

# ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL - EIA

Exploração, transporte, descarregamento e  
beneficiamento de calcário marinho – Tutóia/MA

BIOMAR MINERAÇÃO



VOLUME 2

Revisão

Setembro, 2022





# **ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL - EIA**

**Exploração, transporte, descarregamento e beneficiamento de  
calcário marinho – Tutóia/MA**

## **VOLUME 2**

**Empreendedor: BIOMAR Mineração Ltda.**

**Elaborado por:**

***APOIO Engenharia e Mineração Ltda.***

**Em parceria com:**

***DPG Consultoria e Tecnologia Ltda.***

***CICLO Assessoria e Serviços Ambientais Ltda.***

***SABIO Soluções Ambientais e Ensino de Biologia***

## **VOLUME 2 – APRESENTAÇÃO**

O **VOLUME 2** compreende o Subcapítulo 5.1, “Diagnóstico do Meio Físico”, inserido no **Capítulo 5, DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**”, do presente **ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL**, que contempla a seguinte a **ESTRUTURA GERAL**:

### **VOLUME 1**

#### **1. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL**

##### **1.1. INTRODUÇÃO**

##### **1.2. OBJETIVO**

##### **1.3. DIRETRIZES GERAIS DO EIA**

#### **2. PROCEDIMENTOS PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL**

##### **2.1. REGULAMENTAÇÃO APLICÁVEL**

2.1.1. Legislação Federal

2.1.2. Legislação Estadual

#### **3. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

##### **3.1. APRESENTAÇÃO**

3.1.1. Identificação do Empreendedor

3.1.2. Identificação da Consultoria Técnica

3.1.3. Identificação de Equipe Técnica

##### **3.2. JUSTIFICATIVAS DO EMPREENDIMENTO**

3.2.1. Panorama Geral

3.2.2. Justificativa Técnica

3.2.3. Aspectos Sociais e Econômicos

3.2.4. Aspectos Ambientais

3.2.5. Aspectos Locacionais, Políticos e Administrativos

3.2.6. Não Execução da Atividade

3.2.7. Outras Considerações

##### **3.3. CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE**

3.3.1. Localização do Empreendimento

3.3.1.1. Localização da Atividade de Extração

3.3.1.2. Localização da Atividade de Descarregamento

3.3.1.3. Localização da Atividade de Beneficiamento

3.3.1.4. Unidades de Conservação

3.3.1.5. Compatibilização do Empreendimento com Planos, Programas e Projetos

### 3.3.2. Caracterização do Material a ser Explotado

### 3.3.3. Metodologia Operacional

#### 3.3.3.1. Extração

#### 3.3.3.2. Descarregamento

#### 3.3.3.3. Beneficiamento

#### 3.3.3.4. Quadro de Pessoal

#### 3.3.3.5. Insumos

#### 3.3.3.6. Efluentes e Resíduos Gerados

#### 3.3.3.7. Medidas de Segurança e Prevenção de Acidentes

#### 3.3.3.8. Empreendimentos Associados, Decorrentes e Similares

#### 3.3.3.9. Alternativas Locacionais

### 3.3.4. Plano de Aproveitamento Econômico

#### 3.3.4.1. Reservas

#### 3.3.4.2. Produção

#### 3.3.4.3. Cronograma de Implantação do Empreendimento

## 4. ÁREAS DE INFLUÊNCIA

### 4.1. ÁREA DIRETAMENTE AFETADA – ADA

#### 4.1.1. Meio Físico

#### 4.1.2. Meio Biótico

#### 4.1.3. Meio Socioeconômico

### 4.2. ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA – AID

#### 4.2.1. Meio Físico

#### 4.2.2. Meio Biótico

#### 4.2.3. Meio Socioeconômico

### 4.3. ÁREA DE INFLUÊNCIA INDIRETA – AII

#### 4.3.1. Meio Físico

#### 4.3.2. Meio Biótico

#### 4.3.3. Meio Socioeconômico

## **VOLUME 2**

### **5. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**

#### **5.1. DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO**

- 5.1.1. Metodologia aplicada
- 5.1.2. Delimitação da Análise do Meio Físico
- 5.1.3. Clima e Meteorologia
  - 5.1.3.1. Características Regionais
  - 5.1.3.2. Classificação Climática
- 5.1.4. Geologia e Geomorfologia
  - 5.1.4.1. Geologia Regional
  - 5.1.4.2. Geologia e Geomorfologia da Zona Costeira do Maranhão (ZCEM)
  - 5.1.4.3. Plataforma Continental na Região de Tutóia
  - 5.1.4.4. Caracterização geológica das áreas de exploração
  - 5.1.4.5. Faciologia
  - 5.1.4.6. Sondagens
  - 5.1.4.7. Mapa de Fácies
  - 5.1.4.8. Sondagens
  - 5.1.4.9. Caracterização e Análise Geoquímica dos Sedimentos Coletados
- 5.1.5. Oceanografia
  - 5.1.5.1. Introdução
  - 5.1.5.2. Áreas de Exploração da BIOMAR Mineração
  - 5.1.5.3. Temperatura, Salinidade e Transparência
  - 5.1.5.4. Circulação das Águas Costeiras
  - 5.1.5.5. Sistema de Correntes Equatoriais
  - 5.1.5.6. Circulação Oceânica na Plataforma Continental Norte Brasileira
  - 5.1.5.7. Circulação Oceânica na Plataforma Continental do Maranhão
  - 5.1.5.8. Marés e Correntes de Maré
  - 5.1.5.9. Ondas Oceânicas
  - 5.1.5.10. Turbidez
- 5.1.6. Qualidade da água
- 5.1.7. Bibliografia Referencial Específica

## **VOLUME 3**

### **5.2. DIAGNÓSTICO DO MEIO BIÓTICO**

- 5.2.1. Metodologia aplicada
- 5.2.2. Delimitação da Análise do Meio Biótico
- 5.2.3. Inventário Quali-Quantitativo das Algas Calcárias Vivas e as Demais Espécies de Algas mais Abundantes na Área de Exploração
- 5.2.4. Caracterização da Comunidade Bentônica e Infauna no Sedimento
  - 5.2.4.1. Introdução
  - 5.2.4.2. Metodologia de Análise
  - 5.2.4.3. Resultados e Discussão
- 5.2.5. Caracterização da Ictiofauna (Nécton)
  - 5.2.5.1. Introdução
  - 5.2.5.2. A Caracterização
  - 5.2.5.3. Metodologia de Análise
  - 5.2.5.4. Resultados e Discussão
- 5.2.5. Caracterização das Espécies de Cetáceos e Quelônios
  - 5.2.5.1. Cetáceos
  - 5.2.5.2. Quelônios Marinhos
- 5.2.6. Caracterização dos Manguezais nas Áreas de Influência do Empreendimento
- 5.2.7. Bibliografia Referencial Específica

## **VOLUME 4**

### **5.3. DIAGNÓSTICO DO MEIO SOCIOECONÔMICO**

- 5.3.1 Metodologia Aplicada
- 5.3.2. Delimitação da Análise Socioeconômica
- 5.3.3. Dados Gerais do Município de Tutóia
- 5.3.4. História
  - 5.3.4.1. Histórico de Criação
  - 5.3.4.2. Patrimônio Histórico Remanescente
- 5.3.5. Limites e Divisas
  - 5.3.5.1. Limites Municipais
  - 5.3.5.1. Limites Interdistritais
- 5.3.6. Perfil Geral da População
- 5.3.7. Educação

- 5.3.8. Saúde
- 5.3.9. Saneamento Básico
  - 5.3.9.1. Abastecimento de Água
  - 5.3.9.2. Esgotamento Sanitário
  - 5.3.9.3. Resíduos Sólidos
- 5.3.10. Sistema Elétrico
- 5.3.11. Estrutura de Transportes
  - 5.3.11.1. Transporte Rodoviário
  - 5.3.11.2. Sistema Portuário
  - 5.3.11.3. Transporte Ferroviário
  - 5.3.11.4. Transporte Aéreo
- 5.3.12. Renda, Trabalho e Atividades Econômicas
  - 5.3.12.1. Panorama Geral
  - 5.3.12.2. Turismo
  - 5.3.12.3. Agropecuária
  - 5.3.12.4. Extrativismo Vegetal
  - 5.3.12.5. Mineração
  - 5.3.12.6. Atividades Pesqueiras
- 5.3.13. Bibliografia Referencial Específica

## **VOLUME 5**

### **6. ANÁLISE INTEGRADA**

#### **6.1. SÍNTESE DA ANÁLISE INTEGRADA**

- 6.1.1. Introdução
- 6.1.2. O Projeto Extração de Sedimentos biodetríticos/BIOMAR e os Recursos Naturais
- 6.1.3. O Projeto Extração de Sedimentos Biodetríticos/BIOMAR e os Ecossistemas
- 6.1.4. O Projeto Extração de Sedimentos Biodetríticos/BIOMAR e o Ecossistema Urbano
- 6.1.5. Síntese da Qualidade Ambiental
  - 6.1.5.1. Meteorologia
  - 6.1.5.2. Geologia/Geomorfologia
  - 6.1.5.3. Oceanografia
  - 6.1.5.4. Qualidade da Água
  - 6.1.5.5. Ictiofauna
  - 6.1.5.6. Atividade Pesqueira

6.1.5.7. Zoobentos

6.1.5.8. Unidades de Conservação

## **6.2. PROGNÓSTICO AMBIENTAL**

### **6.3. IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS**

6.3.1. Metodologia de Avaliação de Impactos

6.3.2. Descrição e Classificação dos Impactos e Apresentação das Medidas Mitigadoras e Potencializadoras

6.3.2.1. Fase de Planejamento

6.3.2.2. Fase de Implantação/Operação

6.3.3 Descrição dos Impactos por Meio Estudado

6.3.3.1. Meio Físico

6.3.3.2. Meio Biótico

6.3.3.3. Meio Socioeconômico

6.3.3.4. Resumo dos Impactos

## **6.4. PROGRAMAS AMBIENTAIS**

6.4.1. Introdução

6.4.2. Objetivos

6.4.2.1. Programa de Gestão Ambiental – PGA

6.4.2.2. Programa de Comunicação Social

6.5.2.3. Programa de Educação Ambiental para Trabalhadores (PEAT)

6.5.2.4. Programa de Delimitação a Área de Dragagem

6.5.2.5. Programa de Monitoramento das Comunidades Planctônicas e Bentônicas nas Áreas de Extração

6.5.2.6. Programa de Monitoramento dos Níveis da Qualidade de Água nas Áreas de Extração

6.5.2.7. Programa de Segurança na Navegação

6.5.2.8. Programa de Adoção de Descarte de Finos e Areia no Fundo

6.5.2.9. Programa de Priorização de Contratação de Mão-De-Obra

## **7. CONCLUSÕES**

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## **VOLUME 6**

## **9. ANEXOS**

## VOLUME 2 – SUMÁRIO

<b>5. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....</b>	<b>14</b>
<b>5.1. DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO.....</b>	<b>15</b>
5.1.1. Metodologia aplicada .....	15
5.1.2. Delimitação da Análise do Meio Físico .....	16
5.1.3. Clima e Meteorologia.....	18
5.1.3.1. Características Regionais .....	18
5.1.3.2. Classificação Climática .....	20
5.1.4. Geologia e Geomorfologia .....	29
5.1.4.1. Geologia Regional .....	29
5.1.4.2. Geologia e Geomorfologia da Zona Costeira do Maranhão (ZCEM) .....	31
5.1.4.3. Plataforma Continental na Região de Tutóia.....	36
5.1.4.4. Caracterização geológica das áreas de exploração .....	39
5.1.4.5. Faciologia .....	43
5.1.4.6. Sondagens .....	47
5.1.4.7. Mapa de Fácies .....	52
5.1.4.8. Caracterização e Análise Geoquímica dos Sedimentos Coletados .....	54
5.1.5. Oceanografia .....	59
5.1.5.1. Introdução.....	59
5.1.5.2. Áreas de Exploração da BIOMAR Mineração.....	60
5.1.5.3. Temperatura, Salinidade e Transparência .....	64
5.1.5.4. Circulação das Águas Costeiras.....	73
5.1.5.5. Sistema de Correntes Equatoriais.....	74
5.1.5.6. Circulação Oceânica na Plataforma Continental Norte Brasileira .....	74
5.1.5.7. Circulação Oceânica na Plataforma Continental do Maranhão .....	75
5.1.5.8. Marés e Correntes de Maré .....	75
5.1.5.9. Ondas Oceânicas .....	76
5.1.5.10. Turbidez .....	76
5.1.6. Qualidade da água .....	81
5.1.7. Bibliografia Referencial Específica .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 5.1.2-1: ADA, AID e All da atividade de extração.</i>	17
<i>Figura 5.1.3.1-1: Municípios Costeiros do Estado do Maranhão.</i>	19
<i>Figura 5.1.3.2-1: Rosa do Ventos de Parnaíba, PI. Fonte: INMET, 2016.</i>	26
<i>Figura 5.1.3.2-2: Mapa de indicação de estações oceanográficas – operação Norte II do Programa REVIZEE. Fonte: Programa REVIZEE, 2004.</i>	27
<i>Figura 5.1.3.2-3: Distribuição superficial da temperatura na PCM.</i>	
<i>Fonte: Programa REVIZEE, 2004.</i>	28
<i>Figura 5.1.3.2-4: Temperatura da água do mar em pontos litorâneo. Fonte: NOAA, 2013</i>	28
<i>Figura 5.1.4.1-1: Mapa de localização das Bacias Mesozoicas. As áreas requeridas encontram-se sobre o Arco de Tutóia, que divide as Bacias de Ceara e Barreirinhas. Fonte: REGALI et al., 1985.</i>	30
<i>Figura 5.1.4.2-1: Setorização da Zona Costeira do do Maranhão (ZCEM) - Setor 1 – Golfão, Maranhense, Setor 2 – Litoral, Oriental, Setor 3 – Litoral Ocidental Setor 4 – Baixada Maranhense e Setor 5 Parcel Manuel Luís. Fonte: MMA, 2018.</i>	31
<i>Figura 5.1.4.2-2: Geomorfologia da zona costeira do Maranhão. Fonte: ROSSETTI (2001, apud GÓES et al., 2001).</i>	34
<i>Figura 5.1.4.3-1: Mapa Faciológico da plataforma continental entre o Piauí e Maranhão. As áreas da BIOMAR Mineração estão georreferenciadas no mapa, assinalada pela seta preta. Fonte: REVIZEE, 2004. Disponível em <a href="https://mma.gov.br/port/sqa/projeto/revizee/capa/corpo.html">https://mma.gov.br/port/sqa/projeto/revizee/capa/corpo.html</a>. Acesso em 30/08/2020.</i>	38
<i>Figura 5.1.4.4-1: Sensor do sonar de varredura lateral (side scan sonar). Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	39
<i>Figura 5.1.4.4-2: Embarcação 1 utilizada para trabalhos de campo. Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	40
<i>Figura 5.1.4.4-3: Embarcação 2 utilizada para trabalhos de campo. Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	40
<i>Figura 5.1.4.4-4: Mapa batimétrico abrangendo as duas áreas requeridas à ANM. Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	42
<i>Figura 5.1.4.5-1: Mosaico de imagens de sonar de varredura lateral georreferenciadas sobre o mapa batimétrico. Fonte: BIOMAR, 2019.</i>	43
<i>Figura 5.1.4.5-2: Sonograma 1 - O padrão linear representa as marcas de ondas (mega ripples) sobre o fundo. Fonte: BIOMAR, 2019.</i>	44
<i>Figura 5.1.4.5-3: Sonograma 2 - As áreas escuras representam o cascalho bioclástico formado por algas calcárias tipo maerl e o padrão cinza muito claro representa a ocorrência de areia fina quartzosa. Fonte: BIOMAR, 2019.</i>	45
<i>Figura 5.1.4.5-4: Representa uma ampliação de imagem georreferenciada do sonar de varredura lateral, evidenciando as marcas de ondas (mega ripples) com espaçamentos de ~2m, formadas por ondas oriundas de NNE. Fonte: BIOMAR, 2019.</i>	45
<i>Figura 5.1.4.5-5: Fotos do fundo na área de Tutóia mostram marcas de ondas formadas em depósito de cascalho de algas (maerl), semelhantes às encontradas na plataforma da Bretanha - França). Fonte: BIOMAR, 2019.</i>	46
<i>Figura 5.1.4.6-1: Relação de coordenadas dos pontos de amostragem positivos. Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	47

<i>Figura 5.1.4.6-2: Frações granulométricas. Fonte: BIOMAR, 2018.</i>	48
<i>Figura 5.1.4.6-3: Frações granulométricas (detalhes). Fonte: BIOMAR, 2018.</i>	48
<i>Figura 5.1.4.6-4: Mergulho para coleta de amostra de fundo. Fonte: BIOMAR, 2018.</i>	49
<i>Figura 5.1.4.6-5: Mergulho para sondagem a trado manual. Fonte: BIOMAR, 2018.</i>	49
<i>Figura 5.1.4.6-6: Planejamento da Lavra</i>	51
<i>Figura 5.1.4.7-1: Mapa de Fácies. Área de ocorrência de algas calcárias (verde escuro); área de misturas (verde claro) e areia quartzosa (amarelo). Fonte: APOIO, 2020.</i>	53
<i>Figura 5.1.4.8-1: Draga utilizada para coleta das amostras. Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	54
<i>Figura 5.1.4.8-2: Laudo da SGS GEOSOL. Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	58
<i>Figura 5.1.5.2-1: Localização dos Processos, Tutoia - MA</i>	62
<i>Figura 5.1.5.2-2: Mapas com os quatros pontos de coletas</i>	63
<i>Figura 5.1.5.3-1: Detalhe de Medição de Transparência Secchi. Primeira campanha. Fonte: BIOMAR, 2018.</i>	64
<i>Figura 5.1.5.3-2: Mapa de localização das estações oceanográficas. Fonte: SILVA, ARAÚJO e PINHEIRO, 2007</i>	66
<i>Figura 5.1.5.3-3: Cartas de distribuição de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), obtidas a partir dos dados hidrográficos coletados nos cruzeiros oceanográficos do programa REVIZEE/N durante os meses de: (a) novembro/1997 e (b) junho/1999. Fonte: APOIO, 2016 e SILVA; ARAÚJO E PINHEIRO, 2007.</i>	69
<i>Figura 5.1.5.3-4: Cartas de distribuições da Salinidade da Superfície do Mar (SSM), obtidas a partir dos dados hidrográficos coletados nos cruzeiros oceanográficos do programa REVIZEE/N durante os meses de: (a) novembro/1997 e (b) junho/1999. Fonte: APOIO, 2016 e SILVA; ARAÚJO E PINHEIRO, 2007.</i>	70
<i>Figura 5.1.5.3-5: Distribuição espacial dos valores médios mensais de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e vetores de correntes superficiais, gerados a partir dos resultados numéricos do Experimento ATL 6: (a) novembro/1997 e (b) junho/1999. Fonte: APOIO, 2016 e SILVA; ARAÚJO E PINHEIRO, 2007.</i>	71
<i>Figura 5.1.5.10-1: Sequência de fotos tiradas no mergulho realizado em fevereiro/2018. Fonte: BIOMAR, 2018.</i>	80
<i>FIGURA 5.1.6-1 Mapa dos pontos de coleta</i>	82
<i>Figura 5.1.6-2: Sonda Multiparâmetro Akso AK88. Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	83
<i>Figura 5.1.6-3: Garrafa Van Dorn 2L utilizada em campo. Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	84
<i>Figura 5.1.6-4: Coleta de dados sonda ponto 1 (Esquerda superfície e Direita fundo). Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	84
<i>Figura 5.1.6-5: Coleta de dados sonda ponto 2 (Esquerda superfície e Direita fundo). Fonte: BIOMAR, 2020.</i>	85

## ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 5.1.4.6-1: Localização das sondagens a trado. Fonte: APOIO, 2020.</i> .....	50
<i>Tabela 5.1.6-1: Dados de campo. Fonte: BIOMAR, 2020.</i> .....	85
<i>Tabela 5.1.6-2: Resultados de qualidade de água. Processo minerário ANM 806.698/2010. Fonte: BIOMAR, 2020.</i> .....	86
<i>Tabela 5.1.6-3: Processo minerário 806.701/2010. Fonte: BIOMAR, 2020.</i> .....	87

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 5.1.3.2-1: Precipitação acumulada - Estação São Luiz. Fonte INMET, 2020.</i> .....	21
<i>Gráfico 5.1.3.2-2: Média mensal de chuvas. Fonte: Weatherspark, 2020.</i> .....	22
<i>Gráfico 5.1.3.2-3: Regimes das temperaturas médias mensais do ar da região de Tutóia.</i> <i>Fonte: INMET, 2020.</i> .....	23
<i>Gráfico 5.1.3.2-4: Regimes das temperaturas máximas mensais do ar da região de Tutóia.</i> <i>Fonte: INMET, 2020.</i> .....	23
<i>Gráfico 5.1.3.2-5: Regimes das temperaturas mínimas mensais do ar da região de Tutóia.</i> <i>Fonte: INMET, 2020.</i> .....	24
<i>Gráfico 5.1.3.2-6: Umidade do ar. Fonte: INMET, 2020.</i> .....	25

# CAPÍTULO 5

*Sedimentos biotróficos*  
*Tutóia/MA, 2018*

## 5. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

O Capítulo 5 apresenta o diagnóstico dos Meios Físico, Biótico e Socioeconômico, em atendimento ao item 4.6 – DIAGNÓSTICO AMBIENTAL, subitens 4.6.1 – Meio Físico, 4.6.2 – Meio Biótico e 4.6.3 – Meio Socioeconômico, do Termo de Referência (TR) do IBAMA (2019).

Os levantamentos e análises referem-se às áreas de influência da atividade de extração, visto que as atividades de descarregamento e beneficiamento já foram objeto de avaliação e aprovação de suas viabilidades pelo IBAMA (LP 541/2017) em outro processo similar de licenciamento da BIOMAR Mineração, conforme ressaltado anteriormente no presente EIA.

O presente VOLUME 2 é destinado exclusivamente à apresentação do Diagnóstico do Meio Físico.

## 5.1. DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO

### 5.1.1. Metodologia aplicada

A elaboração do diagnóstico do meio físico envolveu o levantamento e a análise de dados primários e secundários. Como levantamento primário e com o objetivo de complementar e atualizar as informações, foram realizadas incursões de campo que envolveram mergulhos de reconhecimentos e coletas de amostras de sedimentos, além de coletas de amostras de água para determinações de parâmetros oceanográficos junto às áreas previamente autorizadas pela ANM para exploração de calcário marinho pela BIOMAR Mineração.

Para o levantamento de campo e coletas das amostras, foram realizadas diversas incursões na Área Diretamente Afetada (ADA), nas seguintes datas:

- 02/2018 – Coletas de amostras de sedimentos, parâmetros oceanográficos, mergulhos, registros fotográficos e filmagens submarinas de conformidade de fundo;
- 04/2019 – Vistoria técnica com IBAMA e registros fotográficos e filmagens submarinas; e
- 06/2019 – Vistoria técnica da ANM – Registros fotográficos e filmagens subaquáticas.

Para o tema climatologia, utilizaram-se dados secundários disponíveis pelo INMET (2020)<sup>1</sup>, estação de São Luís, visto que a estação meteorológica mais próxima a Tutóia (Parnaíba) entrou em operação em menos de um ano e está sem disponibilidade de dados confiáveis para desenvolvimento da temática neste EIA.

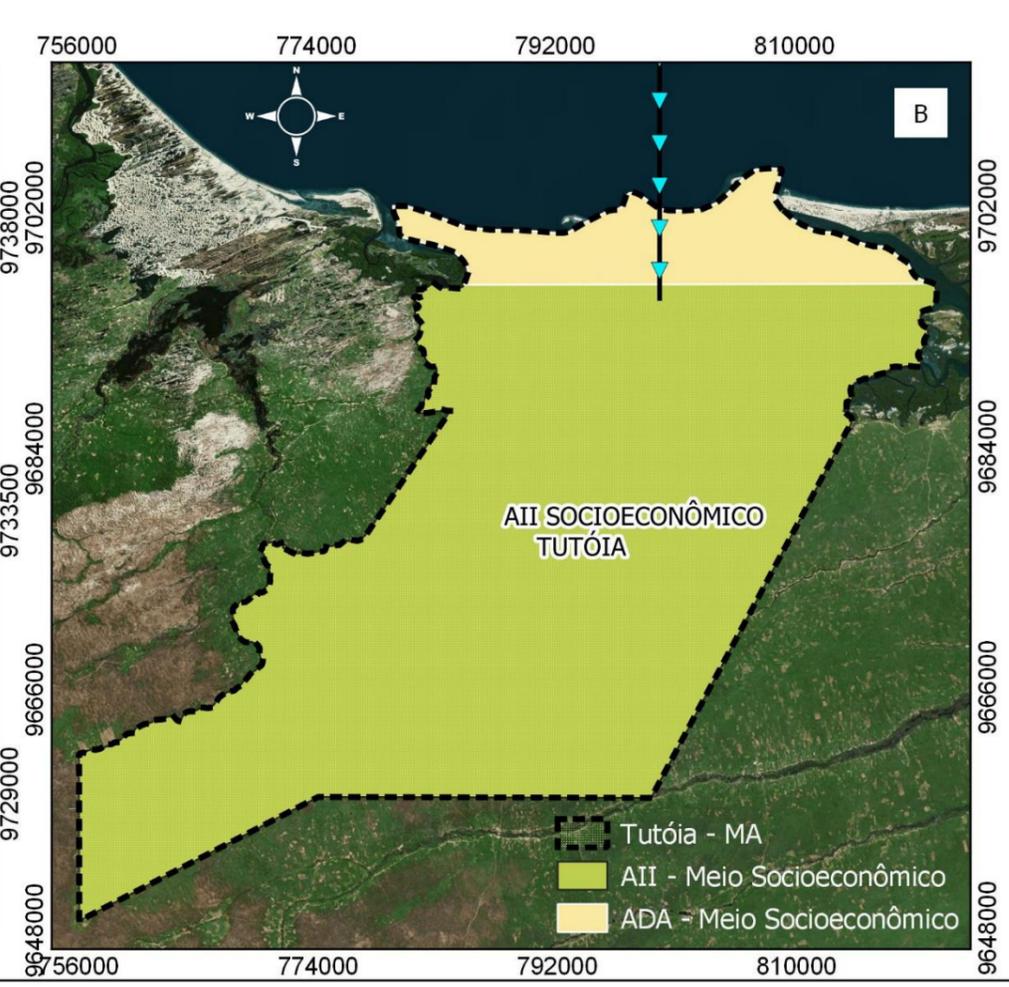
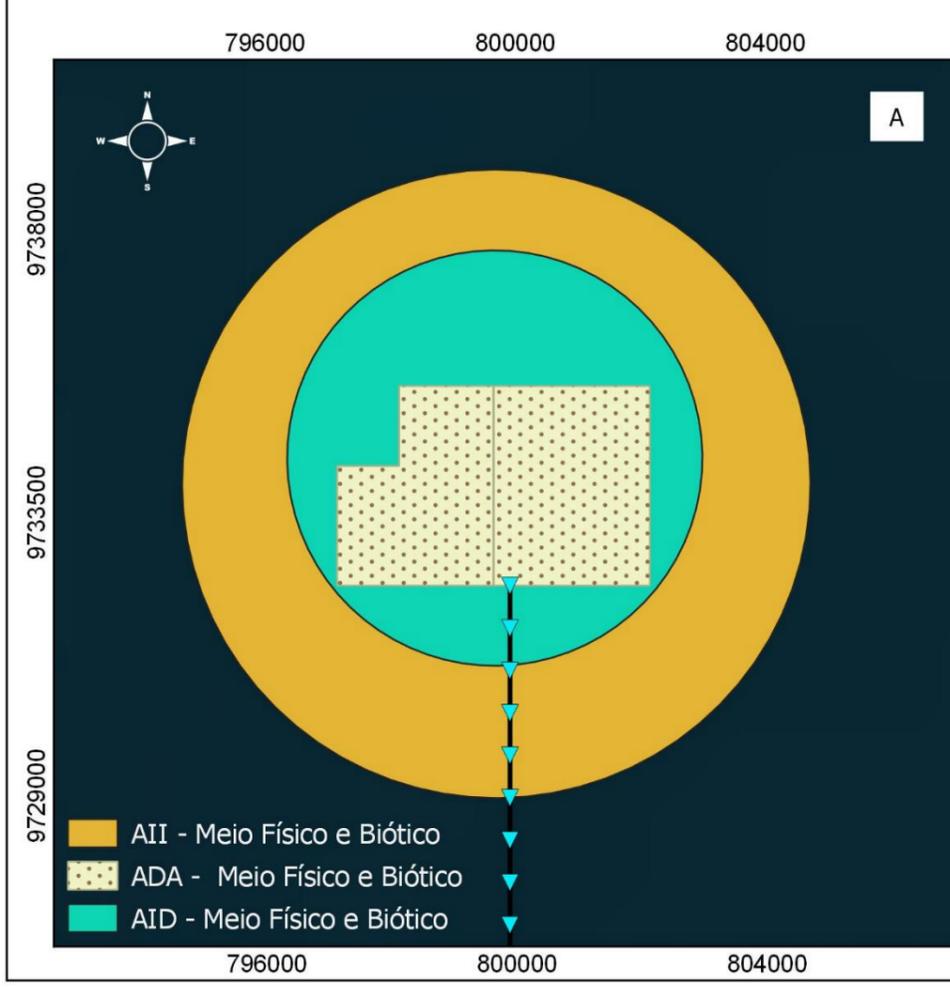
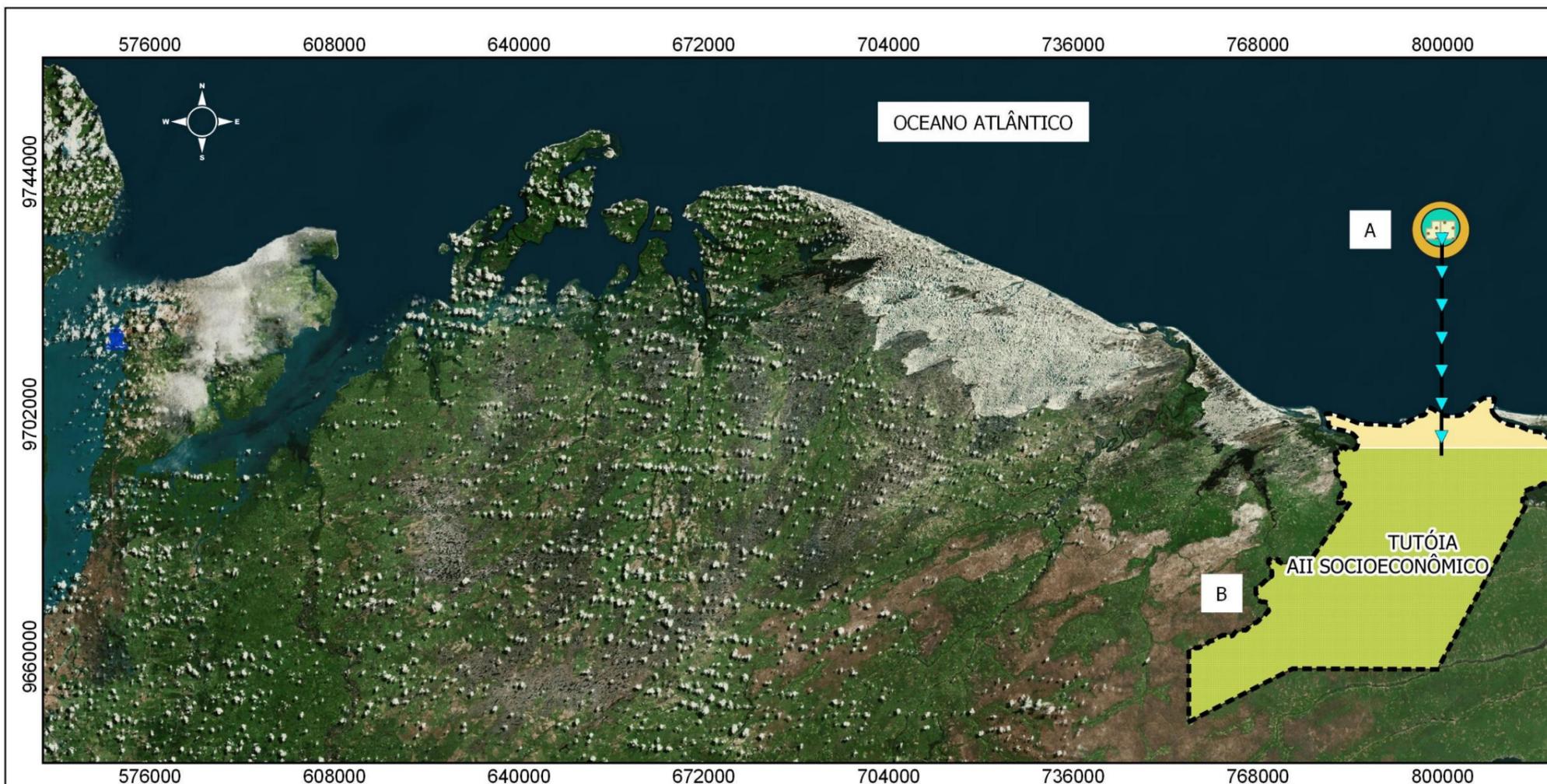
Quanto às informações e dados secundários, os levantamentos se deram por meio de fontes oficiais e/ou de excelência e reconhecida competência, tais como estudos anteriores sobre o tema e a região, além de produções acadêmicas de instituições renomadas.

