



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR**  
**CURSO DE OCEANOGRAFIA**

**IGOR SILVA PEREIRA**

**MAPEAMENTO DE PAISAGENS SUBMERSAS NO ESTUÁRIO DO RIO PACOTI-  
COSTA SEMIÁRIDA DO BRASIL.**

**FORTALEZA**  
**2023**

IGOR SILVA PEREIRA

MAPEAMENTO DE PAISAGENS SUBMERSAS NO ESTUÁRIO DO RIO PACOTI-  
COSTA SEMIÁRIDA DO BRASIL.

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar – Labomar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Prof. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro.

Coorientador: Dr. Francisco Gleidson da Costa Gastão

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P491m Pereira, Igor Silva.  
MAPEAMENTO DE PAISAGENS SUBMERSAS NO ESTUÁRIO DO RIO PACOTI- COSTA  
SEMIÁRIDA DO BRASIL. / Igor Silva Pereira. – 2023.  
85 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do  
Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro..

Coorientação: Prof. Dr. Francisco Gleidson da Costa Gastão.

1. estuário semiárido. 2. batimetria monofeixe. 3. Benthic Terrain Modeler. 4. PELD CSB. I. Título.

CDD 551.46

---

IGOR SILVA PEREIRA

MAPEAMENTO DE PAISAGENS SUBMERSAS NO ESTUÁRIO DO RIO PACOTI-  
COSTA SEMIÁRIDA DO BRASIL.

Monografia apresentado ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar – Labomar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovado em 07/12/2023

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Francisco Gleidson da Costa Gastão (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Msc. Isabella Maria Maia Ferro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Eduardo Lacerda Barros  
Universidade Estadual do Ceará (PROPGEU/UECE)

Dedico este trabalho à minha mãe,  
Maria Ireuda Silva Pereira e,  
ao meu pai, Geraldo Cardoso Pereira.  
Em memória, de “Avôs” e “Avós” e todas as  
vítimas da Covid-19.

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, meu pai, irmãs, sobrinhos e sobrinhas por estarem onde estão neste momento, ao meu lado.

Ao ser superior responsável por ter tornado esse momento possível.

A professora e orientadora Lidriana Pinheiro pelo apoio e ajuda durante a caminhada como aluno e, principalmente, como pessoa.

Ao meu coorientador, Gleidson, pelas oportunidades, ensinamentos e conversas.

Aos integrantes do Laboratório de Oceanografia Geológica - LOG: Alexandre, Paulo, Jaqueline, servidores deste laboratório, aos alunos de pós-graduação do laboratório: Regimário e Bruno Catunda pelas conversas e dicas durante os semestres de convivência. Aos alunos, companheiros e companheiras de projetos, embarques, conversas: Miliana Teixeira pela ajuda no meu primeiro ano como bolsista de iniciação acadêmica, em 2021, e Antonio Wellyngton pela parceria em diversos projetos e embarques.

A todos os servidores do Instituto de Ciências do Mar, pela dedicação diária a esta instituição.

Aos professores do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) por conseguimos retornar de uma pandemia e voltar a fazer ciência.

A banca avaliadora, Msc. Isabelly Maria Maia Ferro e ao Dr. Eduardo Lacerda Barros por aceitarem fazer parte deste último passo na graduação.

Aos amigos de turmas 2020.1: Well, Rebeca Amon, Elizabeth, Endrel, Emylli, Chrystian, Larissa, Thays, Cecilia, Dudu Cerveira, Vitor, Luís Henrique, Marcus Vinicius, Ícaro, Ana Lívia, Hayssa, Emerson Seltom, Manu, Júnior, Kadu, “Loram”, Ryan, Pedro Paulo “Dinho” pelas raivas e momentos de risada ao longo destes anos e, por serem os responsáveis em não desistir deste curso.

Aos amigos da ingressantes na turma de 2023.1, Duda, Yasmin, Mariana, Luara, “Lala Dantas”, Rômulo, Orlando e que me adotaram como ‘pai’.

Aos amigos de outros anos: Sarah, Nicolle, Hellen, Lara, Yasmin, Jucília, Paula, Keven Ryan, Will, Lucas, Myriam, Valéria, Carla, Rebeca Crisóstomo, Linno, que fazem parte desta história.

Aos amigos de ensino médio, ao qual abandonei por algum tempo, mas que nunca os esqueci.

A todos que fazem falta neste dia e que não compartilham da sua vivência terrestre conosco, mas que jamais serão esquecidos.

Agradeço o apoio e financiamento do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração Costa Semiárida do Brasil (PELD CSB) (No.442337/2020-5 -CNPq / PEL-00177-0005.01.00/21-FUNCAP).

“O mundo é infinito porque Deus é infinito. Como acreditar que Deus, ser infinito, possa ter se limitado a se mesmo criando um mundo fechado e limitado?” (Giordano Bruno)

## RESUMO

O estuário do Rio Pacoti/CE, a leste da cidade de Fortaleza/CE, é uma área de preservação ambiental criada pelo decreto 25.778, de 15 de fevereiro de 2000, pelo governo do Ceará, com intuito de preservar e conservar a área mediante a necessidade da proteção deste recurso hídrico. Este ambiente pode ser caracterizado como pela formação de barras arenosas, com presença de processos fluviais e oceanográficos (ondas, marés, ventos) responsáveis pela dinâmica local, além dos fatores antrópicos, como os barramentos rio acima. Localizado numa região semiárida, dentro da margem equatorial brasileira, estes corpos d'água trazem características associadas a variabilidade sazonal do clima, causando modificações, como erosão ou deposição de sedimentos, ao longo dos períodos chuvoso e de estiagem. A modificação do relevo cria ambientes diversos, onde há presença de organismos com adaptações a estes ambientes. Assim, o objetivo deste trabalho é mapeamento de geohabitats no estuário do Rio Pacoti/CE com uso de método acústico (batimetria monofeixe); aplicação do *Benthic Terrain Modeler (BTM)* para mapeamentos de zonas bentônicas com base nos dados de batimetria e a análise e identificação dos possíveis geohabitats nesta região. As coletas foram realizadas em dois períodos, novembro/2022 – período de estiagem, e julho/2023 – período após a quadra chuvosa, onde foram criados dois mapas batimétricos sendo criado 8 perfis calhas (E1 a E8) ao longo do rio para estudo da variação morfológica, destacando as variações de cota média, mínimas e máximas e as regiões de deposição e erosão presente em todos os perfis. Além disso, o mapa batimétrico é adotado como base para modelagem do BTM. O uso desta ferramenta, em crescente destaque na comunidade científica, identificou as zonas: transitions (transição), gentle slope (encostas suaves), channel flats (canais planos), coastal slope (encostas costeiras), depressions (depressões) para o novembro/2022 e, as zonas: encostas costeiras (coastal slope), depressões (depressions), encostas (slopes), cristas rasas (shallow ridges) para julho/2023. Destacamos para o BTM a zona, coastal slope (encostas costeiras) que ficam associadas aos bancos areno-lamosos, regiões com macro invertebrados, como poliquetas e moluscos, corroborando com mapeamento da ferramenta para modelagem destes ambientes bentônicos, podendo ser uma base para aplicações frente a necessidade de estudos, ou ainda, como apoio aos tomadores de decisão, orientando o uso das zonas ao longo da APA.

**Palavras-chave:** Estuário semiárido, Batimetria Monofeixe, *Benthic Terrain Modeler*, Peld CSB.

## ABSTRACT

The Pacoti River estuary/CE, located east of the city of Fortaleza/CE, is a protected area created by decree 25.778 of February 15, 2000, by the Ceará state government, with the aim of preserving and conserving the area due to the need to protect this water resource. This environment can be characterized by the formation of sandy bars, with the presence of fluvial and oceanographic processes (waves, tides, winds) responsible for the local dynamics, in addition to anthropogenic factors, such as upstream dams. Located in a semi-arid region, within the Brazilian equatorial margin, these water bodies bring characteristics associated with the seasonal variability of the climate, causing modifications, such as erosion or deposition of sediments, throughout the rainy and dry periods. The modification of the relief creates diverse environments, where there is the presence of organisms with adaptations to these environments. Thus, the objective of this work is to map geohabitats in the estuary of the Pacoti River/CE using acoustic methods (single-beam bathymetry); application of the Benthic Terrain Modeler (BTM) for mapping of benthic zones based on bathymetry data and the analysis and identification of possible geohabitats in this region. The collections were carried out in two periods, November 2022 - dry period, and July 2023 - period after the rainy season, where two bathymetric maps were created, creating 8 channel profiles (E1 to E8) along the river for the study of morphological variation, highlighting the variations in average, minimum and maximum depths and the regions of deposition and erosion present in all profiles. In addition, the bathymetric map is adopted as the basis for BTM modeling. The use of this tool, which is increasingly prominent in the scientific community, identified the zones: transitions (transition), gentle slope (gentle slopes), channel flats (flat channels), coastal slope (coastal slopes), depressions (depressions) for November 2022 and, the zones: coastal slope (coastal slopes), depressions (depressions), slopes (slopes), shallow ridges (shallow ridges) for July 2023. We highlight for the BTM the zone, coastal slope (coastal slopes) that are associated with sandy-muddy banks, regions with macroinvertebrates, such as polychaetes and mollusks, corroborating with mapping of the tool for modeling of these benthic environments, which can be a basis for applications in the face of the need for studies, or even as support for decision-makers, guiding the use of the zones along the APA.

Keywords: Semi-arid estuary, Single-beam bathymetry, Benthic Terrain Modeler, Peld CSB.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da área de estudo.....	17
Figura 2 - Mapa de setores na área de estudo.....	24
Figura 3 - Parâmetros oceanográficos e meteorológico que ocorrem na foz offshore do Rio Pacoti sobre os cordões litorâneos e faixa de praia. ....	26
Figura 4 - Índices de precipitação - Posto pluviométricos Posto Pluviométrico 11 e 311 (FUNCEME) .....	27
Figura 5 - Conjunto de equipamentos para aquisição de dados de geofísica subaquática abordo da lancha “Tainha”; b) Ecosonda, vista frontal, com transectos orientando a rota para captura de dados; c) Embarcação “Tainha” de propriedade do LABOMAR/UFC.....	31
Figura 6 - Trecho final - coleta de dados de batimetria.....	32
Figura 7 - Sensor de Pressão para correção de maré e Ecosonda .....	33
Figura 8 – Exemplo de equação polinomial para correção de maré.....	34
Figura 9 - Malha de pontos batimétricos aquisitados - novembro/2022 .....	36
Figura 10 - Malha de pontos batimétricos aquisitados - julho/2023 .....	37
Figura 11 - Delimitação dos anéis circunscritos - Inner e Outer Radius.....	39
Figura 12 - Interface BTM para Ferramenta BPI .....	41
Figura 13 -Interface - Classificação dos terrenos bentônicos (Classify Benthic Terrain) .....	43
Figura 14 - Fluxograma de Processamento BTM.....	43
Figura 15 - Interface do complemento SCP .....	45
Figura 16 - Batimetria - novembro/2022.....	47
Figura 17 - Histograma para cota (Z) em novembro/2022.....	48
Figura 18 - Batimetria - julho/2023.....	49
Figura 19 - Histograma para cota (Z) em julho/2023.....	50
Figura 20 - Perfil de Calha - E1.....	50
Figura 21 - Perfil de Calha - E2.....	51
Figura 22 - Perfil de Calha - E3.....	52
Figura 23 - Perfil de Calha - E4.....	52
Figura 24 - Perfil de Calha - E5.....	53
Figura 25 - Perfil de Calha - E6.....	54
Figura 26 - Perfil de Calha - E7.....	54
Figura 27 - Perfil de Calha - E8.....	55
Figura 28 - Produto BTM – BPI Ampla escala - novembro/2022.....	57

Figura 29 - Produto BTM – BPI Ampla escala (padronizado) - novembro/2022 .....	58
Figura 30 - Produto BTM – BPI fina escala - novembro/2022 .....	59
Figura 31 - Produto BTM – fina escala (padronizado) - novembro/2022 .....	60
Figura 32 - Inclinação (slope) – novembro/2022 .....	61
Figura 33 - classificação de zonas - novembro/2022 (Pereira <i>et al.</i> , 2023) .....	64
Figura 34 - Produto BTM – BPI Ampla escala - julho/2023 .....	66
Figura 35 - Produto BTM – BPI Ampla escala (padronizado) - julho/2023 .....	67
Figura 36 - Produto BTM – BPI fina escala - julho/2023 .....	68
Figura 37 - Produto BTM – BPI fina escala (padronizado) - julho/2023 .....	69
Figura 38 - Inclinação (slope) – julho/2023 .....	70
Figura 39 - classificação de zonas - julho/2023 .....	72
Figura 40 - Análise de Paisagens - SCP Plugin .....	74
Figura 41 - Mapa análise de paisagens - regiões estáveis .....	77
Figura 42 - Mapa análise de paisagens - regiões instáveis .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ferramentas de análise geomorfométricas .....	21
Tabela 2 - Dicionário de classificação (Conti et al., 2020).....	42
Tabela 3 - Dicionário de classificação 4 (adaptado Conti et al., 2020) .....	42
Tabela 4 - Classificação e descrição de zonas BTM - novembro/2022.....	63
Tabela 5 - Classificação e descrição de zonas BTM - julho/2023.....	71
Tabela 6 - Dados processados da análise de paisagens .....	76

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1	Objetivo geral .....	18
2.2	Objetivos específicos .....	18
<b>3</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b> .....	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
5.1	Batimetria .....	30
5.1.1	<i>Batimetria – Pré-campo e coleta de dados</i> .....	31
5.1.2	<i>Processamento de dados batimétricos</i> .....	32
5.2	Benthic Terrain Modeler (BTM).....	38
5.2.1	<i>Teoria e Conceitos</i> .....	38
5.2.2	<i>Processamento dos Dados – BTM</i> .....	40
5.3	<i>Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)</i> .....	44
5.3.1	<i>Análise Temporal de Paisagens com Uso do Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)</i> .....	44
5.3.2	<i>Processamento dos dados – Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)</i> .....	44
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
6.1	Batimetria .....	46
6.2	Perfis de Calha.....	50
6.3	BTM.....	56
6.3.1	<i>Classificação BTM em novembro de 2022</i> .....	56
6.3.2	<i>Classificação BTM em julho de 2023</i> .....	65
6.4	Análise De Variação de Paisagens.....	73
6.5	Bancos Areno-lamosos no Rio Pacoti .....	79
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A área de manguezal do Rio Pacoti/CE está entre as principais da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) com uma área estuarina de aproximadamente 158 hectares (ha) (Miranda *et al.*, 1988). Este ecossistema conta com uma riqueza biológica e funções importantes para o ambiente marinho e fluvial, com necessidade de proteção (Brandão, 1998).

