topo da superfície de limite acústico, que representa a superfície de base da camada a ser dragada, de material inconsolidado atravessado pela sísmica. Abaixo destas superfícies também foram geradas superfícies planas (dentro da porção não atravessada pela sísmica), representando a profundidade real que o canal e a bacia de

evolução deverão atingir com a dragagem (profundidade mínima necessária para operação do estaleiro). Desta forma a estimativa do volume total ou pacote sedimentar a ser dragado é obtido pelo cálculo do volume da região compreendida entre os limites delimitados pelos dados de batimetria e sísmico e, também, entre a superfície de limite acústico (sísmico) e da profundidade mínima necessária para operação do empreendimento.

O cálculo de volume é realizado através da análise matemática de uma superfície tridimensional, onde as coordenadas X, Y e Z estão na mesma unidade de medida, gerando assim um resultado de volume em unidades cúbicas. São definidas, a partir da cota que representa a linha de base para o cálculo do volume, as superfícies superiores e inferiores (Cut & Fill), ou seja, as porções de volume positivo representam as regiões topograficamente elevadas com relação à linha de base. O oposto ocorre com as regiões de preenchimento onde não há a necessidade de dragagem, já que possui atualmente profundidade igual ou superior a linha de base (**Figura 132**). As especificações dos volumes a serem calculados foram fornecidas pela Companhia Docas da Paraíba, sendo definida a cota de dragagem (linha base) como sendo de 8 metros e 30 centímetros de margem de segurança para o canal principal de navegação de acesso a Forte Velho e 9,0 metros na área da Bacia de Evolução (**Figura 133**).

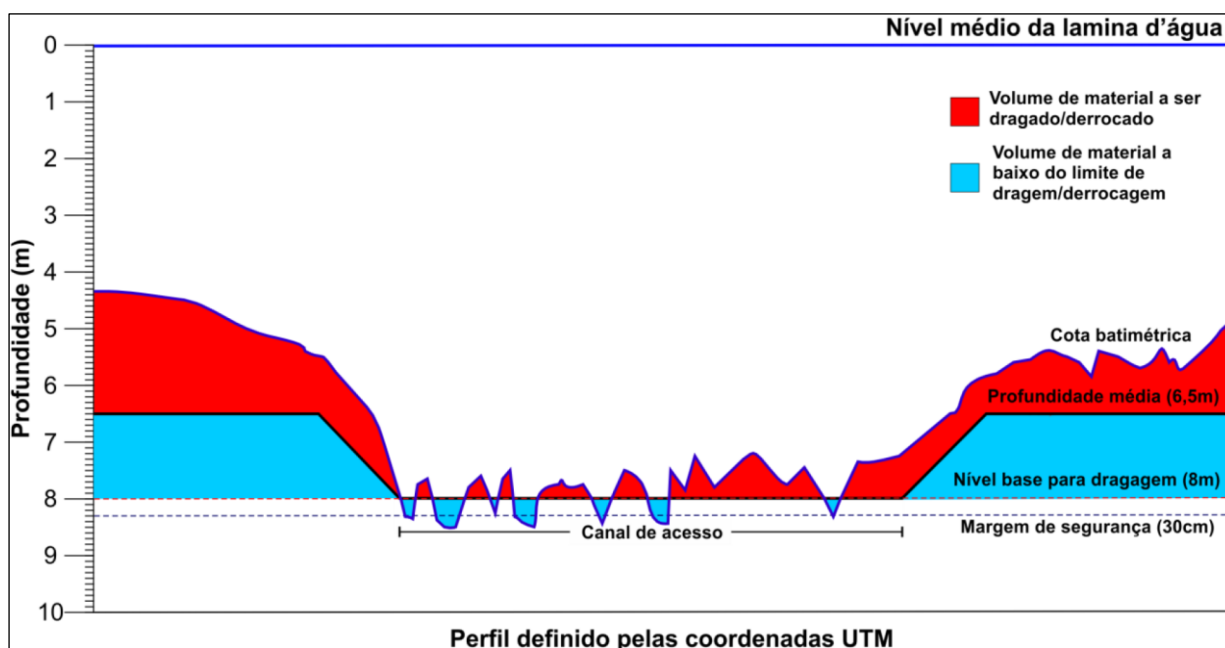


Figura 132. Representação esquemática da definição das regiões calculadas a partir da linha de base. Volume da superfície superior (Positivo) e superfície inferior (Negativo). Fonte: Vitor Lopes

Resumo da memória dos cálculos de volume

A **Tabela 44** mostra o resultado do cálculo do volume a ser dragado, em metros cúbicos, para a cota do projeto estabelecida pelo Estaleiro de Docagens Pedra do Ingá/EDPI, fixada em 8,0 metros de profundidade, e com uma tolerância de 0,3 metros ao longo do canal de acesso a Forte Velho e Lucena.

Os cálculos apresentados levaram em consideração as intervenções previstas para a área de acesso, bem como, de manobra das embarcações que farão uso dos serviços oferecidos pelo estaleiro. Espera-se a adoção de diversos gradientes estratigráficos para a dragagem, de maneira a atender a dinâmica não somente do relevo local, mas do tráfego marítimo esperado, que demanda uma variação em termos de calado, dimensão e boca.

A primeira cota adotada, referente ao canal de acesso, até a bacia de evolução, será de 8,0 metros de profundidade, acrescida da profundidade de tolerância. A segunda cota de referência é relativa à área de manobra e atracação, definida em 9,0 metros de profundidade.

Os cálculos demonstraram a necessidade de dragagem dos seguintes volumes:

- 1.998.016m³ (sedimento inconsolidado sondado sismicamente);
- 2.997.026m³ (volume abaixo da superfície de limite acústico – com base na estratigrafia da região pode-se também considerar de sedimento inconsolidado);
- 4.995.042 (volume total de dragagem de aprofundamento).

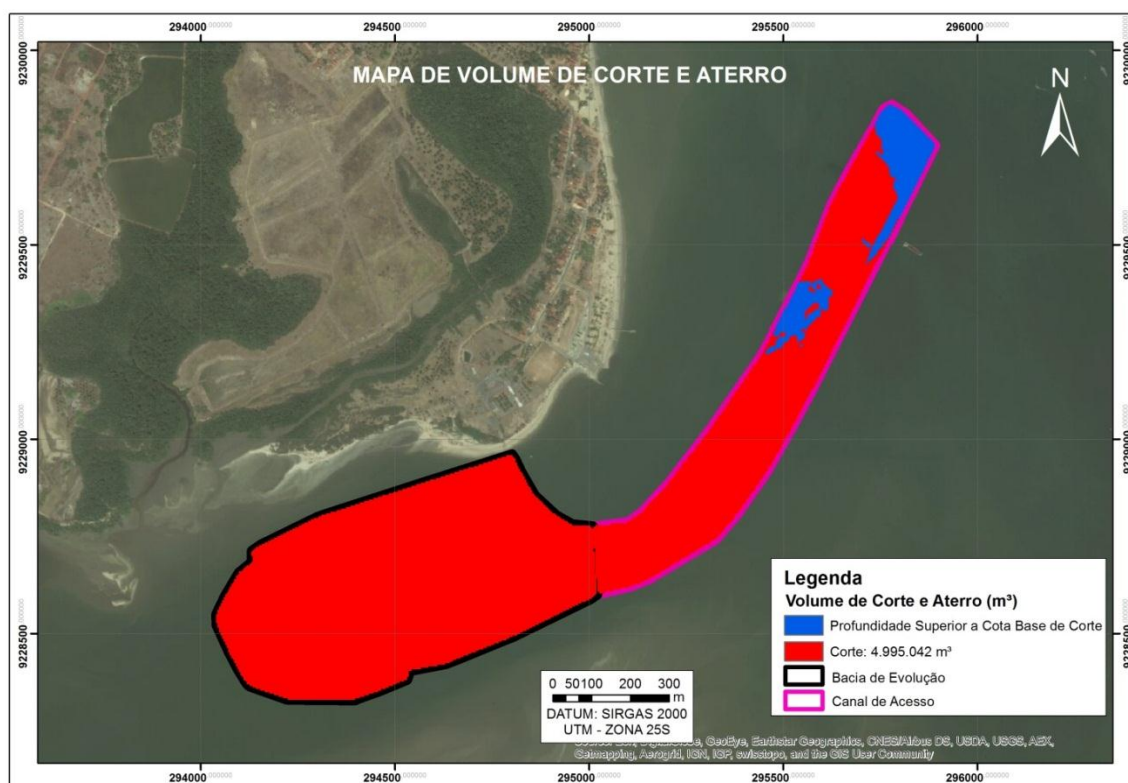


Figura 133. Mapa do volume que deverá ser dragado na AID do empreendimento. (Fonte. BELOV, 2015).

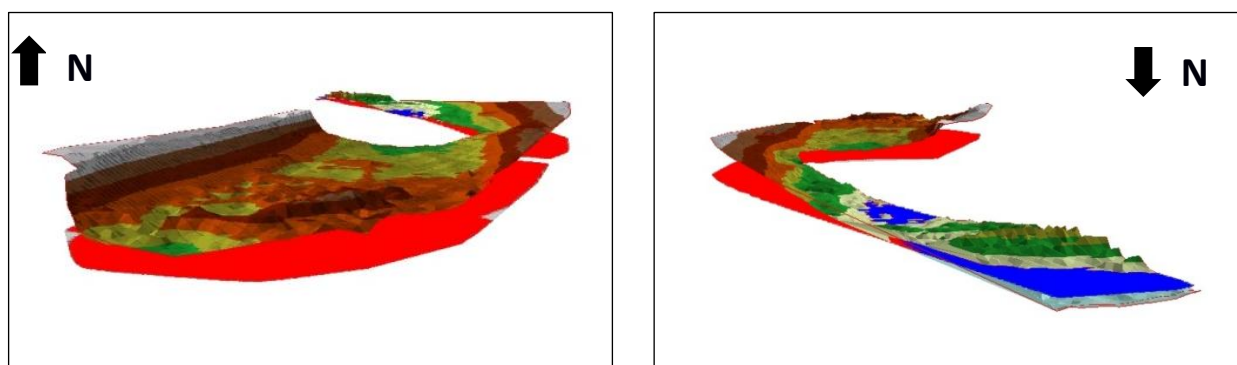


Figura 134. Representação dos blocos de cálculo, contendo superfície batimétrica e de base total. (Fonte. BELOV, 2015).

5.1.7.1.3 ÁREAS DE DESCARTE (BOTA-FORA)

Em obras que envolvem atividades de movimento de terra (escavação de solo, escavação de rocha, aterro, britagem), os volumes de materiais primários precisam ser bem gerenciados. Além de calcular esses diversos volumes, tem-se que calcular e definir as distâncias de transporte e a necessidade de jazidas e locais de bota-fora.

A maneira correta de trabalhar com esses volumes é utilizar o mapa origem-destino dos materiais, que nada mais é do que um fluxograma que mostra de onde é extraído cada material (neste caso nosso ponto de partida é a área de dragagem apresentada na **Figura 119**) e para onde ele vai (aterro, concreto, bota-fora).

Esta etapa de descarte dos sedimentos dragados em áreas descaracterizadas pelo funcionamento de uma determinada atividade econômica, as quais necessitam serem aterradas para a recomposição topográfica, pode representar um aspecto bastante positivo do ponto de vista ambiental, desde que haja um controle e gerenciamento adequado das particularidades evidenciadas pelo rejeito (material a ser descartado) e a sua nova origem.

Nesse sentido, sugerem-se três locais possíveis de bota-fora do material da dragagem, estando dois deles representados na **Figura 135**:

- Opção 1 - Fazendas de Camarão em Cabedelo: esta opção demonstra ser a mais adequada das três, devido a fatores como: possibilidade de transporte pela rodovia BR-230 (9,5km) ou por via fluvial (8,4km pelo Rio Paraíba do Norte), por apresentar maior proximidade com a área da dragagem e por estar localizada no continente (ambiente menos dinâmico que o marinho e, portanto, com menor possibilidade de dispersão de eventuais contaminantes presentes no sedimento dragado).
- Opção 2 – Pedreira do Roger: a recomposição topográfica da pedreira poderia ser uma importante opção para dirimir problemas causados pela atividade minerária, como: a instabilização de taludes capazes de provocar acidentes, o impacto visual deixado pela cava aberta e a inutilização da área da pedreira para outros fins. A reutilização da área exaurida para outras finalidades representa um impacto de cunho econômico (por estar localizada numa área intensamente urbanizada) e ambiental (por evitar problemas de erosão em áreas adjacentes à pista, que poderiam provocar acidentes). Esta opção não representa a melhor opção devido a logística mais complicada com relação à Opção 1, pois além dos 9,5km percorridos até as Fazendas de Camarão pela rodovia BR-

230, devem ser percorridos mais 10,3km até a Pedreira do Roger. Esta opção não demonstra viabilidade quanto ao transporte fluvial, representando menor vantagem com relação a Opção1.

- Opção 3 – Alto Mar: a terceira opção se trata da alternativa dada ao descarte do material da dragagem do canal de acesso ao Porto de Cabedelo. Trata-se de um bota-fora localizado a cerca de 30km da costa de Cabedelo, em regiões marinhas abissais, após a Plataforma Marinha Rasa. Neste caso, o controle geoquímico dos sedimentos dragados precisa ser ainda mais rigoroso, em consonância com a Resolução CONAMA nº 344/04. Devido à distância da origem (área dragada) e ao rigor técnico para atendimento da legislação vigente esta opção não demonstra prioridade sobre as demais.