<sup>1</sup>Disponíveis em <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 26/08/2020.

### 5.1.2. Delimitação da Análise do Meio Físico

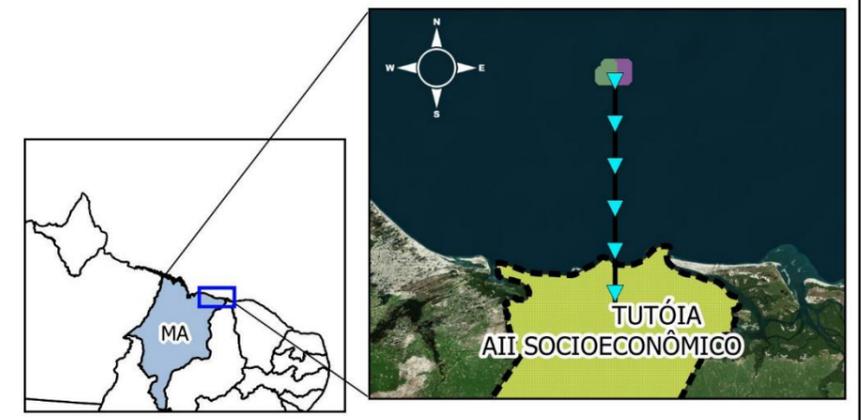
Para desenvolvimento da análise do Meio Físico da atividade de extração, foram delimitadas três áreas de estudo, como referendado no Capítulo 4, ÁREAS DE INFLUÊNCIA, deste EIA: i) Área Diretamente Afetada (ADA) - poligonal das duas áreas somadas de ocorrência de algas calcárias; ii) Área de Influência Direta (AID) - raio de 3.000 m do centroide das duas áreas somadas; e iii) a Área de Influência Indireta (AII) - raio de 5.000 m do centroide das duas áreas somadas.

A figura 5.1.2-1 apresenta essas três áreas.



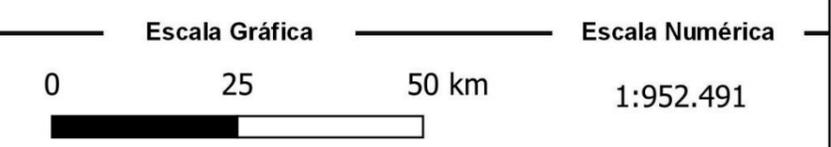
**Figura 5.1.2-1: ADA, AID e AII da atividade de extração.**

**Localização**



**Convenções Cartográficas / Legenda**

- Processo 806.698/2010
- Processo 806.701/2010
- Área do Beneficiamento
- Estado do Maranhão
- Tutóia - MA
- Limites: Federal e Estadual
- Área do Descarregamento (Porto do Itaqui)
- Distância Tutóia até Área de Extração (20 MN ou 37,10 km)



**Dados Cartográficos**

Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas Planas  
 M.C.: -45° WGr. - Datum Horizontal: SIRGAS 2000 - Zona: 23 M

**Fonte**

Base de Dados: ANM (2022) e IBGE (2022)

Elaboração	Data	Revisão	Formato
Gizele Ferreira	27/08/2022	02	A3



### 5.1.3. Clima e Meteorologia

#### 5.1.3.1. Características Regionais

O município de Tutóia situa-se na porção norte/nordeste do estado do Maranhão, na microrregião dos Lençóis Maranhenses, na latitude 2º 45' 44" S e longitude 42º 16' 28" W, possuindo uma área de 1.651, 65 km<sup>2</sup>, fazendo limite com os municípios de Araiases, Paulino Neves, Água Doce do Maranhão, São Bernardo e Santana do Maranhão; estando distante da cidade de São Luís cerca de 400 km.

O município é constituído por dois distritos: Tutóia (sede) e Barro Duro. Devido a sua localização na faixa do costeira do estado (microrregião dos Lençóis Maranhenses), sofre influência da convergência das massas de ar Equatorial Atlântica<sup>2</sup> e Continental.

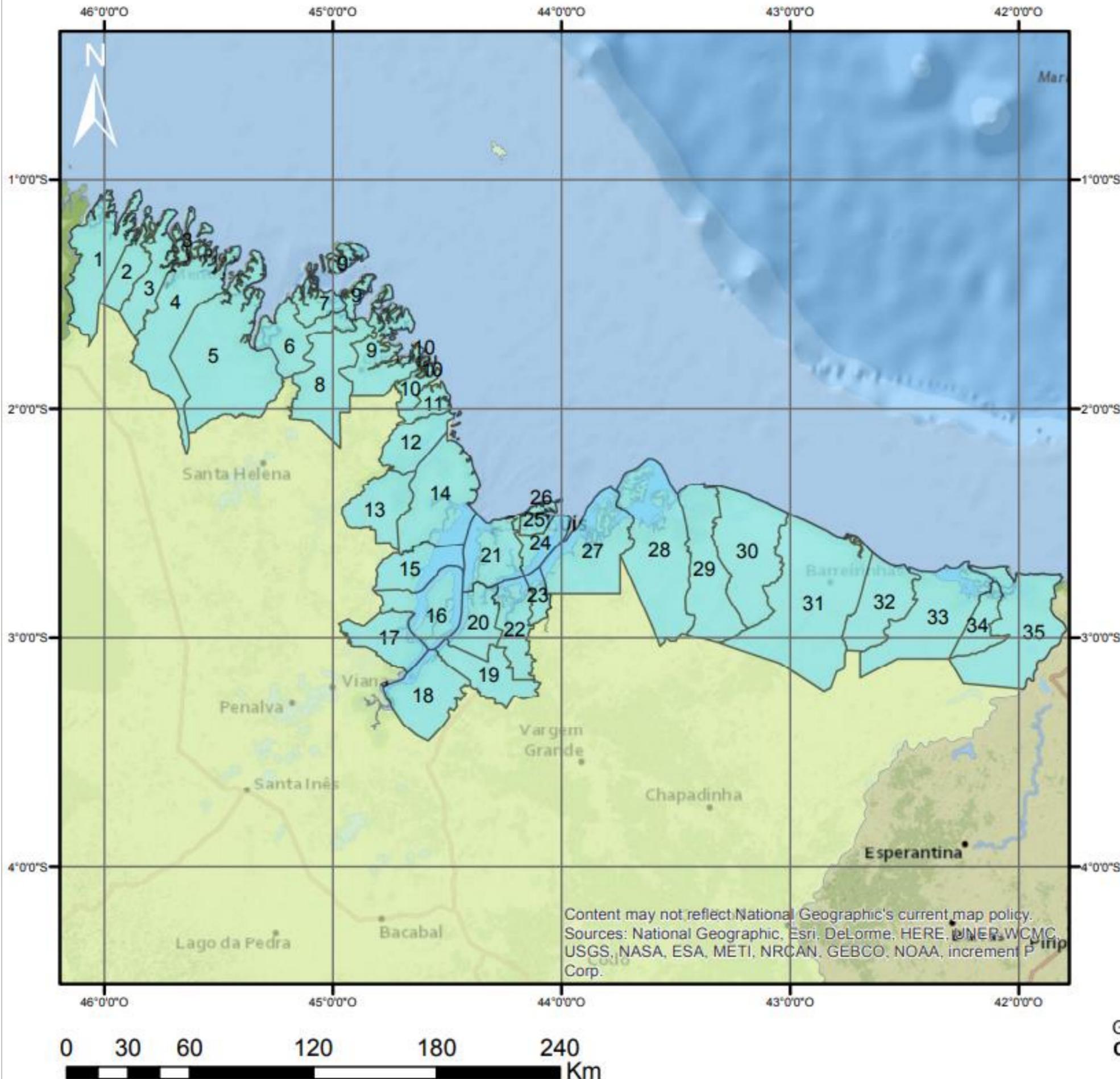
A figura 5.1.3.1-1 apresenta o mapa dos municípios costeiros do estado do Maranhão, elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). O município de Tutóia é o de número 33.

---

<sup>2</sup> É constituída por linhas de instabilidade Tropical (IT) geradas no litoral, que se deslocam na região para oeste, de modo dominante no período de julho a novembro, e nestas condições definindo o comportamento seco do clima.

# Municípios Costeiros do Estado do Maranhão

Figura 5.1.3.1-1: Municípios Costeiros do Estado do Maranhão.



Municípios	
01 - Carutapera	19 - Santa Rita
02 - Luís Domingues	20 - Bacabeira
03 - Godofredo Viana	21 - São Luís
04 - Cândido Mendes	22 - Rosário
05 - Turiçu	23 - Axixá
06 - Bacuri	24 - São José de Ribamar
07 - Apicum-Açu	25 - Paço do Lumiar
08 - Serrano do Maranhão	26 - Raposa
09 - Cururupu	27 - Icatu
10 - Porto Rico do Maranhão	28 - Humberto de Campos
11 - Cedral	29 - Primeira Cruz
12 - Guimarães	30 - Santo Amaro do Maranhão
13 - Bequimão	31 - Barreirinhas
14 - Alcântara	32 - Paulino Neves
15 - Bacurituba	33 - Tutóia
16 - Cajapió	34 - Água Doce do Maranhão
17 - São João Batista	35 - Araiões
18 - Anajatuba	

Figura 5.1.3.1-1: Municípios costeiros do Maranhão.  
Fonte: <https://mma.gov.br/informma/item/10593-maranh%C3%A3o-munic%C3%ADpios-da-zona-costeira.html>. Acesso em 20/09/2020.

### 5.1.3.2. Classificação Climática

De acordo com Köppen (1948), a classificação do clima continental na região de Tutóia é sub-úmido a úmido, caracterizado por condições bimodais. O período chuvoso compreende os meses de janeiro a maio, sendo registradas as maiores precipitações no mês de abril. O período de estiagem compreende os meses de junho a dezembro, sendo os meses de agosto a outubro os mais secos.

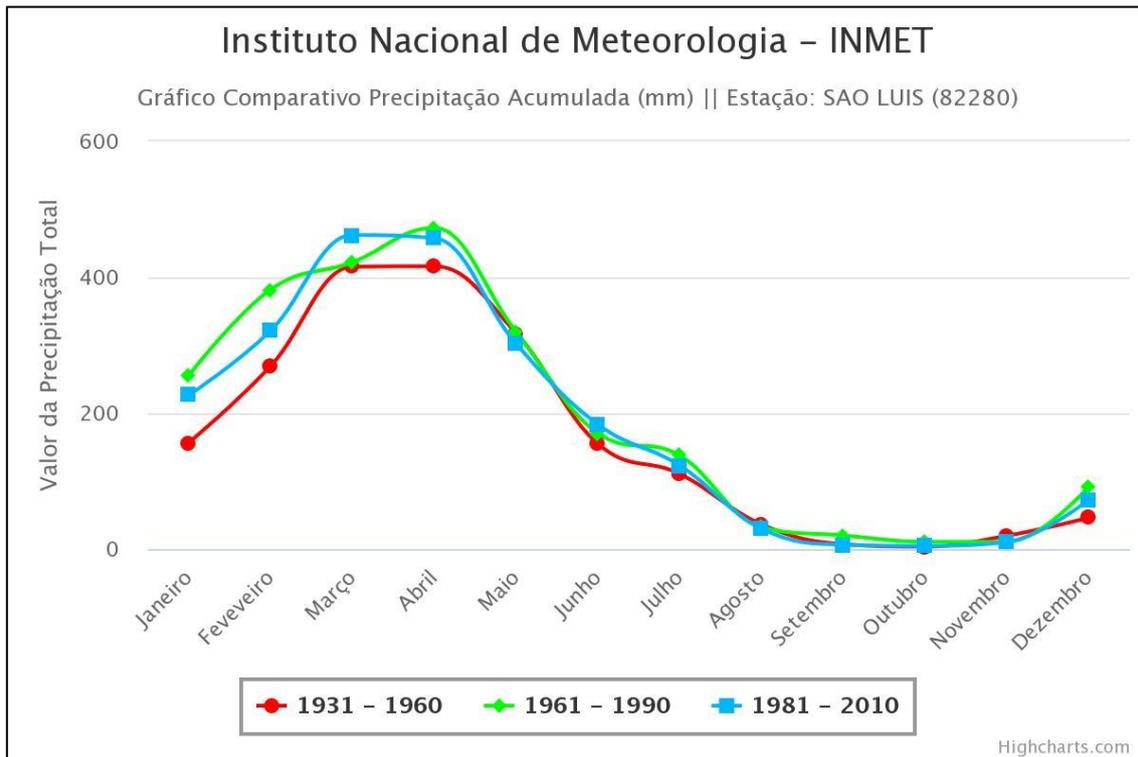
#### *PRECIPITAÇÃO*

As médias mensais do período chuvoso (que vai de janeiro a maio) são superiores a 100 mm; os meses de junho a dezembro tem médias mensais inferiores a 50 mm<sup>3</sup>. Com dados obtidos do INMET (2020), o gráfico 5.1.3.2-1 mostra o monitoramento climático mais preciso das chuvas mensais na região. É assim possível verificar que os valores de precipitação mensal, classificados de acordo com as três últimas normais climatológicas, apresentam a região num período de seca. Essas condições climáticas são favoráveis ao exercício da atividade da BIOMAR Mineração, período no qual a exploração de calcário marinho será mais intensa.

Entre os meses de dezembro a junho a região mostra um período mais intenso de chuvas que variam entre 100 mm e 500 mm.

<sup>3</sup> Informação disponível em <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>. Acesso em 20/09/2020.

**Gráfico 5.1.3.2-1: Precipitação acumulada - Estação São Luiz. Fonte INMET, 2020.**

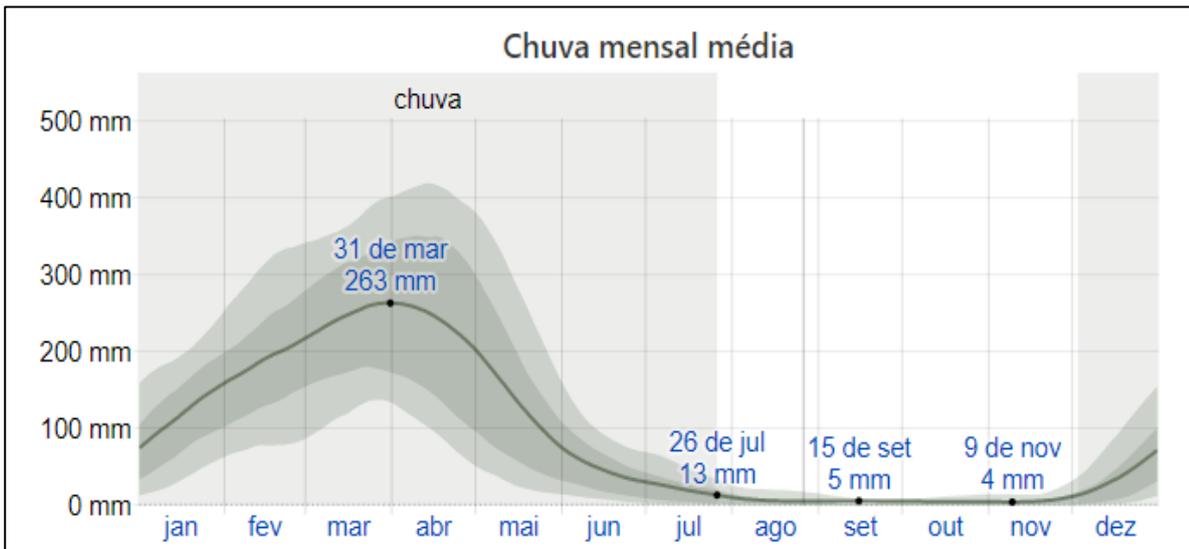


De acordo com os dados disponibilizados pela Weatherspark (2020)<sup>4</sup>, dentro do período de estiagem, a precipitação pluviométrica de Tutóia tem variação sazonal extrema na precipitação mensal de chuva. O período chuvoso do ano dura 7 meses, de dezembro a julho, aproximadamente. O máximo de chuva ocorre durante março, com acumulação total média de 263 mm.

O período sem chuva do ano dura 4 meses, de julho a dezembro. O mínimo de chuva ocorre por volta de novembro, com acumulação total média de 4 mm, como pode ser identificado no gráfico 5.1.3.2-2 a seguir.

<sup>4</sup> Todos os dados meteorológicos, inclusive nebulosidade, precipitação, velocidade e direção dos ventos e fluxo solar, são oriundos da Análise Retrospectiva da Era Moderna (MERRA-2, na sigla em inglês) da NASA. Esta análise retrospectiva combina várias medições de área ampla em um modelo meteorológico global de última geração para reconstruir um histórico horário das condições meteorológicas no mundo todo, em uma grade de 50 quilômetros. Informação disponível em <https://pt.weatherspark.com/y/30756/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Tut%C3%B3ia-Brasil-durante-o-ano#Sections-Precipitation>. Acesso em 26/08/2020.

**Gráfico 5.1.3.2-2: Média mensal de chuvas. Fonte: Weatherspark, 2020.**



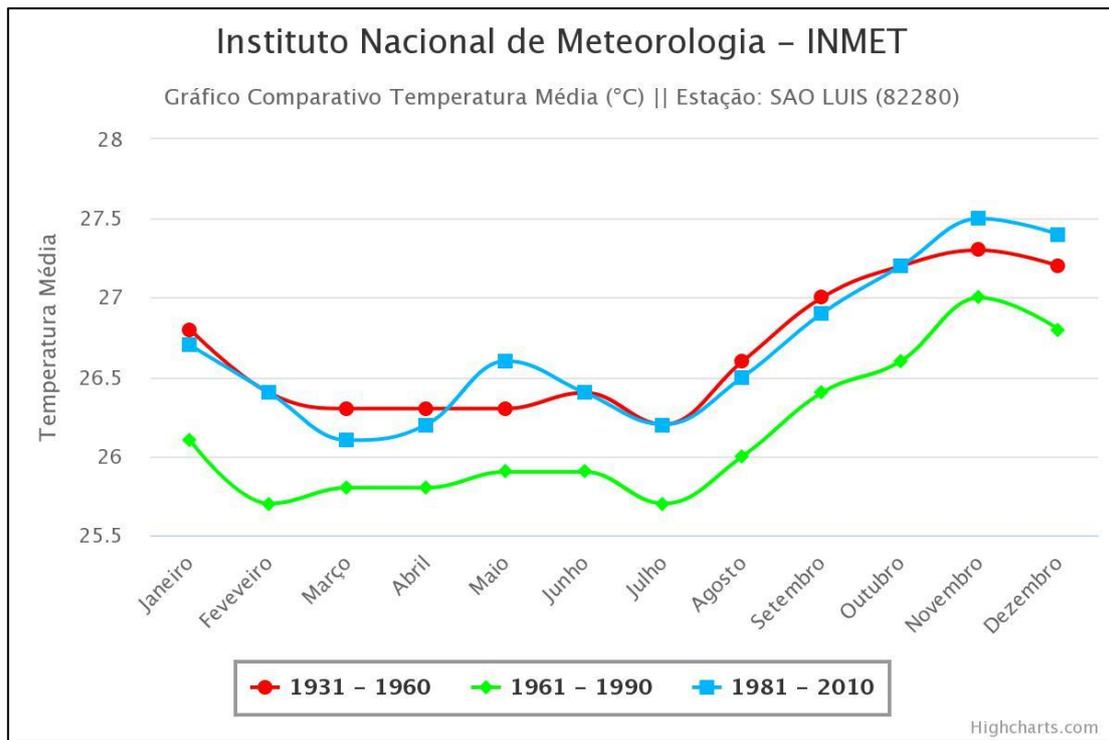
### TEMPERATURA

Quanto à temperatura, a região de Tutóia é caracterizada por pequena amplitude térmica. Durante a época chuvosa, entre os meses de janeiro a junho, as temperaturas são mais amenas, devido à cobertura de nuvens, que reduz a chegada da radiação solar direta sob a superfície, além das frequentes chuvas que normalmente ocorrem.

Nos meses de setembro a novembro, a região encontra-se na época seca, quando predomina céu claro, o que contribui para a maior incidência da radiação solar na superfície, resultando em temperaturas mais elevadas, em média de 26,4°C a 28,1°C. (INMET, 2020).

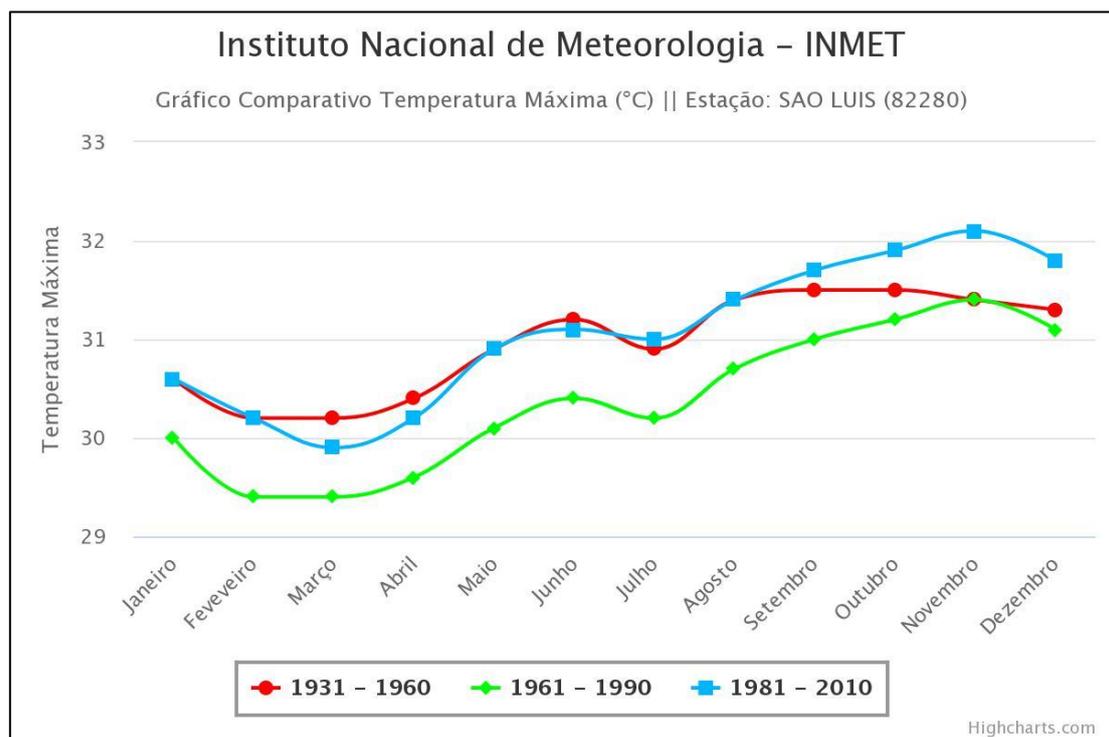
A temperatura média anual na região de Tutóia nunca é inferior a 25°C, sendo que, na primavera, o valor médio pode ultrapassar os 27°C. Com base no gráfico 5.1.3.2-3, é possível observar que a variação térmica da normal climatológica é pequena, com temperaturas oscilando entre 25°C e 28°C. Nota-se que as temperaturas médias mensais da região de Tutóia são elevadas, principalmente nos meses de agosto até janeiro, com temperaturas sempre superiores a 26°C. Observa-se ainda que o pico mais alto foi identificado nos meses de novembro e dezembro, com cerca de 27,50 °C.

**Gráfico 5.1.3.2-3: Regimes das temperaturas médias mensais do ar da região de Tutóia.**  
Fonte: INMET, 2020.

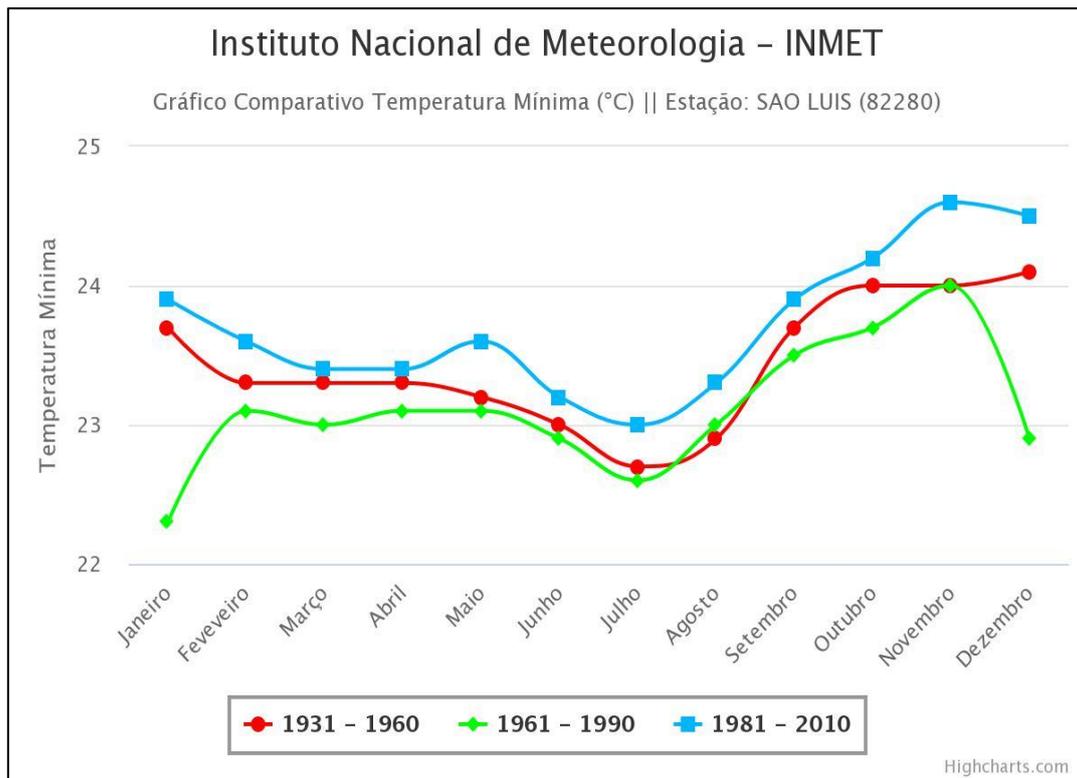


A temperatura máxima para a região ficou em torno de 32,10° C e a temperatura mínima em torno de 22,3° C, como demonstrado pelos gráficos a seguir.

**Gráfico 5.1.3.2-4: Regimes das temperaturas máximas mensais do ar da região de Tutóia.**  
Fonte: INMET, 2020.



**Gráfico 5.1.3.2-4: Regimes das temperaturas mínimas mensais do ar da região de Tutóia.**  
**Fonte: INMET, 2020.**

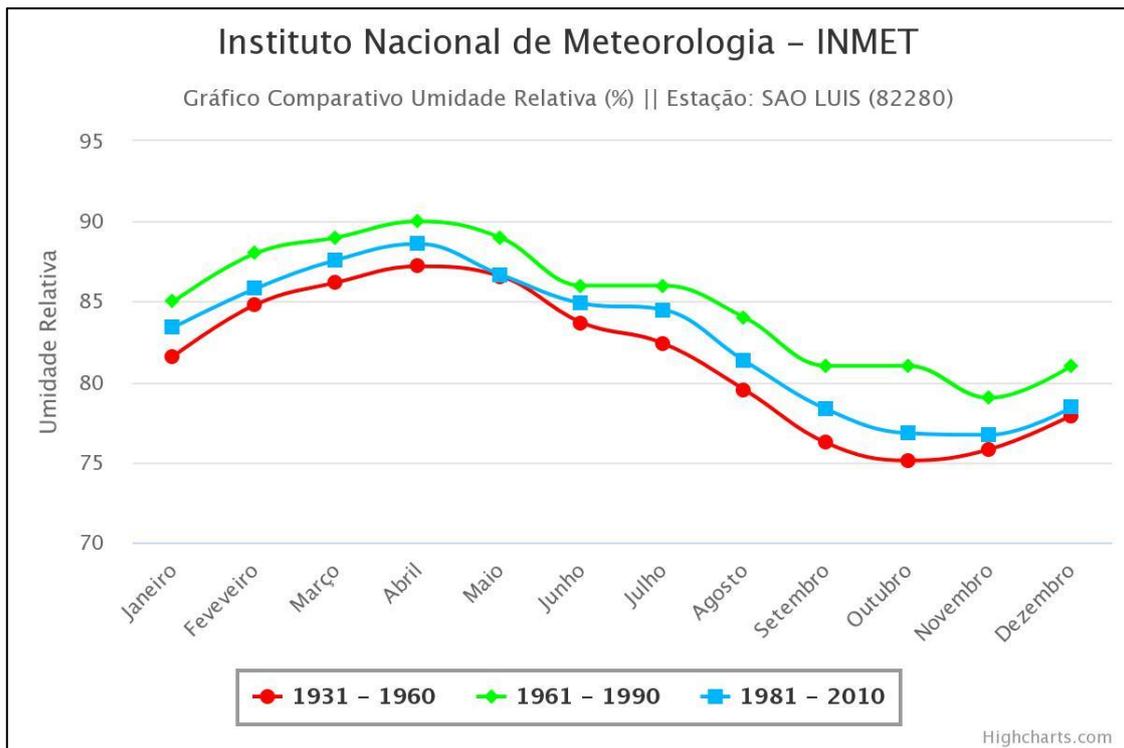


### UMIDADE DO AR

A umidade do ar está associada ao movimento das massas de ar e à transferência de água do estado líquido para o gasoso, por meio da evapotranspiração das plantas e das superfícies evaporativas (BAYER, BAYER, 2015). Na região de Tutóia, o período de chuvas se inicia no mês de janeiro e se estende até meados do mês de maio, quando a intensidade e frequência das chuvas começam a reduzir, atingindo valores mínimos de junho a dezembro.

O gráfico 5.1.3.2-5 a seguir mostra que, no período mais chuvoso, a umidade relativa do ar é maior, isso porque ela origina a chuva ao mesmo tempo em que a atmosfera passa a ser reabastecida de vapor de água pela própria chuva que passa a evaporar. Após o período de chuva, a umidade relativa do ar ainda permanece elevada por alguns meses, como se apresentam, no gráfico, os meses de junho e julho. Isso pode ser explicado pelo volume de água armazenado durante o período chuvoso, que vai diminuindo gradativamente até atingir valores mínimos de umidade, como mostra o gráfico nos meses de setembro e outubro, voltando a ter valores elevados quando chega novamente a estação chuvosa.