Os estuários, segundo Miranda et al. (2002), são divididos estruturalmente em 3 setores:

Uma porção marinha que domina seu exterior, onde o transporte de sedimento de fundo é regressivo; uma zona central de baixa energia relativa na qual há convergência de sedimento de fundo; e uma zona no interior, em que o rio é dominante (mas com influência marinha), onde o transporte líquido ocorre em direção ao mar segundo

Apesar desta divisão, nem todos os estuários têm essa condição totalmente desenvolvida, como consequência da disponibilização de sedimentos, dos ventos e de correntes de fundo, que influenciam a formação barreiras e pontais arenosos (Dalrymple *et al.*, 1992).

A definição clássica de estuário de Pritchard (1963) é que trata-se de um corpo semifechado com conexão livre ao oceano, onde a água vindo do oceano se mistura com água do aporte fluvial, sendo diluída por esta. Outra concepção é a de que estuários são espaços de acomodação ou acumulação de sedimentos, podendo permitir aos rios deste ambiente, o transporte de sedimentos até a região de antepraia (Lessa, 2020).

Partindo desse conceito, temos que estuários são divididos em: zona estuarina fluvial com salinidade menor que 1 psu; zona estuarina média com salinidade entre 1 e 35 psu, onde ocorre a mistura águas oceânicas e fluviais; e zona estuarina costeira, localizada na foz do estuário predominada pelas forçantes marinhas: maré, ondas e correntes (Miranda *et al.*, 2002).

Em seu trabalho, BAPTISTA NETO et al. (2004) traz caracterizações secundárias:

Existem as categorizações secundárias do tipo: estuários dominados por ondas, marés ou rios influenciando no seu comportamento sedimentar de acordo com cada fator dominante; divisão em zonas de acordo com a interação do prisma de maré e a descarga fluvial; e outros.

No semiárido, Pinheiro e Morais (2010) definem os rios desta região como intermitentes que fluem somente no período chuvoso da região. Essas condições fazem com que os estuários sofram modificações naturais como erosão, aporte ou disposição de sedimentos como produto da variações climáticas ou frutos da ações antrópicas, como as barragens. Outros fatores, como a velocidade do vento, altas taxas de evaporação e volume de precipitação são fatores que afetam a disponibilidade e transporte de sedimento (Morais *et al.*, 2002; Pinheiro;

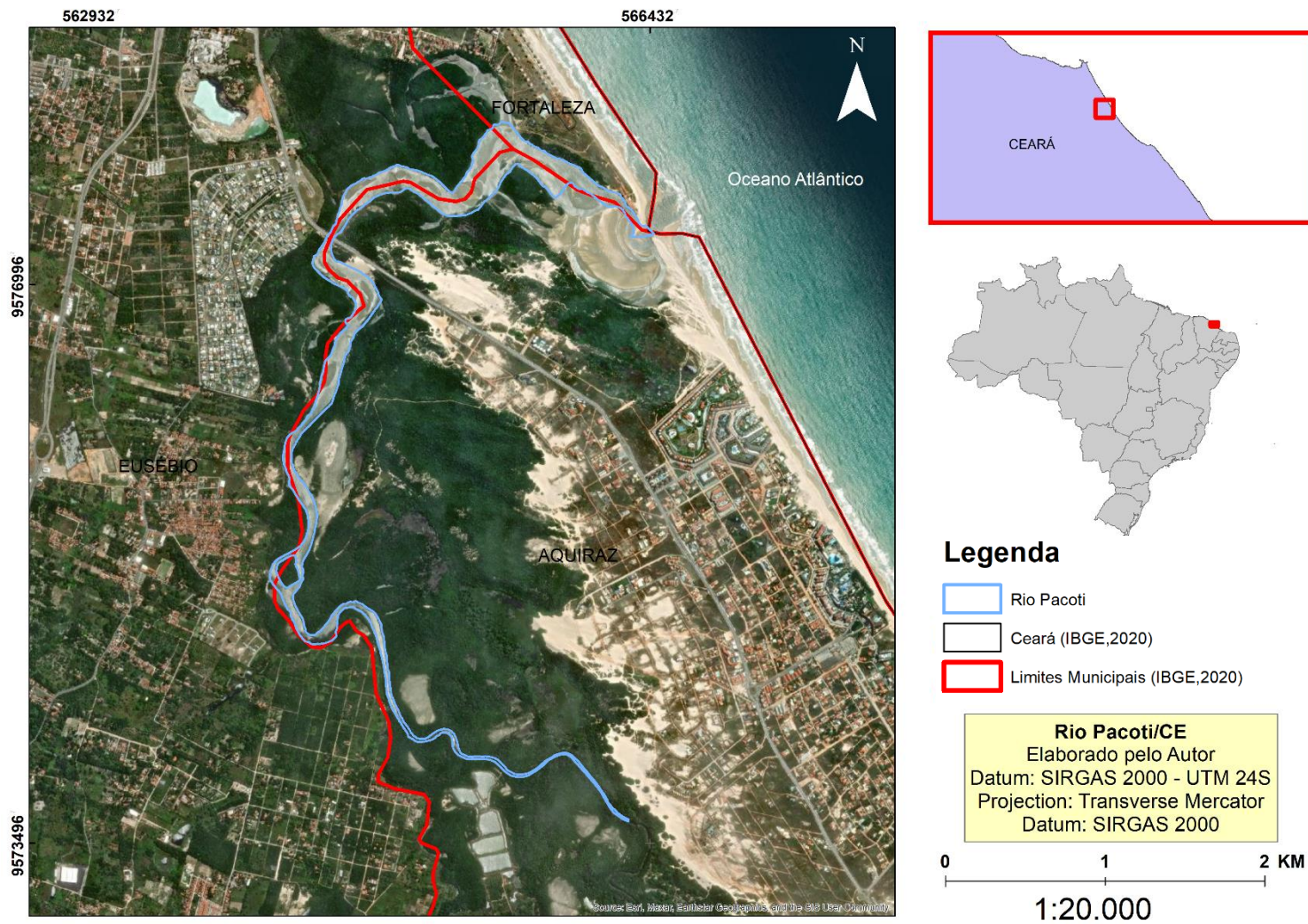
Morais, 2010). Estes processos, segundo Rocha (2013), causaram uma variação de 30 metros nas praias adjacentes no Rio Pacoti, com perda de sedimento na desembocadura, o qual foi recuperado apenas ao final do período estudado.

Já em 1959, segundo Silva (2005), o manguezal do Rio Pacoti/CE era alvo de degradação, como consequência da instalação de salinas que ao longo dos anos foram desativadas e ainda hoje não conseguiram recuperar seu estado natural.

Estas condições, sejam elas bióticas ou abióticas, são fatores que causam modificação do relevo submerso dos rios, criando ambientes diversos com organismos adaptados as condições do substrato (Albino, 2020). O mapeamento destas áreas torna possível a identificação destas regiões, o mapeamento marinho é definido como “o uso de um conjunto de dados ambientais espacialmente contínuo que representam e podem prever padrões de distribuição biológica no fundo marinho (seja de forma contínua ou descontínua)” (Brown *et al.*, 2011), evidenciando que o mapeamento dessas áreas deve representar a geodiversidade do fundo como base de dados ambientais (batimetria e geomorfologia) contínuos, os quais sejam capazes de prever ou representar padrões de distribuição de diferentes comunidades e seus comportamentos (Quaresma., 2020).

Dessa forma, e partindo do questionamento: Como o mapeamento de zonas bentônicas podem apoiar a gestão e tomada de decisão, este trabalho foi desenvolvido. Sendo apoiado ainda, pela falta de dados sobre ambientes bentônicos em ambientes estuarinos no estuário do Rio Pacoti/CE. Assim, o mapeamento no estuário do Rio Pacoti/CE (Figura 1) com base no mapeamento de paisagens bentônicas é necessário no cenário atual. A importância desta ação é corroborada pelas Nações Unidas na “Décadas das Ciências Oceânicas” que traz como uma das prioridades, a necessidades de conhecer e mapear do fundo marinho além da gestão destas áreas.

Figura 1 - Mapa da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo Autor

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Mapeamento de zonas bentônicas no estuário do Rio Pacoti/CE.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Mapear o estuário com método geofísico (batimetria monofeixe);
- Aplicar o Benthic Terrain Modeler para mapeamentos de zonas bentônicas com base nos dados de Batimetria;
- Analisar e identificar os possíveis zonas bentônicas no estuário do Rio Pacoti/CE.

### 3 ESTADO DA ARTE

Frente as novas necessidades humanas, é cada vez mais ‘necessários’ à população terrestre. A demanda por bens e serviços aumenta gradativamente acompanhando a expansão humana, como consequência, temos o aumento por bens e serviços ligado ao oceano, como os recursos pesqueiros, a aquacultura, energia e exploração minerais para atividades industriais e cada um destes podem impactar os habitats marinhos.

Além disso, todas essas atividades demandam por modelos de gestão, seja público ou particular, de governança e sustentabilidade como ações de conservação para biodiversidade e ecossistemas, além do desenvolvimento econômico. (Guide Unesco - Ehler; Douvere,)

Esse aumento de demanda, sejam por serviços ou bens, acabam por avançar sobre os territórios, inclusive as áreas marinhas. Trazendo a possibilidade de exploração em diversos habitats, inclusive os marinhos.

O habitat marinho é o espaço físico com presença de vegetais e/ou animais, onde estes organismos estão distribuídos por um conjunto de fatores distintos (Begon *et al.*, 1990), podendo estar associado aos fatores abióticos (Euntis, 2012). Como exemplo, segundo Dias e colaboradores (2004), temos os fatores geológicos em associação às características físico-químicas das massas de água, sendo que as informações geológicas são mais significativas na identificação desses habitats (Möller *et al.*, 1985; Coleman *et al.*, 1997; Dias *et al.*, 2004; Diaz *et al.*, 2004; Secchin, 2011).

O termo “habitats bentônicos” está ligado aos termos “profundeza” ou “fundo do mar”, como cita Quaresma *et al.*, 2020. Ainda com base nesta autora, o termo habitat bentônico está relacionado às áreas fisicamente distintas sustentadas ou propícias à presença de determinadas comunidades biológicas. O termo *benthoscape* ou *benthic scape* (Zajac *et al.*, 2003) de menor uso, está ligada às diferentes escalas de mapeamento e identificação de características biofísicas com base em dados ambientais contínuos da área estudada (Brown *et al.*, 2012).

As paisagens marinha ou submarina, segundo Quaresma *et al.*, (2020), estão intrinsicamente ligada à geomorfologia submarina e estariam relacionadas aos termos *Benthoscape* ou *Seascape*, sendo exemplificadas por esta por feições geomórficas como os montes submarinos, cânions, recifes, escarpas, ravinas, planícies e, segundo Harris *et al.*, (2014). Sendo uma amostra da alta diversidade geomorfológica, sendo descrita pelo termo geodiversidade, relacionando-se aos fatores de biodiversidade.

Através do mapeamento dos aspectos bióticos e abióticos, e destas variáveis

associadas (granulometria, cota etc.) é possível definir o habitat e prever a ocorrência ou distribuição de comunidades ou espécies alvos com destaque para geomorfologia submarina, sendo uns dos principais atributos para identificação e associação do habitat bentônico as comunidades biológicas (Quaresma *et al.*, 2020). O que torna o mapeamento geológico e geomorfológico base para este estudo.

A dificuldade de mapeamentos de habitats marinhos pode ser vista no mapeamento da morfologia de fundo oceânica com uso do sensoriamento remoto, como vem sendo feito pelo GEBCO - *General Bathymetric Chart of the Oceans*, que apesar dos esforços, não traz precisão ao estudo com este tipo de metodologia (Lisniowski, 2020).

Essa dificuldade é percebida quando Vital *et al.*, (2005) e Mayer *et al.*, (2018) afirmam que mesmo tendo dois terço da superfície terrestre abaixo na linha do nível mar, o substrato marinho ainda é pouco conhecido.

Os primeiros trabalhos, no Reino Unido e Irlanda, pioneiros na classificação destes habitats marinhos (Connor *et al.*, 2004). Em Território brasileiro, já em 2009, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), dentro do PROAREA - Programa de Prospecção e Exploração de Recursos Minerais da Área Internacional do Atlântico Sul e Equatorial, já realizava estudos na Elevação do Rio Grande (ERG), ou ainda, o trabalho de Lisniowski (2020) com a “Caracterização de Potenciais Habitats Bentônicos na Elevação do Rio Grande na mesma região.

Através das ferramentas de geoprocessamento (Tabela 1) é possível, a partir de dados de relevo (batimetria), a modelagem de dados para identificar geohabitats. Uma das ferramentas para mapeamento destes habitats é o BTM (*Benthic Terrain Modeler*), em tradução livre, modelo de terrenos bentônicos sendo esta principal metodologia para este tipo de estudo. No Nordeste, podemos destacar os trabalhos de Fontes (2018) com Mapeamento dos geohabitats da plataforma continental de Tamandaré-PE e Avena (2018) com “Mapeamento De Habitats Bentônicos em uma Baía Tropical Rasa: O Canal de Itaparica - Leste do Brasil”.