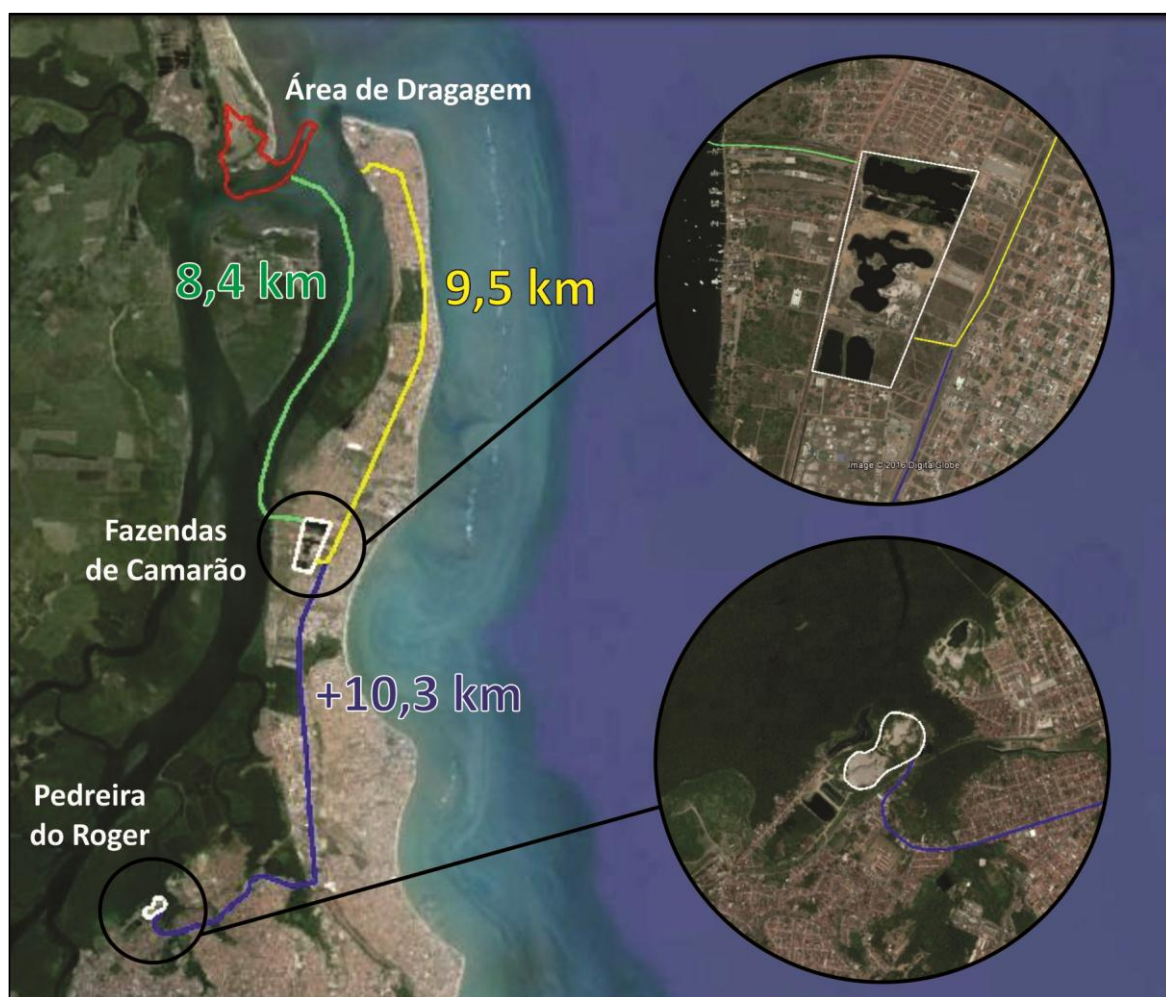


Figura 135. Prováveis bota-fora da dragagem de instalação do empreendimento. (Fonte. Real Consultoria, 2015).

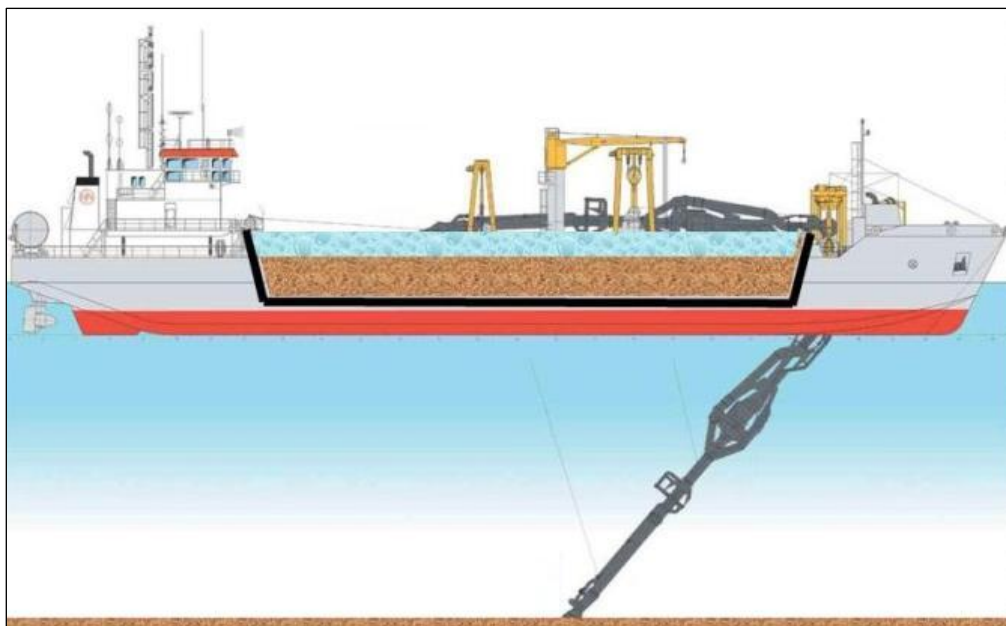
5.1.7.1.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS DA DRAGAGEM

A caracterização dos sedimentos dragados é parte integrante do item 5.1.7 do Termo de Referência que balizou este trabalho, no entanto estes sedimentos já foram devidamente caracterizados nos tópicos 5.1.1.2.2 (Granulometria) e 5.1.1.2.3 (Geoquímica) do presente estudo.

5.1.7.1.5 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

A execução da dragagem aqui proposta se fará com dragas autotransportadoras, do tipo “Hopper” e draga de sucção e recalque com cabeça cortadora, com as seguintes características de operação:

Draga autotransportadora



Tipo	Auto Transportadora de Sucção
Comprimento	124m
Boca	19m
Pontal Moldado	7,3m
Calado máximo	6,5m
Velocidade	14 a 15 nós
Capacidade da Cisterna	4.500 m ³
Capacidade de Carga	7.200 ton
Profundidade max. de dragagem	33m
Tubos de sucção	2 Ø
Bombas de Dragagem	2 x 1000 kW
Propulsão	5290 kW

Figura 136. Dragagem autotransportadora do tipo “Hopper”. (Fonte: McQuilling Partners, Inc.).

Draga de Sucção e Recalque

De acordo com as informações iniciais de campo, a utilização da draga com cabeça cortadora será primordial na definição dos novos limites do canal de acesso e na bacia de evolução proposta para este empreendimento.

No caso do rejeito, este será descartado em pontos pré-estabelecidos dentro da área do empreendimento, sendo posteriormente recolhido pela draga autotransportadora, ou diretamente dentro da mesma, tendo seu destino de descarte apresentado no Capítulo 2 “Das Alternativas Locacionais”.



Figura 137. Linha de recalque de material fragmentado pela draga com cabeça cortadora.

5.1.7.2 DRAGAGEM DE MANUTENÇÃO

Devido aos processos de erosão e deposição inerentes à hidrodinâmica acentuada na região estuarina onde se pretende instalar o empreendimento, as áreas do canal e da bacia de evolução, dragadas durante a fase de instalação, sofrerão gradativamente um processo de assoreamento de sedimentos. Esta situação coloca em evidência a necessidade de execução de novas dragagens (de manutenção), dentro de determinados períodos de tempo, pois o assoreamento provoca uma diminuição das cotas batimétricas das zonas de acesso, colocando em risco a operacionalização dos serviços oferecidos pelo Estaleiro. E é justamente nessa perspectiva de previsão dos volumes e intervalos de tempo necessários para as dragagens de manutenção que o presente tópico procura caminhar.

5.1.7.2.1 ASSOREAMENTO E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO NO CANAL

O assoreamento constitui um dos principais problemas à dinâmica operacional e econômica de um empreendimento desta natureza, pois eleva o

nível topográfico do leito flúvio-marinho, demandando reparos periódicos. Tem como causas principais o transporte hidrodinâmico de sedimentos em suspensão ou diluição, os quais ficam retidos no leito estuarino através da sedimentação/decantação e pelo atrito com a superfície de fundo.

Desta maneira, o conhecimento da taxa de sedimentação/decantação local é fundamental para a abordagem do volume de material que será depositado numa determinada área ao longo de certo espaço de tempo. Com a obtenção da taxa de sedimentação é possível prever, por exemplo, em quanto tempo o canal e a bacia de evolução estarão suficientemente assoreados ao ponto de impossibilitar o tráfego seguro de grandes navios.

Existem diversas metodologias utilizadas no Brasil para a determinação precisa da taxa de sedimentação de um determinado local, no entanto, todas elas demandam que as medições sejam realizadas ao longo de períodos prolongados de tempo, em várias épocas do ano, e, em geral, utilizando séries de dados históricas disponíveis, a fim de considerar inclusive a ocorrência dos eventos extremos. Devido à inexistência destes dados históricos, foi considerada, para efeito de cálculo, a taxa de sedimentação genérica, apresentada na **Tabela 28**, para a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, equivalente a 11,2mm/ano = 1,12cm/ano.

5.1.7.2.2 PERIODICIDADE E VOLUMES DE MANUTENÇÃO

A seguir estão apresentados os cálculos realizados para a avaliação da periodicidade da dragagem de manutenção, com base na Taxa de Sedimentação genérica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, como tratado anteriormente.

Para o cálculo final foi necessária a obtenção do assoreamento vertical anual, o qual será obtido a partir da seguinte fórmula:

$$\text{assoreamento vertical} = \frac{\text{taxa assoreamento}}{\text{área da concessão}} \times 100$$

Considerando a taxa de assoreamento de 1,12 cm/ano e uma área de concessão de 75,27 hectares (**Figura 138**), o assoreamento vertical do canal de acesso + bacia de evolução será de 1,48 cm/por ano.

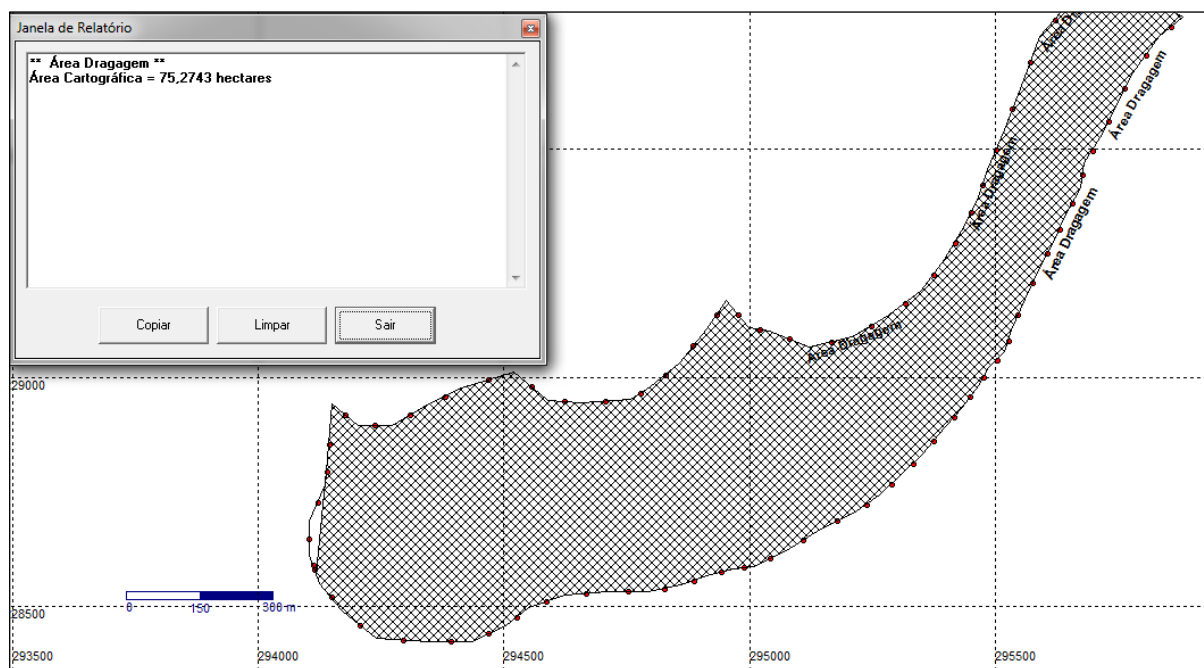


Figura 138. Cálculo da área de concessão da dragagem de manutenção no GPS TrackMaker Pro.