**Gráfico 5.1.3.2-5: Umidade do ar.**  
**Fonte: INMET, 2020.**

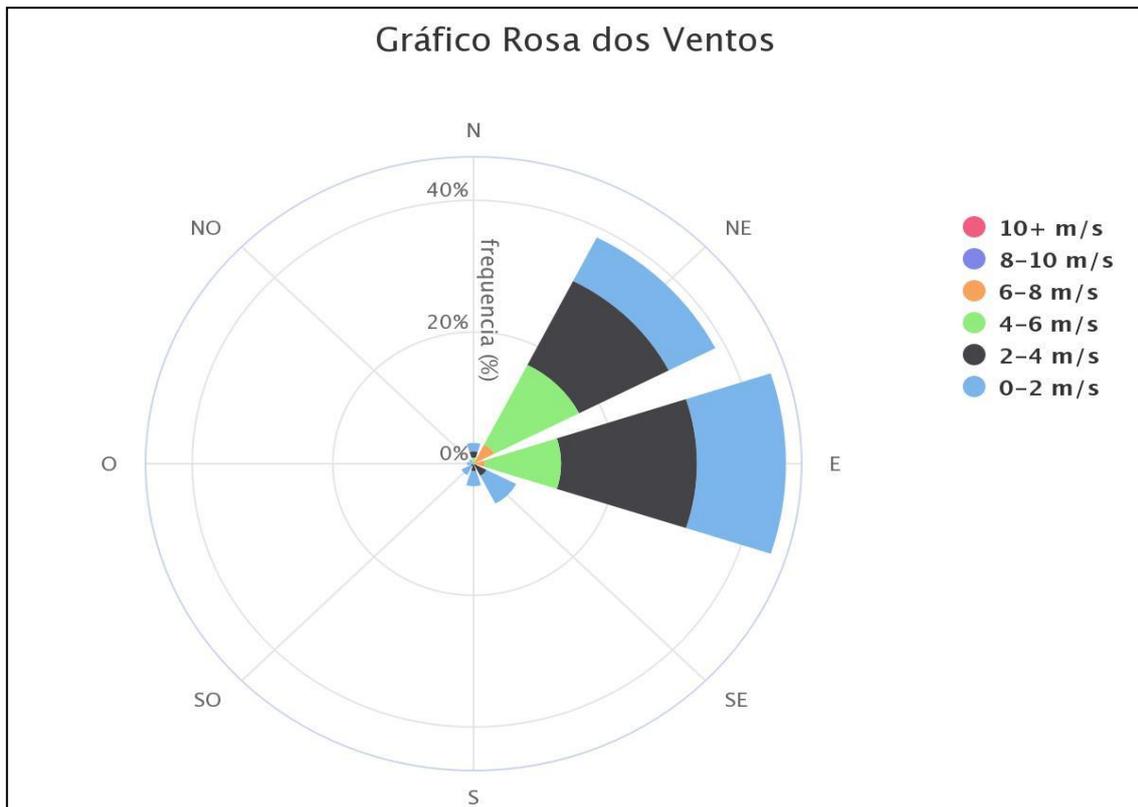


### REGIME DE VENTOS

Os Sistemas de Circulação Atmosférica que promovem o regime climático continental e oceânico na área em estudo estão regidos por duas massas de ar, ambas de natureza Equatorial, originadas no Oceano Atlântico. (VALVERDE, 2010).

O regime dos ventos do quadrante Leste-Nordeste é predominante em 95% das observações. Ventos de Norte, Oeste e Sul são observados apenas durante os meses de março a maio, no período de maior precipitação anual. Durante os meses de setembro a janeiro, no período seco, os ventos se mantêm com velocidades na faixa de 20 a 35 nós. Com a chegada do período chuvoso, a partir de fevereiro e até julho, a velocidade dos ventos cai para a faixa de 10 a 25 nós, variando em função da ocorrência ou não de chuvas em determinado momento. O mês de agosto, dependendo do ano em observação, pode pertencer ao período de ventos do período de seca ou período de chuvas. (SILVA *et al.*, 2010).

A figura 5.1.3.2-6 apresenta a rosa dos ventos da região de Parnaíba, no Piauí, sendo utilizada para a região de estudo devido à semelhança das características climáticas. As medições incluem velocidade do vento, direção e frequência. Na estação localizada em área mais protegida, a velocidade média do vento foi de 8,0m/s, enquanto, na estação situada em local aberto, a velocidade aumentou para 9,2m/s.



**Figura 5.1.3.2-1: Rosa do Ventos de Parnaíba, PI. Fonte: INMET, 2016.**

### TEMPERATURA DA ÁGUAS

Com relação à temperatura das águas na região da plataforma continental maranhense, onde estão situadas as jazidas da BIOMAR Mineração, os dados de NOAA (2013)<sup>5</sup> apresentam uma temperatura entre 27,0° C e 29,0° C ao longo de todo o ano, não havendo variações verticais significativas (figura 5.1.3.2-1). Durante os meses de maior precipitação pluviométrica e conseqüente maior descarga

<sup>5</sup> NOAA: Identificação e Caracterização das Massas d'água da Plataforma Continental do Maranhão, durante os períodos seco (Novembro, 1997) e chuvoso (Junho, 1999), AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) de alta resolução (1,1 km) de temperatura da superfície do mar (TSM) dos satélites NOAA 14 e 15.

fluvial costeira (fevereiro a junho), não foram registradas variações de salinidade na área em questão.

Durante a operação Norte II do Programa REVIZEE (2004).

(...) os dados oceânicos de temperatura, salinidade e densidade da PCM foram coletados em 29 estações oceanográficas, distribuídas ao longo de seis perfis perpendiculares à costa, cada um tendo de 3 a 6 estações. As estações estão separadas entre si por distâncias equivalentes de 7,5 (perfil 6), 15 (perfis 4 e 5) e 30 milhas náuticas (perfis 1, 2 e 3), sendo que as estações costeiras também estão à mesma distância da costa (...). As estações oceanográficas foram realizadas na faixa de profundidade de 18 a 75,3 m.

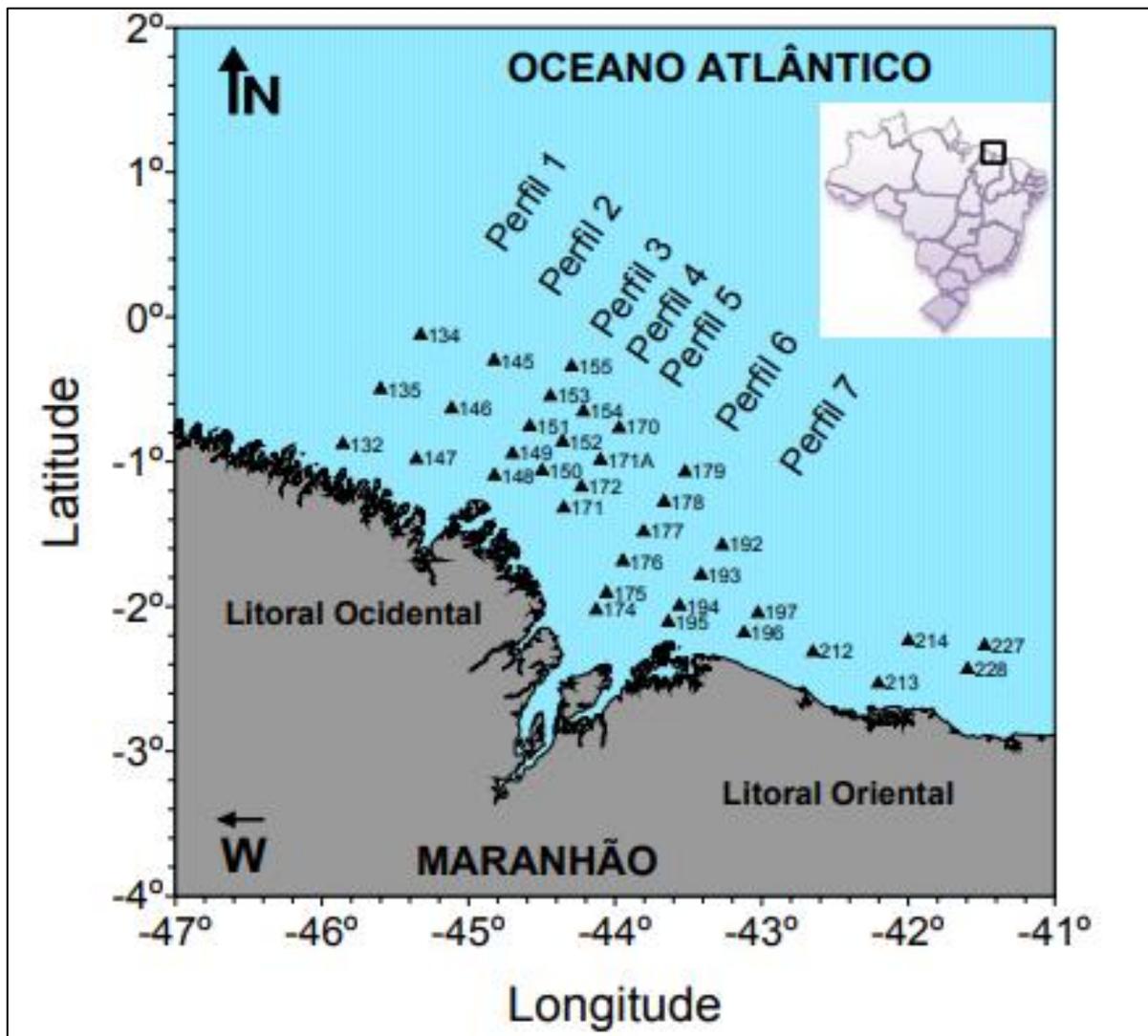


Figura 5.1.3.2-2: Mapa de indicação de estações oceanográficas – operação Norte II do Programa REVIZEE. Fonte: Programa REVIZEE, 2004.

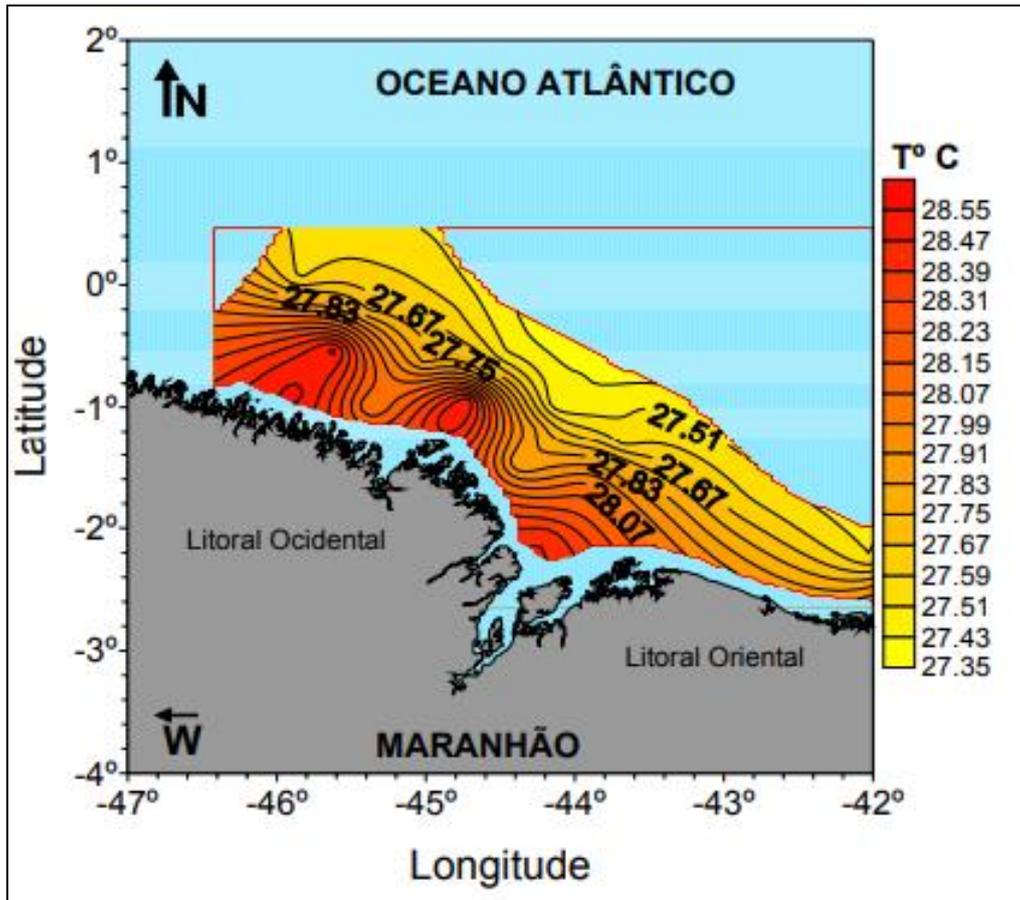


Figura 5.1.3.2-2: Distribuição superficial da temperatura na PCM.  
Fonte: Programa REVIZEE, 2004.

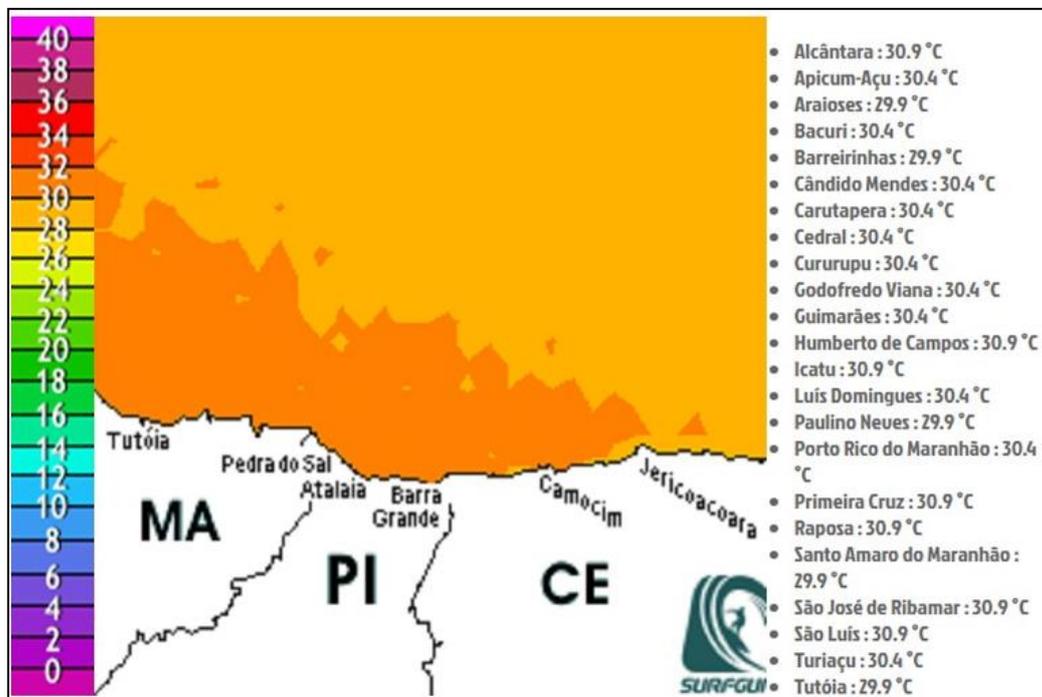


Figura 5.1.3.2-3: Temperatura da água do mar em pontos litorâneo.  
Fonte: NOAA, 2013.

## 5.1.4. Geologia e Geomorfologia

### 5.1.4.1. Geologia Regional

A área de estudo e seu entorno encontram-se encravadas na unidade geológica denominada Bacia de Barreirinhas, que ocupa a porção costeira da plataforma continental do estado do Maranhão e se desenvolveu sobre a Bacia do Parnaíba, com toda a coluna estratigráfica desta bacia presente como embasamento. O preenchimento é composto por duas sequências estratigráficas: de Rifte, do Eoalbio, formada pelo Grupo Canárias, e de margem passiva, representada pelos grupos Caju, Humberto de Campos, Formação Pirabas e Formação Barreiras (GÓES e FEIJÓ, 1994).

O Grupo Canárias é caracterizado por folhelhos escuros (formações Arpoador e Tutóia), arenitos grossos cinzentos (Formação Bom Gosto) e arenitos médios cinzentos (Formação Barro Duro), caracterizando depósitos de leques deltáicos em ambiente marinho. Regali *et al.* (1985) definiram idade eo-mesoalbio para este grupo com base na bioestratigrafia de foraminíferos planctônicos e palinórfos.

O Grupo Caju é composto pelas Formações Bonfim, Preguiças e Peria. As duas primeiras são de ambiente nerítico de alta e baixa energia e são formadas por calcarenitos biocásticos e oncolíticos e calcilutitos, respectivamente. A Formação Peria é composta de folhelhos com calcarenitos subordinados depositados em ambiente marinho raso. A idade deste grupo é neoalbio e foi definida por datações bioestratigráficas de palinórfos e foraminíferos planctônicos (REGALI *et al.*, 1985; FEIJÓ, 1994).

O Grupo Humberto de Campos é formado pelas formações Areinhas, Ilha de Santana e Travosas, que se interdigitam lateralmente e formam um pacote depositado por um único sistema em ambientes marinho nerítico, batial e abissal. A Formação Areinhas tem clastos grossos depositado em ambiente marinho raso; a Formação Ilha de Santana é composta por carbonatos de alta energia depositados em ambiente marinho nerítico e a Formação Travosas possui folhelhos escuros e arenitos finos depositados em ambiente marinho profundo de batial a abissal. A idade foi definida por Regali *et al.* (1985) por meio de datações bioestratigráficas de palinórfos, como do Turoniano ao Oligoceno.

A Bacia de Barreirinhas é dividida em duas partes: terra e mar. A primeira é a continuação da Bacia de Ilha Nova para oeste e é formada por falhas normais lístricas de direções WNW-ESE e NW-SE, definindo um sistema distensivo cortado por falhas transcorrentes mais novas de direção NE-SW. O seu limite oeste é a Plataforma de Parnaíba, ombreira da Bacia do Ceará. A parte marítima é ligada com a Bacia do Pará- Maranhão e é formada por falhas normais NW-SE. O seu limite oriental é dado pelo Alto de Tutóia, que a separa da Bacia do Ceará; o limite ocidental não é marcado por nenhuma feição geológica e as falhas normais continuam e se confundem com as da Bacia do Pará-Maranhão.

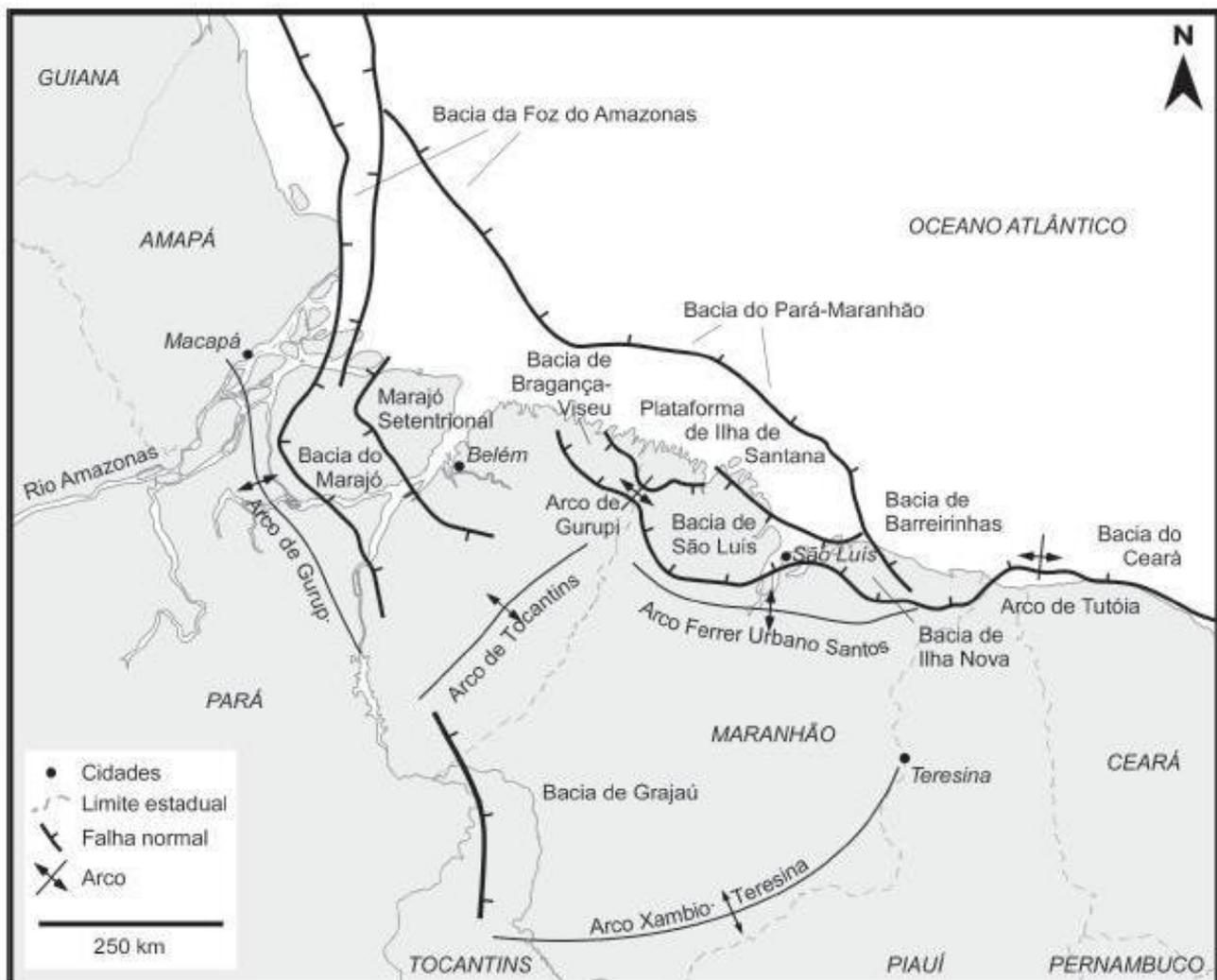
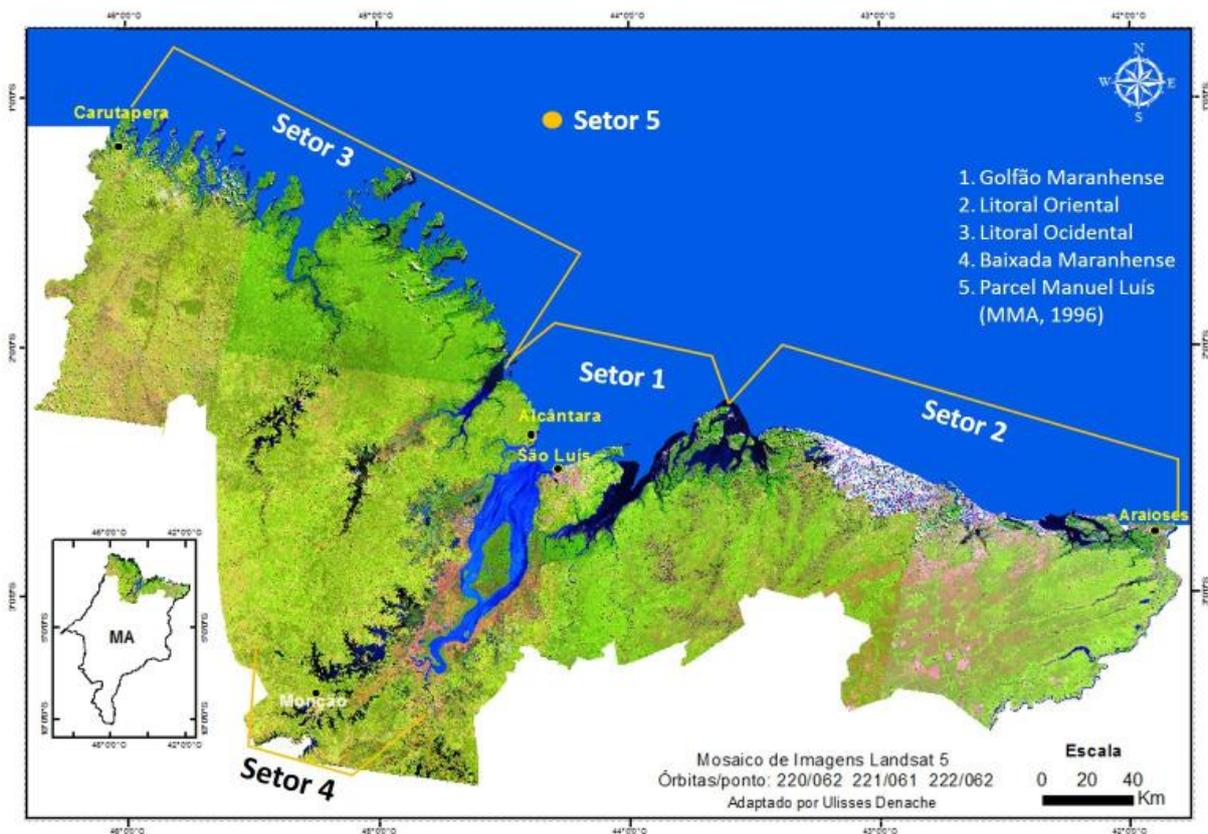


Figura 5.1.4.1-1: Mapa de localização das Bacias Mesozoicas. As áreas requeridas encontram-se sobre o Arco de Tutóia, que divide as Bacias de Ceara e Barreirinhas. Fonte: REGALI *et al.*, 1985.

### 5.1.4.2. Geologia e Geomorfologia da Zona Costeira do Maranhão (ZCEM)

De acordo com MMA (2018), a Zona Costeira do Estado Maranhão (ZCEM) é compartimentada em 5 setores: (i) Golfão maranhense; (ii) Litoral oriental; (iii) Litoral ocidental; (iv) Baixada maranhense e (v) Parque Estadual Marinho do Parcel Manuel Luís (figura 5.1.4.2-1). “Esta zona configura-se como um litoral de “falsas rias”, com rios afogados, bastante ativos” (MMA, 2018).

“A plataforma continental interna adjacente é recoberta por inúmeros bancos assimétricos e altos (8 a 20m), com direção ENE-WSW. A macromaré é semidiurna com altura de 8m nos setores 1 e 3 e mesomaré (entre 3,83 e 1,57m) nos setores 2, 4 e 5. As correntes de marés são fortes: 2,5m/s e a altura das ondas fica em torno de 0,6 a 1,4m. No Golfão Maranhense, ocorrem sand ridges migratórias (1,8 m/d), com comprimento e altura >342m e 6m, respectivamente, representando estoques arenosos, vindo a influenciar a evolução da linha de costa, sendo essenciais para o balanço sedimentar das planícies arenosas adjacentes. As praias oceânicas da Ilha do Maranhão apresentam uma largura média de 250m e são ultra-dissipativas a dissipativas. Nos setores 1, 2 e 3, os dados apontam, respectivamente: progradação de 79%, 60% e 42,9%, erosão de 6,6%, 2,8% e 22,9%, estabilidade de 79,7%, 60% e 42,9%” (MMA, 2018).



**Figura 5.1.4.2-1: Setorialização da Zona Costeira do do Maranhão (ZCEM) - Setor 1 – Golfão, Maranhense, Setor 2 – Litoral, Oriental, Setor 3 – Litoral Ocidental Setor 4 – Baixada Maranhense e Setor 5 – Parcel Manuel Luís. Fonte: MMA, 2018.**

Segundo Wright (1995, *apud* MMA, 2018), a ZCEM se estende até a plataforma continental interna, pois se conecta com as praias arenosas, zonas de surf, estuários, foz de rios e representa: (i) a fonte imediata dos sedimentos costeiros, como foi demonstrado na baía de São Marcos (EL-ROBRINI, 1992, *apud* MMA, 2018)) e (ii) a zona de ocorrência de processos oceanográficos, responsáveis pelo transporte sedimentar e movimentos das águas costeiras.

MMA (2018) esclarece que a linha de costa recorta desde as formações geológicas do Mesozóico (Sequência Itapecuru Superior) até os sedimentos de Pós-Barreiras e recentes. A topografia não chega a 30 m, particularmente na região de Alcântara (Setor 3, figura 5.1.4.2-1) e ao norte da Ilha de São Luís (Setor 1, figura 5.1.4.2-1).

Smith *et al.* (2019) analisaram testemunhos (vibracorer) coletados nos sedimentos holocênicos da região do delta do Parnaíba. Mostraram que o topo do pacote sedimentar costeiro é formado por areia quartzosa muito fina ou lamas com altos teores de matéria orgânica e carbonato de cálcio. Na seção intermediária, ocorre areia quartzosa fina a média e na base areia fina, indicando uma origem continental dos sedimentos. Comparações mineralógicas mostram que, no passado, o rio Parnaíba depositou sedimentos diretamente na porção oeste do delta e em algum momento esta realidade mudou, indicando que o canal principal já esteve na porção Oeste. Os grandes canais de maré, existentes atualmente na zona do delta, são antigos canais principais que foram abandonados com a migração lateral (para Leste) do rio Parnaíba.

Ferreira *et al.* (2019) realizaram estudos sobre o comportamento morfodinâmico da zona costeira na região do delta do Parnaíba, desde Tutóia até o extremo leste do litoral do Piauí. O objetivo foi determinar, no período entre 1984 e 2017, as taxas de recuo e progradação da linha de costa a partir de imagens de satélite e métodos estatísticos (programa digital shoreline analysis - DSAS).

Os resultados revelaram que, nesse período, 21% das praias exibiram erosão intensa, 30% erosão moderada, 4% permaneceram estáveis, 29% acreção moderada e 15% acreção intensa. O setor da Praia do Caju apresentou maior erosão enquanto o setor das praias Eólica, Pedra do Sal, Cotia e Barra das Canarias apresentou maior acreção de sedimentos.

A região do delta do Parnaíba não é afetada por ação antropogênica, sugerindo que o desenvolvimento natural seja o fator responsável pela estabilidade da linha de costa. Em uma curta escala temporal (anos), o delta experimentou 6 períodos de erosão e 5 períodos de progradação relacionados respectivamente com os períodos de maior e menor vazão do rio Parnaíba. Nos demais períodos, houve um equilíbrio entre as taxas de erosão e acreção sedimentar.

Sobre a Plataforma Continental Interna do Maranhão, limita-se externamente pela isóbata de 20 m, com relevo suave, gradiente de 1:2.250, apresentando uma continuidade com o litoral das “falsas rias” da região (MMA, 2018). Segundo Dias *et al.* (2004), ela é totalmente recoberta por areias finas e médias; contudo, na foz das “falsas rias”, ocorrem depósitos de lama e areia lamosa, em função da descarga dos estuários. Na depressão Maranhense, ocorre localmente cascalho.

Para Palma (1979), bancos arenosos ou “dunas hidráulicas” nela ocorrem, estando dispostos em padrão paralelo, de direção ENE-WSW, perpendiculares ou oblíquos à direção regional da linha de costa e paralelos às correntes de maré. Esses bancos são assimétricos, com comprimento entre 14 e 70 km, largura em torno de 7 m e altura entre 8 e 20 m.



Figura 5.1.4.2-2: Geomorfologia da zona costeira do Maranhão. Fonte: ROSSETTI (2001, *apud* GÓES *et al.*, 2001).

## **CONSIDERAÇÕES SOBRE OS SEGUINTE ITENS DO TR DO IBAMA (2018)**

- Perfis de Praia
- Modelagem dos padrões de refração de ondas
- Mapeamento do risco de erosão da linha de costa

A comparação de perfis de praia e a modelagem dos padrões de refração de ondas foram solicitados pelo IBAMA com objetivo de estimar o risco de erosão costeira. Os estudos citados anteriormente, em especial os de Smith *et al.* (2019) e Ferreira *et al.* (2019) respondem em grande parte esta questão, considerando a dinâmica natural de mudanças morfológicas da linha de costa.

Os referidos estudos mostram que os ambientes sedimentares existentes na área de extração da BIOMAR Mineração e na zona costeira são muito distintos e não se relacionam. A zona costeira é caracterizada por depósitos de origem continental, formados por sedimentos deltaicos relacionados ao delta do rio Parnaíba. Na área de extração, os sedimentos são exclusivamente marinhos autóctones, isto é, formados *in situ*, originados por crescimento de algas calcárias, sem contribuições de fontes externas.

Não há relação de interferência hidrodinâmica da área dragada com a zona costeira, devido à grande distância entre estas áreas (~46 km). O relevo de fundo na área de extração é praticamente plano e não interfere na difração ou na refração das ondas.

As cavidades de extração, mesmo se fossem significativas, também não causariam interferências nas ondas. Apenas elevações do relevo de fundo marinho (altos fundos ou afloramentos rochosos) poderiam causar interferências nas ondas (refração ou difração), mas essas feições não ocorrem na região mapeada.