Tabela 1- Ferramentas de análise geomorfométricas

Ferramenta de Análise	Referência	
<b><i>Benthic Terrain Modeler</i> BTM</b>	Walbridge, S.; Slocum, N.; Pobuda, M.; Wright, D.J. Unified Geomorphological Analysis Workflows with Benthic Terrain Modeler. <i>Geosciences</i> 2018, 8, 94. doi:10.3390/geosciences8030094	ArcGIS Toolbox – download <a href="http://4326.us/btm-install">http://4326.us/btm-install</a>
<b>RSOBIA - Remote Sensing Object Based Image Analysis in ArcMap</b>	Le Bas, T.P. (2016) RSOBIA - A new OBIA Toolbar and Toolbox in ArcMap 10.x for Segmentation and Classification. In: GEOBIA 2016: Solutions and Synergies., 14 September 2016 - 16 September 2016, University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC).	Representante: <a href="https://www.oceanwise.eu/software/rsobia-remote-sensing-object-based-image-analysis/">https://www.oceanwise.eu/software/rsobia-remote-sensing-object-based-image-analysis/</a>
<b>TASSE – Terrain Attribute Selection for Spatial Ecology (v. 1.1)</b>	Lecours, V. (2017) Terrain Attribute Selection for Spatial Ecology (TASSE), v.1.1, URL <a href="https://www.researchgate.net/publication/314300617_TASSE_Terrain_Attribute_Selection_for_Spatial_Ecology_Toolbox_v_11">https://www.researchgate.net/publication/314300617_TASSE_Terrain_Attribute_Selection_for_Spatial_Ecology_Toolbox_v_11</a>	ArcGIS toolbox <a href="https://www.researchgate.net/publication/314300617_TASSE_Terrain_Attribute_Selection_for_Spatial_Ecology_Toolbox_v_11">https://www.researchgate.net/publication/314300617_TASSE_Terrain_Attribute_Selection_for_Spatial_Ecology_Toolbox_v_11</a>
<b>Geographic Resources Analysis Support System (GRASS)</b>	GRASS Development Team. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.2. 2017. Available online: <a href="http://grass.osgeo.org">http://grass.osgeo.org</a> (accessed on 10 November 2017).	Open GIS - <a href="https://grass.osgeo.org/">https://grass.osgeo.org/</a>
<b>Bathymetric and Reflectivity-based Segments</b>	Masetti et al., 2018 - <a href="https://doi.org/10.3390/geosciences8010014">https://doi.org/10.3390/geosciences8010014</a>	<a href="https://www.hydroffice.org/bress/main">https://www.hydroffice.org/bress/main</a>

Fonte: QUARESMA, V. S. *et al.* (2020) In MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (2020)

Os primeiros trabalhos aconteceram em recifes de corais presentes nos trabalhos de (Rinehart *et al.*, 2004) e posteriormente em (Lundblad *et al.*, 2006), pioneiros nesta modelagem, quando o BTM foi criado para responder as necessidades de avaliação dos ecossistemas com recifes de corais no Santuário Marinho de *Fagatele Bay National*, Pacífico central. Já os primeiros resultados mostraram que além de dados batimétricos coletados por (Wright *et al.*, 2002), mapas com descrições intuitivas de paisagens (Rinehart *et al.*, 2004) eram possíveis e de grande importância.

O *Plugin* BTM foi bem aceito na comunidade científica, segundo (Matt Pendleton *et al.*, 2023), quase 50 laboratórios, ligados a comunidade de mapeamento de habitats bentônicos, já usaram a ferramenta com diversos trabalhos publicados, como: Lundblad *et al.*, 2006; Lanier *et al.*, 2007; Wilson *et al.*, 2007; Erdey-Heydorn, 2008; Wedding *et al.*, 2008; Diesing *et al.*, 2009; Dunn e Halpin, 2009.

No Ceará, podemos citar: Pinheiro *et al.* (2019) com “Mapeamento de habitats marinhos da Plataforma continental interna da Praia de Iracema – Fortaleza -Ceará” ou Pinheiro *et al.*, (2023) “*Seascape Ethnomapping on the Inner Continental Shelf of the Brazilian Semiarid Coast*”.

Quando buscamos trabalhos em áreas estuarinas em repositórios como o google acadêmico, usando os termos “mapeamento”, “geohabitats” e “estuários” poucos são os trabalhos desenvolvidos, principalmente aqueles relacionados ao mapeamento de geohabitats estuarinos. Somente o estudo “*High-resolution optical remote sensing for coastal benthic habitat mapping: A case study of the Suape Estuarine-Bay, Pernambuco, Brazil*” de Conti e colabores (2020) com uso do BTM foi encontrado para região da MEB.

Este fato nos traz à tona a escassez e falta de dados sobre mapeamento de habitats em manguezais brasileiros é importante ecossistema costeiro e com grande poder de retirada de carbono do ambiente. Assim, este estudo é o primeiro mapeamento de geohabitats com uso de técnicas de modelagem bentônicas através do BTM para estuários semiáridos, no Estuário do Rio Pacoti/CE na margem equatorial brasileira.

#### 4      **ÁREA DE ESTUDO**

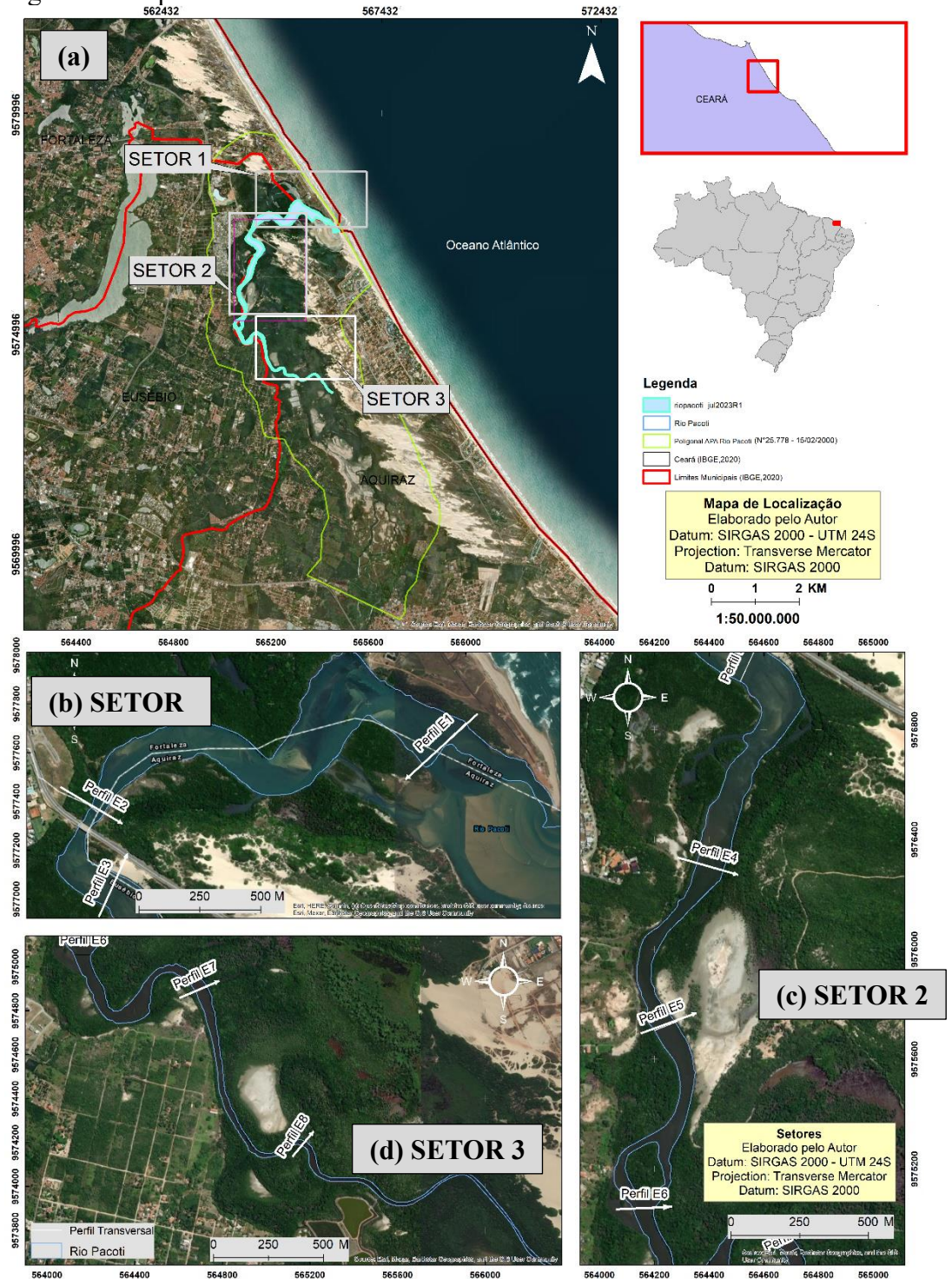
Para uma melhor compreensão e visualização do da área de estudo, esta foi dividida em 3 setores (Figura 2a) conforme descrito a seguir.

O Setor 1 (Figura 2b) vai da foz, até o trecho próximo a ponte sobre este rio, na CE025 – km 7, também conhecida como Av. litorânea, próximo a entrada do condomínio Alphaville e que liga Fortaleza/CE aos municípios da região leste, como Eusébio e Aquiraz, com presença dos perfis E1 a E3.

O Setor 2 (Figura 2c), segue a partir de o Perfil E3, onde também se destaca uma duna móvel indo até o perfil E6, trecho onde há uma bifurcação do rio, criando dois canais. Fazem parte deste setor os perfis E4 e E5.

O setor 3 (Figura 2d), vai deste último ponto, até o ponto E9, no entanto, como já tido antes, devido as dificuldades de acesso e mapeamento, este não pode ser acessado para aquisição de dados, ficando o ponto E8, como limite do setor 3. Assim, fazem parte deste setor os perfis E7 e E8.

Figura 2 - Mapa de setores na área de estudo



Fonte: Elaborado pelo Autor

A nascente do Rio Pacoti fica na cidade de Baturité/CE e tem extensão aproximada até a foz de 150 km, onde encontramos o seu estuário do Rio Pacoti/CE (38° 24' 27"W e 3° 51' 07"S) com trechos localizados nos municípios de Fortaleza, Eusébio e Aquiraz (bacia metropolitana do baixo Pacoti). Nas proximidades, temos as comunidades da Abreulândia (Fortaleza), Porto das Dunas (Aquiraz) e Mangabeira (Eusébio). O acesso à região pode ser feito partindo de Fortaleza pela CE 040 e depois pela CE 025 ou pelos sistemas viários municipais de Aquiraz e Eusébio.

A área de estuário conta com 365 km<sup>2</sup> (36200 ha) com seus ambientes sob influências da maré e de feições geomorfológicas, como as planícies fluviomarinhas, além da sua área de manguezal, com área estimada em 160 Ha extensão (Gorayeb; Silva e Meireles 2004).

Nesta região, são encontradas faixas contínuas de planície e tabuleiro litorâneos, além das faixas contínuas de mar litorâneo, com presença de dunas, feições eólicas. Existe a presença de *beachrocks*, arenitos de praia, paralelos a costa (Ministério do Meio Ambiente - MMA 2006,). Na área estudada, a presença de um afloramento ligado a suíte intrusiva Messejana (magmatismo Messejana) com datação a época dos últimos eventos tectônicos relacionados a abertura do Oceano Atlântico (Barbosa, 2016), conhecido popularmente como "Serrote Cararu".

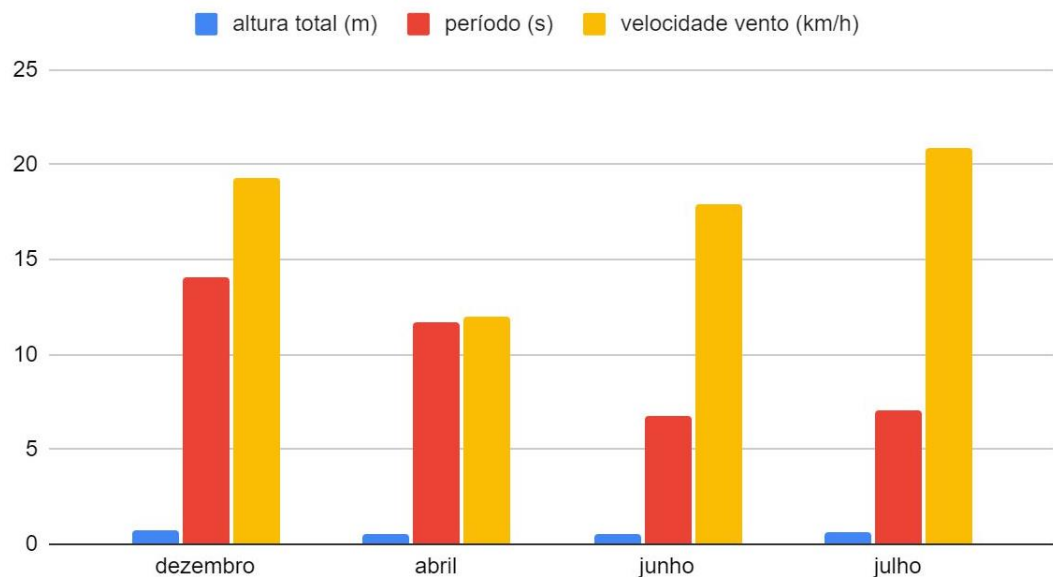
Caracterizados pela construção de barra, estes estuários trazem os processos fluviais e oceanográficos, como ondas e marés, como processos responsáveis pela dinâmica local. Outros fatores, estão presentes nas ações antrópicas, como represamento de rio (Pinheiro, 2003; Pinheiro *et al.*, 2006; 2008) como a presença de barragens, regulando sua vazão (Lacerda; Menezes; Molisani, 2007) e causando a concentração de sedimentos e formação de bancos arenosos na foz (Dias, 2005).

No estudo de Rocha (2013), ficou constatado o aumento de 200% de área de manguezal do Rio Pacoti/CE, sendo consequência do barramento dório, formação de bancos arenosos e crescimento de vegetação de mangue. Já em trabalhos recentes como o de (Ward *et al.*, 2023) relatam uma provável perda da margem litorânea do manguezal como consequência provável da elevação do nível do mar.

Os padrões oceanográficos (figura 3) e de linha costa, foram caracterizados por (Marinho, 2023) em estudo mais recente e em datas iguais ou próxima a deste trabalho.

[...] dezembro mostrou-se com mais energia hidrodinâmica e junho como o menos energia (Anexo 20). De maneira detalhada, os meses exibem médias: dezembro - altura total = 0,76 m, período 14,04 s, velocidade do vento = 19,33 km/h, direção de swell = N a NNE e direção do vento = ENE a ESE; abril - altura total = 0,50 m, período 11,66 s, velocidade do vento = 11,96 km/h, direção de swell = NNE e direção do vento = diversas; junho - altura total = 0,49 m, período 6,73 s, velocidade do vento = 17,9 km/h, direção de swell = NNE e direção do vento = ESE a SSE; e julho - altura total = 0,63m, período 7,06 s, velocidade do vento = 20,83 km/h, direção de swell = NNE e direção do vento = E a SSE. Logo, é evidente que a altura total não varia significativamente. Todavia períodos mais elevados sugerem ações das ondas com mais energia, o que pode ter ocasionado as maiores taxas de erosão no período de dezembro para abril entre os transectos 4 e 7 da margem Oeste. No entanto, como exibido nos resultados, ao considerar a linha de costa inteira, a maior variação ocorre em abril-junho, o que ainda pode estar em função da atividade hidrodinâmica, já que o período se mantém elevado com valor de 11,66 segundos. [...] Justamente nesse período de fortes ventos, com médias 17,9 e 20,83 km/h, observa-se a média de retrogradação mais elevadas para linha de costa na porção Leste com taxa de -1,86m/mês, e mais especificamente -6,3 e -3,5 m/mês nos transectos 1 e 2 (desembocadura). Estas observações podem levar a acreditar que a margem Leste, diferentemente da margem Oeste, é mais intensamente influenciada pela ação dos ventos. Não só os processos de erosão citados, bem como as acreções observadas ainda na margem Leste (entre abril e junho) nos transectos 3,4,5,9 e 10 e na margem Oeste no décimo transecto (entre junho e julho) permitem a sugestão da hipótese que essas progradações constituem produto do intensificado transporte eólico proveniente dos campos de dunas frontais mais a Leste da área de estudo. (Marinho, 2023).