Após a obtenção do valor referente ao assoreamento vertical, torna-se possível determinar em quantos dias será necessária uma nova dragagem, através da divisão entre a cota limite que poderá ser assoreada, até que o canal e bacia de evolução sejam considerados inoperantes para a finalidade para as quais foram destinados, e o assoreamento vertical. Após a efetuação desta divisão, multiplica-se o resultado por 365 (números de dias em um ano). Desta forma, foi obtido o seguinte resultado:

$$\text{número de dias} = \frac{\text{assoreamento introduzido}}{\text{assoreamento vertical}} \times 365$$

Portanto, 0,50m (Cota limite de sedimentação – assoreamento introduzido) / 0,0148m (Assoreamento Vertical) * 365 = 12.331 dias = 33 anos e 9 meses.

Considerando uma área de 75,27 hectares = 752.700m², e uma cota limite de sedimentação de 0,50m, temos um volume estimado de 376.350m³ para cada dragagem de manutenção.

Com base na taxa de sedimentação utilizada, poderia se dizer que apenas a cada 33 anos e 9 meses o nível batimétrico diminuiria 0,5 metros, necessitando assim de uma nova dragagem para reativação do canal de acesso e bacia de evolução do empreendimento.

No entanto, o resultado do cálculo apresentado e o conhecimento de outras regiões estuarinas estudadas, onde funcionam empreendimentos similares, evidenciam o fato de que para a região estuarina do Baixo Curso do Rio Paraíba a taxa de sedimentação utilizada não pode ser aplicada, estando este valor apresentado extremamente subestimado. Isto se deve ao fato de que o local de instalação do empreendimento apresenta uma hidrodinâmica muito mais intensa do que em outras regiões da bacia, com forte influência de marés e correntes.

Sendo assim, recomenda-se que os cálculos baseados em informações regionais não sejam considerados para a avaliação da periodicidade da dragagem de manutenção do canal e da bacia de evolução do Estaleiro de Docagem Pedra do Ingá, pelo fato de que a área tomada para a sua implantação apresenta condições físicas particulares.

Como solução, recomenda-se a execução de trabalhos de monitoramento da área dragada durante a operação do empreendimento, em substituição aos estudos com caráter preditivo. Dentre estes trabalhos, merece destaque o levantamento batimétrico contínuo, que deverá ser idealmente realizado uma vez por ano, garantindo assim um maior controle da taxa de assoreamento/sedimentação nos diversos pontos do canal e bacia de evolução. Estes estudos permitirão a criação de um banco de dados, o qual será posteriormente tratado como uma fonte de dados históricos, permitindo a previsão futura dos padrões de sedimentação ao longo da área de dragagem e, por consequência, a determinação de modelos preditivos de assoreamento e estimativas reais dos volumes e periodicidade das novas dragagens de manutenção.

Maiores detalhamentos das ações propostas, bem como a realização de novos estudos pretéritos à instalação do EDPI, deverão estar integrados ao

Projeto de Dragagem, que de acordo com a legislação vigente deve ser apresentado em processo à parte deste estudo.

5.1.8 Modelagem

Nessa seção serão apresentados os resultados da modelagem numérica com o Delft3D-FLOW e Delft3D-WAVE para dois cenários, verão e inverno de 2015. Os dados de dezembro de 2015 compreendem o período amostrado com ADCP. Primeiramente serão apresentados os dados de maré, corrente e posteriormente os dados de onda para cada cenário modelado.

5.1.8.1 VERÃO

Os resultados do modelo numérico de AASM e correntes médias da coluna d'água foram comparados contra os dados coletados pelo ADCP. A **Figura 139** ilustra o grau de fidelidade do modelo para com estas variáveis, mostrando valores de fase e amplitude dos processos bem similares. É possível observar pequenas variações super e subestimando a AASM e correntes no modelo em alguns momentos da série temporal. Para a validação objetiva o coeficiente de correlação entre a AASM observada e modelada foi igual a $R^2 = 0,99$ (Figura DC). Já para as correntes, o desvio percentual médio representado pela formula $dpm = 100 * [(|obs - mod|)/obs]$, para as máximas correntes de vazante e enchente foi igual a 13,6%.

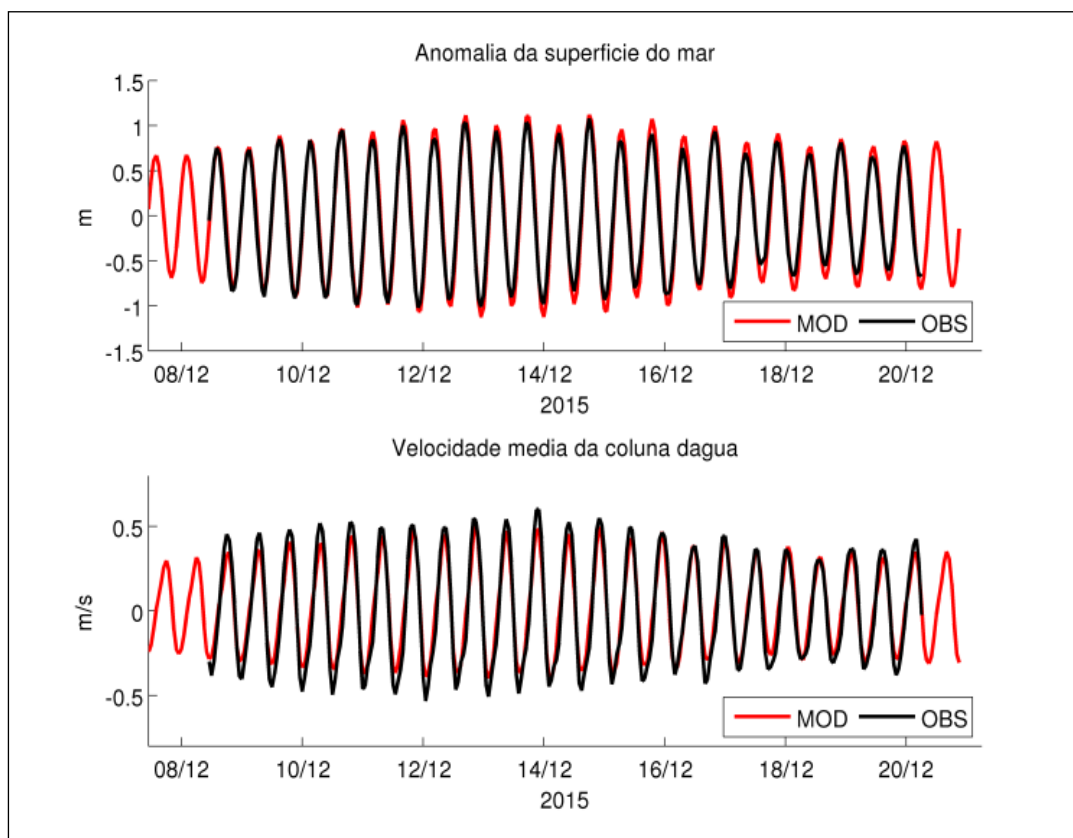


Figura 139. AASM e correntes médias da coluna d'água paralelas ao eixo do canal observadas e modeladas no período entre 8 e 20 de dezembro de 2015. A linha preta representa os dados observados e a vermelha os dados modelados.

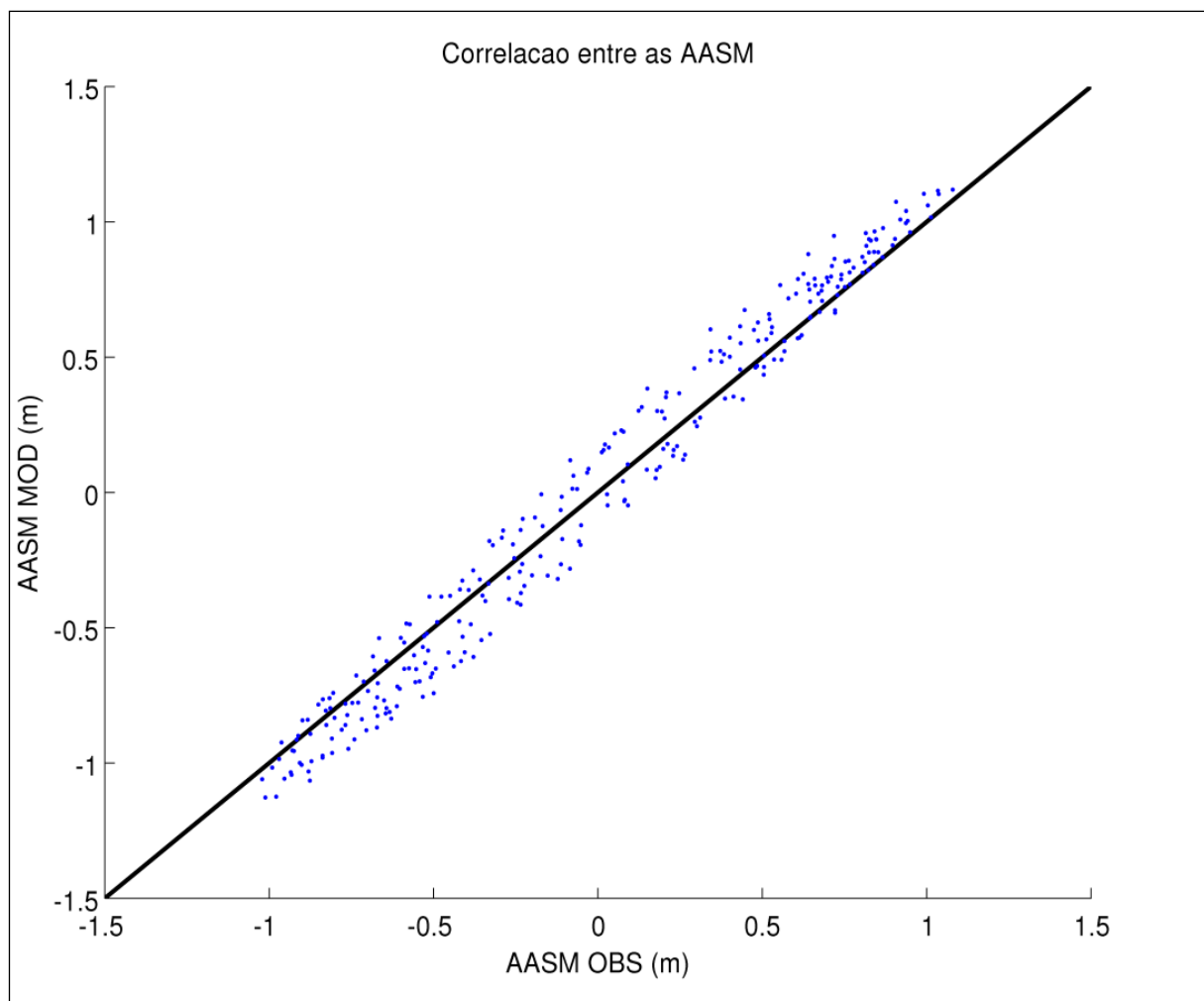


Figura 140. Correlação entre as AASM observadas e modeladas. Coeficiente de correlação R^2 igual 0,99.

Uma visão sinótica das correntes máximas de vazante na região de estudo é apresentada na **Figura 140**. Na região de instalação do ADCP são notadas correntes de 0,5 a 0,6m/s, bem como uma boa correspondência entre as correntes observada e modelada. As correntes mais fortes (0,8 - 0,9m/s) ocorrem na desembocadura do estuário, próximo à sua margem direita. Já na área de dragagem os valores oscilam entre 0,1 e 0,7m/s.