Ou se a extração mineral fosse feita nas proximidades da costa, extraindo-se o estoque de sedimentos da antepraia, que atuam na regeneração das praias após eventos erosivos naturais (equilíbrio dinâmico). Este fato também não ocorrerá durante as atividades do BIOMAR Mineração na região.

### 5.1.4.3. Plataforma Continental na Região de Tutóia

De acordo com Dias (2000), a presença de amplas ocorrências de algas calcárias na plataforma continental N-NE foi relatada desde a década de 60 por pesquisadores do Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Na plataforma continental, brasileira encontra-se, em escala global, uma das maiores extensões de coberta por sedimentos carbonáticos produzidos por algas calcárias.

Estes sedimentos bioclásticos são representados por areia e cascalho, formados principalmente de algas coralinas, além de artículos de Halimeda, moluscos, briozoários e foraminíferos bentônicos.

Em detalhe, observa-se grande variação dos tipos morfológicos das algas calcárias em função da profundidade de ocorrência e dos setores geográficos ao longo da plataforma continental brasileira. Um exemplo disto é a existência de grandes depósitos de algas do gênero Halimeda no Nordeste e a inexistência destes depósitos na região Sudeste; a presença de rodolitos maciços em certas áreas contrastando com outras onde ocorrem apenas rodolitos ramificados do tipo maerl ou a participação de briozoários que podem ser predominantes em certas áreas como na plataforma continental norte do Espírito Santo.

De modo geral, no Brasil, as ocorrências mais contínuas encontram-se na plataforma média e externa, muitas vezes em profundidades maiores que 50 m, impedindo a exploração por métodos tradicionais de dragagem que atingem geralmente a profundidade máxima de 30 m. Foi constatada na região N-NE a existência de bancos localizados de algas coralinas, desenvolvendo-se diretamente sobre areias quartzosas. Essas algas, que ocorrem na região do presente Licenciamento, são semelhantes ao maerl explorado na França.

O mapa regional da plataforma continental, entre os estados do Piauí e Leste do Pará, figura 5.1.4.3-1, foi realizado a partir da interpretação das amostras de fundo coletadas em Levantamentos Hidrográficos e Geológicos, cadastradas no Banco de Dados Oceanográficos da Diretoria de Hidrografia e Navegação (BNFO-DHN).

Ele representa um dos 11 mapas sedimentológicos da Plataforma Continental Brasileira, realizados no âmbito do Programa REVIZEE (2004). Observa-se a predominância de areia quartzosa de granulometria fina, desde a zona costeira até a plataforma média a externa. Nessas plataformas, ocorrem localmente depósitos de cascalhos relacionados às algas calcárias (formas livres de algas do tipo *maerl*).

A interpretação das imagens de sonar de varredura lateral, confirmadas por amostragens de fundo, permitiu elaborar o mapa faciológico constante do item 5.1.4.4.

Toda a área compreendida entre profundidades de 18 e 24 m (1) é constituída inteiramente por cascalho biodetrítico formado por algas calcárias do tipo *maerl*. A espessura medida por sondagens foi de ~2m e a espessura estimada foi de ~4m. Entre 24 m e 27 m existe uma área de transição formada por misturas de sedimento bioclástico e quartzoso (2). Em profundidades maiores que 27 m, o fundo é inteiramente composto por areia quartzosa fina (3).

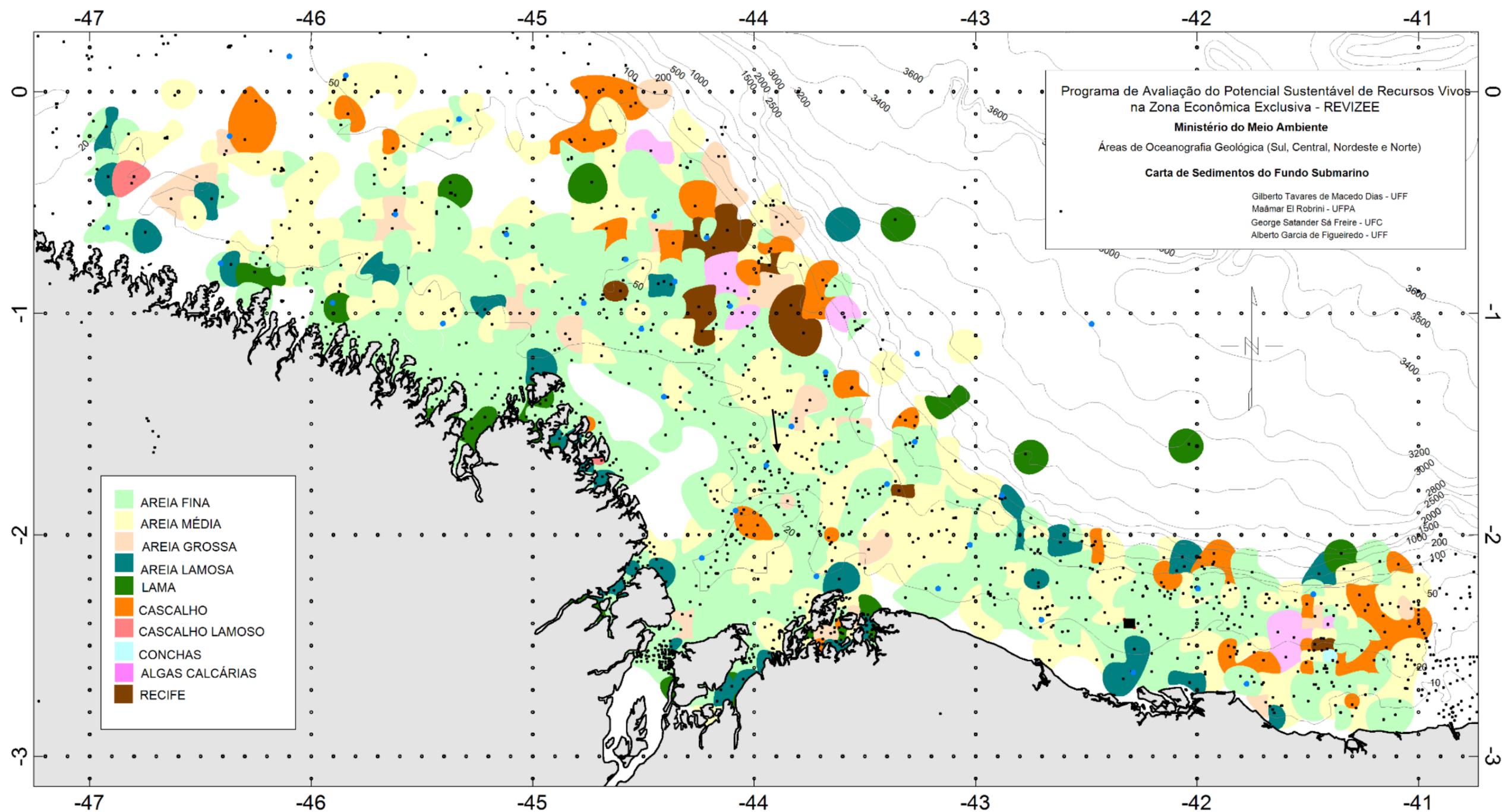


Figura 5.1.4.3-1: Mapa Faciológico da plataforma continental entre o Piauí e Maranhão. As áreas da BIOMAR Mineração estão georreferenciadas no mapa, assinalada pela seta preta. Fonte: REVIZEE, 2004. Disponível em <https://mma.gov.br/port/sqa/projeto/revizee/capa/corpo.html>. Acesso em 30/08/2020.

#### 5.1.4.4. Caracterização geológica das áreas de exploração

A caracterização da geologia local nas áreas de exploração foi elaborada de acordo com a seguinte metodologia:

- a) realização de batimetria e imageamento com o sonar de varredura lateral;
- b) interpretação das imagens sonográficas e definição dos pontos de amostragens superficiais, abrangendo os diversos padrões sonográficos mapeados;
- c) coletas complementares de amostras de sondagens a trado realizadas por meio de mergulho autônomo. As sondagens foram planejadas visando cobrir e representar todas as variações do corpo;
- d) envio das amostras para análises em laboratórios especializados; e
- e) consolidação dos dados.

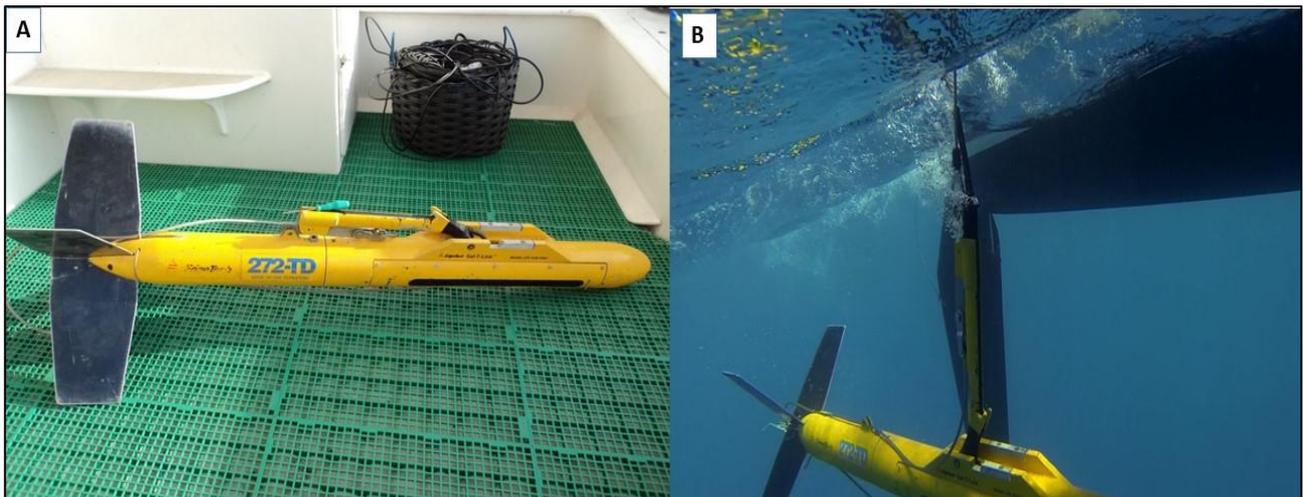


Figura 5.1.4.4-1: Sensor do sonar de varredura lateral (*side scan sonar*). Fonte: BIOMAR, 2020.



Figura 5.1.4.4-2: Embarcação 1 utilizada para trabalhos de campo. Fonte: BIOMAR, 2020.



Figura 5.1.4.4-3: Embarcação 2 utilizada para trabalhos de campo. Fonte: BIOMAR, 2020.

O mapa batimétrico, integrando as duas áreas de exploração, pode ser visualizado na Figura 5.1.4.4-4. As isóbatas (linhas de igual profundidade) estão representadas no mapa, a cada metro de desnível, e delimitam a presença de um “alto fundo”, cujo topo encontra-se entre 18 e 20 m. O exagero vertical do mapa não permite visualizar em escala real, o gradiente desse banco, quase imperceptível, da ordem de 0,3 m/100 m.

As áreas mineralizadas com teores de carbonato superiores a 95%, são constituídas predominantemente por talos de algas calcárias tipo *maerl*, e situam-se entre 18 e 25 m de profundidade. A faixa de profundidades entre 25 e 27 m caracteriza uma área de transição, onde ocorre areia quartzosa fina, misturada com os talos das algas calcárias. Os teores de areia quartzosa fina aumentam progressivamente em direção às maiores profundidades. Areia quartzosa fina predominante ocorre em profundidades maiores que 27-30 m, quando o fundo se apresenta quase plano.

As áreas de alto fundos na plataforma continental da região, entre 18 e 25 m de profundidade, constituem bancos de algas calcárias, que cresceram verticalmente, devido a produção local dos talos destas algas. Trata-se de uma sedimentação autóctone (crescimento *in situ*), não havendo transporte proveniente de outras fontes, nem erosão

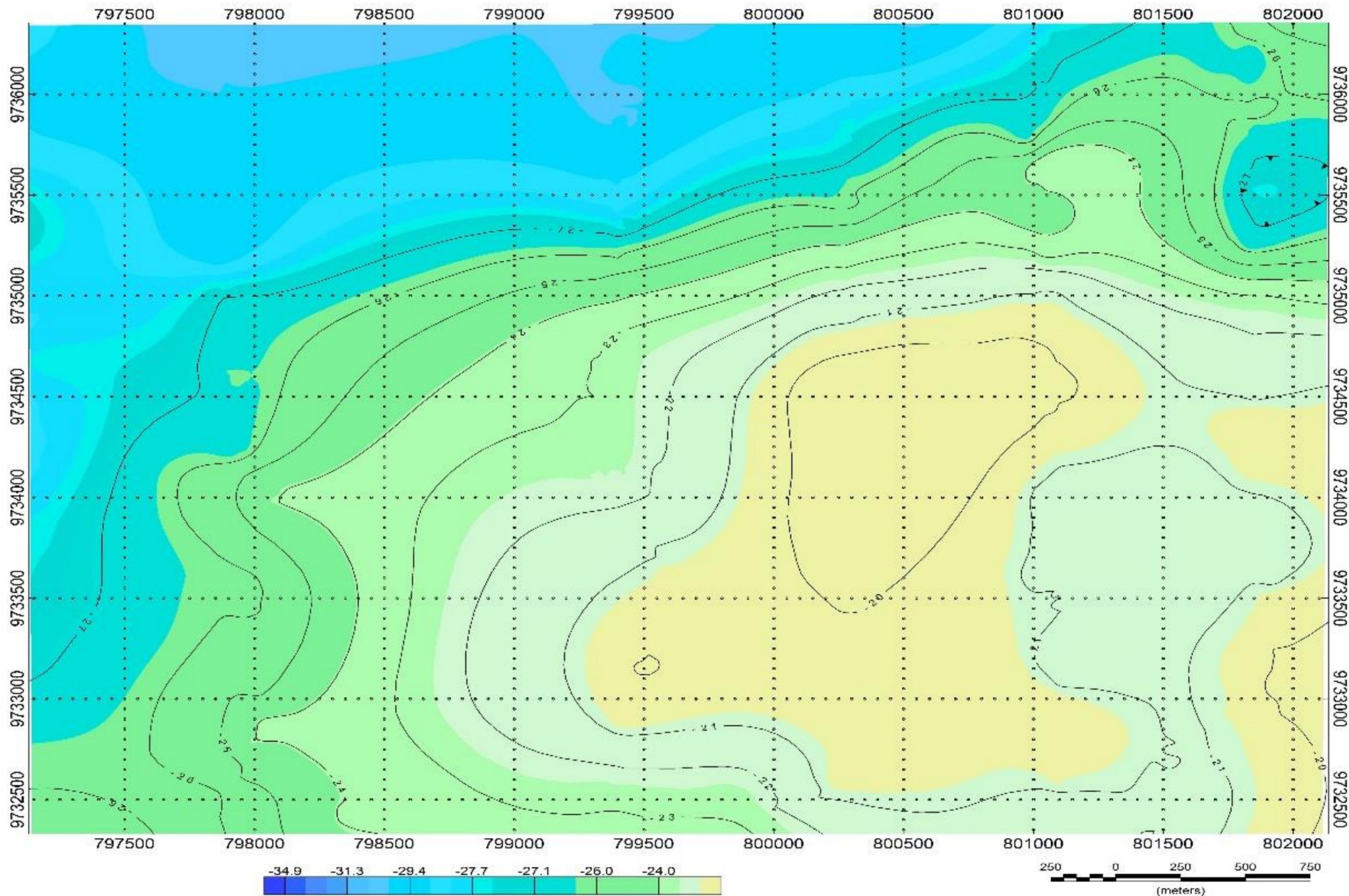
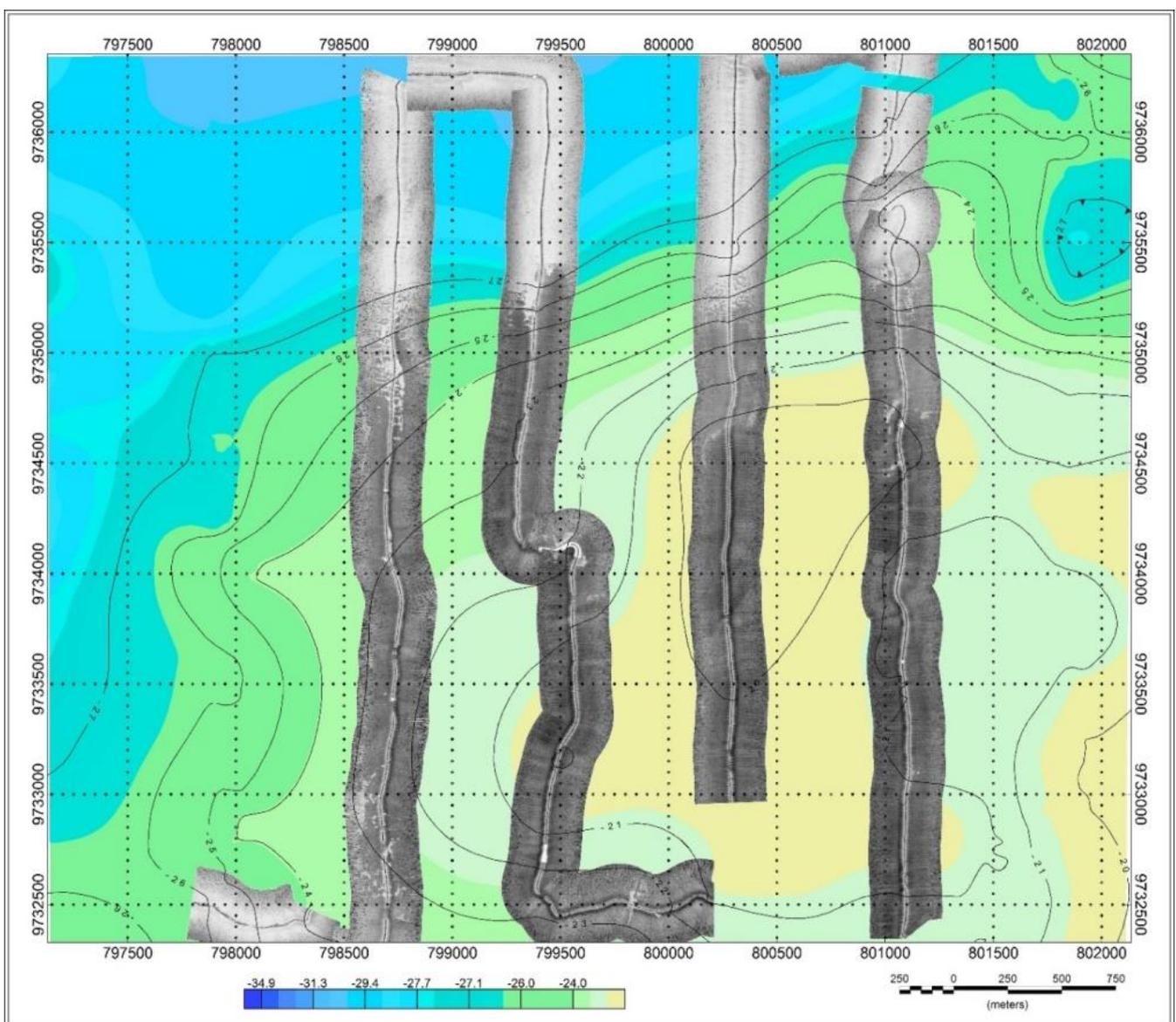


Figura 5.1.4.4-4: Mapa batimétrico abrangendo as duas áreas requeridas à ANM. Fonte: BIOMAR, 2020.

### 5.1.4.5. Faciologia

Levantamentos através do sonar de varredura lateral (*side scan sonar*), mostram imagens do fundo, semelhantes às imagens aéreas de radar. O método permite individualizar as ocorrências do “cascalho bioclástico”, relacionados à presença de algas calcárias do tipo *maerl* sobre o fundo. O mapa representado na Figura 5.1.4.5-1 mostra um mosaico de imagens sonográficas do fundo marinho, obtidas ao longo de linhas navegadas durante o levantamento sobre o alto batimétrico, existente na área de Licenciamento da BIOMAR Mineração. As faixas das imagens no mosaico possuem uma largura de 300 m e estão georreferenciadas sobre o mapa batimétrico.



**Figura 5.1.4.5-1: Mosaico de imagens de sonar de varredura lateral georreferenciadas sobre o mapa batimétrico.**  
**Fonte: BIOMAR, 2019.**

Existe um contraste muito nítido nas imagens de sonar, entre o cascalho carbonático (algas calcárias) e as areias finas quartzosas adjacentes. As áreas escuras nas imagens representam o sedimento bioclástico, quase integralmente formados por fragmentos de algas calcárias. A ação das ondas sobre estes sedimentos forma típicas marcas onduladas sobre o fundo (*mega ripples* ou *mega rides*). As faixas claras nas imagens são relacionadas à presença de areia quartzosa fina, bem selecionada.

As figuras a seguir (imagens brutas, não georreferenciadas) mostram exemplos de sonogramas representativos do fundo marinho. A altura das *mega ripples* é de aproximadamente 50 cm e o comprimento de ondas (espaçamento entre as cristas) varia entre 1,8m e 2,0m. A orientação das cristas é WNW-ESE, evidenciando a direção de ondas, predominantes oriundas de NE. Na Figura 5.1.4.5-2, o padrão cinza escuro está relacionado às algas calcárias. As marcas onduladas (*mega ripples*) cobrem quase inteiramente o fundo marinho. A faixa clara entre as imagens representa a coluna d'água entre o sensor e o fundo.

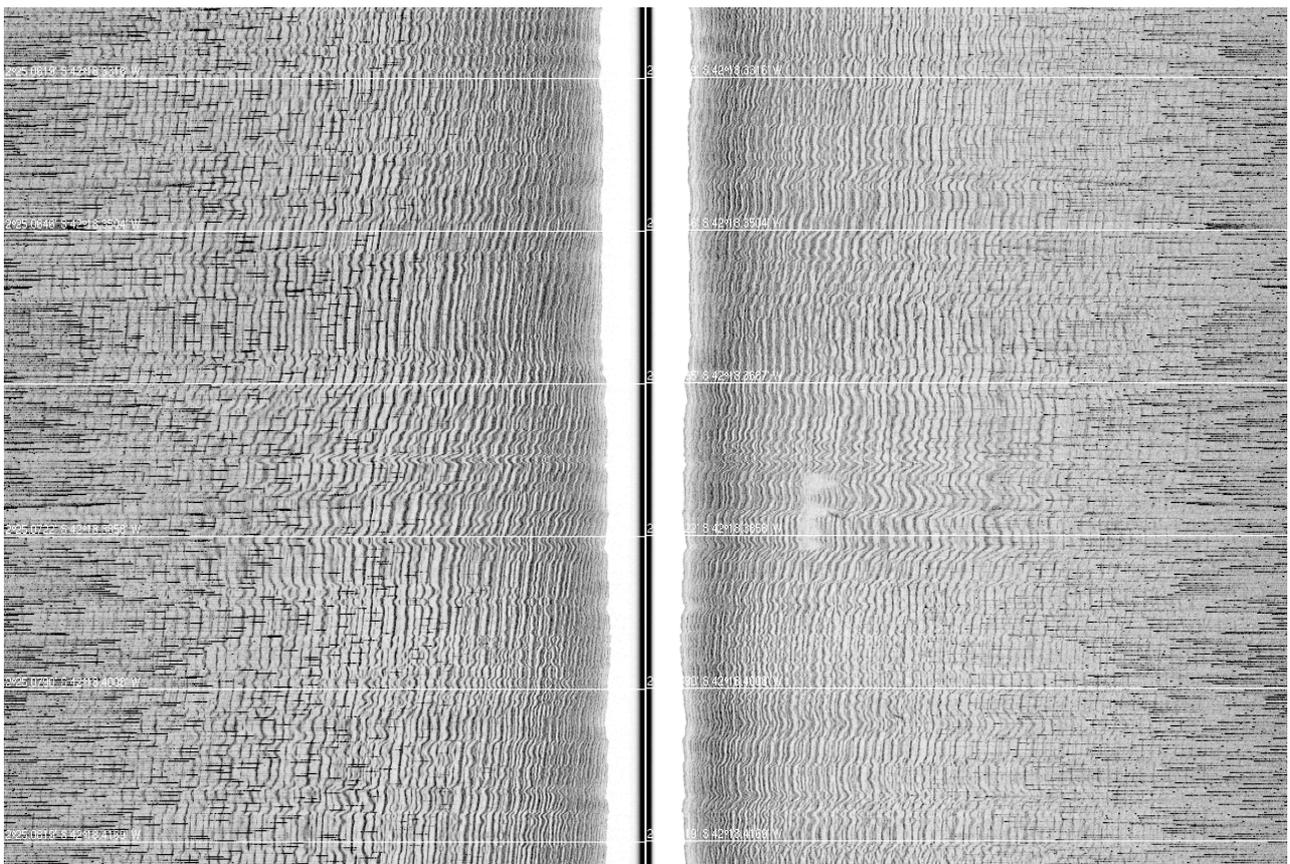


Figura 5.1.4.5-2: Sonograma 1 - O padrão linear representa as marcas de ondas (*mega ripples*) sobre o fundo. Fonte: BIOMAR, 2019.

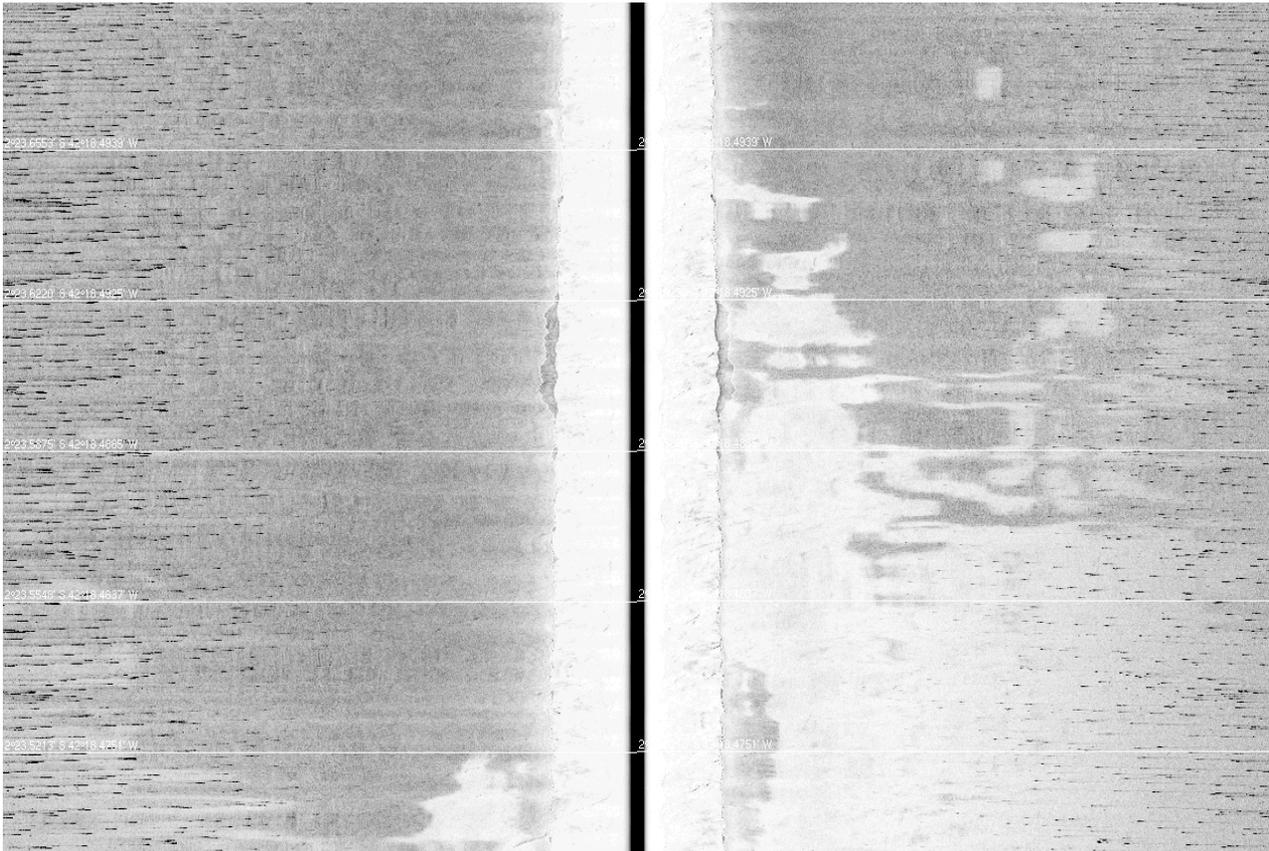


Figura 5.1.4.5-3: Sonograma 2 - As áreas escuras representam o cascalho bioclástico formado por algas calcárias tipo *maerl* e o padrão cinza muito claro representa a ocorrência de areia fina quartzosa. Fonte: BIOMAR, 2019.

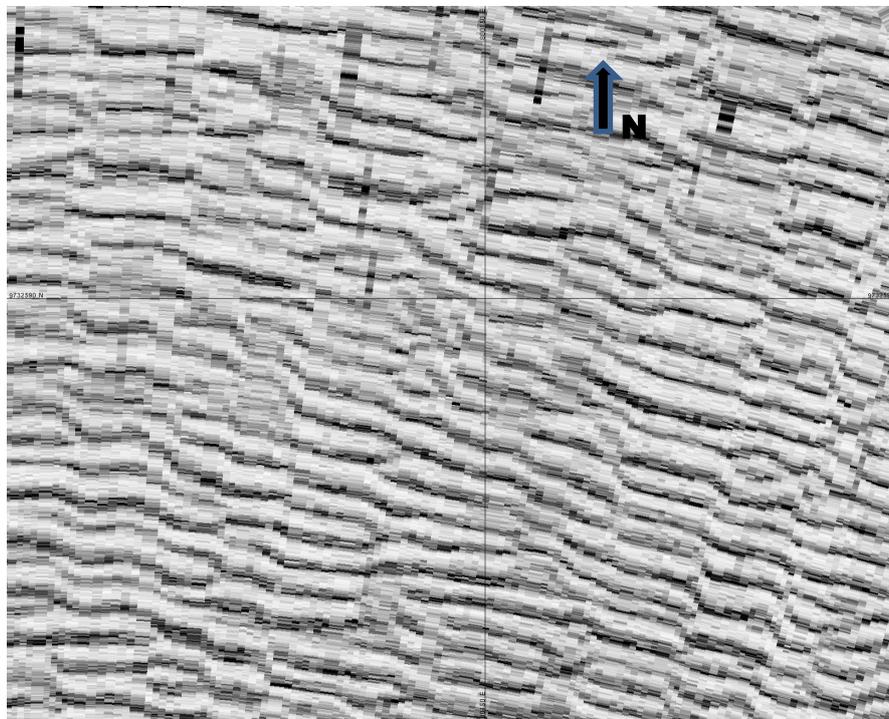


Figura 5.1.4.5-4: Representa uma ampliação de imagem georeferenciada do sonar de varredura lateral, evidenciando as marcas de ondas (mega ripples) com espaçamentos de ~2m, formadas por ondas oriundas de NNE. Fonte: BIOMAR, 2019.

Marcas de ondas simétricas (*mega ripples* ou *megarides*) na plataforma do Maranhão. Comparar a similaridade dessas feições na França.



**Figura 5.1.4.5-5:** Fotos do fundo na área de Tutoia mostram marcas de ondas formadas em depósito de cascalho de algas (*maerl*), semelhantes às encontradas na plataforma da Bretanha - França.

Fonte: BIOMAR, 2019.

#### 5.1.4.6. Sondagens

O corpo do minério (cascalho biodetrítico inconsolidado, formado por algas calcárias) é bastante uniforme. As amostras apresentaram altos teores das frações entre 2 mm e 0,500 mm, representadas por fragmentos dos talos de algas calcárias do tipo *maerl* com presença de nódulos (rodolitos).

A relação das coordenadas com os pontos amostrados positivos está listada na figura 5.1.4.8-1 e serviu para a delimitação da área mineralizada.