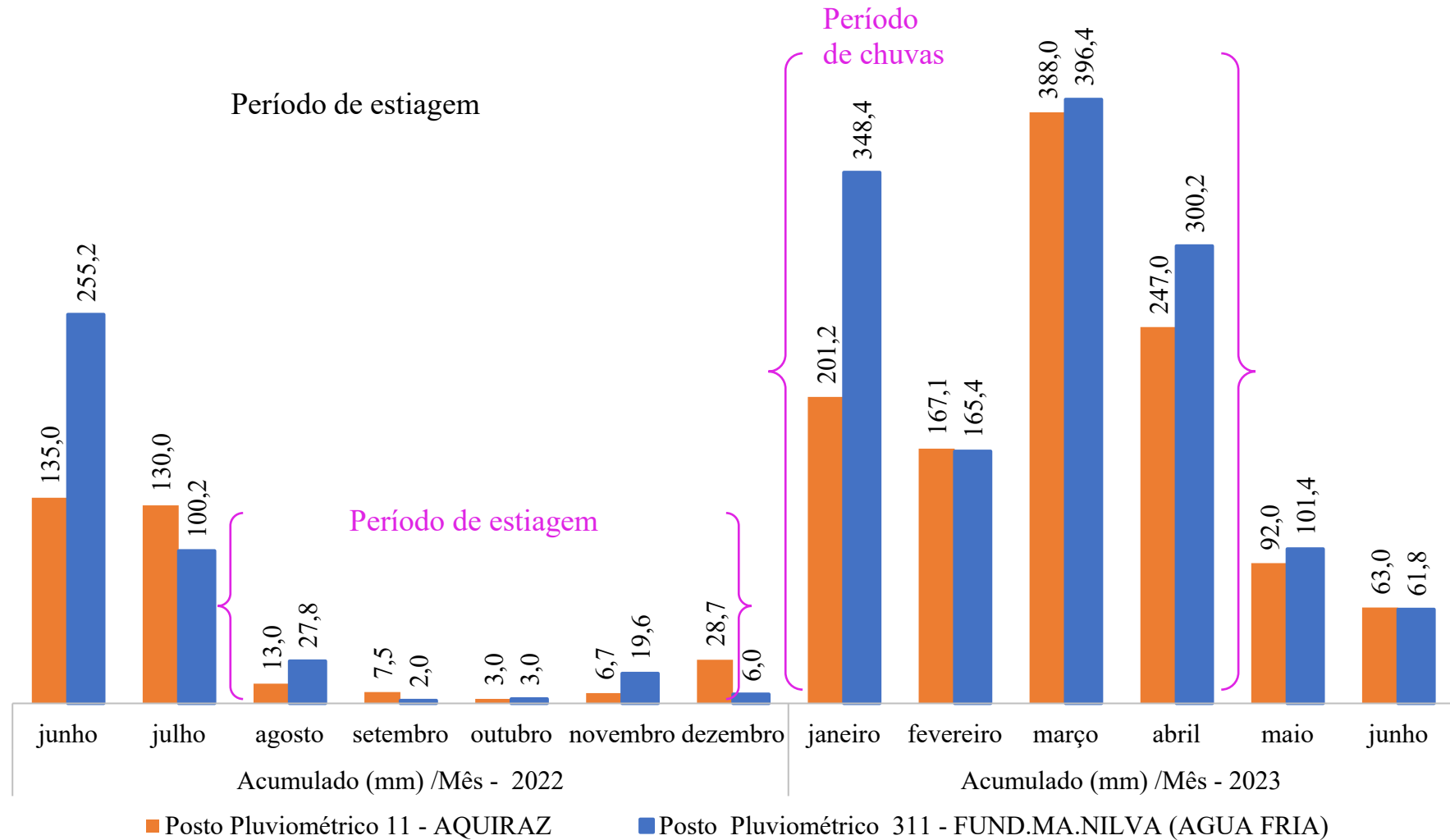
Figura 3 - Parâmetros oceanográficos e meteorológico que ocorrem na foz offshore do Rio Pacoti sobre os cordões litorâneos e faixa de praia.



Fonte: Marinho, 2023.

Os padrões de chuva (Figura 4) para o período estudado trazem as características sazonais da área semiárida, com a período chuvoso definido nos meses de fevereiro a maio, como observado nos dois postos pluviométricos mais próximo à área de estudo e obtidos diretamente do site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e tratados no presente trabalho em agosto de 2023.

Figura 4 - Índices de precipitação - Posto pluviométrico Posto Pluviométrico 11 e 311 (FUNCEME)



Fonte: Elaborado pelo Autor com base em dados públicos da FUNCEME.

Temos como característica, a presença dos ventos alísios produzidos pela movimentação contínuas das massas de ar para as zonas de baixa pressão na zona equatorial de temperatura superior, esta zona de deflexão em baixas latitudes é conhecida como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Queiroz, 2005).

Uma descrição dessas condição e suas características é feita por Queiroz (2005):

A principal característica climática da Ceará é a ocorrência de duas estações de pluviometria bem diferenciadas, uma com precipitações de curta duração e outra com estiagem prolongada. A estação chuvosa está concentrada no primeiro semestre do ano, sendo causada pela ZCIT dos hemisférios Norte e Sul que convergem para os mesmos pontos em ciclos anuais.

A diminuição da influência da ZCIT propicia a ocorrência de um período de transição entre as estações chuvosa e seca. Esta transição ocorre entre os meses de Maio e Agosto, quando o ciclo térmico diurno terra-oceano passa a alternar brisas marinhas e terrestres e os ventos sopram na direção ENE-E e na direção E-SE durante a noite. O período seco está concentrado entre os meses de Julho e Dezembro/ Janeiro, configurando-se pela baixa pluviosidade, insolação intensa, deficiência hídrica, fortes ventos alísios que potencializam a evaporação e a dinâmica costeira influenciando a transporte de sedimentos e consequentemente a navegabilidade e transparência do mar, ainda é neste período que ventos alísios atingem seu pico máximo em intensidade e constância. Durante os meses de ZCIT, os ventos atingem sua intensidade mínima anual e insolação reduzida gerando uma evaporação relativamente baixa. Nos meses restantes a ZCIT retorna às latitudes equatoriais.

Em 2016, Barbosa e colaboradores, fizeram uma caracterização dos aspectos ambientais da área de clima subúmido, características do litoral cearense, o que traz irregularidades anuais e interanuais, como destaca o autor.

De acordo com (Barbosa, 2016), o Estuário do Rio Pacoti/CE possui planícies litorâneas como feições praias, campos de dunas móveis e fixas, paleodunas e planícies fluviomarina que possuem características geológicas com areias esbranquiçadas quartzosas bem classificadas com ocorrência de leitos mais escuros associados à metais pesados e Neossolos Quartzarênicos Distrófico, Gleissolos Sáfico e Gleissolos Tiomórfico. Para planícies Flúvio-Lacustre e áreas de inundação sazonal, foram identificados arenitos argilosos com tonalidade variada e leitos conglomeráticos e presença de nódulos lateríticos na base e Neossolos e Gleissolos sáficos. Na planície fluvial do Rio Pacoti/CE encontramos argilas, areais argilas, quartzosas e feldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos argilo orgânicas com Neossolos e Gleissolos sáficos. Por último, temos os tabuleiros costeiros dissecados com interflúvios tabulares pertencente a suíte Messejana, como presença de tefritos, fonolitos, traquitos, tufos alcalinos e essexitos porfiríticos ocorrendo de forma associada ou individual com presença de Neossolos Quartzarênicos Distrófico e Argissolos vermelho amarelo Distrófico.

Alguns autores, como Souza (2000), destacam as unidades geomorfológicas de maior expressão, como podemos ver a seguir:

Os tabuleiros, constituem relevos predominantemente planos com trechos suavemente ondulados, distribuídos ao longo da região do litoral em faixa praticamente contínua, entre as planícies costeiras e as depressões sertanejas, apresentando larguras variáveis de até 60 km. São constituídos por sedimentos areno-argilosos de tonalidade variada com leitos conglomeráticos e nódulos lateríticos na base do Grupo Barreiras, datada do Tércio-Quaternário e sobrepostos diretamente sob o embasamento cristalino e em pequenos trechos sob rochas datadas do cretáceo (Souza,2000 apud Batista *et al.*, 2016).

Ainda podendo ser destacado o afloramento, referente à Suíte Intrusiva Messejana (Magmatismo Messejana) datada dos últimos eventos tectônicos devido à abertura do Oceano Atlântico. As planícies costeiras ou baixadas litorâneas são superfícies deposicionais de baixo gradiente, formadas por sedimentação predominantemente subaquosa. Elas margeiam corpos de água de grandes dimensões, como o mar ou oceano, e são comumente representadas por faixas de terrenos emersos, geologicamente muito recentes e compostos por sedimentos marinhos, continentais, flúvio-marinhos, lagunares, paludiais etc., em geral de idade quaternária (SOUZA, 2000 apud Batista *et al.*, 2016). Neste sentido, Suguio, 2010, apud Batista *et al.*, 2016) afirma que as flutuações dos níveis relativos do mar e o transporte longitudinal de areia por correntes de deriva litorânea, associados com mudanças paleoclimáticas, controlaram a evolução das planícies costeiras do Brasil.

O Rio Pacoti/CE possui o maior volume da bacia metropolitana (COGERH, 2003) e é barrado na cidade de Horizonte/CE sendo responsável pelo abastecimento hídrico das cidades de Fortaleza, Horizonte, Pacajus e Chorozinho (Cavalcante, 1998) possuindo uma bacia hidrográfica com cerca de 1.077 ha e uma bacia hidráulica de 3.700,000 ha (SRH, 2003) integrando o sistema Pacoti-Riachão-Gavião (Queiroz,2005).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Batimetria

Quando comparamos uma onda eletromagnética e uma onda acústica em corpos hídricos, a onda acústica é mais eficiente na propagação na coluna de água que a onda eletromagnética que é facilmente dispersa, principalmente em águas costeiras, regiões com altos de índice de turbidez (Lisniowski, 2020). Sendo o uso de métodos acústicos, o mais empregado e eficientes para estudos submersos.

A batimetria é um método acústico utilizado no ambiente marinho baseados em ondas sonoras (Harari, 2023), ainda segundo este autor, o método, funciona pela emissão e recepção destas ondas e interação com substrato no leito oceânico, sendo usado para determinação e representação de relevos submersos no continente, como lagoas e lagos, ou nos oceanos. Sua representação pode ser feita na forma de pontos, isolinhas ou modelos numéricos (Castello; Krug. Introdução às Ciências do Mar - Ciências do Mar Brasil, 2015).

Para este trabalho foi adotada a batimetria monofeixe com uso de equipamento de ecossonda, GPS, transdutor para emissão e recepção do sinal acústico, *notebook* para gerenciamento e armazenamento de dados a bordo da embarcação do tipo lancha, registrada como “Tainha” de propriedade do LABOMAR/UFC (Figura 5).

Figura 5 - Conjunto de equipamentos para aquisição de dados de geofísica subaquática a bordo da lancha “Tainha”; b) Ecossonda, vista frontal, com transectos orientando a rota para captura de dados; c) Embarcação “Tainha” de propriedade do LABOMAR/UFC.



Fonte: Acervo pessoal do Autor

### 5.1.1 Batimetria – Pré-campo e coleta de dados

A coleta de dados batimétricos ocorreu nos dias 22 e 23 de novembro de 2022 (período de estiagem) e nos dias 3,4 e 5 de julho de 2023 (fim do período chuvoso) no estuário de Rio Pacoti/CE com apoio do Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG/UFC/LABOMAR) durante campanhas do Programa Ecológico de Longa Duração da Costa Semiárida do Brasil (PELD CSB).

Para coleta dos dados de geofísica subaquática, foi elaborado mapa com transectos (Figura 4) partindo da margem oeste para leste e vice-versa em todo o curso do rio até o ponto mais a montante da foz, o ponto E9, sendo o limite da área de coleta e estudo do PELD CSB para o eixo 1 deste projeto.

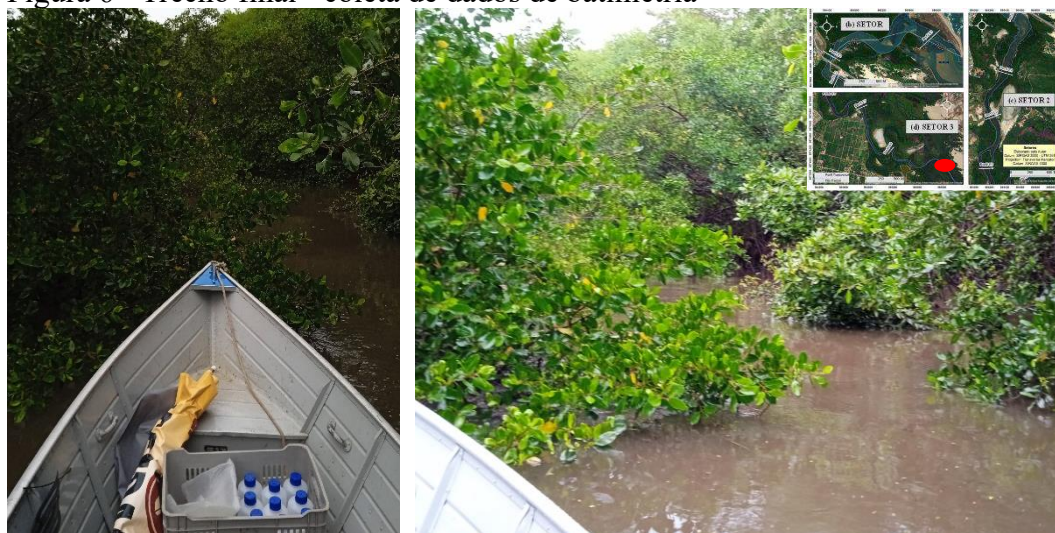
A ecossonda GARMIN GPSmap 526s *Sounder* foi montada em conjunto com transdutor na lateral da lancha, com distância (*offset*) de 0,20m até o fundo da embarcação, medida necessária no processamento dos dados para correção da maré.