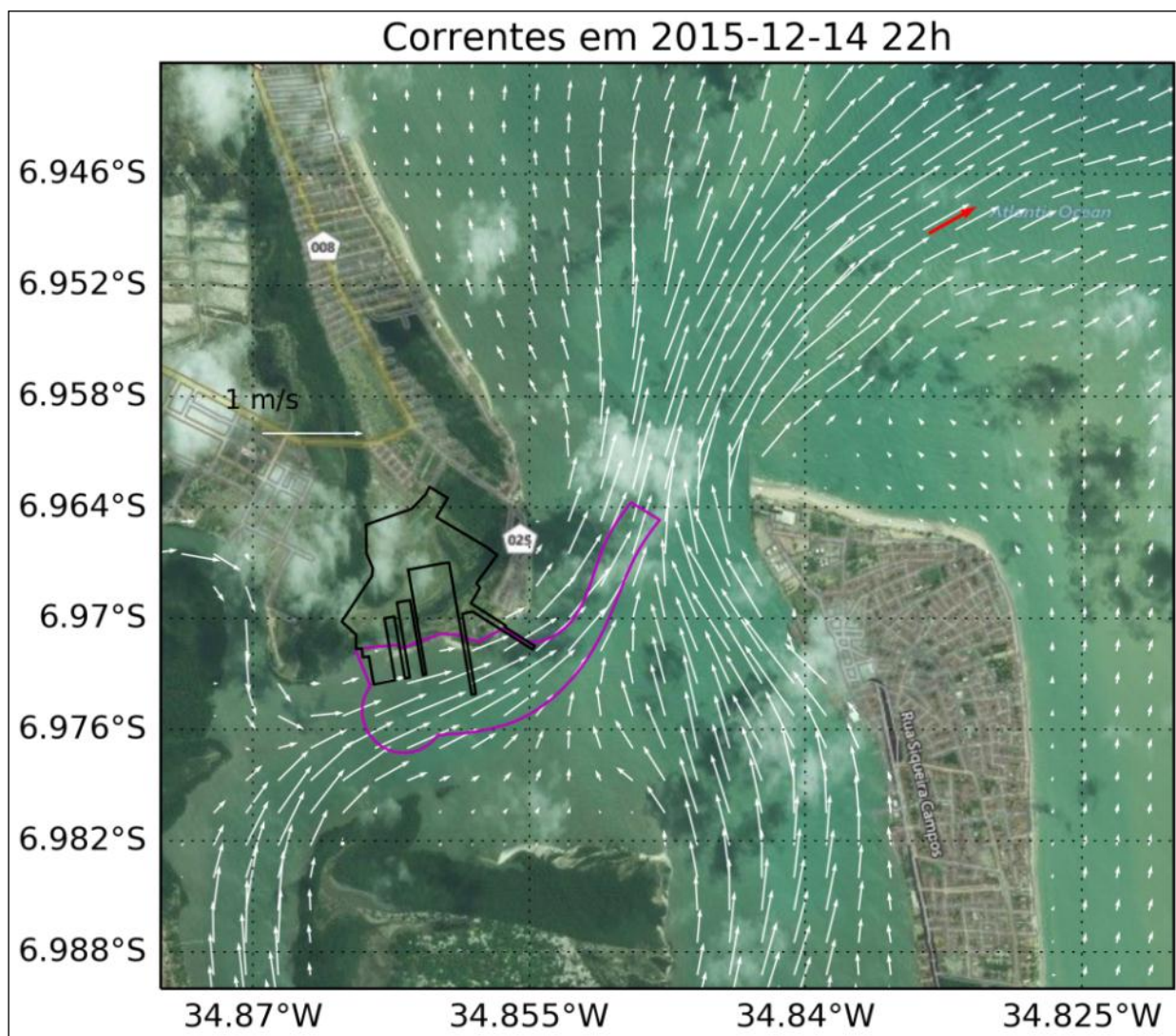


Figura 141. Correntes máximas de vazante com médias verticais para a região de estudo no dia 14/12/2015 às 22h. As setas brancas representam as correntes modeladas e a vermelha a corrente observada. O contorno preto mostra a área de implantação do empreendimento, enquanto que o contorno rosa mostra a área a ser dragada. Os vetores das correntes observadas e modeladas estão na mesma escala de comprimento. Os vetores estão plotados com um espaçamento de 5 pontos de grade para melhor visualização.

Como visto anteriormente, as correntes de enchente apresentam menor intensidade (**Figura 140**). Para a região do fundeio do ADCP os valores de correntes encontrados variam entre 0,3 a 0,4m/s, e nota-se também uma boa similaridade entre o valor observado e modelado. As correntes mais fortes (0,8 - 0,9m/s) ocorreram no centro do canal de entrada do estuário. Já na área de dragagem os valores oscilam entre 0,1 e 0,8m/s.

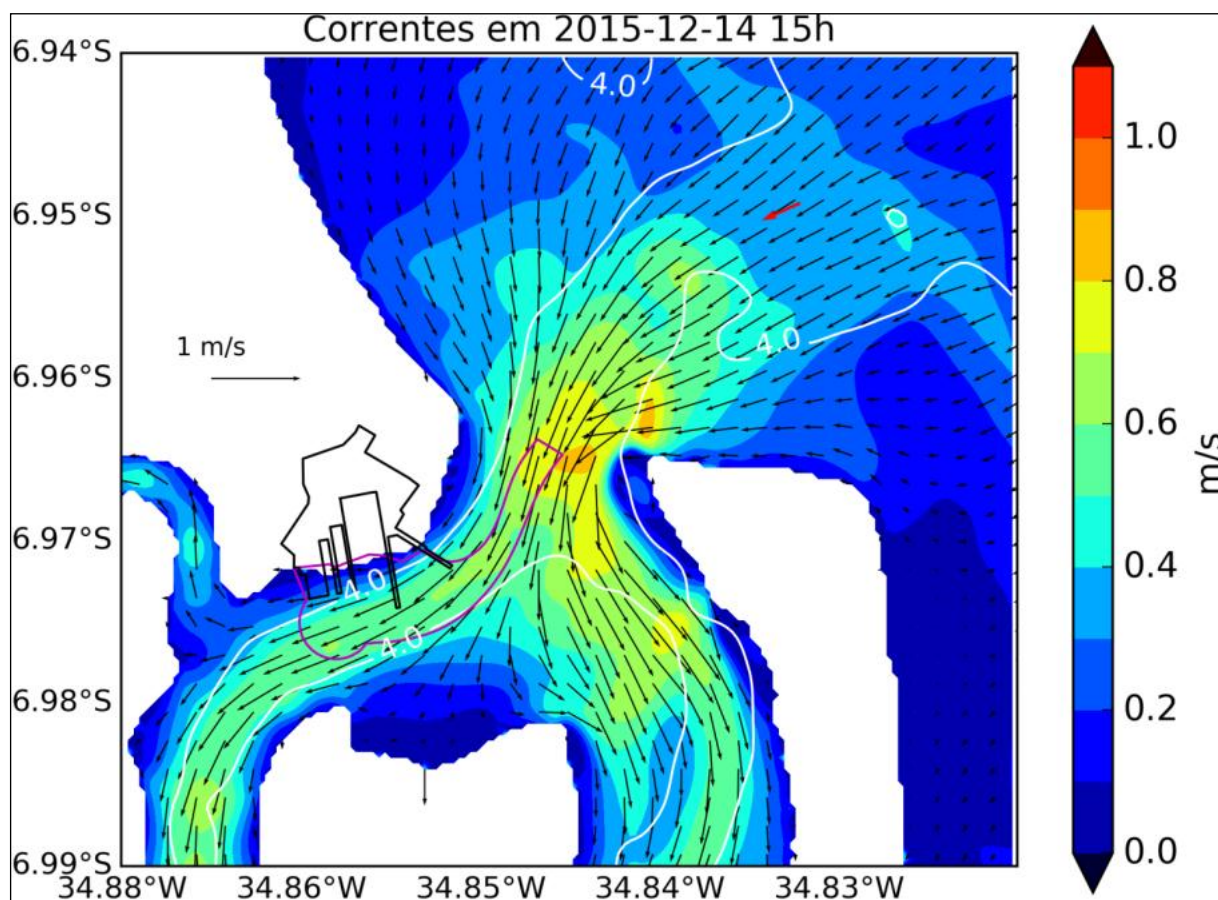


Figura 142. Correntes máximas de enchente com médias verticais para a região de estudo no dia 14/12/2015 às 15h. As setas pretas representam as correntes modeladas e a vermelha a corrente observada. O contorno branco ilustra a isóbata de 4m do modelo. O contorno preto mostra a área de implantação do empreendimento, enquanto que o contorno rosa mostra a área a ser dragada. Os vetores das correntes observadas e modeladas estão na mesma escala de comprimento. Os vetores estão plotados com um espaçamento de 5 pontos de grade para melhor visualização.

As correntes residuais exibem o domínio da maré na região com a presença de um vórtice anticiclônico ao norte da desembocadura do estuário e outro vórtice ciclônico próximo ao ponto de instalação do ADCP (**Figura 143**). De acordo com Zimmerman (1978), estes vórtices são resultados das interações entre a onda de maré com a batimetria e a linha de costa, e sua ocorrência deve estar associada à transferência não linear de vorticidade do movimento oscilatório da maré para o campo médio residual. Já, sobre o ponto do ADCP nota-se a boa correspondência entre modelo e observação, os quais exibem uma tendência de vazante na região. Na desembocadura do estuário notam-se correntes residuais de vazante nas margens do canal, enquanto que correntes residuais de enchente

no centro do canal, em concordância com o modelo conceitual de Li e O'Donnell (2005).

Na região de dragagem as correntes residuais são de vazante com valores que oscilam entre 0 e 0,09 m/s.

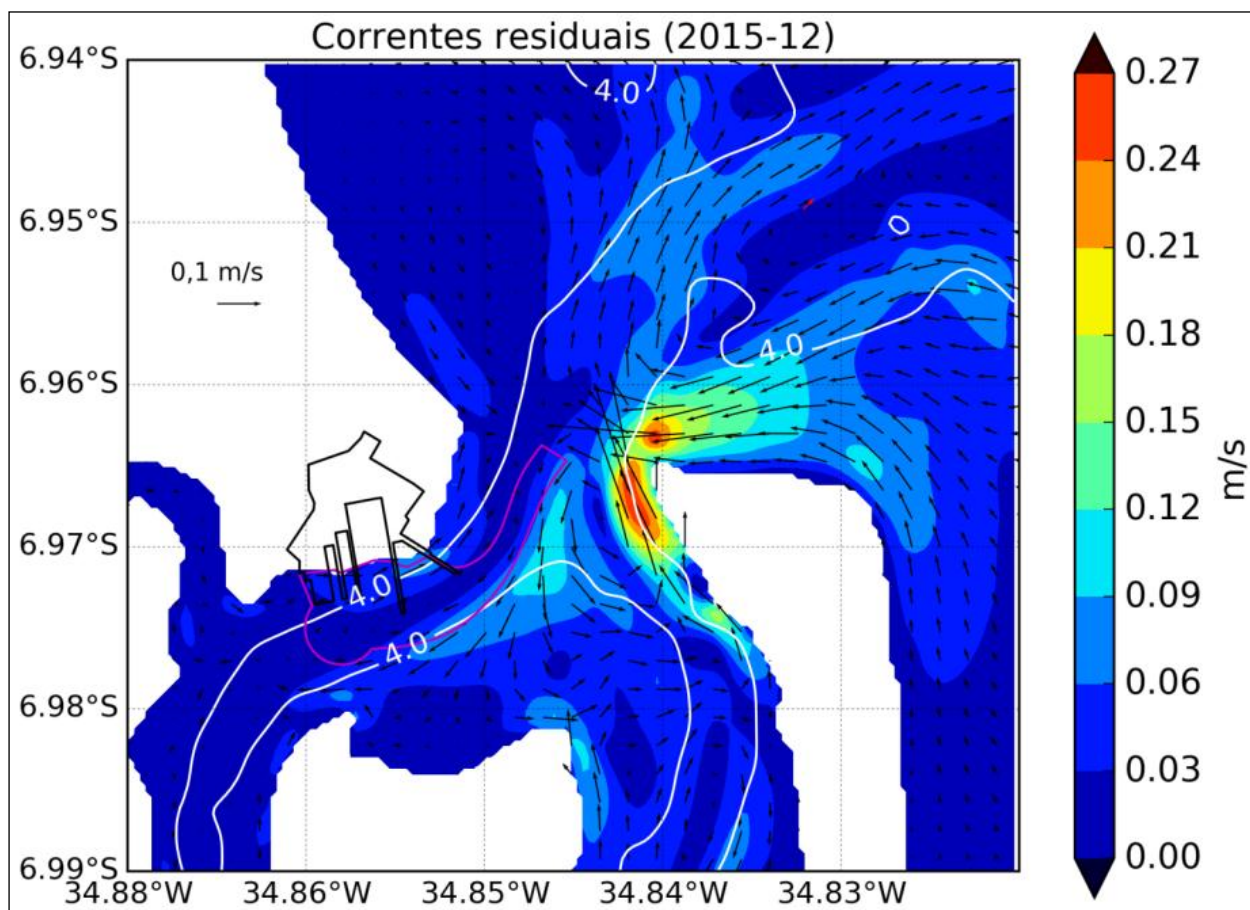


Figura 143. Correntes residuais com média vertical para a região de estudo para o período entre 8/12/2015 e 20/12/2015. As setas pretas representam as correntes modeladas e a vermelha a corrente observada. O contorno branco ilustra a isóbata de 4m do modelo. O contorno preto mostra a área de implantação do empreendimento, enquanto que o contorno rosa mostra a área a ser dragada. Os vetores das correntes observadas e modeladas estão na mesma escala de comprimento. Os vetores estão plotados com um espaçamento de 5 pontos de grade para melhor visualização.

Tabela 45. Erro quadrático médio (RMSE) e erro médio percentual absoluto (MAPE) entre dados observados e simulação numérica para o cenário de verão.

	hs	Tp	dir
RMSE	8,2 cm	1,51 s	19,67°
MAPE	11,65 %	31,31 %	16,01 %

Para validar a simulação numérica do cenário de verão com relação as variáveis de onda, também foram usados os dados observados para o período entre 8 e 20 de dezembro de 2015. As estatísticas entre os dados observados e a simulação são apresentadas na **Tabela 45**. A **Figura 100** apresenta os resultados de altura significativa (painel superior), direção (painel central) e período de pico (painel inferior) das ondas no ponto de coleta dos dados observados (**Figura 12**). É possível observar que em geral o modelo (linha vermelha) é capaz de captar as oscilações na altura das ondas, com oscilações defasadas em aproximadamente uma hora em relação aos dados observados. O RMSE para essa variável foi de 8,2 cm e MAPE de 11,65%. A variabilidade do modelo não é capaz de capturar as máximas e mínimas de altura das ondas, e tampouco as variações diárias. A direção e período de pico das ondas apresentaram padrões similares, com menor variabilidade na simulação numérica em relação à observação, bem como maiores erros em comparação a altura significativa. Para ambas as variáveis o MAPE foi superior a 16%, atingindo 31,31% para o período. O RMSE de 1,51 s e 19,67° foram observados para o período e direção, respectivamente. As diferenças observadas entre modelagem e dados medidos são relacionadas aos efeitos de correntes e ventos locais que possuem uma variabilidade maior que a simulação, bem como a condição de contorno constante no espaço e tempo.