	Easting	Northing		Easting	Northing		Easting	Northing
C166	798.671	9.733.320	C206	798.673	9.733.198	C225	800.710	9.733.001
C167	799.594	9.733.318	C207	799.090	9.733.185	C226	801.150	9.733.001
C168	800.385	9.733.336	C208	799.460	9.733.176	C227	800.382	9.733.460
C169	802.003	9.733.326	C209	798.225	9.733.037	C228	800.714	9.733.456
C173	798.733	9.732.734	C210	798.683	9.733.008	C229	800.695	9.733.196
C174	799.953	9.732.792	C211	799.185	9.733.001	C230	799.613	9.732.760
C175	800.737	9.732.797	C212	799.619	9.732.997	C231	800.487	9.732.778
C176	801.958	9.732.835	C213	799.954	9.732.997	C232	801.183	9.733.262
C195	798.236	9.733.689	C214	799.920	9.733.334	C233	801.162	9.733.712
C196	798.751	9.733.693	C215	799.873	9.733.695	C234	801.211	9.733.458
C197	799.324	9.733.704	C216	799.676	9.733.693	C235	801.197	9.732.812
C198	798.236	9.733.505	C217	799.680	9.733.488	C236	801.723	9.733.384
C199	798.750	9.733.494	C218	799.678	9.733.185	C237	801.730	9.733.181
C200	799.345	9.733.498	C219	800.291	9.733.691	C238	801.717	9.732.830
C201	799.321	9.733.295	C220	800.565	9.733.687	C239	801.740	9.733.071
C202	799.086	9.733.321	C221	800.889	9.733.357	C245	801.988	9.733.728
C203	798.498	9.733.310	C222	800.710	9.733.344	C246	801.703	9.733.718
C204	798.241	9.733.363	C223	800.378	9.733.177			
C205	798.237	9.733.201	C224	800.374	9.733.001			

Figura 5.1.4.6-1: Relação de coordenadas dos pontos de amostragem positivos. Fonte: BIOMAR, 2020.



Figura 5.1.4.6-2: Frações granulométricas. Fonte: BIOMAR, 2018.



Figura 5.1.4.6-3: Frações granulométricas (detalhes). Fonte: BIOMAR, 2018.



**Figura 5.1.4.6-4: Mergulho para coleta de amostra de fundo. Fonte: BIOMAR, 2018.**



**Figura 5.1.4.6-5: Mergulho para sondagem a trado manual. Fonte: BIOMAR, 2018.**

As sondagens foram executadas nos pontos mostrados na tabela abaixo e atingiram profundidades de 2,0 a 2,2 m. Ao longo de toda a extensão sondada foram amostrados fragmentos de algas calcárias. Devido aos desmoronamentos das cavidades, as sondagens foram interrompidas a partir de dois metros abaixo do fundo.

**Tabela 5.1.4.6-1: Localização das sondagens a trado. Fonte: APOIO, 2020.**

Ponto	Coordenada UTM	
T1	798980 E	9734565N
T2	800705 E	9734456N
T3	801875 E	9733943N
T4	801157 E	9733678N
T5	800626 E	9732743N
T6	800301 E	9733527N
T7	799052 E	9733117N
T8	798654 E	9733473N

#### PLANEJAMENTO DE LAVRA

A extração por dragagem de fundo será feita em áreas bem estabelecidas ao longo de uma faixa EW abrangendo uma parte do topo do banco mapeado. Vale reiterar, que a cada metro percorrido, a draga poderá extrair dois metros cúbicos de sedimento. Nas áreas georreferenciadas serão realizadas extrações ao longo de um período de 10 anos, obedecendo a um sistema de rodízio. Após o ciclo de 10 anos as operações recomeçam nas áreas vizinhas às iniciais, considerando o mesmo sistema.

A faixa de extração foi representada em escala no mapa a seguir (figura 5.1.4.6-6). Nota-se que, proporcionalmente, a área a ser extraída ao longo de 10 anos é pouco significativa (1,42%) em relação a totalidade da área de ocorrência dos depósitos de algas calcárias. Os polígonos que representam as áreas de extração no primeiro e segundo ano possuem 14.180 m<sup>2</sup>, do terceiro ao quinto ano, 33.758 m<sup>2</sup>, e do sexto ao decimo ano, 103.390 m<sup>2</sup> (151.328 m<sup>2</sup> no total). Considerando uma espessura de 2,0m de sedimento bioclástico, teremos 302.656 m<sup>3</sup>, equivalente a 484.249 toneladas de material extraído em 10 anos, em apenas 1,42% da área total licenciada.

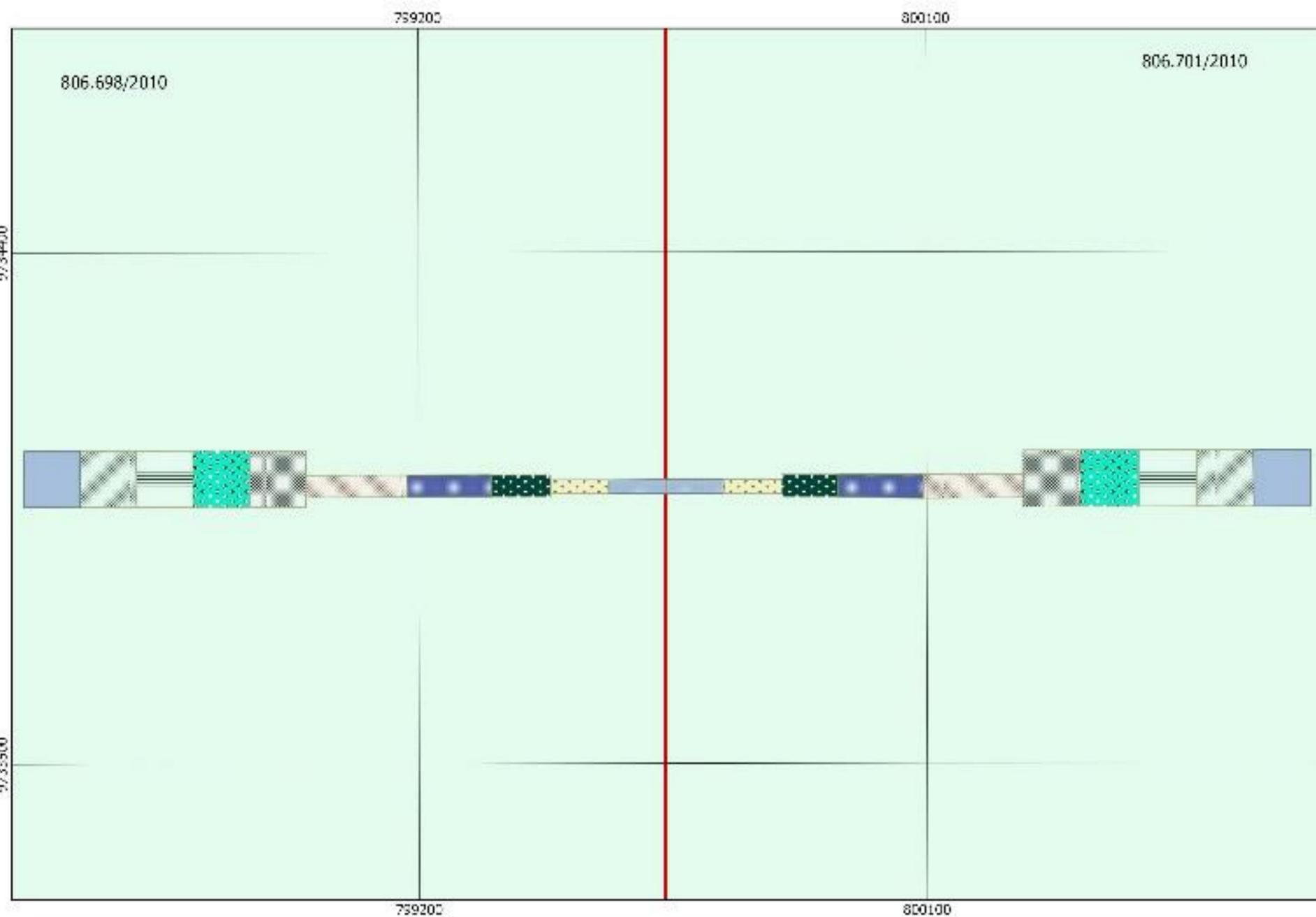
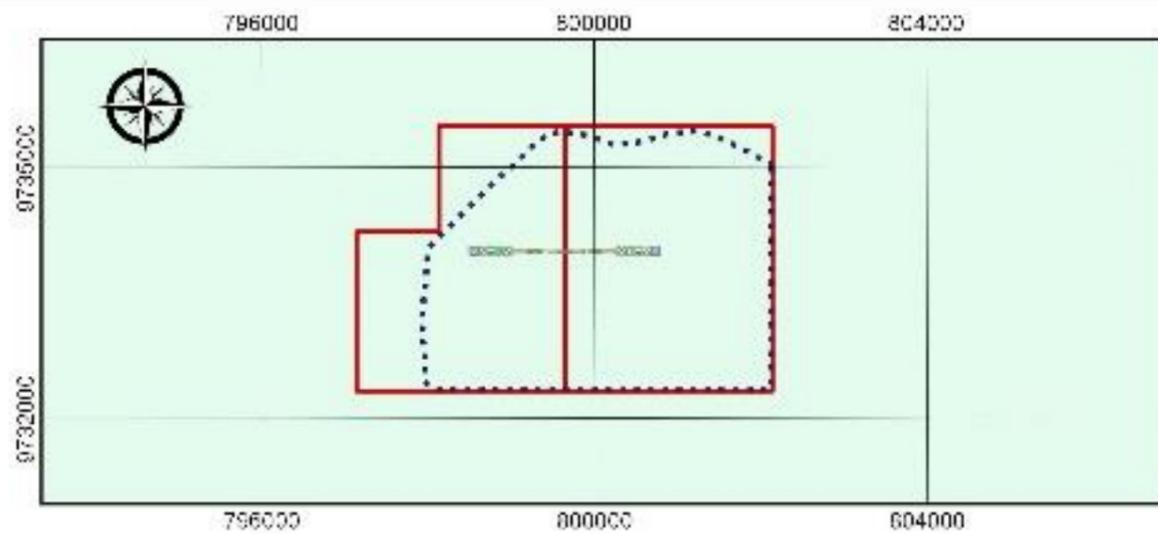
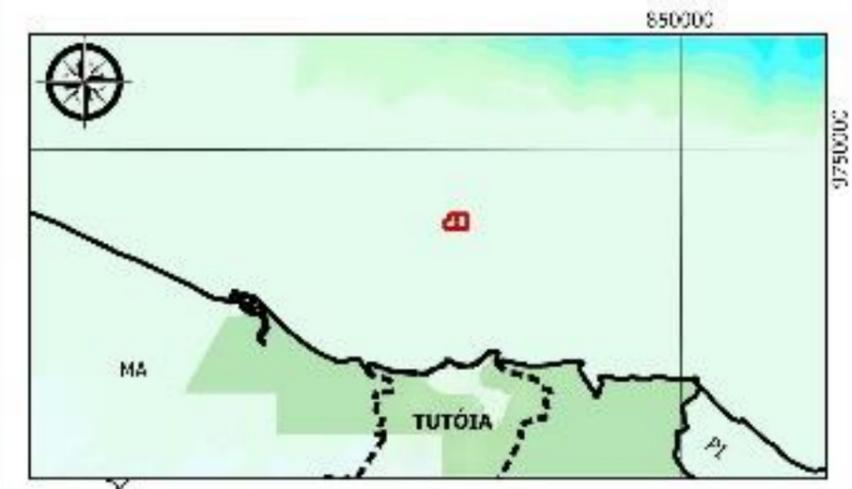


Figura 5.1.4.6-6: Planejamento da Lavra

Localização



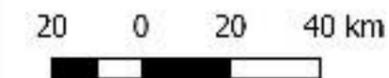
Convenções Cartográficas

- Limite Estadual
- Limite Municipal: Tutóia - MA

Legenda

- Limites do Corpo Mineralizado
- Processos ANM
- Planejamento da Lavra: 10 anos
  - ANO I
  - ANO II
  - ANO III
  - ANO IV
  - ANO V
  - ANO VI
  - ANO VII
  - ANO VIII
  - ANO IX
  - ANO X

Escala Gráfica



Escala Numérica

1:8.463

Dados Cartográficos

Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas Planas  
 M.C.: -45° WGr. - Datum Horizontal: SIRGAS 2000 - Zona: 23 M

Fonte

IBGE (2015). SIGMINE (ANM - 2020)

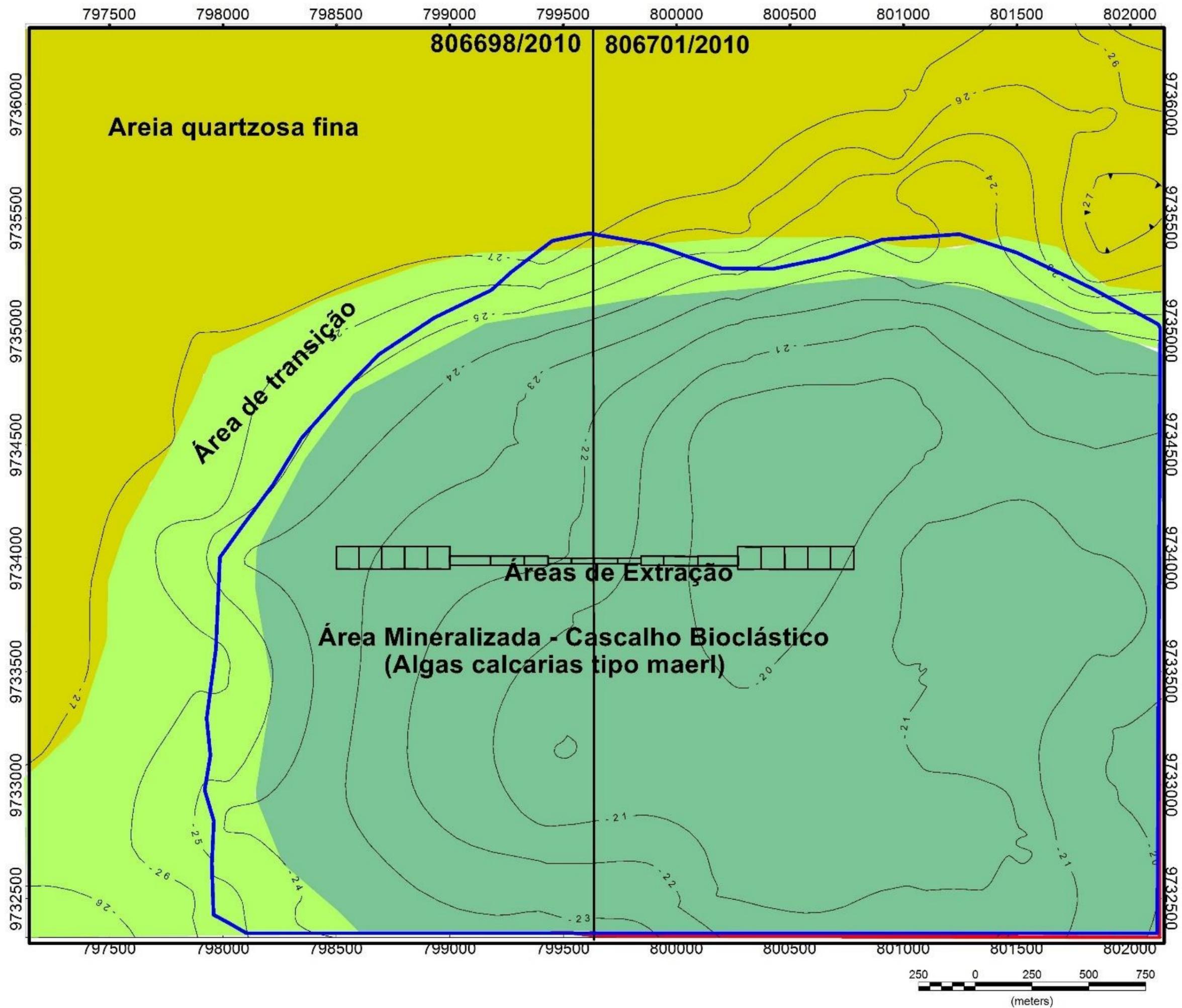
Elaboração	Data	Revisão	Formato
Gizele Ferreira	17/05/2020	00	A3



#### 5.1.4.7. Mapa de Fácies

A partir dos resultados de todas as investigações apresentadas nos itens 5.1.4.4, 5.1.4.5 e 5.1.4.6, o Mapa de Fácies (figura 5.1.4.7-1) foi elaborado, considerando a interpretação dos registros de sonar de varredura lateral, além das amostras de fundo e das sondagens realizadas. Três tipos de fácies foram identificados. A área mais rasa (topo do banco) é composta inteiramente por depósito de cascalho de algas calcárias, tipo *maerl*. A área de maior profundidade relativamente plana é composta inteiramente por areia quartzosa fina. Existe uma área intermediária de mistura dessas duas fácies predominantes

Será delimitada, como área de preservação, uma faixa de 1.172 m de largura por 2.766 m de comprimento (3,194 Km<sup>2</sup>), a Leste da área mineralizada. A extração das algas será feita apenas a oeste desta faixa, e no interior dos polígonos assinalados como “Áreas de Extração”.



- Areia quartzosa
- Área de misturas
- Área de ocorrência de algas calcárias

Figura 5.1.4.7-1: Mapa de Fácies. Área de ocorrência de algas calcárias (verde escuro); área de misturas (verde claro) e areia quartzosa (amarelo). Fonte: APOIO, 2020.

#### 5.1.4.8. Caracterização e Análise Geoquímica dos Sedimentos Coletados

Conforme apresentado anteriormente, os sedimentos existentes na área da jazida são formados por areia quartzosa de granulometria fina, além de areia e cascalho carbonático bioclástico, formados por fragmentos de talos de alga calcária do tipo *maerl*.

A maior parte da alga calcária (>95%) é composta por material mineral, na forma de calcita magnesiana. As algas calcárias retiram da água do mar os íons  $\text{Ca}^+$   $\text{Mg}^+$  e  $\text{CO}_3^-$  e formam a calcita magnesiana por biomineralização.

O carbonato de Cálcio e Magnésio promove o endurecimento celular, transformando-a em material mineral, incluindo muitos microelementos existentes na água do mar, que ficam adsorvidos nas paredes das células. Não existem concentrações significativas de qualquer tipo de elementos tóxicos ou poluentes.

As coletas realizadas para as análises químicas do sedimento foram realizadas por dragas manuais tipo Gibbs e sondagens a trado (figura 5.1.4.8-1). As amostras foram enviadas ao SGS GEOSOL Laboratórios Ltda., que procedeu às referidas análises. O laudo (4 páginas) consta da figura 5.1.4.8-2.



Figura 5.1.4.8-1: Draga utilizada para coleta das amostras. Fonte: BIOMAR, 2020.



**SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.**

**CERTIFICADO DE ANÁLISES**  
**GQ1307854**

Página 1 de 4

**Solicitante:** Biomar Mineração Ltda  
Rua Prof. Luis Pinho Rodrigues , 20 Edifício Quartz Sala 407  
Renascença II  
65.075-760 São Luís MA

**Attn.:** José Fernando Tajra Reis

**Ref. Cliente:** Pedido 30/10/2013  
**Produto:** CALCARIO  
**Projeto:** DNPM 806701/2010 e 806698/2010

**Número de Amostras:** 10  
**Data do Recebimento:** 31-out-2013  
**Data de Envio:** 22-nov-2013  
**Completado Em:** 22-nov-2013

**Referência Analítica**

ICM40B Determinação por Digestão Multiácida - ICP OES / ICP MS  
ISE03A Determinação de Flúor por Íon Específico  
ISE03B Determinação de Cloro por Íon Específico  
PHY01E LOI (Loss on ignition) - Perda ao fogo por calcinação da amostra a 405°C e/ou 1000°C  
XRF79C Fluorescência de Raios X (Fusão com tetraborato de lítio), em Rochas, Minérios e Solos

**Legenda**

L.D. = Limite de Detecção      BLK = Branco      REP = Replicata      DUP = Duplicata  
L.N.R. = Listada Não Recebida      I.S. = Amostra Insuficiente      N.A. = Não Analisada      STD = Padrão  
I.N.F. = Não reportados devido a interferentes



**Marcos Filipe Gonçalves Silva**  
**CRQ II 02202046**  
**Responsável Técnico**

Os ensaios foram realizados na SGS GEOSOL Laboratórios Ltda. - Rodovia MG 010, Km 24,5 - Bairro Angicos - Vespasiano - MG - Brasil - CEP: 33.200-000  
Telefone +55 31 3045-0261 Fax +55 31 3045-0223 www.sgsgeosol.com.br  
Certificados ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004 (ABS 32982 e ABS 39911)  
Os resultados expressos neste Certificado se referem somente ao material recebido. Proibida a reprodução parcial deste documento.


**SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.**
**CERTIFICADO DE ANÁLISES**  
**GQ1307854**

Página 2 de 4

Análises Método Unidade Limite Detecção	F	Cl	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca
	ISE03A PPM 30	ISE03B PPM 20	ICM40B PPM 0,02	ICM40B % 0,01	ICM40B PPM 1	ICM40B PPM 5	ICM40B PPM 0,1	ICM40B PPM 0,04	ICM40B % 0,01
BRANCO_PREP	62	<20	<0,02	0,01	<1	7	<0,1	<0,04	0,02
AMOSTRA 806.698/2010-FS01	825	3071	<0,02	0,11	2	21	<0,1	<0,04	>15,00
AMOSTRA 806.698/2010-FS02	1158	23774	<0,02	0,11	3	13	<0,1	<0,04	>15,00
AMOSTRA 806.698/2010-FS03	1000	2487	<0,02	0,12	2	13	<0,1	<0,04	>15,00
AMOSTRA 806.698/2010-FS04	1023	6848	<0,02	0,11	1	14	<0,1	<0,04	>15,00
AMOSTRA 806.701/2010-FS05	987	849	<0,02	0,10	7	16	<0,1	<0,04	>15,00
AMOSTRA 806.701/2010-FS06	852	3291	<0,02	0,08	<1	14	<0,1	<0,04	>15,00
AMOSTRA 806.701/2010-FS07	977	1698	<0,02	0,12	<1	16	<0,1	0,04	>15,00
AMOSTRA 806.701/2010-FS08	854	2275	<0,02	0,12	3	19	<0,1	<0,04	>15,00
AMOSTRA 806.701/2010-FS09	973	2451	<0,02	0,11	2	14	<0,1	<0,04	>15,00
AMOSTRA 806.701/2010-FS10	928	2976	<0,02	0,10	3	16	<0,1	<0,04	>15,00
* REP AMOSTRA 806.701/2010-FS10			<0,02	0,11	3	15	<0,1	<0,04	>15,00
* STD TILL-3			0,79	4,78	91	495	2,2	0,12	1,82
* REP AMOSTRA 806.701/2010-FS05	1019								
* REP BRANCO_PREP		<20							
* STD NBS89		445							
* STD SARH3		1315							
* STD LKSD-1	271								
* STD SARH3	3955								

Análises Método Unidade Limite Detecção	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge
	ICM40B PPM 0,02	ICM40B PPM 0,05	ICM40B PPM 0,1	ICM40B PPM 1	ICM40B PPM 5	ICM40B PPM 0,5	ICM40B % 0,01	ICM40B PPM 0,1	ICM40B PPM 0,1
BRANCO_PREP	<0,02	0,74	0,3	<1	<5	<0,5	0,71	0,2	<0,1
AMOSTRA 806.698/2010-FS01	0,07	5,56	1,7	4	<5	1,2	0,26	0,5	<0,1
AMOSTRA 806.698/2010-FS02	0,09	5,56	1,7	2	<5	1,1	0,27	0,4	<0,1
AMOSTRA 806.698/2010-FS03	0,07	5,66	1,6	2	<5	1,0	0,29	0,5	<0,1
AMOSTRA 806.698/2010-FS04	0,07	5,08	1,6	2	<5	1,0	0,26	0,5	<0,1
AMOSTRA 806.701/2010-FS05	0,09	5,18	1,7	2	<5	1,1	0,24	0,5	<0,1
AMOSTRA 806.701/2010-FS06	0,08	3,52	1,5	1	<5	1,0	0,12	0,4	<0,1
AMOSTRA 806.701/2010-FS07	0,08	4,99	1,8	4	<5	1,8	0,27	0,6	<0,1
AMOSTRA 806.701/2010-FS08	0,07	4,67	1,7	<1	<5	2,9	0,21	0,5	<0,1
AMOSTRA 806.701/2010-FS09	0,08	4,26	1,7	4	<5	1,2	0,28	0,5	<0,1
AMOSTRA 806.701/2010-FS10	0,14	4,91	1,6	<1	<5	1,0	0,22	0,5	<0,1
* REP AMOSTRA 806.701/2010-FS10	0,15	5,03	1,5	<1	<5	1,0	0,23	0,5	<0,1
* STD TILL-3	0,24	45,47	14,4	75	<5	23,2	2,71	15,2	0,2

Análises Método Unidade Limite Detecção	Hf	In	K	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo
	ICM40B PPM 0,02	ICM40B PPM 0,02	ICM40B % 0,01	ICM40B PPM 0,1	ICM40B PPM 1	ICM40B PPM 0,01	ICM40B % 0,01	ICM40B % 0,01	ICM40B PPM 0,05
BRANCO_PREP	<0,02	<0,02	<0,01	0,7	1	<0,01	<0,01	<0,01	0,07
AMOSTRA 806.698/2010-FS01	<0,02	<0,02	0,04	3,2	<1	0,03	2,90	<0,01	0,50
AMOSTRA 806.698/2010-FS02	<0,02	<0,02	0,03	3,1	<1	0,03	2,88	<0,01	0,36
AMOSTRA 806.698/2010-FS03	<0,02	<0,02	0,04	3,2	<1	0,03	2,81	<0,01	0,26
AMOSTRA 806.698/2010-FS04	<0,02	<0,02	0,04	2,9	<1	0,03	2,93	<0,01	0,27
AMOSTRA 806.701/2010-FS05	<0,02	<0,02	0,03	2,9	<1	0,02	2,91	<0,01	0,27
AMOSTRA 806.701/2010-FS06	<0,02	<0,02	0,03	2,2	<1	0,02	2,88	<0,01	0,22
AMOSTRA 806.701/2010-FS07	<0,02	<0,02	0,04	2,7	1	0,03	2,94	<0,01	0,28

 Os ensaios foram realizados na SGS GEOSOL Laboratórios Ltda. - Rodovia MG 010, Km 24,5 - Bairro Angicos - Vespasiano - MG - Brasil - CEP: 33.200-000  
 Telefone +55 31 3045-0261 Fax +55 31 3045-0223 www.sgsgeosol.com.br  
 Certificados ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004 (ABS 32982 e ABS 39911)

Os resultados expressos neste Certificado se referem somente ao material recebido. Proibida a reprodução parcial deste documento.


**SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.**
**CERTIFICADO DE ANÁLISES**  
**GQ1307854**

Página 3 de 4

	Hf	In	K	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo
	ICM40B PPM 0,02	ICM40B PPM 0,02	ICM40B % 0,01	ICM40B PPM 0,1	ICM40B PPM 1	ICM40B PPM 0,01	ICM40B % 0,01	ICM40B % 0,01	ICM40B PPM 0,05
AMOSTRA 806.701/2010-F508	<0,02	<0,02	0,04	2,7	1	0,02	2,87	<0,01	0,33
AMOSTRA 806.701/2010-F509	<0,02	<0,02	0,04	2,4	1	0,02	2,99	<0,01	0,28
AMOSTRA 806.701/2010-F510	<0,02	0,03	0,03	2,8	<1	0,04	3,09	<0,01	0,33
* REP AMOSTRA 806.701/2010-F510	<0,02	0,03	0,04	2,9	<1	0,04	3,13	<0,01	0,33
* STD TILL-3	8,08	0,08	1,88	22,6	24	0,17	0,93	0,05	1,81
<b>Análises</b>	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc
<b>Método</b>	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B
<b>Unidade</b>	%	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	%	PPM
<b>Limite Detecção</b>	0,01	0,1	0,5	50	0,5	0,2	0,01	0,05	0,5
BRANCO_PREP	<0,01	<0,1	1,7	<50	0,9	<0,2	<0,01	<0,05	<0,5
AMOSTRA 806.698/2010-F501	0,34	<0,1	16,1	660	1,3	1,0	0,27	0,56	0,8
AMOSTRA 806.698/2010-F502	0,31	<0,1	17,0	390	1,4	0,9	0,27	0,61	0,8
AMOSTRA 806.698/2010-F503	0,33	<0,1	16,3	717	1,4	1,3	0,27	0,53	0,8
AMOSTRA 806.698/2010-F504	0,33	<0,1	15,9	670	1,4	1,0	0,27	0,56	0,8
AMOSTRA 806.701/2010-F505	0,26	<0,1	17,3	225	1,5	0,8	0,24	0,59	0,8
AMOSTRA 806.701/2010-F506	0,44	<0,1	15,7	445	1,3	0,3	0,27	0,53	0,7
AMOSTRA 806.701/2010-F507	0,31	<0,1	16,7	766	1,3	1,3	0,26	0,56	0,9
AMOSTRA 806.701/2010-F508	0,36	<0,1	17,9	674	3,1	1,1	0,28	0,42	0,8
AMOSTRA 806.701/2010-F509	0,33	<0,1	16,5	594	1,3	1,0	0,26	0,57	0,8
AMOSTRA 806.701/2010-F510	0,33	1,9	16,6	662	1,0	0,9	0,28	0,90	0,9
* REP AMOSTRA 806.701/2010-F510	0,34	1,8	15,5	669	0,9	0,9	0,26	0,84	0,7
* STD TILL-3	1,95	7,9	44,0	509	23,6	59,5	0,02	0,81	9,9
<b>Análises</b>	Se	Sm	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl
<b>Método</b>	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B
<b>Unidade</b>	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM
<b>Limite Detecção</b>	2	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,2	0,01	0,02
BRANCO_PREP	<2	<0,3	2,7	<0,05	<0,05	<0,05	<0,2	<0,01	<0,02
AMOSTRA 806.698/2010-F501	<2	<0,3	2340,9	<0,05	0,06	<0,05	<0,2	<0,01	<0,02
AMOSTRA 806.698/2010-F502	<2	<0,3	2295,4	<0,05	0,06	<0,05	<0,2	<0,01	<0,02
AMOSTRA 806.698/2010-F503	<2	<0,3	2011,5	<0,05	0,06	<0,05	0,2	<0,01	0,02
AMOSTRA 806.698/2010-F504	<2	<0,3	2121,0	<0,05	0,05	<0,05	<0,2	<0,01	0,02
AMOSTRA 806.701/2010-F505	<2	<0,3	2006,6	<0,05	0,05	<0,05	<0,2	<0,01	<0,02
AMOSTRA 806.701/2010-F506	<2	<0,3	2443,8	<0,05	<0,05	<0,05	<0,2	<0,01	<0,02
AMOSTRA 806.701/2010-F507	<2	<0,3	2158,0	<0,05	0,05	<0,05	0,2	<0,01	0,03
AMOSTRA 806.701/2010-F508	<2	<0,3	2369,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,2	<0,01	<0,02
AMOSTRA 806.701/2010-F509	<2	<0,3	2258,0	<0,05	<0,05	<0,05	<0,2	<0,01	<0,02
AMOSTRA 806.701/2010-F510	<2	<0,3	2179,4	<0,05	0,06	0,52	0,2	<0,01	0,03
* REP AMOSTRA 806.701/2010-F510	<2	<0,3	2217,8	<0,05	0,07	0,54	0,2	<0,01	0,04
* STD TILL-3	<2	5,9	272,1	43,20	0,60	0,89	3,8	0,25	0,29
<b>Análises</b>	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	SiO2	Al2O3
<b>Método</b>	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	ICM40B	XRF79C	XRF79C
<b>Unidade</b>	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%
<b>Limite Detecção</b>	0,1	1	0,1	0,1	0,1	1	0,5	0,10	0,10
BRANCO_PREP	<0,1	<1	0,6	<0,1	<0,1	<1	<0,5	>99,0	<0,10
AMOSTRA 806.698/2010-F501	1,1	7	1,1	2,2	0,2	<1	3,7	2,34	0,23
AMOSTRA 806.698/2010-F502	1,0	8	1,0	2,5	0,2	<1	1,9	1,86	0,20
AMOSTRA 806.698/2010-F503	0,9	7	0,8	2,4	0,2	<1	2,2	2,43	0,23
AMOSTRA 806.698/2010-F504	0,9	7	0,7	2,4	0,2	<1	2,3	1,77	0,18

Os ensaios foram realizados na SGS GEOSOL Laboratórios Ltda. - Rodovia MG 010, Km 24,5 - Bairro Angicos - Vespasiano - MG - Brasil - CEP: 33.200-000  
 Telefone +55 31 3045-0261 Fax +55 31 3045-0223 www.sgsgeosol.com.br  
 Certificados ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004 (ABS 32982 e ABS 39911)

Os resultados expressos neste Certificado se referem somente ao material recebido. Proibida a reprodução parcial deste documento.



SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.

**CERTIFICADO DE ANÁLISES**  
**GQ1307854**

Página 4 de 4

	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	SiO2	Al2O3
	ICM408 PPM 0,1	ICM408 PPM 1	ICM408 PPM 0,1	ICM408 PPM 0,1	ICM408 PPM 0,1	ICM408 PPM 1	ICM408 PPM 0,5	XRF79C % 0,10	XRF79C % 0,10
AMOSTRA 806.701/2010-F505	0,9	7	0,6	2,6	0,2	<1	1,3	1,71	0,17
AMOSTRA 806.701/2010-F506	1,0	3	0,6	2,0	0,1	<1	1,2	2,94	0,12
AMOSTRA 806.701/2010-F507	0,9	7	0,5	2,3	0,1	<1	2,0	1,91	0,22
AMOSTRA 806.701/2010-F508	1,3	5	0,5	2,1	0,1	18	2,5	2,16	0,23
AMOSTRA 806.701/2010-F509	1,0	6	0,4	2,2	0,1	<1	2,1	1,61	0,18
AMOSTRA 806.701/2010-F510	0,9	6	2,1	2,0	0,2	<1	1,5	1,62	0,17
* REP AMOSTRA 806.701/2010-F510	1,0	6	7,7	2,0	0,2	<1	1,4		
* STD TILL-3	1,7	59	9,1	16,0	1,7	50	211,1		
* REP AMOSTRA 806.698/2010-F503								2,41	0,23
* STD IPT122								4,51	1,19
<b>Análises</b>	<b>Fe2O3</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>TiO2</b>	<b>P2O5</b>	<b>Na2O</b>	<b>K2O</b>	<b>MnO</b>	<b>LOI</b>
<b>Método</b>	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	XRF79C	PHY01E
<b>Unidade</b>	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>Limite Detecção</b>	0,01	0,01	0,10	0,01	0,010	0,10	0,01	0,01	+45,00
BRANCO_PREP	1,05	0,03	<0,10	<0,01	<0,010	<0,10	<0,01	<0,01	-0,25
AMOSTRA 806.698/2010-F501	0,41	47,5	5,49	<0,01	0,111	0,42	0,04	<0,01	43,72
AMOSTRA 806.698/2010-F502	0,42	48,0	5,29	<0,01	0,114	0,35	0,04	<0,01	43,83
AMOSTRA 806.698/2010-F503	0,51	46,6	5,42	0,01	0,122	0,42	0,05	<0,01	43,63
AMOSTRA 806.698/2010-F504	0,38	47,3	5,47	<0,01	0,116	0,38	0,04	<0,01	43,91
AMOSTRA 806.701/2010-F505	0,37	48,6	5,40	<0,01	0,114	0,30	0,03	<0,01	43,87
AMOSTRA 806.701/2010-F506	0,18	47,0	5,36	<0,01	0,088	0,54	0,03	<0,01	43,71
AMOSTRA 806.701/2010-F507	0,42	47,7	5,46	<0,01	0,121	0,38	0,05	<0,01	43,91
AMOSTRA 806.701/2010-F508	0,35	47,3	5,37	<0,01	0,107	0,43	0,05	<0,01	43,85
AMOSTRA 806.701/2010-F509	0,30	46,2	5,49	<0,01	0,108	0,36	0,04	<0,01	44,12
AMOSTRA 806.701/2010-F510	0,32	47,3	5,72	<0,01	0,117	0,39	0,04	<0,01	44,03
* REP BRANCO_PREP									-0,23
* STD SG_077									8,36
* REP AMOSTRA 806.698/2010-F503	0,51	46,7	5,42	0,02	0,123	0,42	0,05	<0,01	
* STD IPT122	0,64	31,6	17,6	0,07	0,045	<0,10	0,45	0,04	

Os ensaios foram realizados na SGS GEOSOL Laboratórios Ltda. - Rodovia MG 010, Km 24,5 - Bairro Angicos - Vespasiano - MG - Brasil - CEP: 33.200-000  
 Telefone +55 31 3045-0261 Fax +55 31 3045-0223 www.sgsgeosol.com.br  
 Certificados ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004 (ABS 32982 e ABS 39911)  
 Os resultados expressos neste Certificado se referem somente ao material recebido. Proibida a reprodução parcial deste documento.

Figura 5.1.4.8-2: Laudo da SGS GEOSOL. Fonte: BIOMAR, 2020.

## 5.1.5. Oceanografia

### 5.1.5.1. Introdução

A Plataforma Continental do Maranhão (PCM), entre a foz dos rios Gurupi e Parnaíba, possui 203 km de largura em frente ao litoral ocidental e 72 km a partir da baía do Tubarão em direção sudeste. A costa do Maranhão é diversificada: a NW, as Reentrâncias Maranhenses, a leste, o litoral de dunas, sendo separados pelo Golfão Maranhense, onde o rio Mearim descarrega suas águas com uma vazão de 770 m<sup>3</sup>/s. Outros rios, com menor descarga hídrica, deságuam no litoral: Gurupi, Maracaçumé, Turiaçú, Itapecuru e Parnaíba. Os parâmetros de temperatura, salinidade e densidade servem para identificar e caracterizar as massas de água, durante os períodos: seco (novembro de 1997) e chuvoso (junho de 1999).

As massas d'água são camadas existentes em todos os oceanos, com características de temperatura e salinidade próprias, pois, uma vez que afundam ou se deslocam do seu ponto de origem ao longo de níveis de densidade constante dos oceanos (isopicnais), retém as características superficiais de tal local, só mudando por processos de mistura com outras massas d'água (NESHYBA, 1987). A definição das massas de água pode contribuir na identificação de comunidades de espécies de peixes e/ou planctônicas, na circulação oceânica, no transporte de sedimentos finos, nutrientes e poluentes em superfície e no fundo marinho, na navegação e na engenharia oceânica.

O conhecimento sobre o padrão de circulação e distribuição das massas de água na plataforma continental brasileira é heterogêneo (PATCHINEELAM, 2004). Na plataforma continental do Amazonas, o Projeto AMASSEDS - *Amazon Shelf Sediments Study* (CARVALHO, 1990) produziu várias publicações científicas. Na plataforma continental entre os Cabos Frio (23°S) e Santa Marta (28°40'S), o conhecimento da circulação das massas d'água é significativo.

Por outro lado, as regiões Nordeste (incluindo o Maranhão) e Leste da Plataforma Continental Brasileira carecem de estudos sobre a circulação das águas oceânicas e identificação das massas d'água.

Na plataforma continental norte do Brasil, tem-se ainda poucos estudos sobre as massas de água oceânicas e a circulação costeira. Dentre os principais projetos e programas realizados na região norte, destacam-se: (i) as Comissões Oceanográficas GEOMAR (1969-1986), que focalizaram o

estudo da hidrodinâmica, da cobertura superficial e da fisiografia da plataforma continental; (ii) o Projeto REMAC - Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira (1972-1979), objetivou a análise da fisiografia e da estruturação da margem continental brasileira; (iii) o Projeto AMASSEDS (1989-1993), objetivou o estudo das interações entre os processos oceanográficos físicos, transporte de sedimentos, transformações biogeoquímicas e sedimentação na plataforma continental do Amazonas; e (iv) o Programa de Avaliação do Potencial Sustentável dos Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva – REVIZEE (iniciado em 10 de março de 1995 na ZEE/Norte)<sup>6</sup>.

#### **5.1.5.2. Áreas de Exploração da BIOMAR Mineração**

A atividade de extração ocorrerá de acordo com os trabalhos de prospecção realizados pela BIOMAR Mineração ao largo da costa maranhense, que revelaram uma área favorável à exploração de algas calcárias em um local denominado “Banco de Tutóia”.

As áreas objetos de caracterização ambiental encontram-se localizadas na Plataforma Continental Brasileira, a cerca de 25 milhas náuticas em linha reta do município de Tutóia, estado do Maranhão e estão compreendidas entre as coordenadas UTM (SIRGAS) 23 m 798175.11E e 9733594.51S / 800936.51E 9733874.38S em uma área favorável à exploração de algas calcárias denominada “Banco de Tutóia”, conforme As áreas objeto dos levantamentos de caracterização ambiental encontram-se localizadas na Plataforma Continental Brasileira a cerca de 25 milhas náuticas em linha reta da cidade de Tutóia no Estado do Maranhão e estão compreendidas entre as coordenadas UTM (SIRGAS) 23 m 798175.11E e 9733594.51S / 800936.51E 9733874.38S em uma área favorável à exploração de algas calcárias denominada “Banco de Tutóia”, conforme pode ser visto na figura 5.1.5.2-1.

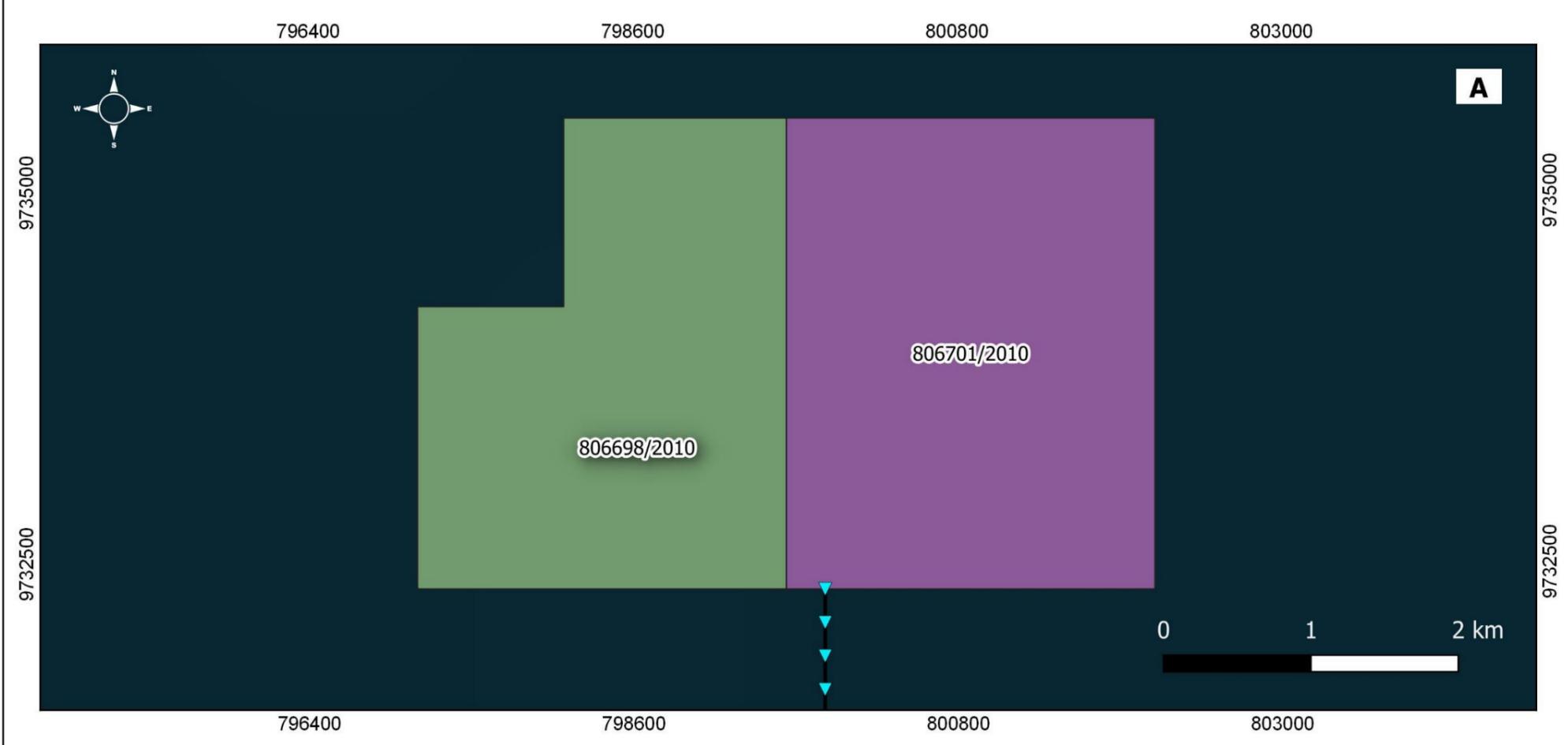
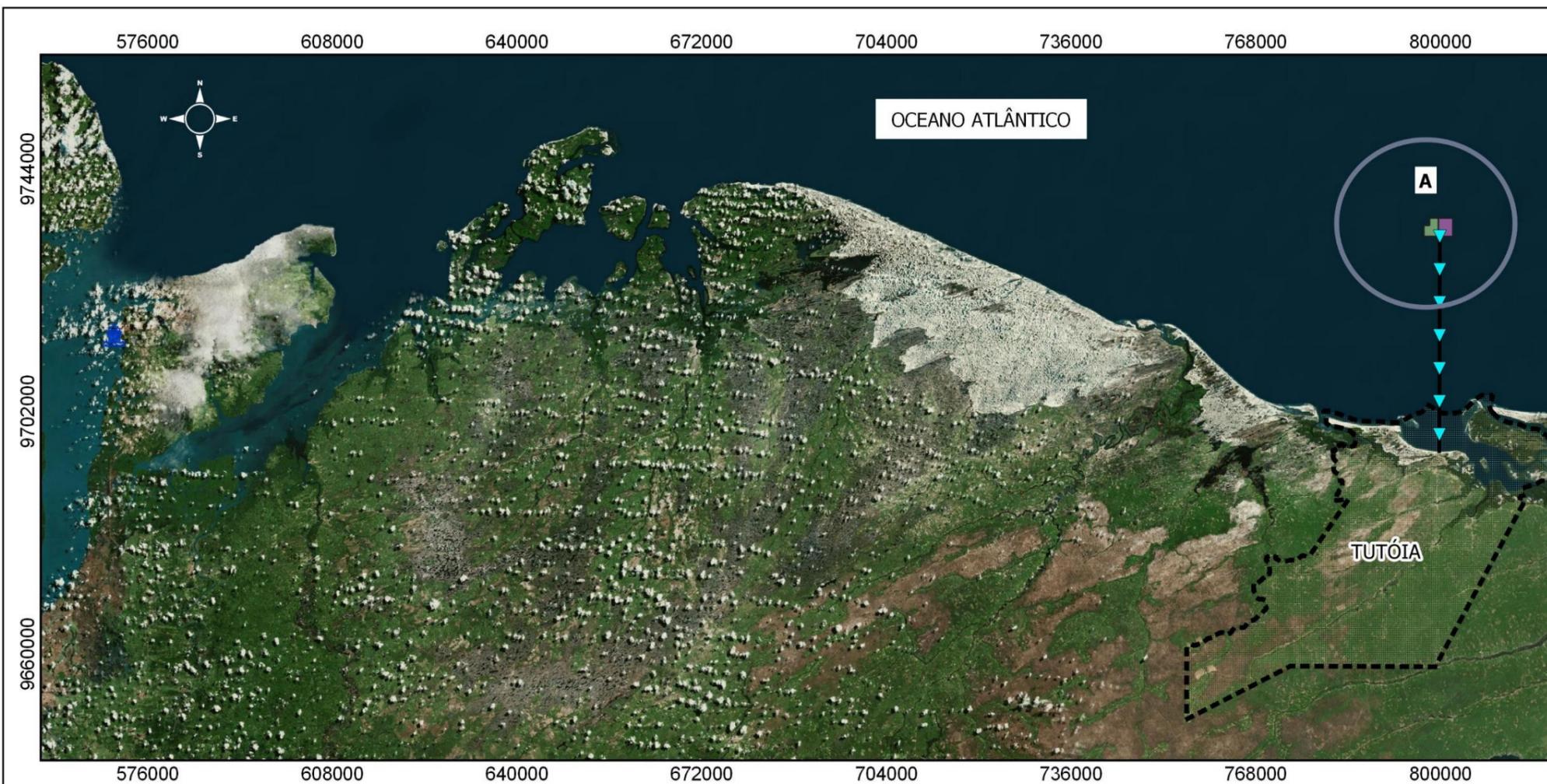
Nessa área, realizou-se um detalhado estudo geológico, geofísico e de viabilidade econômica, consolidados e apresentados no Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) da BIOMAR Mineração (BIOMAR, 2020). Os pontos de monitoramento e coleta de dados oceanográficos constam da figura 5.1.5.2-2.

<sup>6</sup> Disponível em: <https://mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha/programa-revizee/item/7606.html>. Acesso em 20/07/2020.

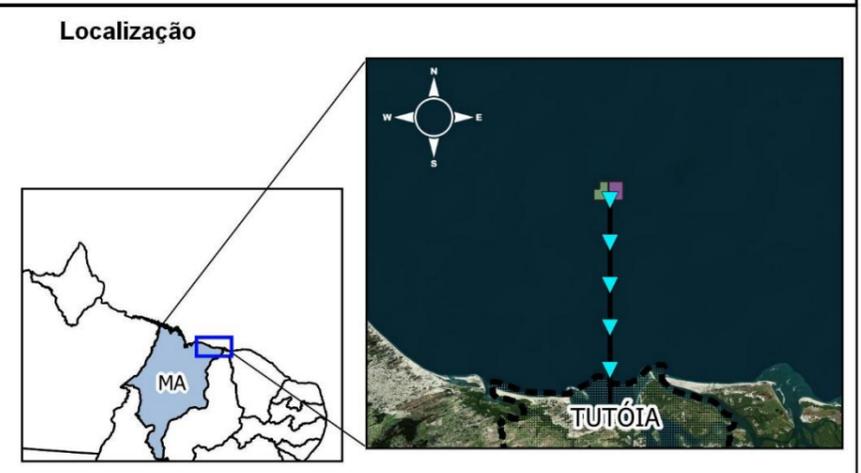
No âmbito do presente EIA, de forma a caracterizar o ambiente físico das áreas de estudo, foram analisados os seguintes pontos/parâmetros:

- Temperatura, Salinidade e Transparência;
- Circulação das Águas Costeiras;
- Sistema de Correntes Equatoriais;
- Circulação Oceânica na Plataforma Continental Norte Brasileira;
- Circulação Oceânica na Plataforma Continental do Maranhão (PCM);
- Marés e Correntes de Maré;
- Ondas Oceânicas.

Quanto à turbidez, o item 5.1.5.10 relaciona este parâmetro na área de estudo, analisando e justificando tecnicamente as condições locais.



**Figura 5.1.5.2-1: Localização dos Processos Tutóia - MA**



**Convenções Cartográficas / Legenda**

- Processo 806.698/2010
- Processo 806.701/2010
- Área do Beneficiamento
- Estado do Maranhão
- Tutóia - MA
- Limites: Federal e Estadual
- Área do Descarregamento (Porto do Itaqui)
- Distância Tutóia até Área de Extração (20 MN ou 37,10 km)



**Dados Cartográficos**

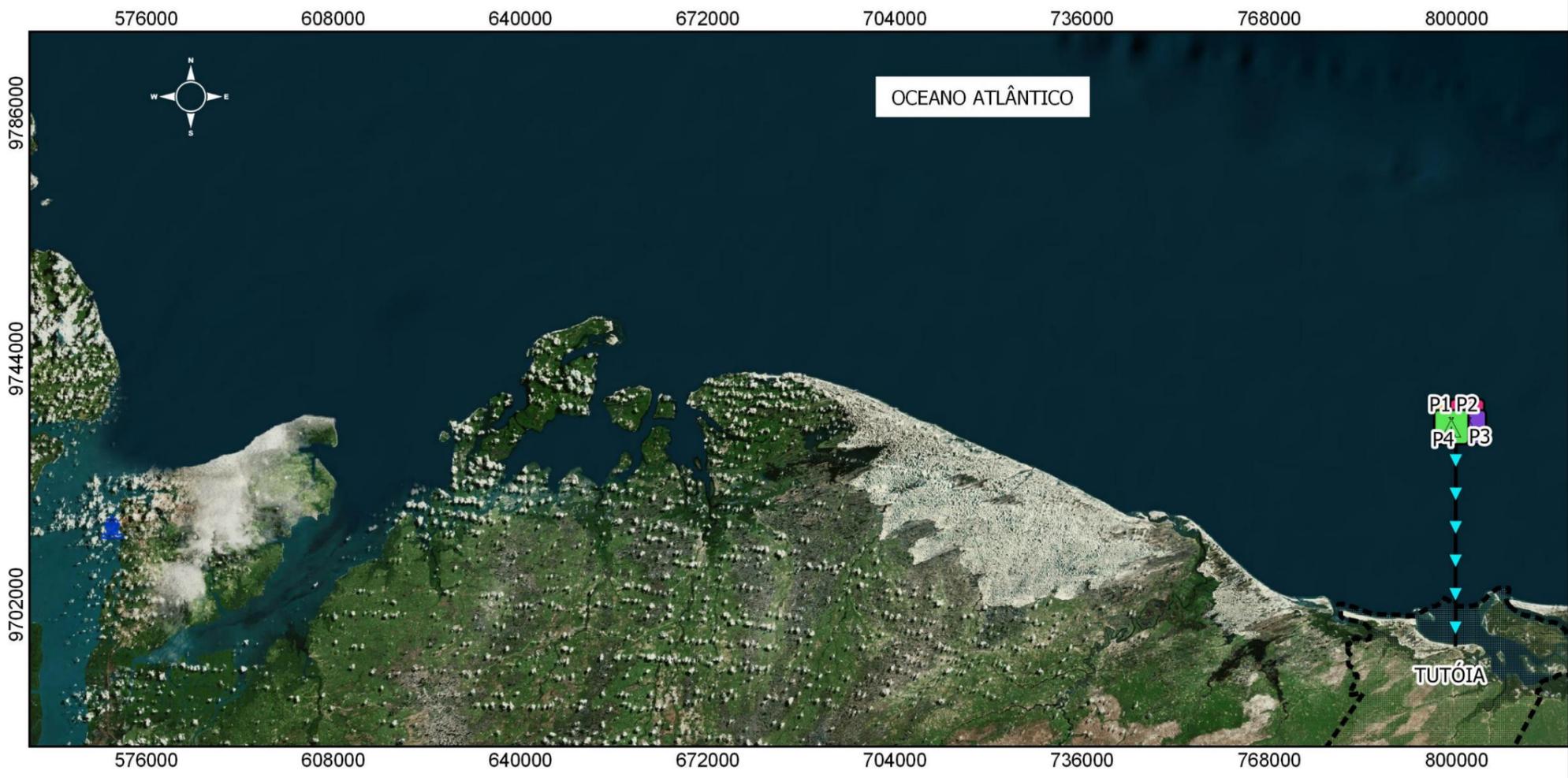
Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas Planas  
 M.C.: -45° WGr. - Datum Horizontal: SIRGAS 2000 - Zona: 23 M

**Fonte**

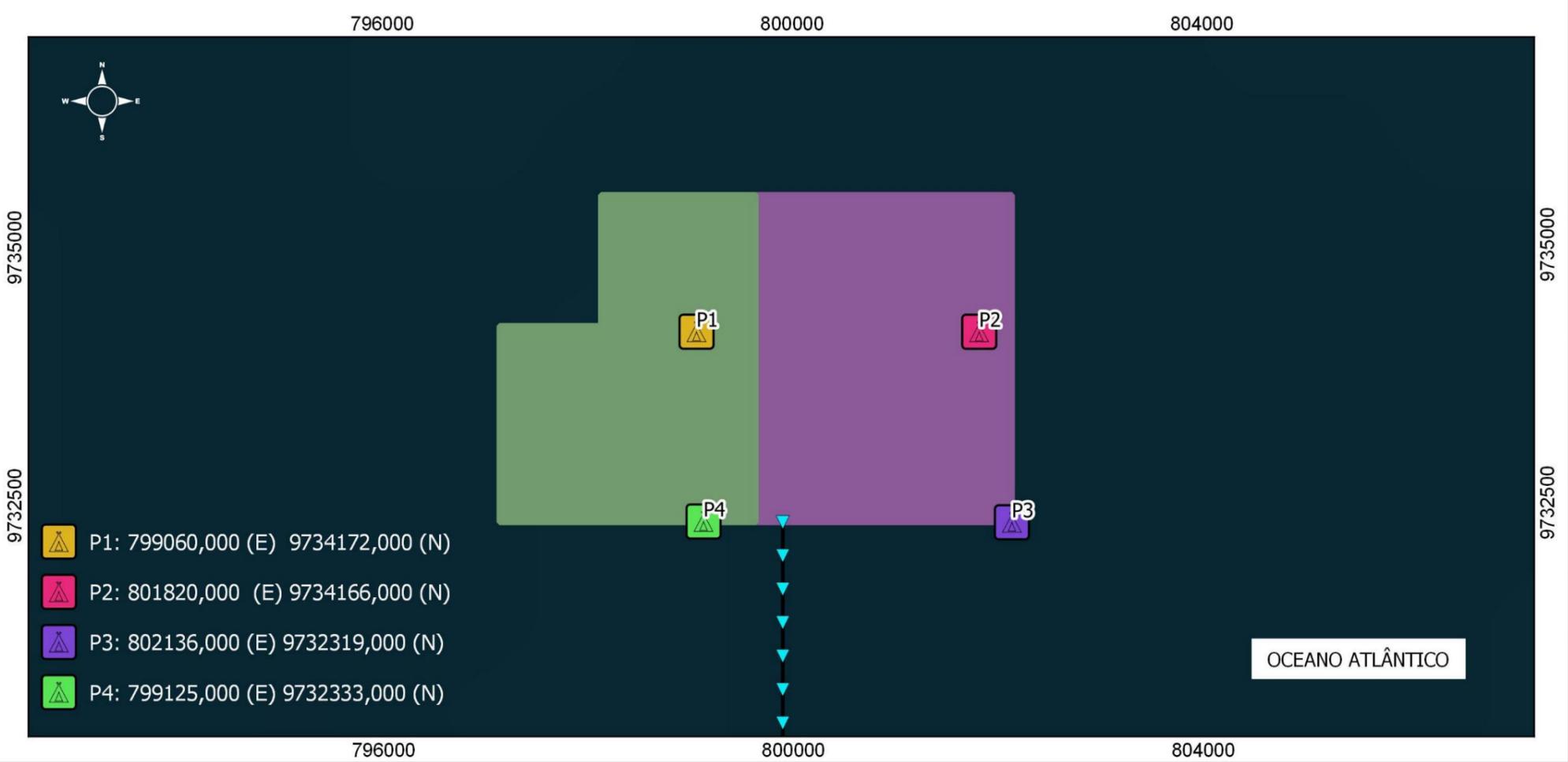
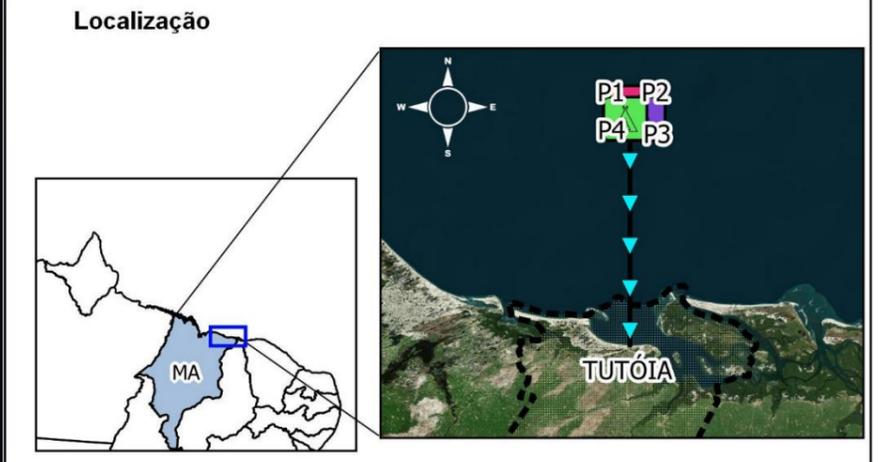
Base de Dados: ANM (2022) e IBGE (2022)

Elaboração	Data	Revisão	Formato
Gizele Ferreira	27/08/2022	02	A3



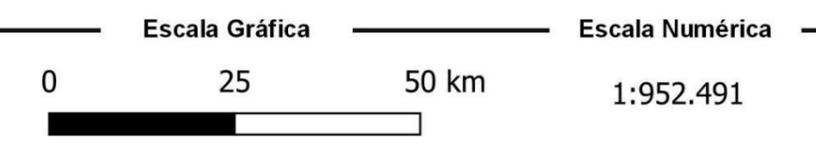


**Figura 5.1.5.2-2: Mapas com os quatros pontos de coletas**



**Convenções Cartográficas / Legenda**

- Processo 806.698/2010
- Processo 806.701/2010
- Área do Beneficiamento
- Estado do Maranhão
- Tutóia - MA
- Limites: Federal e Estadual
- Área do Descarregamento (Porto do Itaqui)
- Distância Tutóia até Área de Extração (20 MN ou 37,10 km)



**Dados Cartográficos**

Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas Planas  
 M.C.: -45° WGr. - Datum Horizontal: SIRGAS 2000 - Zona: 23 M

**Fonte**

Base de Dados: ANM (2022) e IBGE (2022)

Elaboração	Data	Revisão	Formato
Gizele Ferreira	27/08/2022	02	A3



### 5.1.5.3. Temperatura, Salinidade e Transparência

#### PARÂMETROS, MÉTODOS E RESULTADOS

Para caracterizar o ambiente da área de estudo, foram analisados os seguintes parâmetros: Temperatura da Água, Salinidade e Profundidade do Disco de Secchi.

#### A) AMOSTRAGEM

A campanha para coleta de dados oceanográficos foi realizada por meio de duas amostragens de campo, sendo a primeira em 24/02/2018 e a segunda em 16/10/2020. Na amostragem de 2018, foram realizadas algumas determinações de campo e, na campanha de 2020, os dados foram obtidos em conjunto com amostragem para determinação de qualidade físico-química das águas.



Figura 5.1.5.3-1: Detalhe de Medição de Transparência Secchi. Primeira campanha.  
Fonte: BIOMAR, 2018.

As medições físico-químicas da água amostrada foram realizadas *in situ*: pH, temperatura e profundidade do disco de Secchi. As amostras de sedimento foram coletadas nos locais de exploração e no seu entorno por meio de tubos coletores (um pegador cilíndrico de 10 cm por 20 cm de boca) em cinco pontos diferenciados (pontos 1, 2, 3, 4 e 5). As amostras de sedimento foram fixadas em formol a 10% durante 24 horas.

Os princípios teóricos e as metodologias adotadas para cada parâmetro estão descritos a seguir, acompanhados dos resultados obtidos das pesquisas *in situ*, sendo que nos pontos amostrados a transparência medida foi de 3,5 metros.

## B) TEMPERATURA

Ao longo da costa norte brasileira, atua, em superfície, a Corrente Norte do Brasil (CNB), transportando águas quentes e salinas do hemisfério sul em direção noroeste. Em profundidade, as águas frias formadas no Atlântico Norte transitam em direção sul, via a Corrente Profunda de Borda Oeste (CPBO). Este esquema de circulação foi denominado de circulação termohalina do Atlântico (GORDON, 1986), constituindo uma parte do que se costuma designar por "esteira transportadora" da circulação termohalina do oceano global.

A distribuição superficial da temperatura da água do mar na Plataforma Continental do Maranhão, durante o mês de novembro de 1997, apresentou um valor máximo próximo a 28,5 °C, localizado nas proximidades da costa (figura 5.1.5.3-2). Este período está associado às menores taxas de precipitação na região.

Durante este período, os menores valores da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) foram observados na área oceânica adjacente à Plataforma, quando se verifica o aparecimento ou a intrusão de águas oceânicas com baixos valores de temperatura (em torno de 27,6 °C).