A coleta e armazenamento dos dados foi feita em tempo real e com apoio de um notebook conectado a ecossonda e GPS sendo salvos em arquivo (txt) ACSII e no padrão da

NMEA (*National Marine Electronics Association*) que permitiu a leitura de dados de GPS e ecossonda ao mesmo tempo. O arquivo bruto é em uma sentença, linha de dados, de forma independente e autossuficientes. Possuindo características a cada tipo de equipamento, a sentença possui duas letras características na sua linha dados, como GP para GPS e SD para ecossondas. Foram criados arquivos de dados para cada subtrecho aquisitado referente a cada dia de coleta, a fim de prevenir perda de dados ou falhas durante os trabalhos, os arquivos foram salvos contendo dados de posição (latitude e longitude), data, hora UTC e cota em metros, sendo usados as sentenças com os padrões \$GPGLL e \$SDDBT para pós-processamento.

Vale salientar que a coleta de dados foi interrompida devido a dificuldades de navegação da lancha no trecho a partir do ponto E8, quando o canal fluvial fica mais estreito e a vegetação de mangue cresce em direção ao centro do canal, impossibilitando a navegação (Figura 6) .

Figura 6 - Trecho final - coleta de dados de batimetria

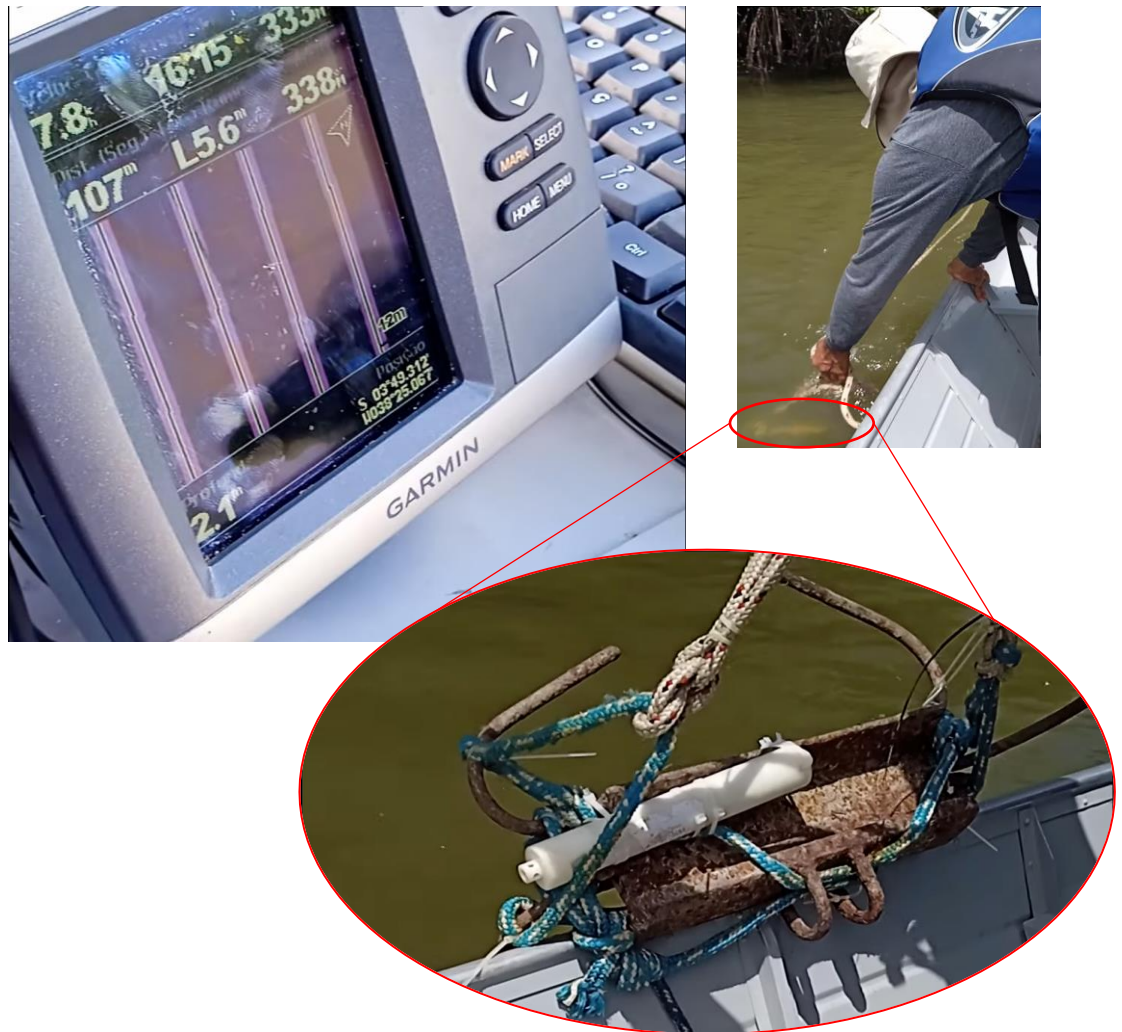


Fonte: Acervo pessoal do Autor

### 5.1.2 Processamento de dados batimétricos

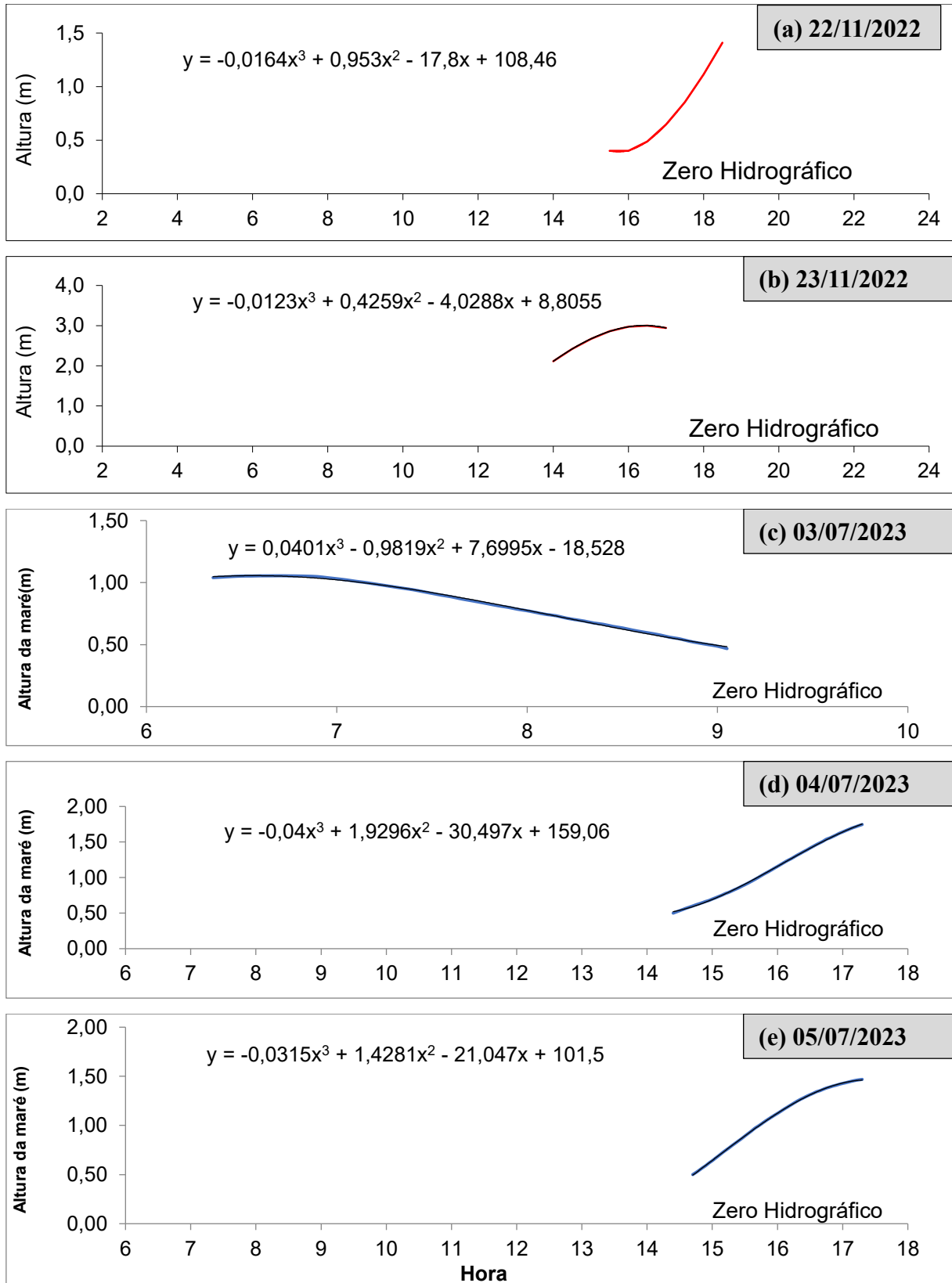
Os dados brutos foram copiados para planilhas do *software* Excel e pós-processado, fazendo a correção de maré a partir da coleta de dados *in situ* por um sensor de pressão RBR modelo TWR-2050 (Figura 7), que mede a variação da coluna d'água durante o período de coleta de dados batimétricos, criando ao final, uma equação polinomial de terceiro grau que serve para redução de maré para cada dia de coleta (Figura 8).

Figura 7 - Sensor de Pressão para correção de maré e Ecossonda



Fonte: Acervo pessoal do Autor

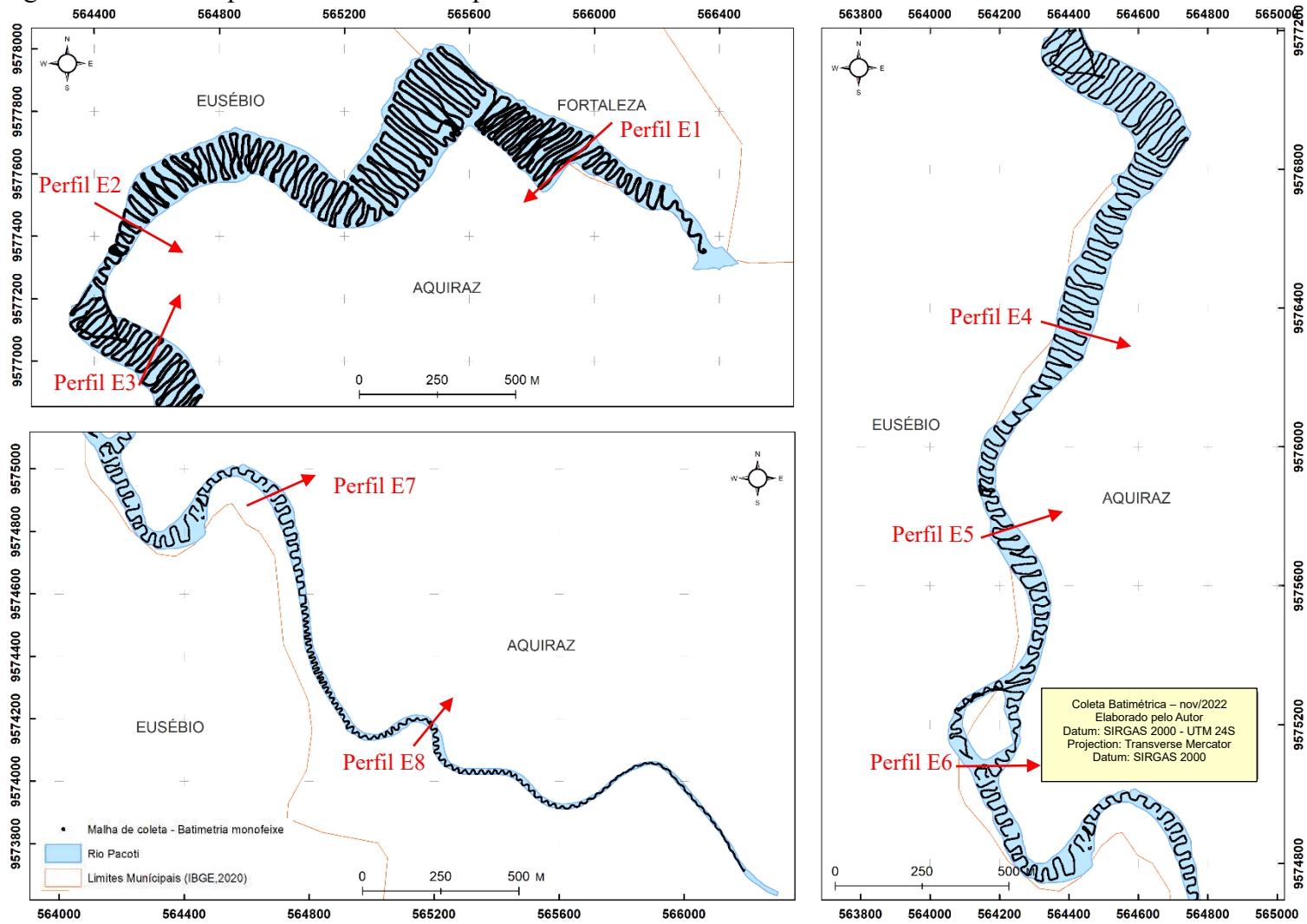
Figura 8 – Exemplo de equação polinomial para correção de maré