A **Figura 144** apresenta a rosa de ondas para a altura significativa para o período entre 8 e 20 de dezembro de 2015. É possível observar que a modelagem numérica foi capaz de capturar as principais direções de incidência das ondas na entrada do porto de Cabedelo quando comparado com os dados observados (**Figura 101**). A direção predominante de incidência das ondas foi de ENE (~62%) para alturas significativas entre 0,4 e 0,8m. Alturas de onda entre 0,6 e 0,8m foram frequentes na direção E (~57%), enquanto que apenas 8% da frequência de ocorrência das ondas com alturas entre 0,4 e 0,6m foram provenientes dessa direção. A principal diferença entre a modelagem numérica e os dados observados foi a ausência da direção ESE e menores valores de altura significativa das ondas.

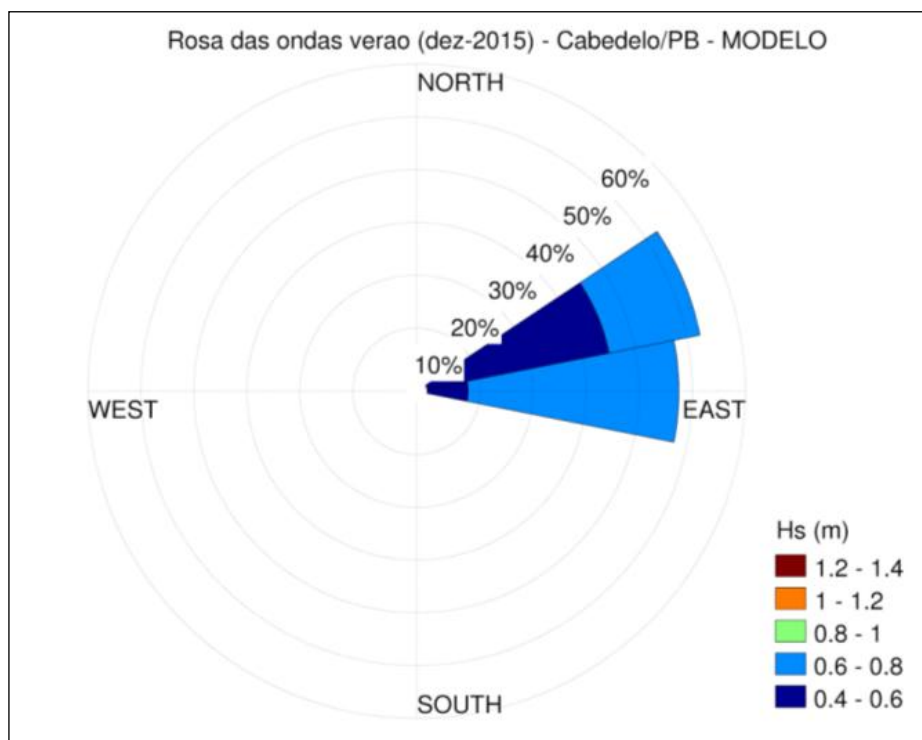


Figura 144. Rosa das ondas de altura significativa para o período entre 8 e 20 de dezembro de 2015, proveniente da modelagem utilizando o Delft3D-WAVE.

O mapa de altura, direção e período médio das ondas para o verão (**Figura 145**) corrobora os resultados médios dos dados observados (seta vermelha), com predominância de ondas de E e ENE nas proximidades do litoral de Cabedelo e alturas médias máximas da ordem de 0,9m. É possível observar as mudanças de direção e diminuição da altura das ondas ao adentrarem as zonas mais rasas do domínio, devido ao fenômeno de refração e atrito quando as ondas passam a sentir a influência do fundo. Períodos de pico entre 4 e 5,5s são predominantes para o período amostrado. Dentro do ERPN, e nas proximidades do empreendimento alturas inferiores a 0,3m e períodos entre 4 e 4,8s são observados. Na área menos protegida do empreendimento, onde haverá a construção do primeiro píer de atracação, as ondas foram inferiores a 0,2m para o período analisado. É possível observar que a estrutura irá criar uma zona de sombra na margem esquerda do estuário que irá diminuir a intensidade das ondulações e contribuir para os fenômenos de reflexão e refração. Sendo assim, o padrão de ondas estuário acima, após o empreendimento, sofrerá mudanças de intensidade e direção na margem esquerda.

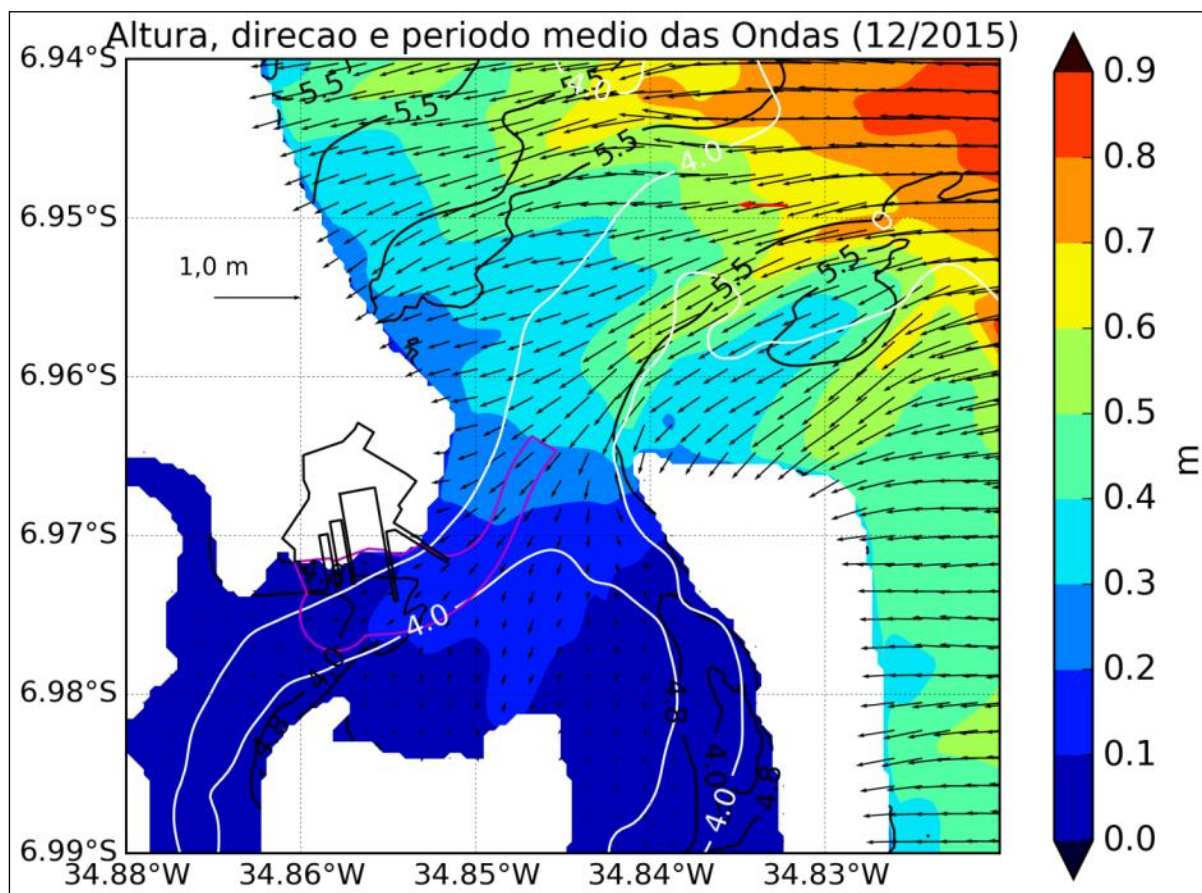
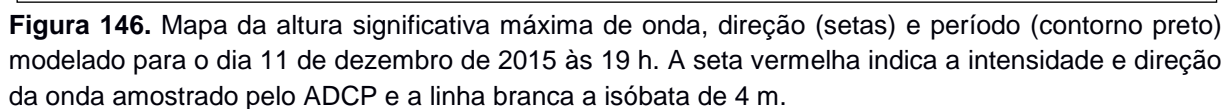


Figura 145. Mapa da altura significativa média de onda, direção (setas) e período (contorno pretos) modelado para o mês de dezembro de 2015. A seta vermelha indica a intensidade e direção da onda médio amostrado pelo ADCP e a linha branca a isóbata de 4m.

O campo de altura, direção e período máximo (**Figura 101**) para o cenário de verão apresenta forte semelhança com o campo médio, com alturas de até 0,96m fora do canal de acesso ao porto de Cabedelo, direção predominante de ENE e período de pico de 5s. O dado observado para a mesma data apresenta a mesma direção de onda da simulação numérica, porém com maior intensidade. Assim como observado para o campo médio, a onda sofre diminuição de altura ao longo do percurso de entrada no estuário e aproximação da linha de costa. Alturas de até 0,36m alcançam a zona que será dragada, porém ondas menos intensas alcançam o empreendimento (0,24m).



Apesar da maior intensidade dos ventos em julho de 2015 (**Figura 103**), em relação a dezembro do mesmo ano (**Figura 102**), as variações de AASM e correntes médias da coluna d'água foram dominadas principalmente pela maré. Essa forçante foi responsável por 99,9 % e 99,3 % da variabilidade da AASM e das correntes, respectivamente, simuladas pelo modelo numérico. A maior altura de maré encontrada foi de 2,49m, marcando um pico de sizígia em 04/07/2015, o que resultou em maiores valores de correntes de vazante e enchente, 0,53m/s e -0,44m/s, respectivamente (**Figura 147**). Entretanto, durante a menor quadratura simulada pelo modelo numérico a altura de maré encontrada foi igual 0,87m, em 25/07/2015. Nesse dia, os máximos valores de correntes de vazante (enchente) foram iguais a 0,16m/s (-0,15m/s).

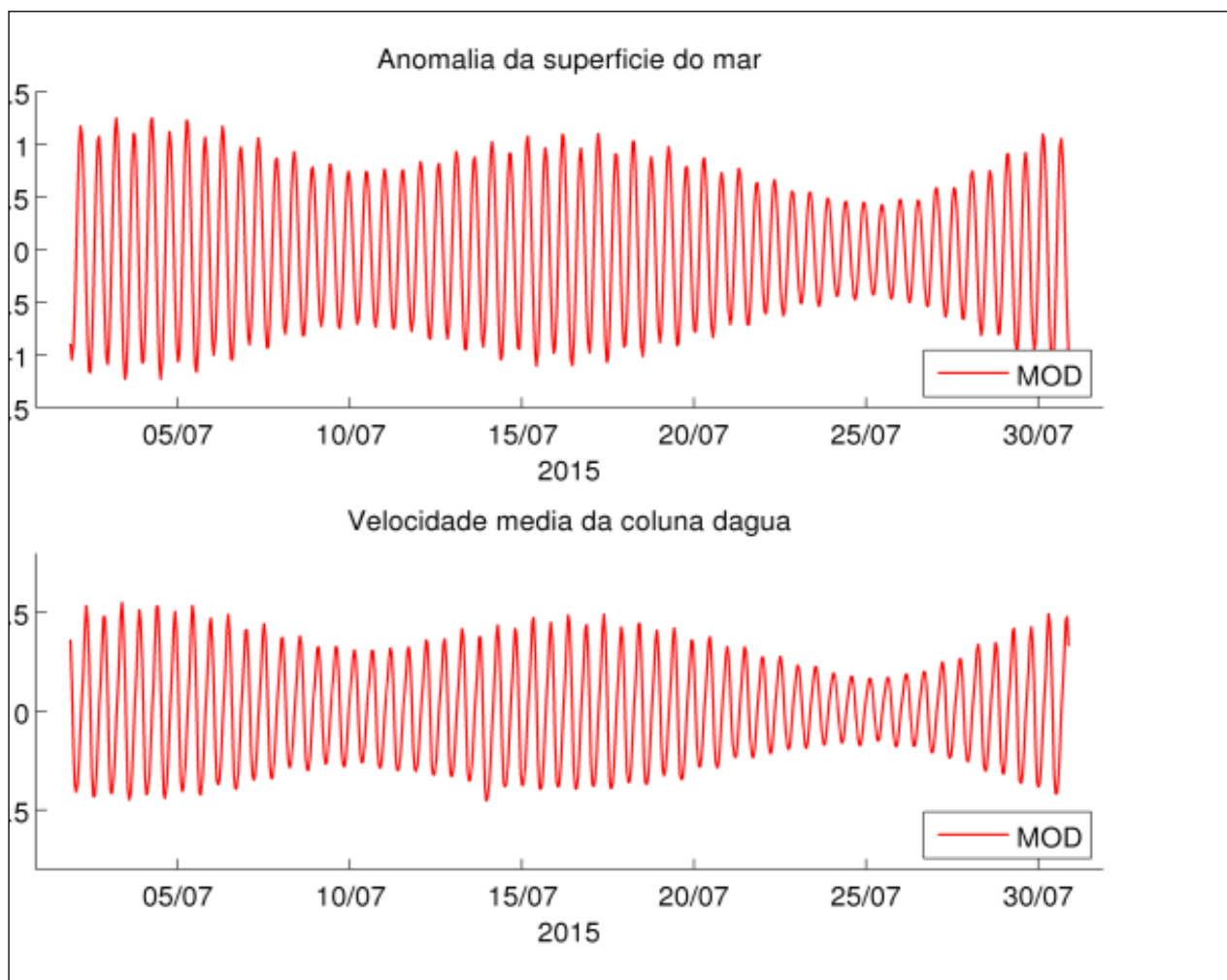


Figura 147. AASM e correntes médias da coluna d'água paralelas ao eixo do canal modeladas no período entre 1 e 30 de julho de 2015.