Durante o mês de junho de 1999, época em que se verificam elevadas taxas de precipitação na região, a distribuição espacial da TSM apresentou um valor máximo próximo da costa (em torno de 28,9 °C), não muito diferente dos valores máximos de temperatura observados durante o mês de novembro de 1997. O padrão de distribuição de TSM sugere que há influência de águas costeiras, de acordo com núcleos observados de maiores temperaturas. Águas costeiras apresentam maior concentração de material em suspensão e, conseqüentemente, propicia maior absorção de luz (e calor) nas camadas superficiais. A carta de distribuição da TSM média mensal, gerada por meio de dados do satélite TRMM-TMI, para o mês de junho de 1999, apresentou uma nítida correlação com os dados hidrográficos, quando se registrou a presença de altos valores da TSM próximo da costa e o aparecimento de uma faixa de águas mais frias na região oceânica adjacente à quebra da PCM.

Na campanha de amostragem de água, realizada em outubro/2020, para monitoramento da qualidade de água, a temperatura das águas variou de 27,5 °C a 27,8 °C, ou seja, dentro da normalidade em que a literatura e estudos anteriores indicam.

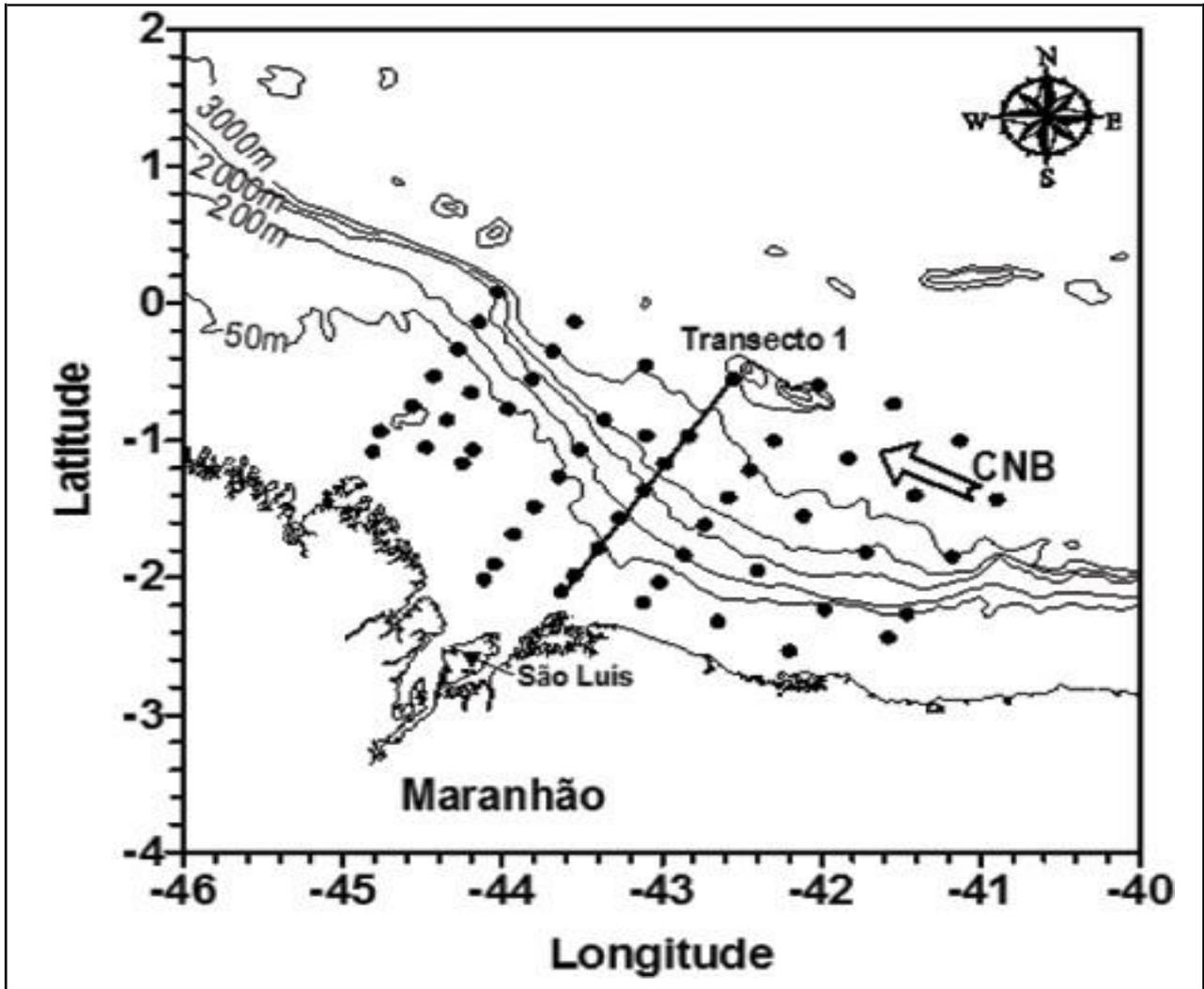


Figura 5.1.5.3-2: Mapa de localização das estações oceanográficas.  
Fonte: SILVA, ARAÚJO e PINHEIRO, 2007.

### C) SALINIDADE

As cartas de distribuição espacial da Salinidade da Superfície do Mar (SSM), geradas a partir dos cruzeiros oceanográficos do REVIZEE/N, indicam a presença de maiores valores ao longo da Plataforma Continental do Maranhão (PCM) durante o mês de novembro de 1997, quando comparado ao mês de junho de 1999. Em novembro, registrou-se um valor máximo de Salinidade da Superfície do Mar (SSM) de 37,4°, diminuindo na direção do mar aberto. O valor médio de salinidade para essa época do ano foi de 36,6° (figura 5.1.5.3-3).

Nos períodos de novembro de 1997 e junho de 1999, foram registrados os menores valores de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) próximo da quebra da PCM. O período junho de 1999, que corresponde ao inverno austral, é caracterizado pela alta capacidade de transporte do sistema Subcorrente Norte do Brasil-Corrente Norte do Brasil (SCNB-CNB) na área de estudo, com volume transportado de 26.7 Sv na longitude de 44° W (BOURLÈS *et al.*, 1999).

Medidas de correntes fornecidas por boias oceanográficas realizadas por Johns *et al.* (1998), em torno de 4° S de latitude, demonstraram que a CNB tem um significativo ciclo anual na área, com máximo transporte de 36 Sv em julho/agosto e mínimo transporte de 13 Sv em abril/maio, com uma média anual em torno de 26 Sv. Estas observações são bem reproduzidas pelas simulações numéricas do Experimento ATL6, quando se verifica uma maior ação do transporte superficial de massa e energia para Noroeste ao longo da quebra da PCM no mês de junho de 1999, quando comparado ao mês de novembro de 1997 (figuras 5.1.5.3-4 e 5.1.5.3-5).

Silva *et al.* (2007) concluem que os resultados das análises dos dados hidrológicos, obtidos na região da PCM e área oceânica adjacente, permitiram identificar situações distintas com relação às distribuições espaços-temporais de Temperatura e Salinidade da Superfície do Mar.

No que se refere à escala espacial, foi possível evidenciar dois padrões de distribuição, em função das forçantes modificadores do balanço térmico e salino. Um primeiro padrão é encontrado na região da Plataforma Continental Interna (limitada pela isóbata 50 m), onde as distribuições de salinidade e temperatura são preponderantemente afetadas pelo aporte continental de água doce e de material em suspensão. Esta influência ficou mais evidente nos dados coletados em junho de 1999, época de elevada pluviosidade regional.

O segundo padrão de distribuição das propriedades termohalinas superficiais na área de estudo corresponde à região oceânica adjacente à Plataforma Continental. Neste caso, verifica-se que os valores superficiais da TSM, nos períodos estudados, podem ser explicados pela influência da corrente de fronteira oeste do Atlântico, dos ventos alísios e pelo aporte de águas de baixa salinidade, principalmente na região de influência da CNB, agindo próximo da quebra da Plataforma Continental.

As observações hidrográficas, os registros de modelo numérico e medidas do satélite TRMM-TMI mostraram menores valores da TSM próximo da quebra da Plataforma, nos meses de junho de 1999 e novembro de 1997.

A comparação entre as distribuições verticais das propriedades termohalinas, ao longo de um transecto perpendicular à costa, indicou uma pequena elevação das ZMix e ZIsot (20 m e 40 m de profundidade), formando uma ECB de 20 m durante o mês de junho de 1999. Esta configuração é resultante da presença de águas de baixa salinidade em superfícies provenientes do aporte de águas fluviais, sendo subductadas por núcleos de salinidade máxima em subsuperfície no qual são transportadas para a região de estudo pelo sistema de SCNB-CNB, ao longo da fronteira oeste do Atlântico.

Esses fenômenos de larga escala terminam por influenciar decisivamente o transporte de energia e de massa ao longo da costa brasileira, bem como as trocas entre águas continentais e oceânicas. Os resultados apresentados neste trabalho constituem uma contribuição para o conhecimento e a consequente quantificação desses processos.

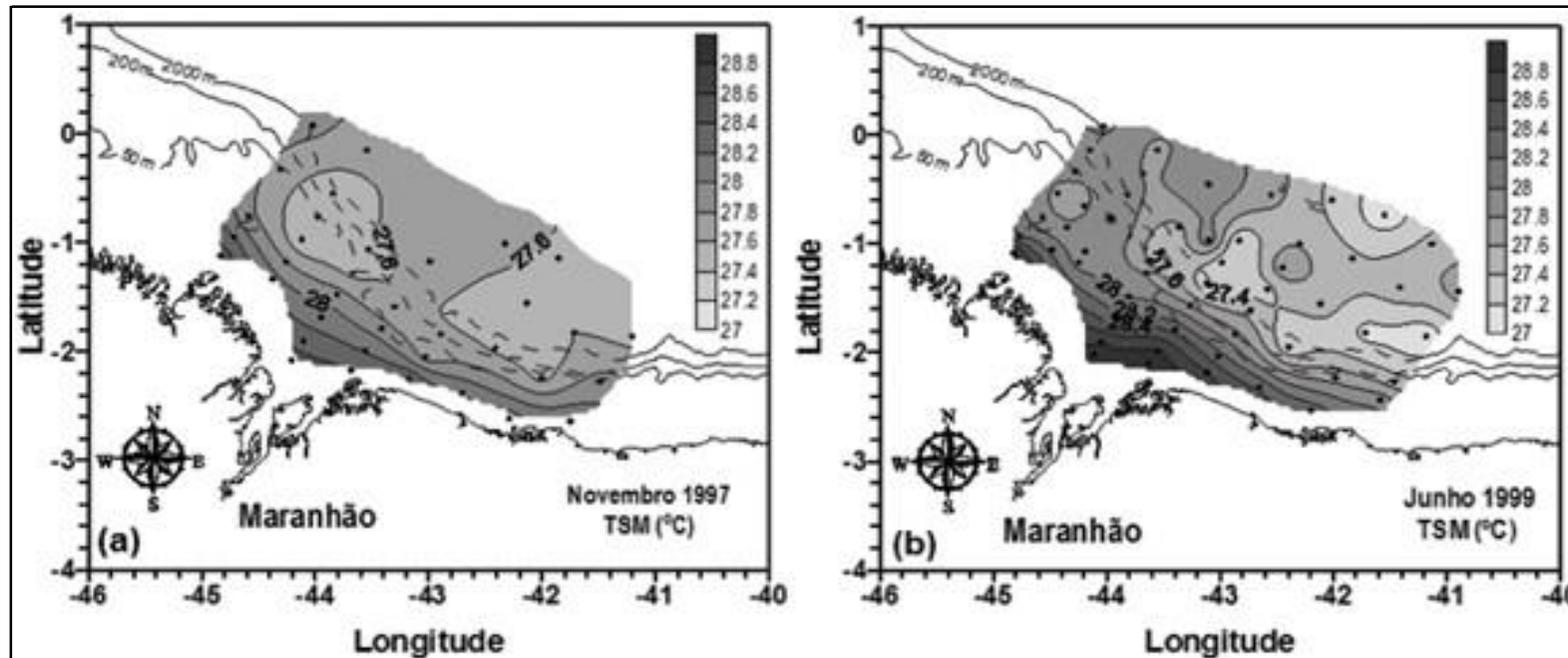


Figura 5.1.5.3-3: Cartas de distribuição de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), obtidas a partir dos dados hidrográficos coletados nos cruzeiros oceanográficos do programa REVIZEE/N durante os meses de: (a) novembro/1997 e (b) junho/1999. Fonte: APOIO, 2016 e SILVA; ARAÚJO E PINHEIRO, 2007.

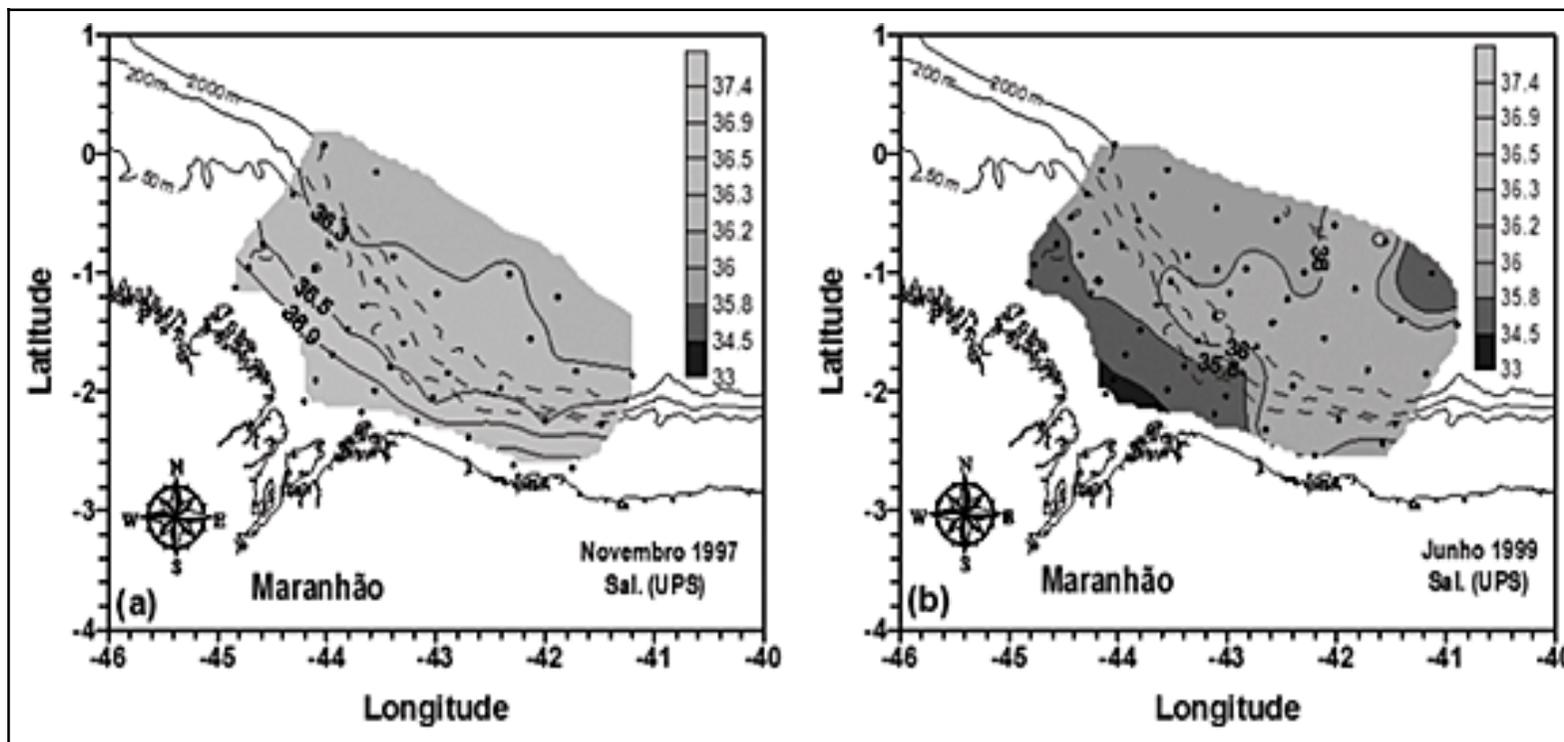


Figura 5.1.5.3-4: Cartas de distribuições da Salinidade da Superfície do Mar (SSM), obtidas a partir dos dados hidrográficos coletados nos cruzeiros oceanográficos do programa REVIZEE/N durante os meses de: (a) novembro/1997 e (b) junho/1999. Fonte: APOIO, 2016 e SILVA; ARAÚJO E PINHEIRO, 2007.

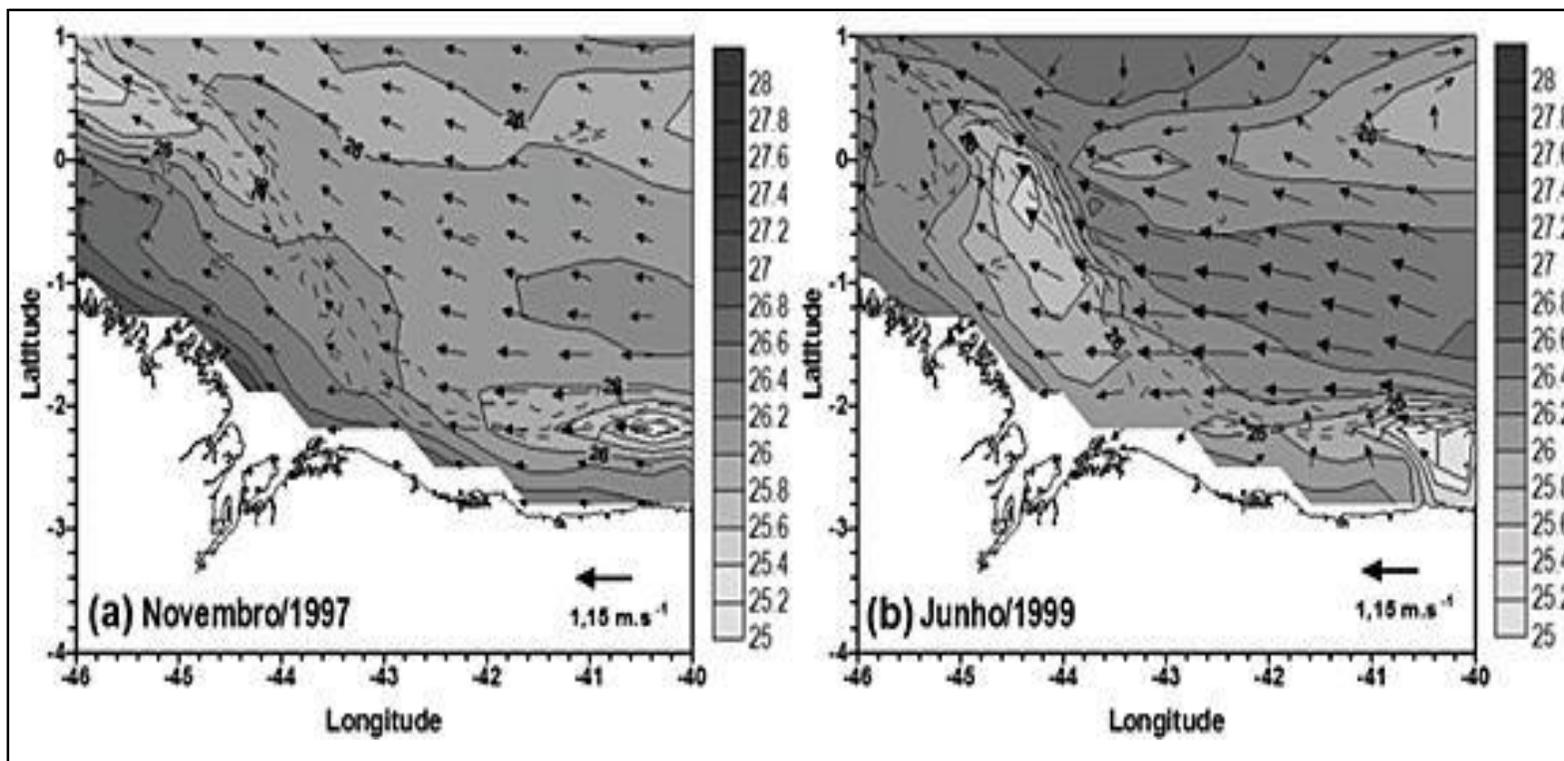


Figura 5.1.5.3-5: Distribuição espacial dos valores médios mensais de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e vetores de correntes superficiais, gerados a partir dos resultados numéricos do Experimento ATL 6: (a) novembro/1997 e (b) junho/1999. Fonte: APOIO, 2016 e SILVA; ARAÚJO E PINHEIRO, 2007.

### C) TRANSPARÊNCIA (SECCHI)

Neste estudo, o disco de Secchi foi utilizado para determinar o nível de transparência das águas através da profundidade de Secchi, empregada na classificação de trofia do ambiente. As medidas de profundidade de Secchi foram realizadas entre em campanha de monitoramento e mergulho pelo empreendedor em 24/02/2018.

O disco de Secchi, desenvolvido em 1865 por Pietro Angelo Secchi, é um disco circular de cor branca (ou preto e branco), especialmente construído para estimar a transparência e o nível de turbidez de corpos de água como oceanos, estuários, lagos e rios. Geralmente o disco tem 20 ou 30 cm de diâmetro, vem montado em uma corda, com indicação métrica e é baixado verticalmente na água, aos poucos, até desaparecer. O objetivo é registrar precisamente a profundidade na qual o padrão gráfico do disco não pode mais ser detectado a olho nu. A medida dessa profundidade pode ser usada para estimar a atenuação média da luz na coluna de água, sendo denominada profundidade de Secchi. Em águas ricas em microorganismos ou partículas de sedimento suspenso, o disco de Secchi pode desaparecer da vista em profundidades de 1 a 3 m, enquanto, no oceano aberto, pode ser visível até 20 a 30 m.

A profundidade de Secchi (ZD) é a profundidade na qual o disco de Secchi não é mais visível por um observador acima da superfície da água. Ela representa uma medida quantitativa da transparência desse corpo de água ou sua visibilidade na direção vertical.

A transparência constitui-se no parâmetro ambiental que não apresentou variações, sendo medida nos pontos amostrais desta campanha de 2018 de 3,5 m.

#### 5.1.5.4. Circulação das Águas Costeiras

Nas áreas de exploração, a direção da corrente durante a maré enchente é para SW, com velocidade de até 0,70 m/s na preamar de sizígia e velocidade de 0,30 m/s na preamar de quadratura. Na maré vazante, a direção se inverte para NNE, com velocidade de até 0,78 m/s na baixamar de sizígia e de 0,33 m/s na baixamar de quadratura. Durante o estofo entre marés, observa-se uma parada total do movimento das águas, por um período de 20 minutos, nas marés de sizígia, e 50 minutos nas marés de quadratura (PATCHINEELAM, 2004).

O regime de ondas observados no local da jazida apresenta direção predominante das ondulações ENE, nos meses de fevereiro a agosto, exibindo ondas de vento com altura na faixa de 0,50 m a 1,00 m. Durante os meses de setembro a janeiro, no período de seco, com o aumento da velocidade dos ventos, a altura das ondas se eleva, ficando numa faixa de 0,80 m a 2,00 m e direção predominante de E.

Segundo Palma (1979), entre a Baía de Tubarão e o Delta do Parnaíba, o relevo do litoral e da plataforma é influenciado, principalmente, por processos eólicos e pelas correntes litorâneas. O Delta do Parnaíba com forma levemente arqueada, com alternância de pequenas cristas de praia, campos de dunas, pântanos e baías, caracterizam um regime próximo do equilíbrio entre descarga fluvial e circulação oceânica. As correntes litorâneas são responsáveis pela formação de restingas e barras fluviais, que crescem para oeste e regularizam a zona costeira em ambos os lados do delta.

O contraste entre as formas litorâneas situadas a leste e as situadas a oeste da Baía de Tubarão tem sido atribuído à diferença de movimentação tectono eustáticas das Bacias de São Luís e Barreirinhas (PALMA, 1979). Entretanto, existe um marcante contraste das condições climáticas, na drenagem e na circulação oceânica no litoral a sudeste. Ao longo da costa do Piauí/Maranhão, ao contrário do comportamento do Pará/Maranhão, a plataforma, por ser mais estreita, favorece a diminuição das correntes de maré e o aumento da influência das correntes costeiras geradas pelo vento. A persistência dos ventos alísios, e o clima semiárido concorrem para caracterizara a morfologia da zona costeira emersa e submersa ao longo do litoral Piauí/Maranhão.

#### 5.1.5.5. Sistema de Correntes Equatoriais

A circulação oceânica no Atlântico Equatorial é caracterizada por uma complexidade de correntes e contracorrentes que escoam tanto nos planos vertical e horizontal. Ao sul do equador, as camadas de água superiores são dominadas pela deriva para W da Corrente Sul Equatorial (CSE), a qual, após alcançar a costa do Brasil próximo a 8° S, se bifurca, formando a Corrente Norte do Brasil (CNB), que flui para o N, e a Corrente do Brasil que flui para o S. A CNB segue junto à linha de costa brasileira até 4° N, onde, dependendo da estação do ano, retroflete e abastece o fluxo para L da Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) e de um conjunto complexo de fluxos subsuperficiais em direção a L, em que estão incluídas a Subcorrente Equatorial (SCE), Subcorrente Norte Equatorial (SCNE) e Subcorrente Sul Equatorial (SCSE) (DIDDEN; SCHOTT, 1992; JOHNS *et al.*, 1998).

#### 5.1.5.6. Circulação Oceânica na Plataforma Continental Norte Brasileira

A PCM é parcialmente influenciada pela CNB. Esta corrente flui para NW, apresentando campo de velocidade que aumenta em direção *offshore* e, em épocas chuvosas, alcançando velocidade de 100 cm/s na quebra do talude continental (GEYER; KINEKE, 1995). Perto do litoral do Maranhão, existe uma corrente costeira proveniente de NW fluindo na direção SE, apresentando maiores velocidades à medida que se aproxima da PCM (LUEDEMANN, 1967).

Entretanto, segundo Southard e Stanley (1976), a PCM apresenta baixo gradiente topográfico, o que favorece a propagação perpendicular à costa, aumentando assim a velocidade das correntes de maré da costa em direção à quebra do talude continental.

As principais constituintes de maré na PCM são M2, S2 e N2, sendo a constituinte M2 da maré semidiurna a mais significativa e importante da circulação hidrodinâmica da PCM (BEARDSLEY *et al.*, 1995).

Segundo Geyer e Kineke (1995), existe uma corrente que flui para SE na região de 3° N, 44° W, a qual recebe águas da retroflexão da CNB e da recirculação ciclônica da parte sul da CNE. As águas da corrente, que fluem para SE, abastecem a SCE e a CCNE. Observaram ainda uma corrente de direção L, acima da SCE, transportando águas quentes nessa direção.

Metcalf (1968) observou a presença da SCE, que flui na direção L, próximo à longitude de 50° W, a L da foz do rio Amazonas, entre as profundidades de 150 e 200 m. Na zona em que a CNB muda seu curso para L, ocorre o intenso espalhamento dos sedimentos do rio Amazonas na direção *offshore*.

#### **5.1.5.7. Circulação Oceânica na Plataforma Continental do Maranhão**

Entre o Vale Submarino do Pará e o Golfão Maranhense, as correntes de maré predominam na circulação da plataforma continental até o litoral. A velocidade máxima destas correntes é de 0,771 m/s. Durante as marés de sizígia e equinocial, as velocidades podem alcançar de 1,028 m/s a 1,285 m/s, com os fluxos de enchente maiores que os de vazante. Somente na foz da baía de São Marcos, foram verificadas velocidades maiores das correntes de maré, podendo atingir valores acima de 3,855 m/s, em marés de sizígia, sendo que a velocidade das correntes de vazante nesta região é duas vezes maior que o fluxo de enchente (MB, 1972).

Nas partes mais estreitas, a SE do Golfão Maranhense, onde a plataforma continental torna-se mais estreita, a CNB atua mais diretamente sobre o limite da plataforma continental, podendo subir sazonalmente até esta província fisiográfica, sendo que, neste setor da PCM, predominam as correntes de maré perpendicularmente à costa, juntamente com as correntes longitudinais costeiras paralelas ao litoral (MB, 1976). Segundo Motta (1968), as correntes longitudinais aí existentes orientam-se no sentido de SE para NW.

#### **5.1.5.8. Marés e Correntes de Maré**

O Atlântico Equatorial incluindo a PCM sofre influência predominante das marés semidiurnas, com componentes M2 (componente lunar principal, período de 12-42 horas), S2 (componente solar principal, período de 12 horas) e N2 (componente lunareléptica maior, período de 12-66 horas) muito fortes (BEARDSLEY *et al.*, 1995).

Na baía de São Marcos, predominam as correntes de maré reversas, que se deslocam perpendicularmente à costa, atingindo velocidades médias de 1,5 nós. Em condições extremas, as correntes de maré atingem valores de 2 a 2,5 nós na PCM, sendo os fluxos de enchente mais intensos que os de vazante, enquanto, na foz da baía de São Marcos, a velocidade das correntes de maré pode atingir 7,5 nós, porém com fluxos de vazante superiores aos de enchente (BRASIL, 1972).

Na foz do rio Mearim, ocorre a maré do tipo M2, possuindo características de onda progressiva (BRASIL, 1976). Na ilha de São Luís, em Tutóia e Farol de São José, a amplitude máxima de maré é de, respectivamente, 7, 4 e 5 m. Na foz da baía de São Marcos, a velocidade de preamar entra em direção SW com uma velocidade de 3,9 nós. A água de vazante sai com mais intensidade e flui na direção N, atingindo velocidade de aproximadamente 5,6 nós.

#### 5.1.5.9. Ondas Oceânicas

A altura da onda do mar na PCM não apresenta grandes variações sazonais. No período chuvoso, há uma larga faixa de água com altura de onda relativamente máxima na região fronteira ao litoral NW da PCM, onde houve predominância de nebulosidade associada à ZCIT. No período seco, as alturas máximas de onda também foram encontradas na PCM, com um máximo significativo na região de 0,5° S e 45° W. A distribuição da altura média da onda oscilou entre 1 e 1,5 m na PCM, sendo que a altura máxima foi de 4,5 m durante o período seco e no horário diurno (REUTER; COHEN, 1998).

Reuter e Cohen (1998) observaram que o período da onda se comportou de maneira semelhante à configuração da altura de onda nas épocas chuvosa e seca, isto é, os períodos máximo e mínimo das ondas estão relacionados à maior e à menor altura de onda, respectivamente. Os períodos das ondas oscilaram entre 3 e 5 segundos, não havendo variação da configuração do período da onda entre os horários do dia e da noite.

#### 5.1.5.10. Turbidez

##### A) MODELAGEM DA PLUMA DE TURBIDEZ

Pode-se afirmar, que os talos de algas calcárias, do tipo *maerl*, existentes nas jazidas do Maranhão, geram sedimentos de granulometria grossa, maiores do que 1 mm (areia grossa e cascalho). Não existe possibilidade de suspensão de lamas terrígenas subjacentes aos depósitos e o material fino passível de suspensão é insignificante, produzido por atrito dos grãos ou bioerosão.

Durante a extração dos sedimentos produzidos por essas algas, a quase totalidade das partículas que estarão em suspensão na água de transbordo do navio draga serão depositadas na própria área de extração. O único possível impacto de sedimentos em suspensão consiste na deposição permanente de sedimentos finos sobre o fundo marinho, recobrando as algas vivas e impedindo a

fotossíntese. Isso aconteceu em algumas áreas de dragagens de algas em outros locais (ex.: Glenans/França) pelo fato de haver a presença significativa de lamas terrígenas (silte e argila) sob as finas camadas de algas exploradas.

Este fato, contudo, não se observa na área em questão, visto que não há deposição de partículas finas sobre o fundo local, devido às fortes correntes de marés, que interagem com as correntes de deriva geradas pelos intensos ventos alísios da região. O material fino intragranular existente não tem volume significativo. Trata-se de finas partículas geradas pelo atrito entre os grãos (talos de algas calcárias) por agitação de fundo provocada pela passagem de ondas ou também gerados por bioerosão.