Fonte: Elaborado pelo Autor

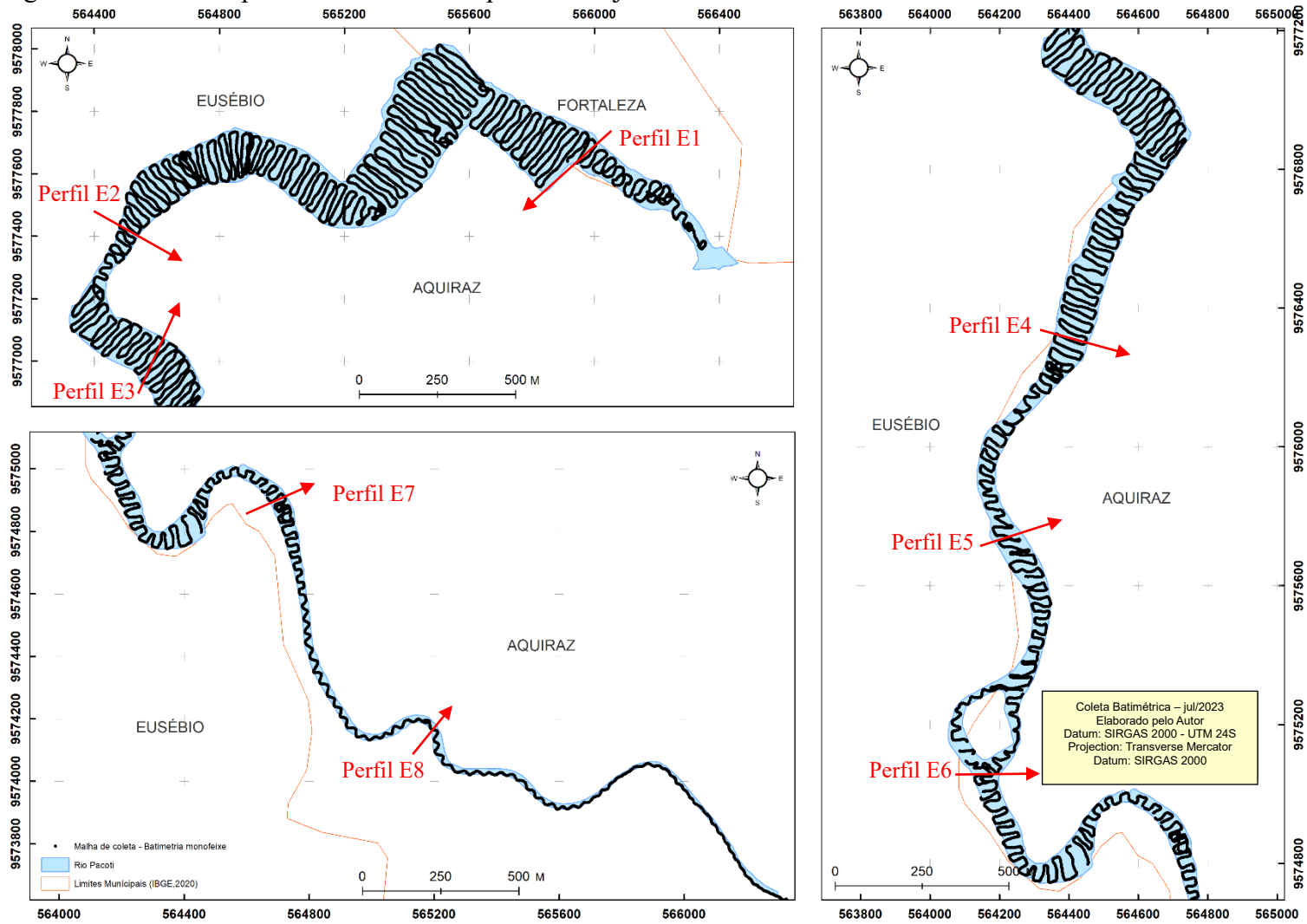
Para criação do modelo digital de elevação (MDE), a partir dos dados “XYZ” foi adotado o método ‘*TopoToRaster*’ (Hutchinson, 1988, 1989) disponível no *software* ESRI – ArcGis (disponibilizado pela Professora Laldiane Pinheiro/UNIFOR) baseado no método de diferenças finitas e com otimização computacional para métodos de interpolação locais. Este MDE respectivos a cada mês de coleta, foi interpolado a partir dos pontos de amostragem de cada período (Figura 9 e 10) para uma melhor representação e melhor estrutura de drenagem (“ArcGIS Desktop Help 9.3 - Using the Topo to Raster tool”) quando comparado a outros métodos testados, como “IDW” ou “Krigagem”.

Figura 9 - Malha de pontos batimétricos aquisitados - novembro/2022



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 10 - Malha de pontos batimétricos aqisitados - julho/2023



Fonte: Elaborado pelo Autor

## 5.2 Benthic Terrain Modeler (BTM)

### 5.2.1 Teoria e Conceitos

O *Benthic Terrain Modeler* (BTM), programa de código aberto, surgiu de uma parceria em 2005, dentro da *Oregon State University* como um acordo de cooperação vinculado ao programa de integração e desenvolvimento GIS do NOAA *Coastal Services Center* (CSC) (Wright *et al.*, 2005), podendo ser usado para analisar terrenos bentônicos e classificar e identificar características do fundo marinho, sendo usado para estudos de geomorfologia, projetos de áreas marinhas, previsão de distribuição de espécies de peixes com hábitos bentônicos e estudar habitats bentônicos. (Matt Pendleton *et al.*, 2023).

Sua última versão, BTM – versão 3.0 (Walbridge *et al.*, 2018), é uma colaboração entre o NOAA CSC e o ESRI, com agradecimentos também ao Escritório de Gerenciamento da Zona Costeira de Massachusetts, à Cal State University Monterey Bay, ao Instituto de Ciências Marinhas da UC-Santa Cruz e à Divisão de Ecologia Pesqueira da NOAA.

A modelagem bentônica é um conjunto de ferramentas ESRI *ArcMap* usadas para classificação semiautomática de fundo bentônico (Lundblad *et al.*, 2006) adotando dados de cota, como os obtidos através de sensoriamento remoto em trabalhos de (Conti *et al.*, 2020) e (Walbridge *et al.*, 2018), ou ainda, aqueles que usam os métodos convencionais de geofísica, como batimetria multifeixe adotado por (Lundblad *et al.*, 2006). Faz parte do processo, a declividade, ou inclinação, adotadas para alguns autores como Lundblad *et al.* (2006) e o Índice de Posição Batimétrica, termos em inglês, *Bathymetric Position Index* - BPI (Conti *et al.* 2020).

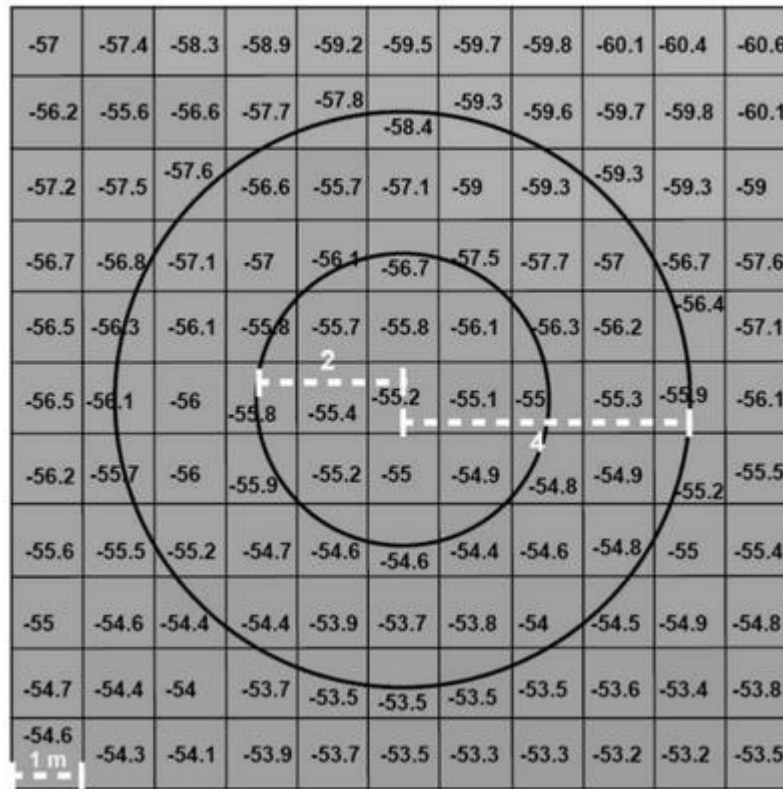
A Inclinação (*Slope*) é a derivada de primeira ordem da análise superficial da extensão espacial, sendo que os valores obtidos, em graus, são derivados individualmente para cada célula como uma taxa máxima de mudança para as células da vizinhança. (Lundblad *et al.*, 2006)

Outro parâmetro, o BPI, atua numa tentativa de descrever quantitativamente o relevo bentônico baseado em MDE ou conjunto de dados equivalente (Rinehart *et al.*, 2004). Esta ferramenta é “uma derivada de segunda ordem, pois é derivada da inclinação da batimetria modificada do índice de posição topográfica” (Guisan *et al.*, 1999 e Weiss, 2001) e definido posteriormente por Weiss (2001) e Iampietro e Kvitek (2002) como sendo uma versão marinha do (TPI).

Este método está baseado na diferença entre a elevação de uma célula focal (*Inner Radius*) em relação à média das células vizinhas (*Outer Radius*) baseados nas escala ampla (*Broad Scale BPI*) e escala fina (*Fine Scale BPI*) formando dois círculos concêntrico – *Inner* e

*Outer Radius* como explica (Conti *et al.*, 2020), podendo ser de forma retangular ou forma de anel (Figura 11) a escolha do usuário segundo (Rinehart *et al.*, 2004).

Figura 11 - Delimitação dos anéis circunscritos - *Inner e Outer Radius*



Fonte: Lundblad *et al.*, 2006.

Estes processos, Broad Scale BPI e Fine Scale BPI, facilitam a captura de ‘fenômenos’ que dependem da escala dos dados envolvidos, sendo que, quando comparados com escalas dominantes, permitem uma forma simples de incorporar a análise multiescalar básica (Rinehart *et al.*, 2004). O algoritmo dessas ferramentas, segundo Lecours *et al.*, (2016), são iguais internamente apesar de serem processados em momentos diferentes.

Após a análise destas escalas, é possível mesclar em uma única grade de BPI, com características amplas e finas, captando a heterogeneidade espacial interescolar do MDE/MDT (RINEHART *et al.*, 2004), por fim, estes dados passam por uma padronização para serem usados posteriormente.

A classificação é baseada em um “dicionário de classificação” (Walbridge *et al.*, 2018;Conti *et al.*, 2020) que contem parâmetros diferenciados para cada tipo de terreno bentônico. Segundo Conti *et al.*, (2020), esse dicionário adota valores empíricos, estando sob subjetividade e dependente da tentativa e erro do analisador (Ierodionou *et al.*, 2018).

### 5.2.2 Processamento dos Dados – BTM

O processamento de dados para o BTM – versão 3.0 tem como requisitos o software ArcGIS 10.1 ou superior, criado em 14 de novembro de 2012 e com última atualização em 29 de setembro de 2022 quando foi atualizado para suportar a linguagem de programação “Python 3” (ESRI ARCGIS, 2016) o uso de dicionários de classificação do Software Excel. O tutorial completo e arquivos para instalação, além de podem ser encontrados na plataforma GitHub, no link: <https://github.com/EsriOceans/btm>.

Para este processamento foi adotado o documento “Tutorial - *Benthic Terrain Modeler for ArcGIS 10.1*” (NOAA; ESRI, 2013) com orientações da instalação até criação de mapa de classificação final.

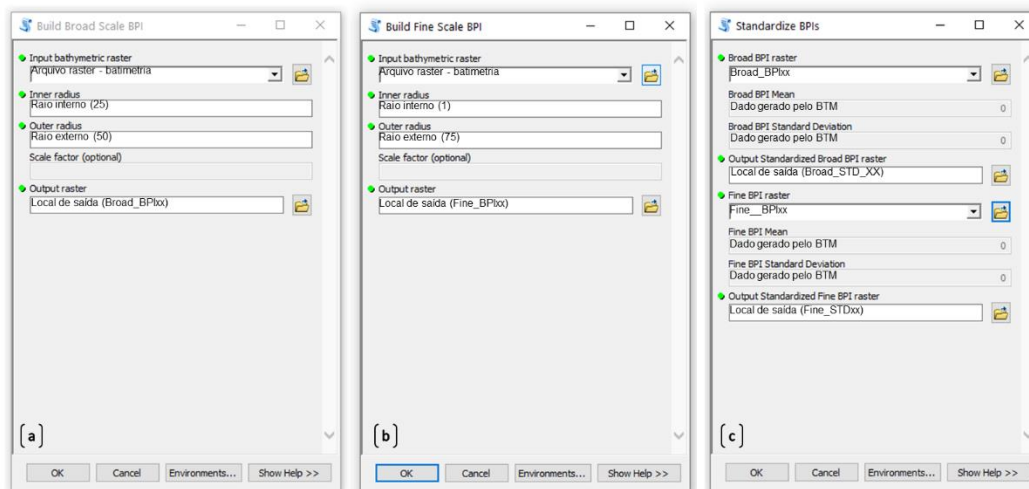
O primeiro passo foi o MDE gerado pelas batimetrias em novembro de 2022 e julho de 2023 com resolução de cada *pixel* de 5mx5m, conforme a metodologia adotada no processamento descrito no tópico “2.1.2 Processamento batimétrico”.

O segundo passo, acontece com o uso da Ferramenta BPI (Figura 12), onde há três processos relacionados: Ampla escala - *Broad Scale* BPI, fina escala - *Fine Scale* BPI e *Standardize* BPI Grids. Como já dito antes, estes processos possuem contexto empírico e são do tipo, tentativa e erro.

Para este estudo, no processo para o *Broad*, foram adotados valores iniciais de parâmetro de escala de “15” baseados em (Conti *et al.*, 2020), no entanto, após quinze (15) testes, constatamos que o valor de “250” para fator de escala, equivalente ao *Scale factor*, gerava melhores representações da região estudada nos produtos. Foi adotado então, o valor de “250” para fator de escala para o *Broad* e para processamento do *Fine*, após treze (13) testes, foi adotado fator de escala de “75”.

O terceiro passo, constitui a padronização dos dados através da ferramenta BPI com o processo “*Standardize* BPIs”, onde os arquivos para ampla e fina escala são retrabalhados nestas ferramentas para gerar novos arquivos padronizados.

Figura 12 - Interface BTM para Ferramenta BPI



Fonte: Conti *et al.*, 2020.

O quarto passo, é uma ferramenta do menu “*geomorphometry*”, o cálculo da inclinação, em graus, a função *Slope*. Este processo calcula a inclinação a partir da derivada de primeira ordem da superfície, sendo adotada a metodologia de (Horn, 1981) e gerando um arquivo raster com padrão “*Slope*”

O quinto passo está associado ao dicionário de classificação, anteriormente baseado em arquivo com formato *Extensible Markup Language* (XML), uma linguagem adotada para estruturar e armazenar dados de forma coerente a serem “lidos” por máquinas com essa função ainda ativa na última versão do BTM.