O estudo de um episódio de meia maré de vazante evidencia a variação espacial do campo de correntes, quando existe a tendência de valores mais intensos de velocidade em direção ao oceano. Assim como no verão, os valores máximos (0,9 - 1,0m/s) de corrente na região se encontram na margem direita próxima à desembocadura do estuário (**Figura 148**). Na região onde serão realizadas as atividades de dragagem, observam-se correntes variando entre 0,1 e 0,8m/s. Nessa região, os maiores valores são encontrados no canal, longe dos atritos laterais e de fundo.

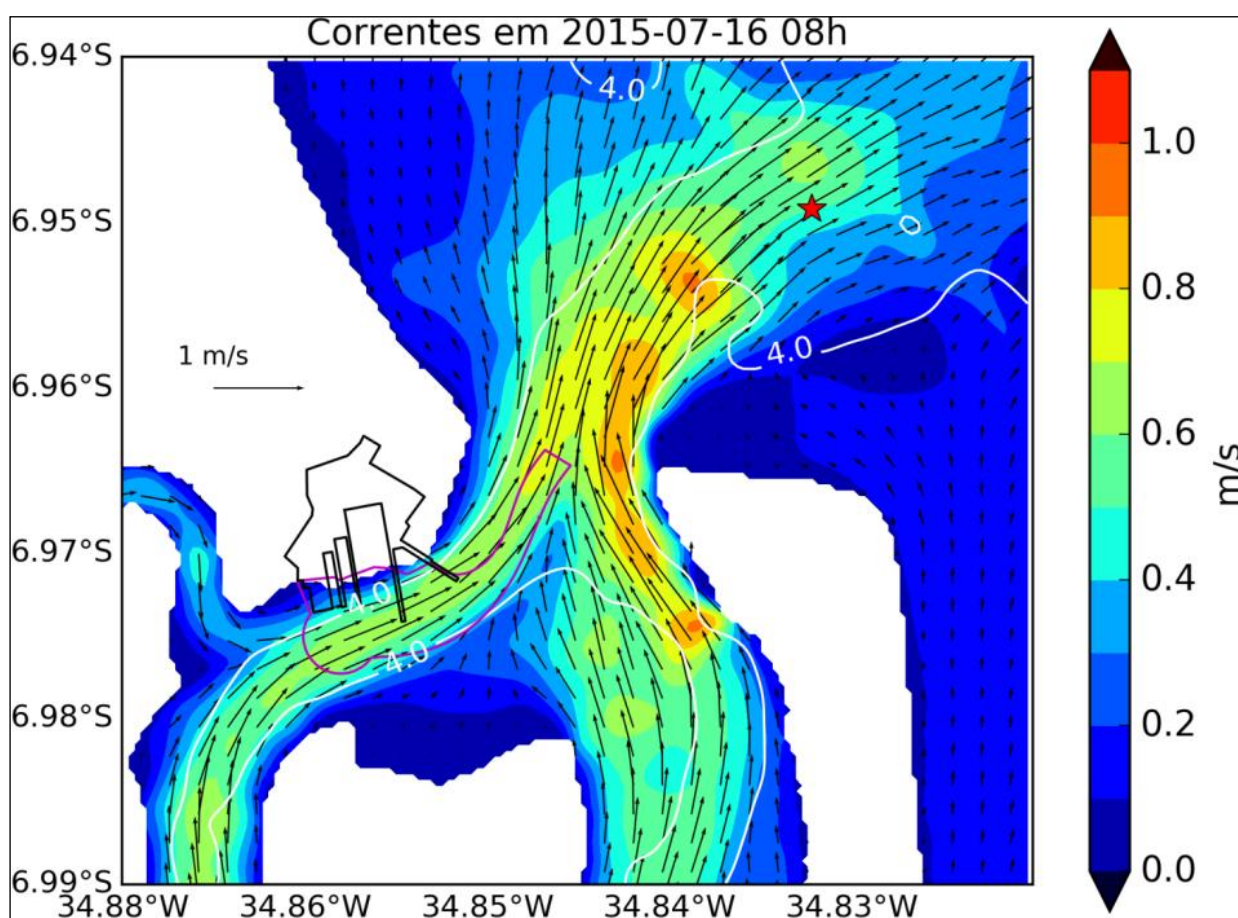


Figura 148. Correntes máximas de vazante com média vertical para a região de estudo no dia 16/07/2015 às 08h. As setas pretas representam as correntes modeladas e a estrela vermelha o ponto de instalação do ADCP. O contorno branco ilustra a isóbata de 4 m do modelo. O contorno preto mostra a área de implantação do empreendimento, enquanto que o contorno rosa mostra a área a ser dragada. Os vetores estão plotados com um espaçamento de 5 pontos de grade para melhor visualização.

No estudo das correntes máximas de enchente, é notável que os maiores valores (0,8 - 0,9m/s) tendem a ocorrer no centro do canal de acesso ao estuário (**Figura 149**).

Para a região de instalação do ADCP, é possível observar valores de correntes iguais a ~0,35m/s. Já na área de dragagem, os valores oscilam entre 0,9m/s - associado à entrada do estuário - a 0,1m/s valores encontrados próximos à linha de costa.

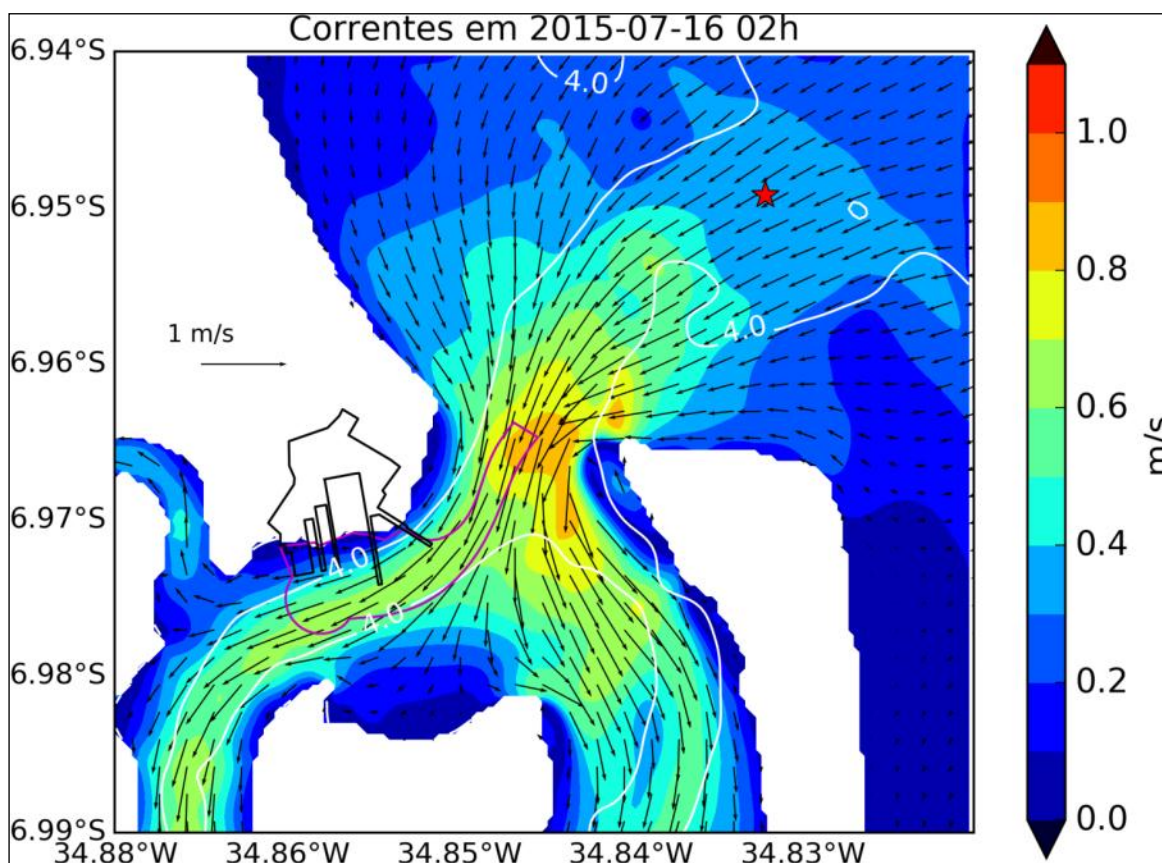


Figura 149. Correntes máximas de enchente com média vertical para a região de estudo no dia 16/07/2015 às 08h. As setas pretas representam as correntes modeladas e a estrela vermelha o ponto de instalação do ADCP. O contorno branco ilustra a isóbata de 4 m do modelo. O contorno preto mostra a área de implantação do empreendimento, enquanto que o contorno rosa mostra a área a ser dragada. Os vetores estão plotados com um espaçamento de 5 pontos de grade para melhor visualização.

As correntes residuais no inverno (**Figura 150**), novamente apresentaram o domínio da maré na região, apesar da maior intensidade do vento nessa época do ano. Foram observados, com bastante similaridade, os dois vórtices residuais, um centrado em 6,95° S e 34,85° W e outro localizado próximo ao ponto de instalação do ADCP. Nas bordas da entrada do estuário foram encontrados fluxos residuais de vazante (0,03 - 0,06m/s na margem esquerda e 0,09 - 0,24m/s na margem direita), enquanto que correntes residuais em direção ao continente (0,03 - 0,12m/s) ocorreram no centro do canal. Na área onde serão realizadas as atividades de dragagem as correntes residuais em direção ao oceano, apresentam valores que oscilam entre 0 e 0,09 m/s. Dessa forma, acredita-se que as variações sazonais da AASM e correntes são muito pequenas, pois elas são controladas principalmente pela maré, a qual oscila, sobretudo,

entre quadratura e sizígia, independentemente da estação do ano. Por esse motivo, existem grandes similaridades nas magnitudes dos fenômenos entre o verão e o inverno.

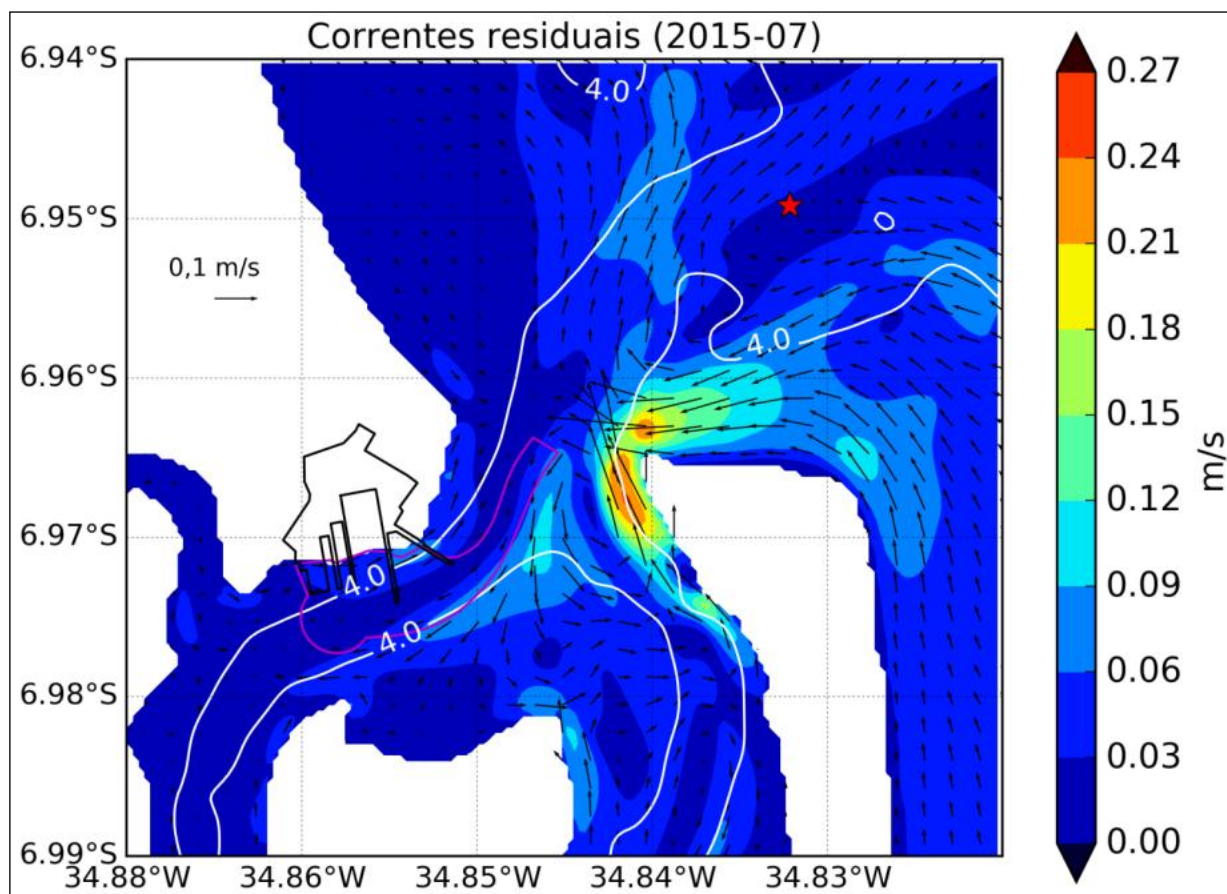


Figura 150. Correntes residuais com média vertical para a região de estudo no dia 16/07/2015 às 08h. As setas pretas representam as correntes modeladas e a estrela vermelha o ponto de instalação do ADCP. O contorno branco ilustra a isóbata de 4 m do modelo. O contorno preto mostra a área de implantação do empreendimento, enquanto que o contorno rosa mostra a área a ser dragada. Os vetores estão plotados com um espaçamento de 5 pontos de grade para melhor visualização.