Na campanha de fevereiro de 2018, verificou-se alta concentração de partículas orgânicas (grumos) atribuídas a decomposição de algas foliáceas (filamentosas). Nesta época do ano, ocorrem ondas de grande período (*swell*), geradas em tempestades no hemisfério Norte. Estas ondas, com altura de 2 a 3 m, provocam revolvimento do fundo, gerando as ondulações arenosas de fundo (*mega ripples*) e provocando a ressuspensão de partículas de origem orgânica na coluna d'água, concentradas próximo ao fundo.

Tentativas de filmagem submarina nesse período (fevereiro 2018) foram frustradas em função da alta turbidez no fundo, apesar da ocorrência de água clara em superfície, conforme pode ser visto na sequência de fotos tiradas na época (figura 5.1.5.10-1).

#### **B) MUDANÇA DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA PLUMA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO**

Todos os métodos de medições pontuais da pluma em suspensão só terão validade para o momento da coleta, ou seja, dependente das condições de mar naquele momento. Sabe-se que as forçantes hidrodinâmicas na área de extração da BIOMAR Mineração são muito variáveis e as informações coletadas por meio de qualquer método de medição pontual não poderão ser extrapoladas de forma representativa ao longo do tempo.

Medições contínuas de séries temporais são inviáveis em função da complexidade das instalações de equipamentos e, mesmo assim, sujeitas a interpretações errôneas. Além disso, torna-se necessário definir o destino do material em suspensão e não apenas efetuar medições de suas concentrações na água.

Existe ainda o fato de haver movimentação dos sedimentos sobre o fundo marinho, produzindo o recobrimento das algas calcárias. Este fenômeno, conforme mostrado por nossos estudos na área, é um impacto natural, que ocorre sazonalmente, provocado em função do movimento oscilatório das ondas e ação de corrente marinha próximo ao fundo. As correntes geradas por marés e ventos impedem a deposição permanente de finos sobre o fundo.

Segundo estudos (STENECK, 1986), as fases de revolvimento do fundo são comuns em áreas de bancos de rodolitos e benéficas para as algas calcárias, pois liberam (por abrasão) as algas foliáceas e outras epífitas (de curto ciclo de vida) que as recobrem, dificultando sua fotossíntese.

Assim, o entendimento dos processos cíclicos sazonais só poderá ser estabelecido se for feito um monitoramento sistemático do fundo marinho no local, realizado ao longo do ano, concomitantemente com as operações de extração. Resultados confiáveis, não serão obtidos apenas por medições pontuais, esporádicas, não representativas da grande dinâmica dos processos oceanográficos atuantes na região.

Para tal, será proposto um programa específico, a ser implementado na fase de operação das atividades de extração, definido, em suas linhas gerais, no Capítulo 6. ANÁLISE INTEGRADA, Subcapítulo 6.3. Medidas Mitigadoras e Programas de Controle. Posteriormente, será detalhado em modo executivo, no Plano Básico Ambiental (PBA).

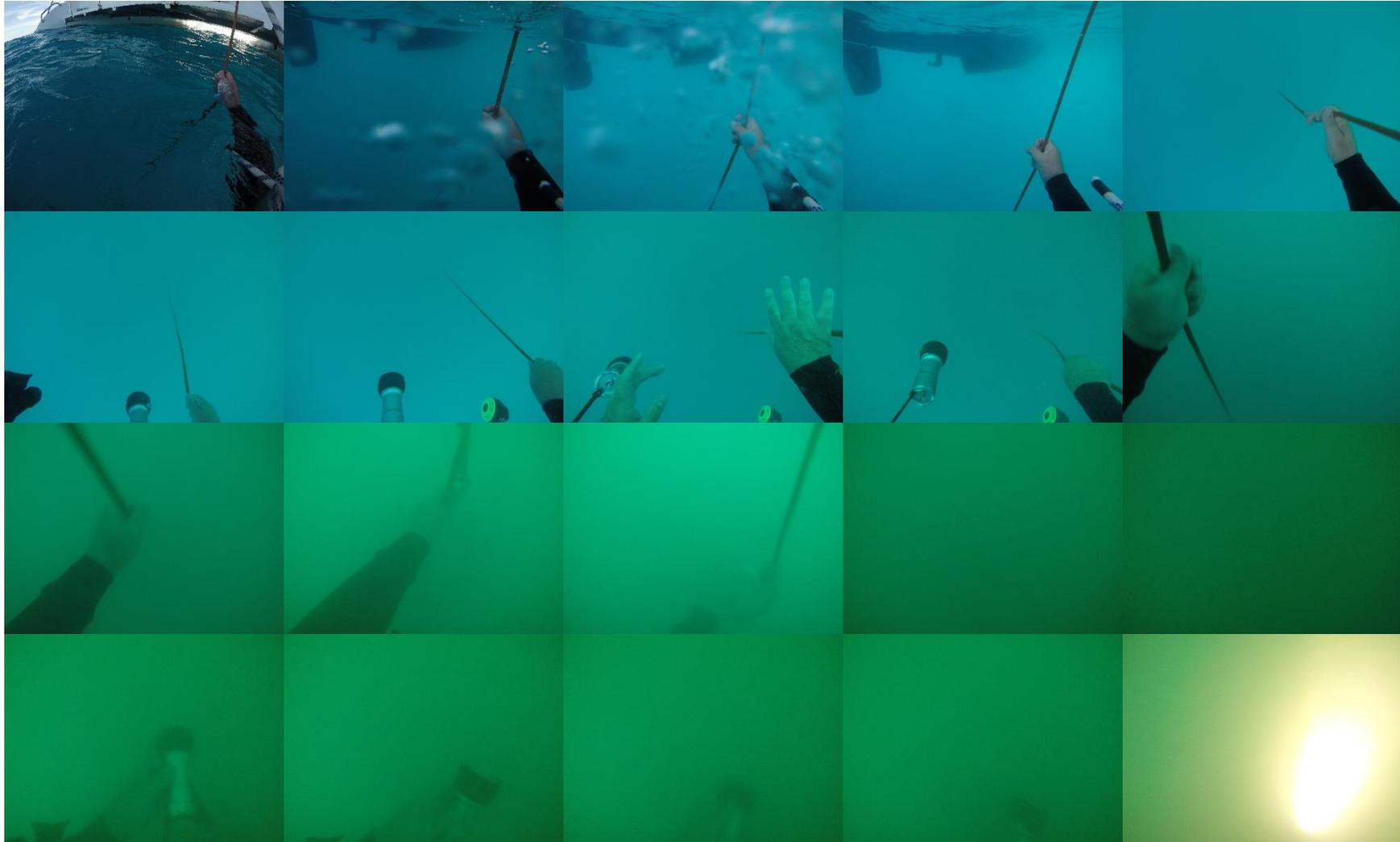




Figura 5.1.5.10-1: Sequência de fotos tiradas no mergulho realizado em fevereiro/2018. Fonte: BIOMAR, 2018.

### 5.1.6. Qualidade da água

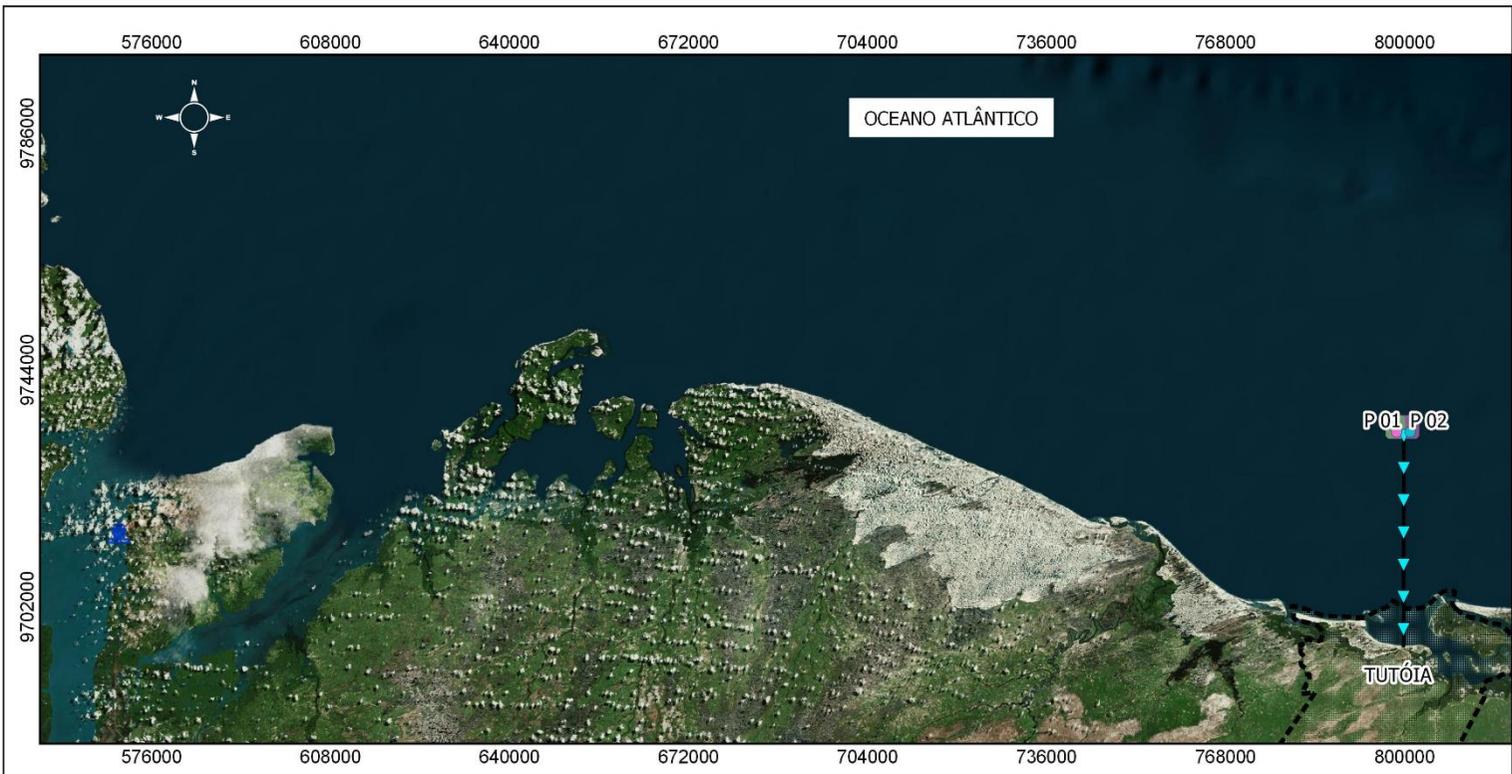
Para a determinação a qualidade das águas e o atendimento a este item do Termo de Referência do IBAMA, a equipe de meio físico definiu que seriam coletadas amostras em dois pontos (mapa da figura 5.1.6-1), um em cada processo minério, objetos deste estudo, sendo as amostragens realizadas em duas profundidades (superfície e fundo), em coleta única na data de 16/10/2020.

A campanha de amostragem e as análises físico-químicas deste monitoramento foram executadas pela Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Medicina Veterinária, Núcleo de Estudos de Zoonoses, Laboratório de Físico-Química de Alimentos e Água (conforme Laudos de Análises apresentados no **ANEXO 4 – Laudo das análises físico-química e microbiológica da água** deste EIA).

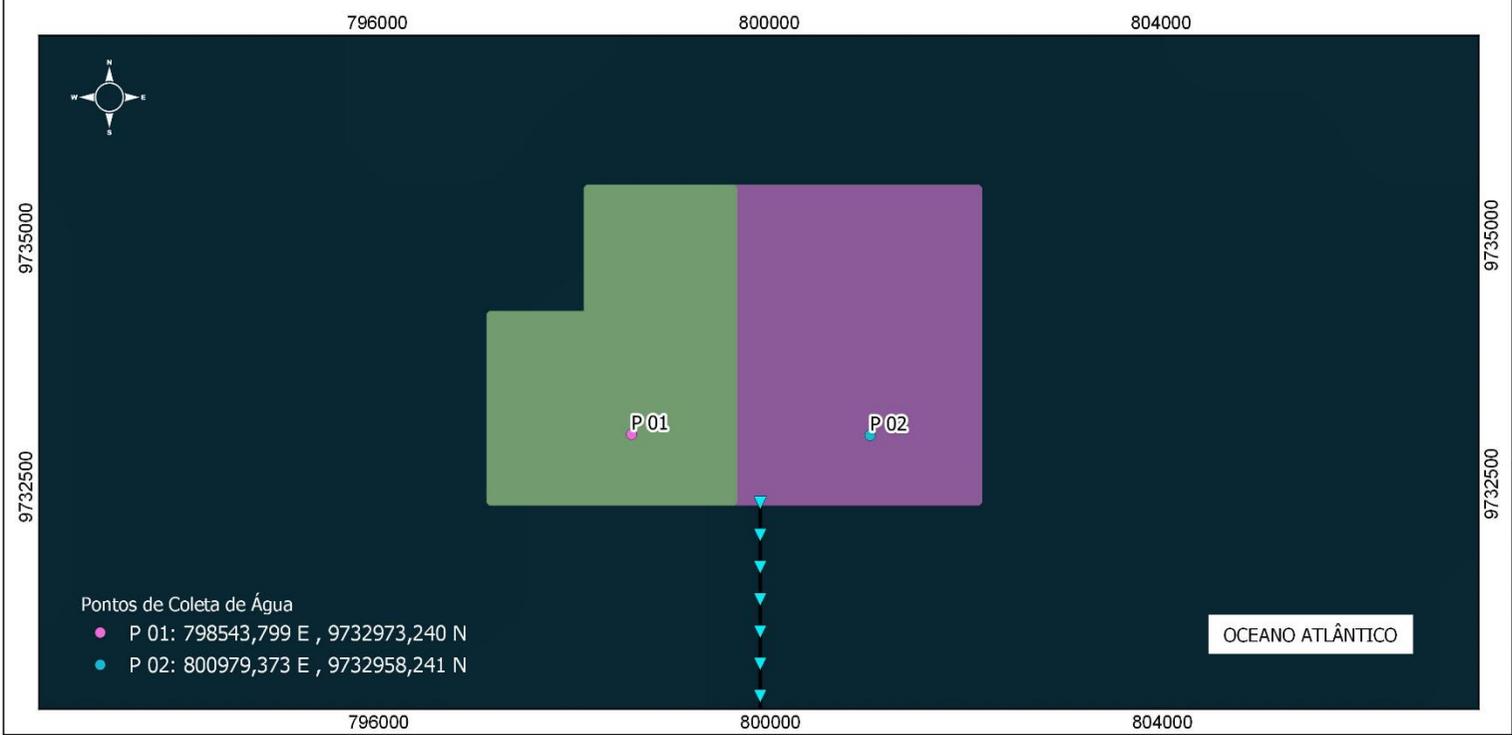
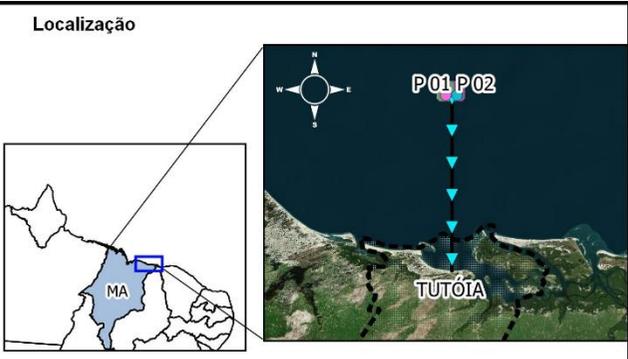
De acordo com o referido laboratório, as análises físico-químicas seguiram a metodologia recomendada pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st and 22nd ed., Washington, APHA, 2005 and 2012.

As diretrizes contidas na Resolução CONAMA Nº 430/2011 foram utilizadas para análise dos resultados obtidos para a água do mar coletada e analisada.

Para as coletas de dados físico-químicos, foi utilizada uma sonda multiparâmetro modelo Akso AK88 (figura 5.1.6-2), com medições na superfície e no fundo.



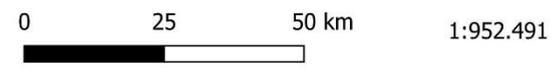
**Figura 5.1.6-1: Localização dos pontos de coleta de água – superfície e fundo**



**Convenções Cartográficas / Legenda**

- Processo 806.698/2010
- Processo 806.701/2010
- Área do Beneficiamento
- Estado do Maranhão
- Tutóia - MA
- Limites: Federal e Estadual
- Área do Descarregamento (Porto do Itaqui)
- Distância Tutóia até Área de Extração (20 MN ou 37,10 km)

**Escala Gráfica      Escala Numérica**



**Dados Cartográficos**

Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas Planas  
 M.C.: -45° WGr. - Datum Horizontal: SIRGAS 2000 - Zona: 23 M

**Fonte**

Base de Dados: ANM (2022) e IBGE (2022)

Elaboração	Data	Revisão	Formato
Gizele Ferreira	27/08/2022	02	A3



**Figura 5.1.6-2: Sonda Multiparâmetro Akso AK88**  
Fonte: BIOMAR, 2020.

Juntamente com a coleta de dados físico-químicos, foram realizadas coletas de amostras de água.

Para amostragem de águas superficiais e de fundo, foram coletados aproximadamente 2 litros de água, oriundos de uma garrafa de *Van Dorn* (figura 5.1.6-3), sendo que as coletas foram realizadas em camadas superficiais ( $\cong 0,5$  abaixo da superfície da água) e do fundo.



**Figura 5.1.6-3: Garrafa Van Dorn 2L utilizada em campo**  
Fonte: BIOMAR, 2020.

As amostras foram acondicionadas em frascos de vidro de 500 ml e foram mantidas sob refrigeração a aproximadamente 4°C, até a chegada no laboratório, para análise.

No ponto 1, a coleta se iniciou no horário de 12:35 (Horário BSB) e, no ponto 2, no horário de 13:07 (Horário BSB).



**Figura 5.1.6-4: Coleta de dados sonda ponto 1 (Esquerda superfície e Direita fundo).**  
Fonte: BIOMAR, 2020.



**Figura 5.1.6-5: Coleta de dados sonda ponto 2 (Esquerda superfície e Direita fundo).**  
**Fonte: BIOMAR, 2020.**

**Tabela 5.1.6-1: Dados de campo. Fonte: BIOMAR, 2020.**

Pontos amostrais	Parâmetros Monitorados			
	Temperatura	Condutividade	OD	pH
Ponto 1 (superfície)	27,8º C	57,3 mS	64.3%	8.02
Ponto 1 (Fundo)	27,7 º C	57.5 mS	137.4%	8.15
Ponto 2 (Superfície)	27,7 º C	57,4 mS	89,2%	8,14
Ponto 2 (Fundo)	27,5 º C	57,4 mS	96.1%	8,2

Os valores de pH estão dentro da faixa estipulado pelo Art. 20 da CONAMA 357/05 (6,5 a 8,5), assim como OD (índice de saturação).

*Art. 20. (Conama 357): As águas salinas de classe 3 observarão as seguintes condições e padrões:*

*I - material flutuante inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;*

*II - óleos e graxas: toleram-se iridescências;*

*III - substâncias que produzem odor e turbidez: virtualmente ausentes;*

*IV - corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;*

*V - resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;*

VI - coliformes termotolerantes: não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes termotolerantes 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 termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

VII - carbono orgânico total: até 10 mg/L, como C;

VIII - OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/ L O<sub>2</sub>; e

IX - pH: 6,5 a 8,5 não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidades.

**Tabela 5.1.6-2: Resultados de qualidade de água. Processo minerário ANM 806.698/2010.**  
**Fonte: BIOMAR, 2020.**

Parâmetros	Unidade	Pontos		Art. 20
		Superfície	Fundo	Conama 357 (Classe 3)
Cálcio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	NE
Magnésio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	NE
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	850	ND	NE
Alcalinidade em OH-	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ND	0,0	NE
Alcalinidade em CO <sub>3</sub> -	mg/L CaCO <sub>3</sub>	119,56	38,37	NE
Alcalinidade em HCO <sub>3</sub> -	mg/L CaCO <sub>3</sub>	26,378	95,16	NE
Alcalinidade total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	145,94	133,53	NE
Cloretos (Cl-)	mg/L Cl-	3545	3545	NE
Condutividade	µ/cm	550	548,9	NE
Sólidos Totais Dissolvidos	ppm	184.806	192.997	NE
NaCl	%	1097.7	638,8	NE
pH	-	5,72	6,46	6,5 a 8,5
Turbidez	U.N.T	0,04	0,075	Ausente
Ferro	mg/L	ND	ND0	NE
Nitrito	mg/L N	ND	ND	NE
Nitrato	mg/L N	ND	ND	NE
Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	25,9	19,2	≥ 4,0
Coliformes totais	NMP*/ 100 ml	631	504	4.000/ 100 ml
<i>Escherichia coli</i>	NMP*/ 100 ml	355	301	4. 000/ 100 ml

ND: Não detectável pelo método utilizado.

**Tabela 5.1.6-3: Processo minerário 806.701/2010.**  
**Fonte: BIOMAR, 2020.**

Parâmetros	Unidade	Pontos		Art. 20
		Superfície	Fundo	Conama 357 (Classe 3)
Cálcio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	NE
Magnésio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	NE
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	1.116	1.080	NE
Alcalinidade em OH-	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	NE
Alcalinidade em CO <sub>3</sub> -	mg/L CaCO <sub>3</sub>	ND	20,78	NE
Alcalinidade em HCO <sub>3</sub> -	mg/L CaCO <sub>3</sub>	110,0	92,72	NE
Alcalinidade total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	110,0	121,5	NE
Cloretos (CL-)	mg/L Cl-	3545	3545	NE
Condutividade	µJ/cm	529,9	543,6	NE
Sólidos Totais Dissolvidos	ppm	150,283	167.580	NE
NaCl	%	988,7	1065.1	NE
pH	-	7,07	7,28	6,5 a 8,5
Turbidez	U.N.T	0,04	0,04	Ausente
Ferro	mg/L	ND	ND	NE
Nitrito	mg/L N	ND	ND	NE
Nitrato	mg/L N	ND	ND	NE
Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	19,7	20,4	≥ 4,0
Coliformes totais	NMP*/ 100 ml	633	638	4.000/ 100 ml
<i>Escherichia coli</i>	NMP*/ 100 ml	185	216	4. 000/ 100 ml

## Comentários/Recomendações

Considerando os dados fornecidos e indicados nos laudos de laboratório, os valores apresentados e que estão registrados nas tabelas 5.1.6-1, 5.1.6-2 e 5.1.6-3 indicam normalidade em relação ao que preconiza a Resolução CONAMA 357/05 e ao que cita a literatura indicada para as águas salinas/oceânicas.

Vale ressaltar o índice de Dureza expresso como mg/L (CaCO<sub>3</sub>), na superfície da área 806.698/2010 e superfície e fundo da área 806.701/2010, assim como os índices de alcalinidade (CO<sub>3</sub><sup>-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) em superfície e fundo ponto 806.698/2010, e para a área 806.701/2010 ponto fundo (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e superfície e fundo (FCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sobre os quais se conclui que este fato pode estar correlacionado aos teores de calcário do fundo e à pouca presença de matéria orgânica e algas.

Sugere-se, para um melhor entendimento e controle de possíveis interferências da operação de dragagem e extração do material de fundo, a realização de campanhas de monitoramento, considerando os mesmos pontos amostrais desta campanha preliminar enquanto durar a atividade local. Ao longo do tempo (24 meses, no mínimo), caso não haja alterações significativas e se demonstre que não há interferências locais na qualidade da água, o programa de monitoramento poderá ser revisto.

### 5.1.7. Bibliografia Referencial Específica

ALMEIDA, Z. S.; FONSECA-GENEVOIS, V. **Análise quali-quantitativo da meiofauna na região de Itapissuma-PE**. Pesquisa em Foco, v. 7, n. 9, p.115-137, 1999.

BEARDSLEY, R. C. *et al.* **The M2 tide on the Amazon shelf**. Journal of Geophysical Research, v. 100, n. C2, p. 2283-2319. 1995.

BAYER, D. M.; BAYER, F. M. **Previsão da umidade relativa do ar de Brasília por meio do modelo beta autorregressivo de médias móveis**. Rev. bras. meteorol., São Paulo, v. 30, n. 3, p. 319-326, Set., 2015.

BOURLÈS B.; MOLINARI R. L.; JOHNS E.; WILSON W.D.; LEAMAN K.D. **Upper layer currents in the western tropical north Atlantic (1989-1991)**. J. Geophys. Res., 104: 1361-1375. 1999.

CARVALHO, I. S. **Conference: Project AMASSEDS: concerning biogenic activity in the sediments of Amapá (Amazon) continental shelf. Report on field measurements and sampling during AMASSEDS CRUISE III - CI 9004. Compiled by James R. Rine & Charles A. Nittrouer**. Volume: 1, pp. 50-60. Jan., 1990.

CONAMA, **Resolução 357, de 17 de março de 2005**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, - *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*.

DIAS, G. T. M. **Granulados bioclásticos - Algas calcárias**. Revista Brasileira de Geofísica, vol.18, n°3, São Paulo, 2000.

DIAS, G. T. M. *et al.* **Carta de Sedimentos do fundo da plataforma Continental Brasileira (Sul, Centro, Nordeste e Norte) - Área de Oceanografia Geológica, Carta J tipo**. 2004.

DIDDEN, N.; SCHOTT, F. **Seasonal variations in the western tropical Atlantic: surface circulation from GEOSAT altimetry and WOCE model results**. Journal of Geophysical Research, v. 98, p. 3529-3541. 1992.

EL-ROBRINI, M. **Evolution Rapide des fonds d'une zone estuarine: le Secteur d'ItaquiBaie de São Marcos-Maranhão (Brésil)**. Paris: Editions IFREMER, 1992. *In*: MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Brasília: MMA, 2018.

FERREIRA, T. A. B.; AQUINO DA SILVA, A. G.; PEREZ, Y. A. R.; VITAL, H. **Geotecnologias aplicadas ao estudo do comportamento morfodinâmico do Delta do Parnaíba nos últimos 30 anos**. UFRN, 2019.

GEYER, W. R.; KINEKE, G. C. **Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone**. Journal of Geophysical Research, v. 100, n. C2, p. 2321-2339. 1995.

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ, F. J. **Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v.8, n. 1, p. 57-68, jan./mar. 1994.

GORDON A. L. **Interocean exchange of thermocline water**. J. Geophysical Res., 91: 5037-5046. 1986.

JOHNS, W. E.; BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; CASTRO, B. M. **Annual cycle and variability of the North Brazil Current.** J. Phys. Oceanogr., 28: 103-128. 1998.

KEMPF, M.; COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. **Plataforma continental do Norte e Nordeste do Brasil: nota preliminar sobre a natureza do fundo.** Trabalhos oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco, v. 9, n. 11, p. 9-26. 1970.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra.** México: Fondo de Cultura Economica, 1948.

LUEDEMANN, E. F. **Preliminary results of drift-bottle releases and recoveries in the western Tropical Atlantic.** Boletim do Instituto Oceanográfico, v. 16, n. 1, p. 13-22. 1967.

MB (MARINHA DO BRASIL). **Cartas de correntes de maré: proximidades da baía de São Marcos e portos de São Luís e Itaqui.** Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1972.

\_\_\_\_\_. **Marés e correntes de maré, correntes oceânicas.** Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1976. Disponível em: <http://mar.mil.br/dhn/bhm/publicacao/download/cap10.pdf>. Acesso em 21/08/2020.

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). **Panorama da erosão costeira no Brasil.** Brasília: MMA, 2018.

METCALF, W. G. **Shallow currents along the northeastern coast of South America.** Journal of Marine Research, v. 26, n. 3, p. 232-243. 1968.

MOTTA, V. F. **Nota sobre dados existentes em relação às características de ondas ao largo da costa brasileira, do Cabo de São Roque à foz do rio Pará.** 1968.

NESHYBA, S. **Oceanography: perspectives on a fluid Earth.** 1. ed. Toronto: John Wiley & Sons. 1987.

PALMA, J. **Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira.** Projeto REMAC volume 7. 1979.

PATCHINEELAM, S. M. **Circulação oceânica.** In: NETO, B. A. J.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. (org.). **Introdução à geologia marinha.** Rio de Janeiro: Interciência. 2004.

PONTES, P. H. P. **Identificação e caracterização das massas d'água da Plataforma Continental do Maranhão (PCM), durante os períodos seco (Novembro 1977) e chuvoso (junho, 1999).** Dissertação de Mestrado em geologia, Programa de Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 2007.

REGALI, M. S. P.; UESUGUI, N.; Lima, E. C. **Palinoestratigrafia e paleoambiente da Bacia de Barreirinhas - Maranhão - Brasil.** Departamento Nacional de Produção Nacional, Série Geológica n.27. Seção Paleontologia e Estratigrafia 2, 461-470. 1985.

REUTER, E. D. DE J.; COHEN, J. C. P. **Distribuição de alguns parâmetros atmosféricos coletados a bordo do navio oceanográfico Antares na área norte do Programa REVIZEE nos períodos chuvoso de 1995 e menos chuvoso de 1997: temperatura e umidade relativa do ar, altura e período da**

**onda. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10.** Resumos expandidos. Brasília: Soc. Bras. Met. 1998.

REVIZEE. **Cartas sedimentológicas.** 2004. Disponível em <https://mma.gov.br/port/sqa/projeto/revizee/capa/corpo.html>. Acesso em 30/08/2020.

ROSSETTI, D. F. **Arquitetura Depositional da Bacia de São Luís-Grajaú.** In: GÓES, A. M.; ROSSETTI, D. F.; TRUCKNENBRODT, W. **O Cretáceo da Bacia de São Luis-Grajaú.** Coleção Friedrich Katzer, Belém, p. 32-34. 2001.

SILVA, A. C. **Campos de temperatura e salinidade na plataforma continental do Amazonas, durante a descarga mínima (outubro de 1997) do Rio Amazonas: “uma análise ambiental”.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia), Universidade Federal do Pará. Belém, 2000.

SILVA A. C.; ARAÚJO, M.; PINHEIRO, L. S. **Caracterização hidrográfica da plataforma continental do maranhão a partir de dados oceanográficos medidos, remotos e modelados.** Rev. Bras. Geof. v.25 n.3. São Paulo jul./set. 2007.

SILVA, B. B. *et al.* **Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro.** Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 431-439, Dec., 2002.

SILVA, L. C. F. **Condições oceanográficas do extremo oeste da convergência subtropical do oceano Atlântico Sul baseado nos dados obtidos nas operações CONVERSUT I e II.** Anais Hidrográficos, v. 40, p. 115-276. 1983.

SILVA, L. C. F. *et al.* **Gabarito tentativo para as massas de água da costa sudeste brasileira.** Anais Hidrográficos, v. 41, p. 261-312. 1984.

SMITH, F. S. G *et al.* **Análise sedimentar de canais de maré do delta do rio parnaíba a partir de testemunho por vibração.** 27º Simpósio de Geologia do Nordeste. 2019.

SOUTHARD, J. B.; STANLEY, D. J. **Shelfbreak processes and sedimentation.** In: STANLEY, D. J.; SWIFT, D. J. P. **Marine sediment transport and environmental management.** New York: Wiley-Interscience. 1976.

STENECK, R. **The Ecology of coralline Algal crusts: convergent pattern and adaptative strategies.** Ann. Ver.Ecol.Syst. 17:273-303. 1986.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. **Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4.** Rev. bras. meteorol., São Paulo, v. 25, n. 1, p. 125-145, Mar., 2010.

WRIGHT, L. D. **Morphodynamics of inner continental shelves.** London: CRC Press Lewis Publishers, 1995. In: MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). **Panorama da erosão costeira no Brasil.** Brasília: MMA, 2018.

**Sites:**

<https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>. Acesso em 26/08/2020.

<https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 26/08/2020.

[https://mar.mil.br/menu\\_h/navios/oceanografico/antares.htm](https://mar.mil.br/menu_h/navios/oceanografico/antares.htm)>. Acesso em 26/06/2007.

<https://mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha/programa-revizee/item/7606.html>. Acesso em 20/07/2020.

<https://mma.gov.br/informma/item/10593-maranh%C3%A3o-munic%C3%ADpios-da-zona-costeira.html>. Acesso em 20/09/2020.

<https://pt.weatherspark.com/y/30756/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Tut%C3%B3ia-Brasil-durante-o-ano#Sections-Precipitation>. Acesso em 26/08/2020.