Para este mapeamento foi usado planilha do tipo “CSV” devido a maior facilidade e aceitação do plugin. O dicionário consiste em uma planilha com a primeira coluna possuindo códigos de classe, a segunda com nomes descritivos da estrutura, zonas ou quaisquer outras classificações e as colunas restante, definem intervalos mínimos e máximos para cada classe de saída (NOAA e ESRI, 2013).

Inicialmente, foi adotado o dicionário de classificação (Tabela 2) baseado em (Conti *et al.*, 2020) por estar numa região de baía estuarina e, na data de início desta pesquisa, ser o único neste tipo de ambiente. No entanto, assim como na ferramenta BPI, o uso deste dicionário sem alterações não gerava produtos minimamente coerentes com a área. Para isso, o dicionário passou por adaptações, principalmente nas colunas “*depth*” - cota, assim, após tentativa e erro, foi adotado o “dicionário4.csv” (Tabela 3).

Tabela 2 - Dicionário de classificação (Conti *et al.*, 2020)

Class	Zone	Zonas	BroadBPI_Lower	BroadBPI_Upper	FineBPI_Lower	FineBPI_Upper	Slope_Lower	Slope_Upper	Depth_Lower	Depth_Upper
1	gentle slopes		-100	0			3	10	2	
2	ridge tops		0	100	0	100		5		
3	channel flats		-100	10			0	5	6	2
4	coastal slope		100						5	0
5	depressions		-240	-5				4		3
6	shallow flats		0	100			0	5	1,5	0,5
7	flat plains		0	100						1,5
8	slopes		-120	60	-150	100	5	20		
9	shallow ridges		-100	0			0	5	1,5	0,5

Fonte: Conti *et al.*, 2020.

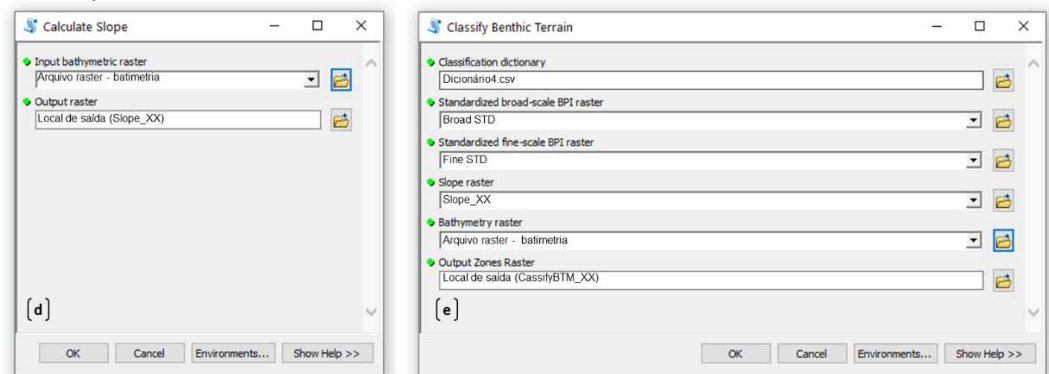
Tabela 3 - Dicionário de classificação 4 (adaptado Conti *et al.*, 2020)

Class	Zone	Zonas	BroadBPI_Lower	BroadBPI_Upper	FineBPI_Lower	FineBPI_Upper	Slope_Lower	Slope_Upper	Depth_Lower	Depth_Upper
1	gentle slopes		-100	0			3	10	1	
2	ridge tops		0	100	0	100		5		
3	channel flats		-100	10			0	5	6	-0,4
4	coastal slope		100							
5	depressions		-240	-5				4		
6	shallow flats		0	100			0	5		
7	flat plains		0	100						
8	slopes		-120	60	-150	100	5	20		
9	shallow ridges		-100	0			0	5		

Fonte: Adaptado pelo Autor com base em Conti *et al.*, 2020.

O sexto e último passo, para este trabalho, foi a criação, de fato, da classificação dos terrenos bentônicos (*Classify Benthic Terrain*) (Figura 13), nesta etapa, os seguintes foram inseridos na ferramenta: dicionário de classificação, ampla e fina escala padronizados, inclinação, batimetria. A partir desse conjunto de arquivos foi gerado a classificação de terrenos bentônicos para região do Estuário de Rio Pacoti/CE.

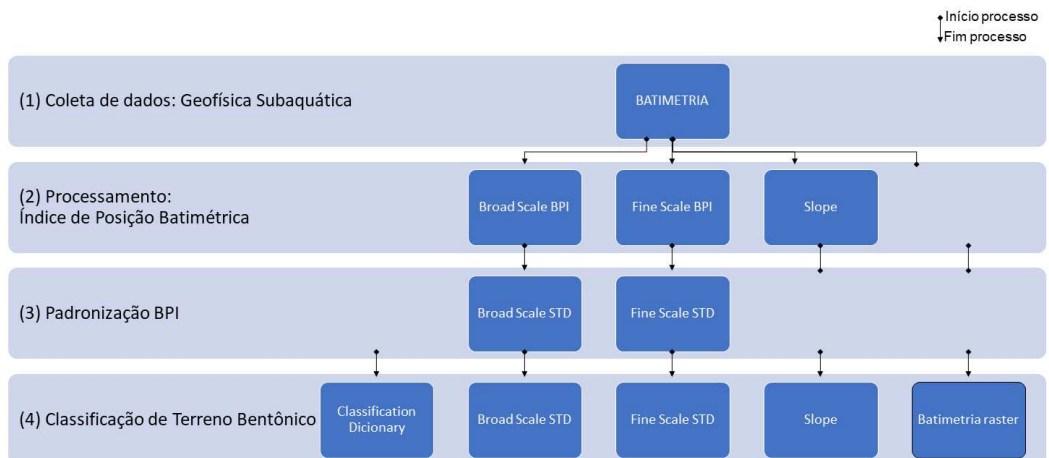
Figura 13 -Interface - Classificação dos terrenos bentônicos (*Classify Benthic Terrain*)



Fonte: Elaborado pelo Autor

Após o processamento de dados para o BTM, foi criado um fluxograma (Figura 14) com base neste trabalho com intuito de melhorar a compreensão e processos para a modelagem em processos futuros.

Figura 14 - Fluxograma de Processamento BTM



Fonte: Elaborado pelo Autor

O uso do BTM resulta em mapas (imagens), para cada ferramenta, do tipo raster em formato “.tif”, o que permite o armazenamento de dados sem perda da qualidade. Para

levantamento quantitativos, como o levantamento de áreas, os arquivos foram convertidos para arquivos vetoriais em formato “.shp”.

### **5.3 *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)***

#### **5.3.1 *Análise Temporal de Paisagens com Uso do Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)***

Os processos naturais, sejam fluviais ou oceanográficos, como ondas, correntes e mares são capazes de influenciar corpos hídricos ao longo do tempo, assim como processos antrópicos, como o barramento de rios (Pinheiro, 2003; Pinheiro *et al.* 2006; 2008) reduzindo vazões e concentrações de sedimento e formando bancos arenosos na foz (Dias, 2005) sendo comum nos estuários no Estado do Ceará.

Essas variações, ficam clara no trabalho de Rocha (2013) que constatou o aumento de 2 vezes da área de manguezal no ano de 2011 como resultado do barramento no Rio Pacoti/CE que culmina na formação de bancos arenosos permitindo o crescimento de vegetação de mangue. Diante disso, foi adotado o uso do plugin SCP no *software* Qgis 3.22 para verificar as possíveis variações para classes do BTM e, quais foram essas modificações e quanto cada classe variou.

#### **5.3.2 *Processamento dos dados – Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)***

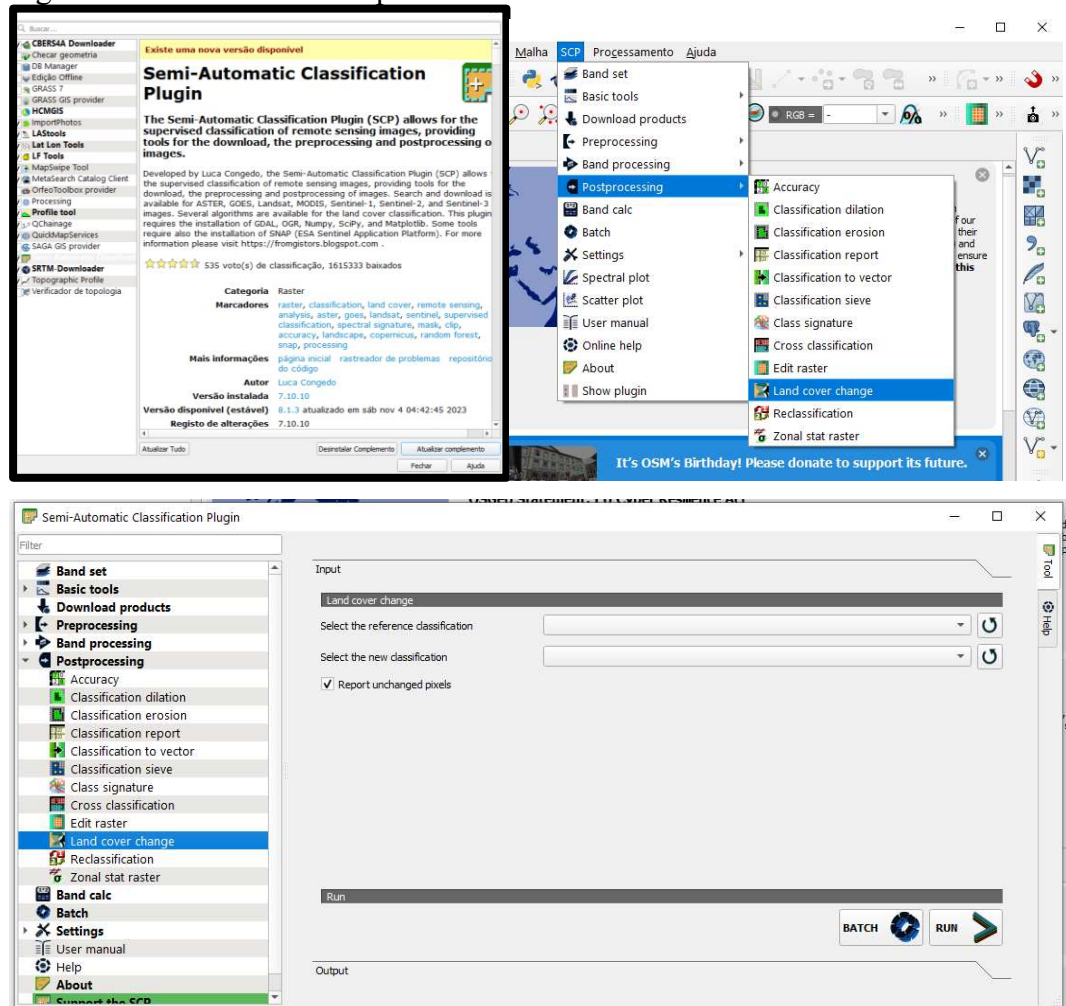
O plugin *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*, em tradução livre, plugin de classificação semiautomática (CONGEDO, 2021b) foi desenvolvida por este autor com objetivo geral de facilitar o monitoramento da cobertura do solo para usuários que fogem ao campo do sensoriamento remoto. Estando na versão 7.10.11 para Qgis 3.0.0 ou superior deste 10 de março de 2023, conta com 133.266 download em 23 de setembro de 2023 (CONGEDO, 2021a).

Na comparação feita por este autor, foi verificado as modificações (ou não) de regiões tendo como base o mapa de classificações BTM de novembro/2022 comparando ao mapa de julho/2023.

Assim foi adotado o processo “*Land cover change*”, em tradução livre, mudança de cobertura do solo na aba “*postprocessing*” desta ferramenta (“GitHub - semiautomaticgit/SemiAutomaticClassificationPlugin”). Essa função (Figura 15) permite comparar alterações entre dois arquivos e suas respectivas classificações/polígonos existentes em cada um destes. O resultando é um mapa onde cada pixel será uma categoria de comparação

entre as classes presentes nos arquivos de entrada além de um arquivo CSV com os dados quantitativos destas alterações (“3.4.5.10. Mudança de cobertura do solo — Documentação do plug-in de classificação semiautomática 7.9.7.1”).

Figura 15 - Interface do complemento SCP



Fonte: Capturado do Software QGis 3.26.2 pelo Autor

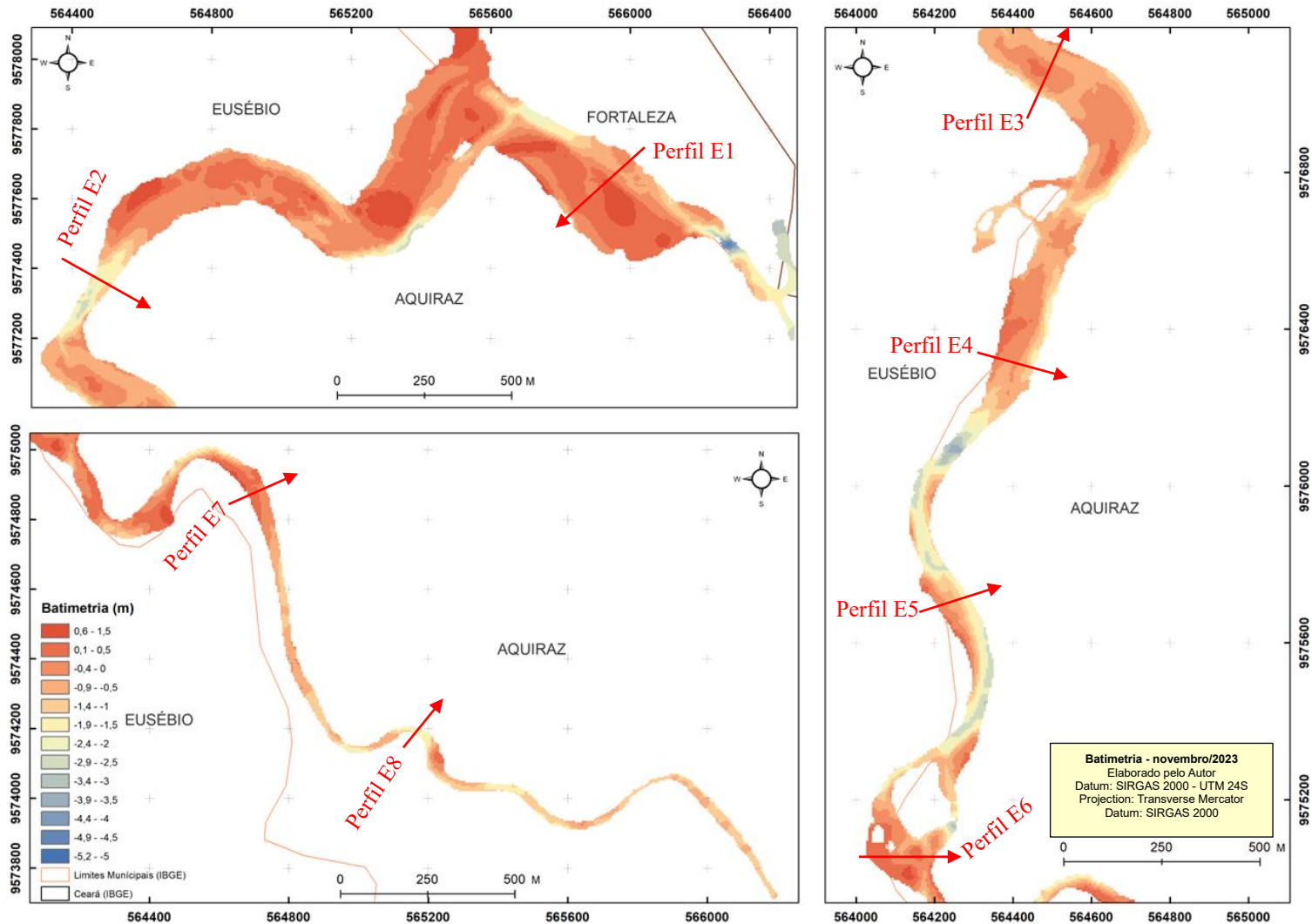
## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Batimetria**

Ao final de cada processamento, foi criado um MDE para cada período de coleta, sendo novembro/2022 o período de estiagem e, julho/2023, o período pós-chuva à região.