A **Figura 151** apresenta os resultados de altura significativa (painel superior), direção (painel central) e período de pico (painel inferior) das ondas para o período de inverno, 2 a 15 de junho de 2015, no mesmo ponto de amostragem do ADCP em dezembro de 2015. Devido à ausência de dados observados o cenário de inverno não foi validado. Alturas máximas de 1,2m e mínimas de 0,8m, direção de ESE e períodos entre 7 e 8,4s são característicos dessa simulação. Sendo assim, para o inverno as condições de contorno foram ajustadas para obter maiores alturas e períodos de ondas, bem como a influência

de ondulações de ESE, provenientes principalmente de frentes frias. Os valores apresentados corroboram a descrição da área de estudo realizada por Neves et al. (2010).

A rosa de ondas (**Figura 152**) para a altura significativa evidencia que 100% da frequência de ocorrência das ondulações são de E dentro do domínio, com alturas entre 0,8 e 1,2 m. Sendo assim, ao atingir águas rasas a ondas são refratadas e passam a se deslocar seguindo a geometria do canal, movendo-se estuário acima. (**Figura 12**).

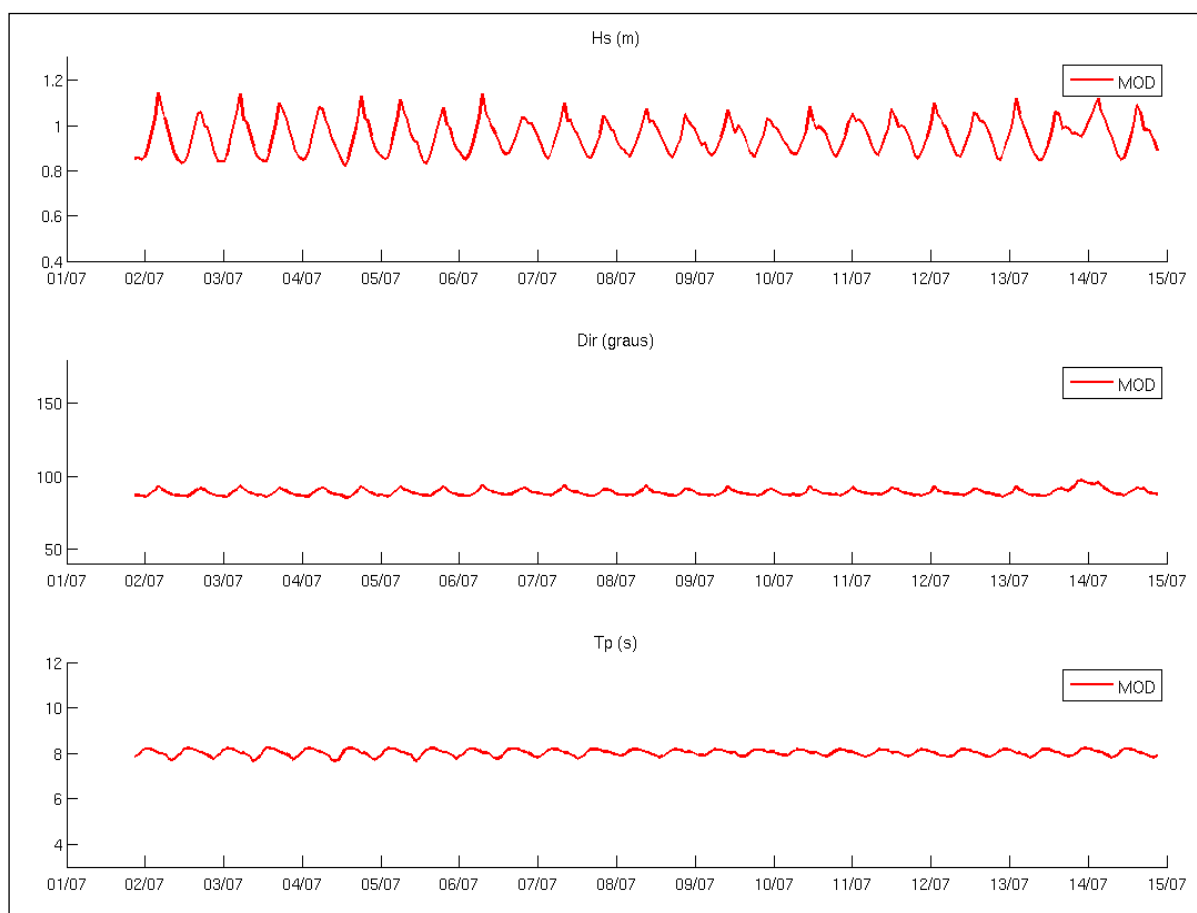


Figura 151. Série temporal da altura significativa (painel superior), direção (painel central) e período (painel inferior) entre 2 a 15 de junho de 2015, para os dados modelados com o Delft3D-WAVE (linha vermelha) para o ponto de amostragem do ADCP.

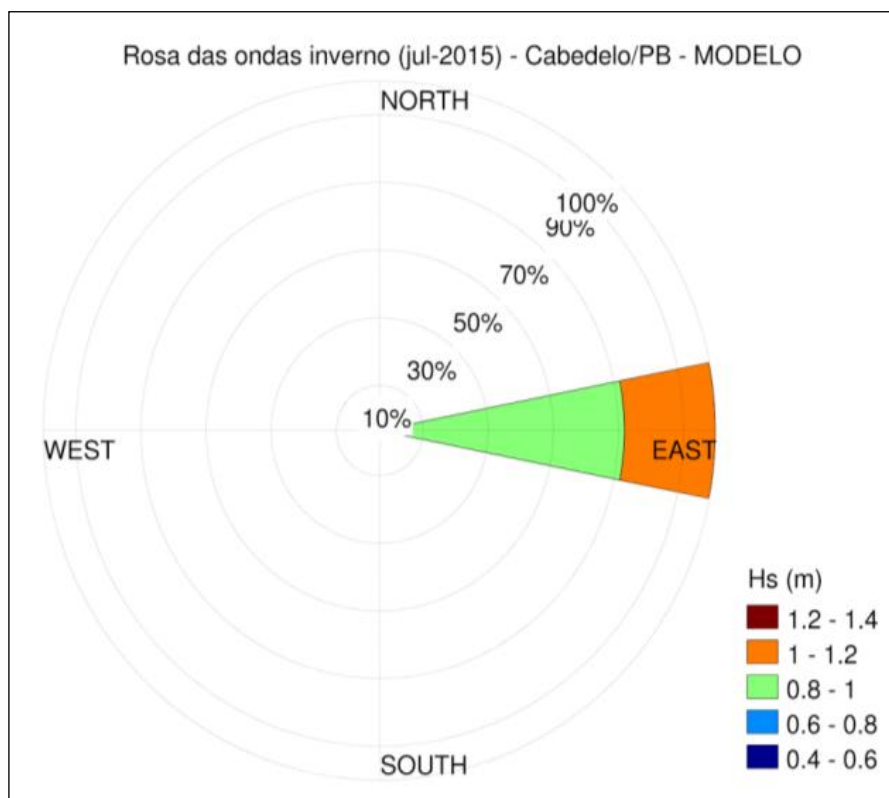


Figura 152. Rosa das ondas de altura significativa para o mês de junho (inverno) de 2015, proveniente da modelagem utilizando o Delft3D-WAVE.

A altura, direção e período médio das ondas no inverno são apresentados na **Figura 153**. Para esse cenário é evidente a maior média da altura das ondas dentro do domínio, variando de 1,6m em 6,94° S e 34,82°W a 0,2m dentro do estuário. As ondas atingem o canal de navegação, marcado pela isóbata de 4m, com períodos de 8 s, e são amortecidas ao longo do percurso estuário acima, diminuindo para 6 s em ambas as margens. É possível verificar a mudança de direção das ondas de ESE para E ao longo do percurso para águas mais rasas. Mesmo no inverno, com condições mais intensas de ondulações, após o local do empreendimento as ondas são inferiores a 0,2m. O mapa de altura, direção e período máximo das ondas (03/07/2015 às 4h:00min) - **Figura 154** - apresenta o mesmo padrão do mapa médio, porém com períodos de 8 s dentro do estuário e alturas de 0,4m em frente a ilha da Restinga.

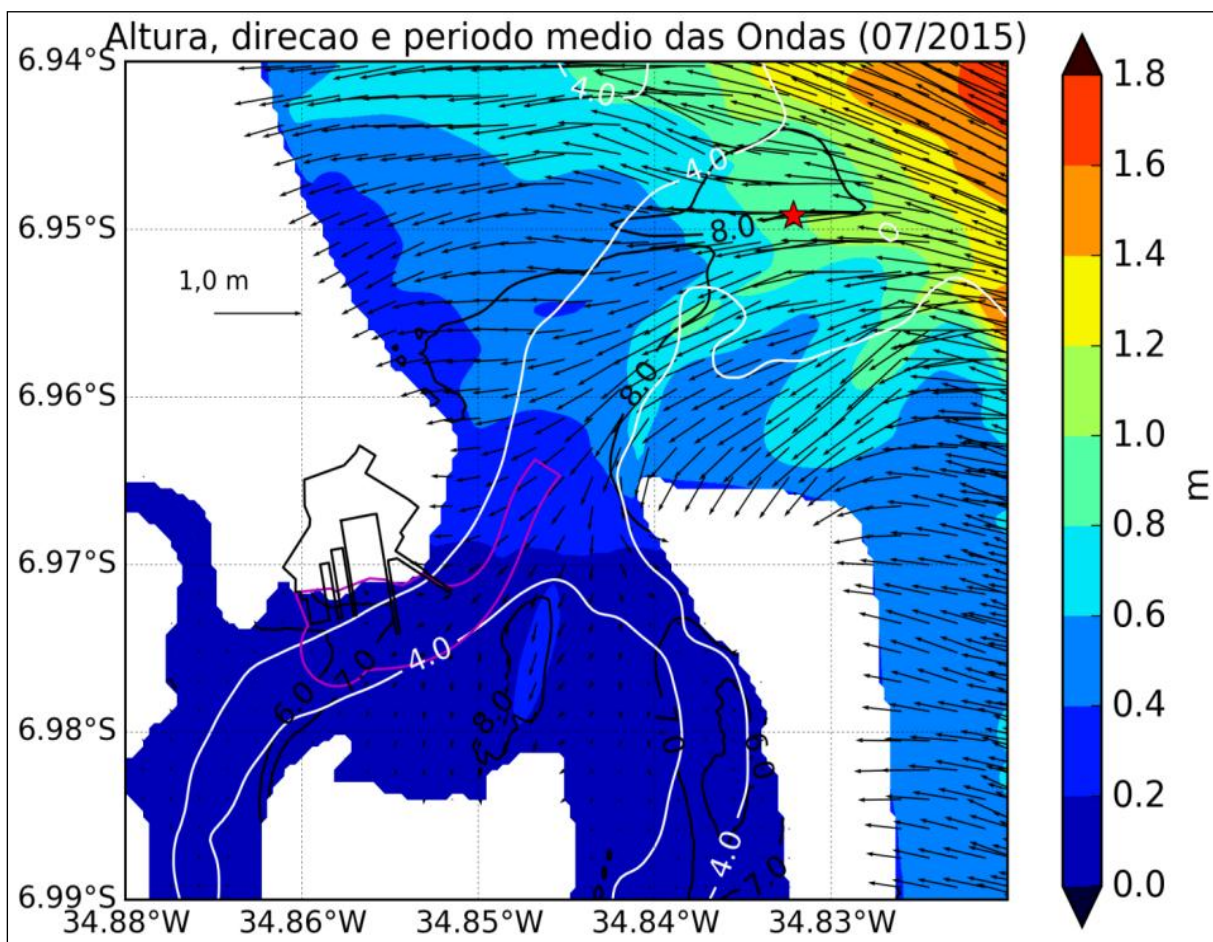
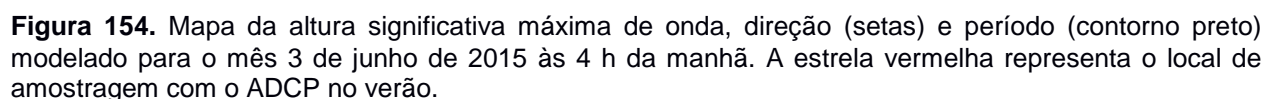


Figura 153. Mapa da média da altura significativa de onda, direção (setas) e período (contorno preto) modelado para o mês de junho de 2015. A estrela vermelha representa o local de amostragem com o ADCP no verão e a linha branca a isóbata de 4m.



O presente relatório apresentou as características hidrodinâmicas (maré, correntes e ondas) do estuário do Rio Paraíba do Norte, localizado na cidade de Cabedelo, Paraíba. Três conjuntos de dados foram analisados para a caracterização da região: base de dados históricos, dados coletados in situ e modelagem numérica.

Os dados observados para o período de verão evidenciaram a estrutura fortemente barotrópica do estuário, com domínio do regime de vazante em quase toda a coluna d'água. As variações de AASM foram causadas principalmente pelas oscilações de maré, correspondendo a 94,1% da variabilidade. No período analisado, 8 a 20 de dezembro de 2015, a altura

máxima de maré foi de 2,1m e a mínima de 1,2m. Os maiores valores de velocidade de corrente foi de 0,6m/s na vazante e 0,4m/s na enchente. Ondas variaram entre 0,45 e 0,81m, com direção E e ESE, e períodos entre 3,1 e 8 s foram observadas durante o verão na região. Tais valores também são observados nos dados históricos do SMC-Brasil.

Em linhas gerais a modelagem numérica apresentou resultados próximos aos dados observados para o período de verão. Devido à ausência de dados coletados para validação no inverno a modelagem numérica foi comparada aos dados históricos. Para o cenário de verão, o coeficiente de correlação entre AASM observada e modelada foi igual 0,99 e o desvio percentual médio para as correntes foi igual 13,6%, valores que corroboram a eficiência da modelagem apresentada. As intensidades e direções das correntes modeladas apresentaram boa correspondência com as observadas, com correntes de enchente menos intensas que as de vazante. A rosa de ondas de altura significativa apresentou grande semelhança com os dados observados e com o PDF dos dados históricos. As principais diferenças entre modelagem e medições in situ são relacionadas aos efeitos de correntes e ventos locais que possuem maior variabilidade e não são captadas pelo modelo numérico. Para o cenário de inverno, apesar da maior intensidade dos ventos a maré ainda dominou as variações de AASM e correntes no estuário. As correntes apresentaram valores semelhantes ao cenário de verão, o que é esperado, já que a maré não sofre influência sazonal. Em ambas as estações as correntes residuais mostraram o domínio da maré na região com a presença de um vórtice anticiclônico ao norte da desembocadura do estuário e outro vórtice ciclônico próximo ao ponto de instalação do ADCP. No verão as ondulações que atingem a região são predominantes do quadrante E e ENE, com alturas médias de 0,8m e período médio de 5 s na região costeira de Cabedelo. Já no inverno, ondulações de ESE também são observadas na região, com maiores alturas e períodos, 1m e 8 s, respectivamente.

O padrão de ondas próximo ao empreendimento, em ambos os cenários simulados, será influenciado pela construção do píer e berços de atracação. As estruturas irão diminuir a intensidade das ondulações e contribuir para os fenômenos de reflexão e refração nas proximidades do empreendimento. As ondas que alcançam o empreendimento, mesmo no inverno, não ultrapassam

0,4m de altura significativa e 8s de período, sendo assim são ondulações de pouca energia.

A série climatológica de 60 anos de dados do SMC-Brasil, corrobora os resultados obtidos em campo e modelados, com a maré sendo caracterizada como semi-diurna, com número de forma a 0,09. A maré meteorológica é praticamente nula na região o que beneficia as atividades de navegação dentro do estuário.

REFERÊNCIAS

AESA – **Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba**. Relatório Final Consolidado do PERH-PB, 2006. Disponível em <http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>. Acessado em 02/12/2015.

Amaral, A. J. R., Menor, E. A., Santos, S. A. 1977. **Evolução paleogeográfica da sequência clástica basal da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba**. In: SBG VIII Simp. Geol. Nord. Atas, 6: 37-63.

Almeida, J. A. C. 2000. **Calcários Recifais eocênicos da Formação Maria Farinha na Sub-Bacia de Alhandra, Paraíba: Aspectos Taxionômicos, Paleoecológicos, Paleoambientais e Estratigráficos**. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Geociências – UFPE, 164p.

Araújo, L. E.; Sousa, F. A. S.; Moraes Neto, J. M.; Souto, J. S. **Bacias Hidrográficas e Impactos Ambientais**. Qualit@s Revista Eletrônica, ISSN 1677 4280, v.8, n.1, p.1-19, 2009.

Attrill MJ, Myles Thomes R (1995) **Heavy metal concentrations in sediment from the Thames Estuary, UK**. Mar. Pollut. Bull. 30:742–744.

Barbosa, J. A., Souza, E. M., Lima Filho, M. F. & Neumann, V. H. 2003. **A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração**. Estudos Geológicos, Recife, 13: 89-108.

Barbosa, J. A., Souza, E. M., Lima Filho, M. Neumann, V. H. 2004. **The stratigraphic evolution of the Paraíba Basin, NE Brazil, A basic analysis using sequence stratigraphy tools**. Am. Assoc. Petr. Geol., Annual Meeting. Dallas. Abstracts in CD Rom.

Barbosa, J. A & Lima Filho, M. F. 2006. **Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços**. Boletim de Geociências da Petrobras, 14(1): 287-306.

Barbosa, J. A. 2007. **A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal, NE do Brasil: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos.** Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Geociências – UFPE, 270p.

Beurlen, K., 1967. **Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa.** Boletins de Geologia São Paulo. 16(1): 43-53.

Borges, U. N. 2004. **Mapeamento das áreas de conflito com a legislação e de riscos decorrentes da instalação de postos de combustíveis na cidade de João Pessoa – PB, utilizando sistema de informação geográfica e sensoriamento remoto.** Monografia de Graduação. UFPB, CCEN, Departamento de Geociências – Curso de Geografia. João Pessoa. 145p.

Camargo, MG. 2006. Sysgran: **um sistema de código aberto para análises granulométricas.** Ver. Bras. Geofísica 2:371-378.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A.; DIAS, M. A. F: **Tempo e Clima no Brasil, Ed.** Oficina de Textos, 463p, 2009.

De Backer, A.; Van Colen, C.; Vincx, M.; Degraer, S.. **The role of biophysical interactions within the ijzermunding tidal flat sediment dynamics.** Continental Shelf Research v.30, P.1166–1179, 2010.

Dias, J. A. 2004. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica).** Universidade do Algarve, UALg, 84p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, SPI/CNPS, 1999. 412p.

FEMAR. **Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras, 2000.** Online em http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/cat_emb.html acesso em dez/2015.

FERREIRA, A. G; MELLO, N.G.S. **Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região.** Revista Brasileira de Climatologia, vol.1, nº 1. p.15-28, 2005.

Folk RL, Ward WC. 1957. **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters.** Journal of Sedimentary Petrology 27: 3–26.

FRAZÃO, L. S. **Caracterização Batimétrica e Físico-Oceanográfica do Canal de Acesso ao Porto de Cabedelo/PB:** Uma Análise Ambiental ao Derrame de Óleo. (Dissertação de Mestrado). Natal/RN. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 98p, 2011.

FURRIER, M. **Caracterização Geomorfológica e do Meio Físico da Folha João Pessoa – 1:100.000. Tese (Doutorado).** Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007. 213p.

FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da folha João Pessoa – 1:100.000.** Tese de Doutorado. São Paulo/SP – USP. (2007)

GARRISON, T. Fundamentos de Oceanografia. Ed. Cengage Learning, cap. 11. 2010.

Guedes, L. S. **Monitoramento geoambiental do estuário do rio Paraíba do Norte – PB por meio de cartografia temática digital e de produtos de sensoriamento remoto.** (Dissertação de Mestrado). Natal/RN. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 90p, 2002.

Holland KT, Elmore P a. (2008) **A review of heterogeneous sediments in coastal environments.** Earth-Science Rev. 89:116–134.

IBGE, 2002. Mapa de Climas do Brasil. Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/shapes/>. Acessado em: 11/12/2015.

KÖPPEN, W, **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm. 1923.

LI C, O'DONNELL J (2005) **The effect of channel length on the residual circulation in tidally dominated channels.** J PhysOceanogr 35:123–456

Lima, F. H. O., & Koutsoukos, E. A. M., 2004. **Petrografia e microfácies das rochas carbonáticas da Formação Gramame (Maastrichtiano), Bacia de Pernambuco-Paraíba, NE-Brasil.** In: SBG 42 Cong. Bras. Geol. Boletim de resumos, em CD-Rom

LIMA, M. C. **Variabilidade da precipitação no litoral Leste da região Nordeste do Brasil.** (Dissertação de Mestrado). São José dos Campos. Programa de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 222p, 1991.

Mantovanelli, A. **Caracterização da Dinâmica Hídrica e do Material Particulado em Suspensão na Baía de Paranaguá e em sua Bacia de Drenagem.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, 169 p., 1999.

MASSELINK, G., HUGHES, M. **Field Investigation of Sediment Transport in Swash Zone.** Continental Shelf Research. v. 18. p.1179 – 1799. 1998.

Miranda, L. B.; Castro, B. M. e Kjerfve, B. **Princípios da Oceanografia Física de Estuários.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, Cap.2, 2002.

MMA/UFRJ/FUJB/LAGET/UFRS. **Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil na Escala da União.** PNMA - Programa Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 280 p., 1996.

MOLION, L. C. B; BERNARDO, S.O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro.** Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, v.17, n.1, p. 1-10, 2002.

MUEHE, D. **O litoral brasileiro e sua compartimentação.**In: Cunha, D. S. e Guerra, T. J. A. (orgs.). Geomorfologia do Brasil, Ed. Bertrand Brasil. 2003.

Nóbrega, V. A. & Alheiros, M. M. 1991. **Petrografia do Arenito Beberibe, Bacia Pernambuco–Paraíba.** In: SBG XIV Simp. Geol. Nord. Atas, 75–77.

NEVES, S. M. **Erosão Costeira no Estado da Paraíba.** Salvador – BA 2003. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

Palmer, M. A. B.; Kjerfve, B.; Schwing, F. B. **Tidal analysis and prediction in a South Carolina estuary.** Contr Mar Sci 23: 17-23, 1980.

PEREIRA, M. D. B. **As Chuvas na Cidade de João Pessoa: uma Abordagem Genética.** (Trabalho de conclusão de curso). João Pessoa/PB. Programa de graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba, 93p, 2014.

Santos, F. M.; Lessa, G. C. **Mapeamento e caracterização geomorfológica e oceanográfica dos grandes estuários brasileiros.** Anais do XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Bém-PA, 2007.

Santos, F. M.; Lessa, G. C; Lentini, C. A. D.. **Estudo comparativo das características geomorfológicas e preenchimento sedimentar de seis grandes estuários brasileiros.** Anais do IV Congresso Brasileiro de Oceanografia, Rio Grande-RS, 2010.

Santos, F. M.; Lessa, G. C; Lentini, C. A. D.. **Estudo comparativo das características geomorfológicas e preenchimento sedimentar de seis grandes estuários brasileiros.** Anais do IV Congresso Brasileiro de Oceanografia, Rio Grande-RS, 2010.

SILVA, L. L. **Precipitações Pluviais da Pré-Estação Chuvosa no Período Chuvoso e suas Influências na Produtividade Agrícola da Paraíba.** (Dissertação de Mestrado). Campina Grande/PB. Programa de Pós-graduação em Meteorologia/UFCG, 114p, 2007.
Silva, L. M. T. Nas Margens do rio Paraíba do Norte. Cadernos do Logepa, João Pessoa, v.2, p.74-80, 2003.

Silva, T. C.; Alencar, M. B. **Análise da Estacionariedade de Séries de Vazões na Bacia do Rio Gramame.** Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: Editora da ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, v. 1, 2001.

Soares, V. B. 2005. **A Prática de Fundações na Paraíba.** In GUSMÃO, A. D. et al. Eds. Geotecnia no Nordeste. Recife. Editora Universitária da UFPE, 543p. p. 265-281.

Soares, W. C. 2011. **Banco de dados geológico – geotécnicos com base em sondagens a percussão e uso de SIG: Análise Espacial da Profundidade do Lençol Freático e do NSPT para obras de fundação em João Pessoa – PB.** Tese

(Doutorado). Escola Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Programa de Pós-graduação em Geotecnia. São Carlos. 215p.

SOBREIRA, L. C. **Expansão Urbana e Variações Mesoclimáticas em João Pessoa – PB.** (Dissertação de Mestrado). João Pessoa/PB. Programa de pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, 69p, 2010.

SORRE, M. Le Climat. In: SORRE, M. **Les Fondements de la Géographie Humaine.** Paris: Armand Colin, Chap. 5, p.13-43, 1951.

Suguio, K. 1973. **Introdução à sedimentologia.** São Paulo, Edgard Blucher, Ed da Universidade de São Paulo.

Syvitski, J. P. M.; Milliman, J. D. Geology, Geography, and Human Battle for Dominance over the Delivery of Fluvial Sediment to the Coastal Ocean. *The Journal of Geology*, v.15, p.1-19, 2007.

Tuma, L. S. R. **Mapeamento Geotécnico da Grande João Pessoa – PB.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. São Paulo. 2004. 211p.

U.S. Geological Survey (USGS).Landsat—**Earth observation satellites. U.S. Geological Survey Fact Sheet** 2015–3081, 4 p., 2015.

UVO, C. B.; REPELLI, C. A; ZEBIAK, S. E.; YOCHANAN, K. . **The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation, Journal of Climate**, v. 11, p. 551-562, 1998.

UVO, C. B.; REPELLI, C. A; ZEBIAK, S. E.; YOCHANAN, K. . **The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation, Journal of Climate**, v. 11, p. 551-562, 1998.

Vieira, C. M. C. L.; Ribeiro, M. M. R. **A gestão de recursos hídricos no estado da Paraíba: aspectos legais e institucionais.** Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.



MCQUILLING PARTNERS, INC.



Xavier, R. A.; Dornellas, P. C.; Maciel, S. J; Bú, J. C. **Caracterização do regime fluvial da Bacia hidrográfica do Rio Paraíba – PB.** Rev. Tamoios, São Gonçalo (RJ), n.2, p.15-28, 2012.