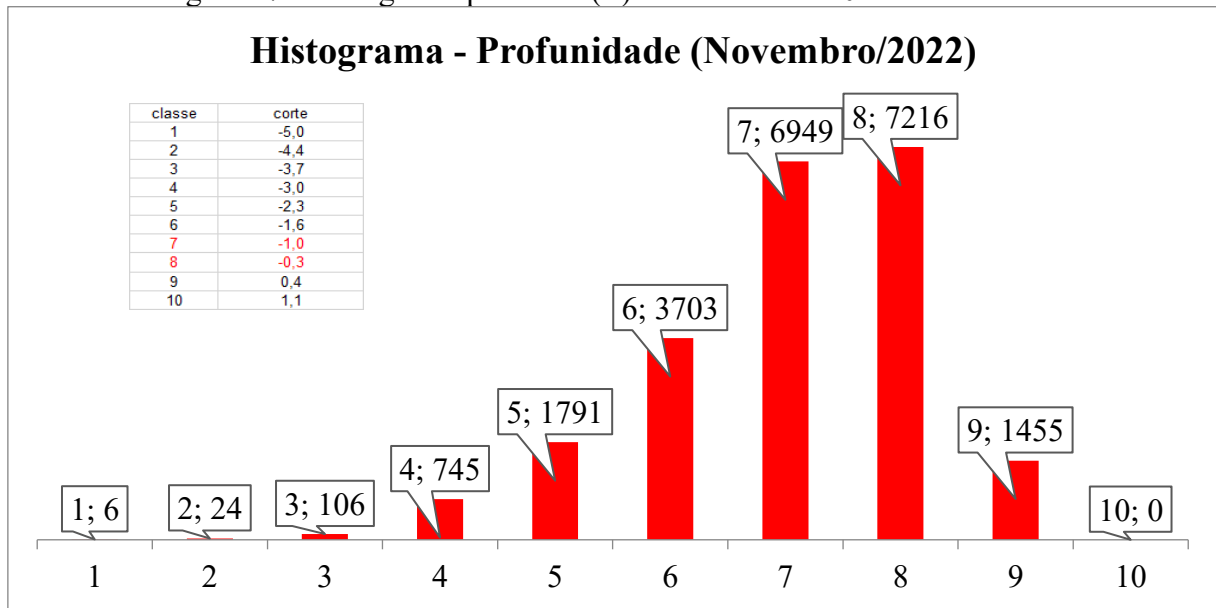
Em novembro/2022 (Figura 16), foi observado uma cota média de -0,61m, com valor máximo de 1,08m e, mínimo de -5,71m, gerando uma variação entre esses valores de 6,79m (Figura 17). A maior cota para este período foi encontrada no setor 1, próximo a foz, na região da desembocadura, aproximadamente, 100 metros do mar. Outro local de maiores cotas, menores que a máxima, fica na região abaixo da ponte sobre o Rio Pacoti/CE e, na região entre os perfis E5 e E6, com cota próxima de -3,5m. Neste mapa, fica claro o canal de navegação seguido durante as coletas de campos, quando foi necessário manter-se a esquerda, quando em direção a nascente, para que a lancha tivesse calado suficiente para navegação, e ainda assim, muitas vezes foi necessário o desembarque para alterar o trecho de coleta para que a região, após subida da maré, ganhasse navegabilidade. No setor 3, as alterações são menos visíveis e serão apresentadas com base nos perfis de calha E7 e E8.

Figura 16 - Batimetria - novembro/2022



Fonte: Elaborado pelo Autor

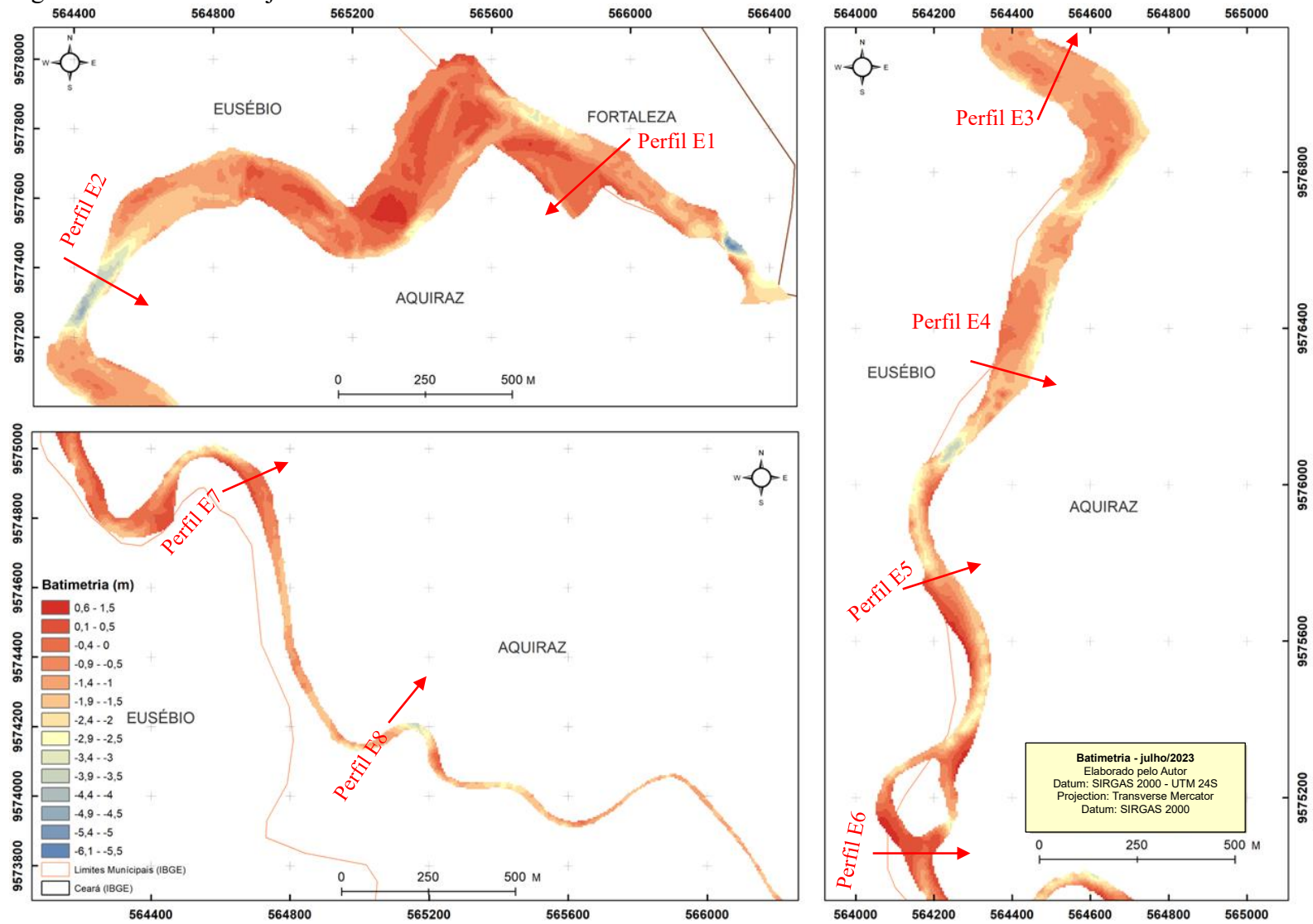
Figura 17 - Histograma para cota (Z) em novembro/2022



Fonte: Elaborado pelo Autor

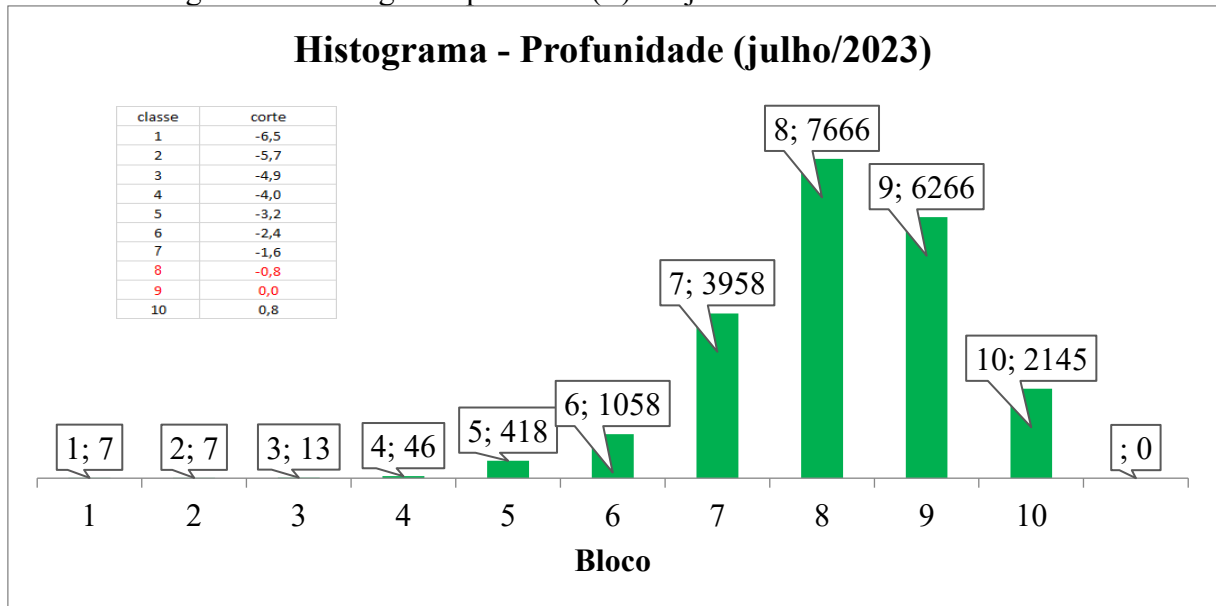
Na batimetria de julho/2023 (Figura 18) tivemos uma cota média de -1,08m, com valor máximo de 0,83m e, valor mínimo, de -7,29m, uma variação de cota total de 8,12m ao longo do rio neste período (Figura 19). Frente ao mapeamento em novembro, destaca-se o mesmo ponto já citado, sendo que para o ponto próximo a foz, houve aumento da cota e ao redor do ponto citado, ver uma modificação gerando menor cota. Para o trecho da ponte, foi percebido o aumento pontual e aprofundamento do canal em direção à nascente por aproximadamente 150m. No ponto mais à montante e, próximo ao perfil E5, vemos a perda de cota do canal, que chegava a -3,0m em boa parte dele e passou para cotas próximas de -1,0m ou até menores, em pontos mais a oeste do rio. Assim como na batimetria de novembro/2022, o setor será apresentado com os perfis correspondentes.

Figura 18 - Batimetria - julho/2023



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 19 - Histograma para cota (Z) em julho/2023



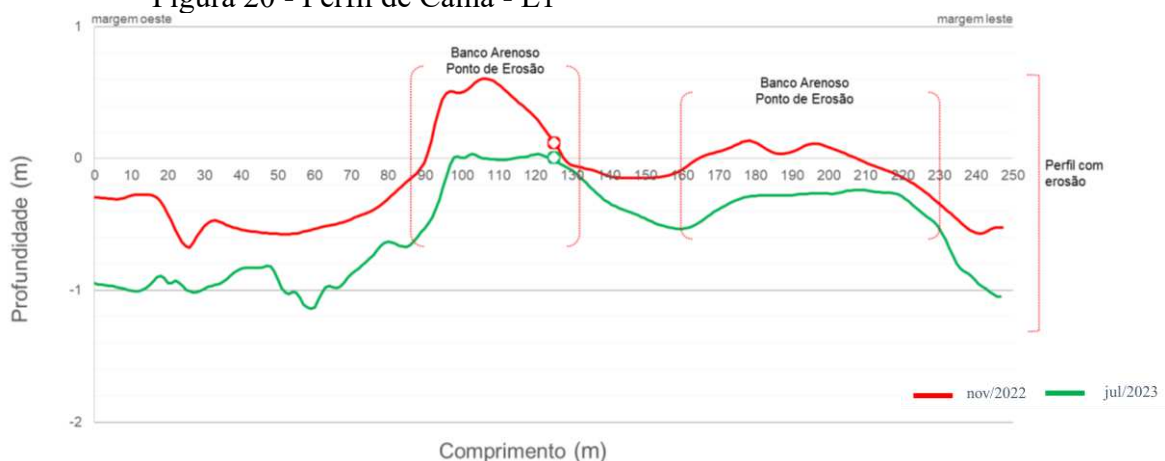
Fonte: Elaborado pelo Autor

## 6.2 Perfis de Calha

Os perfis de calha foram adotados para facilitar a percepção da variação sazonal, no entanto nem sempre essas alterações ficam claras com o uso de mapas batimétricos.

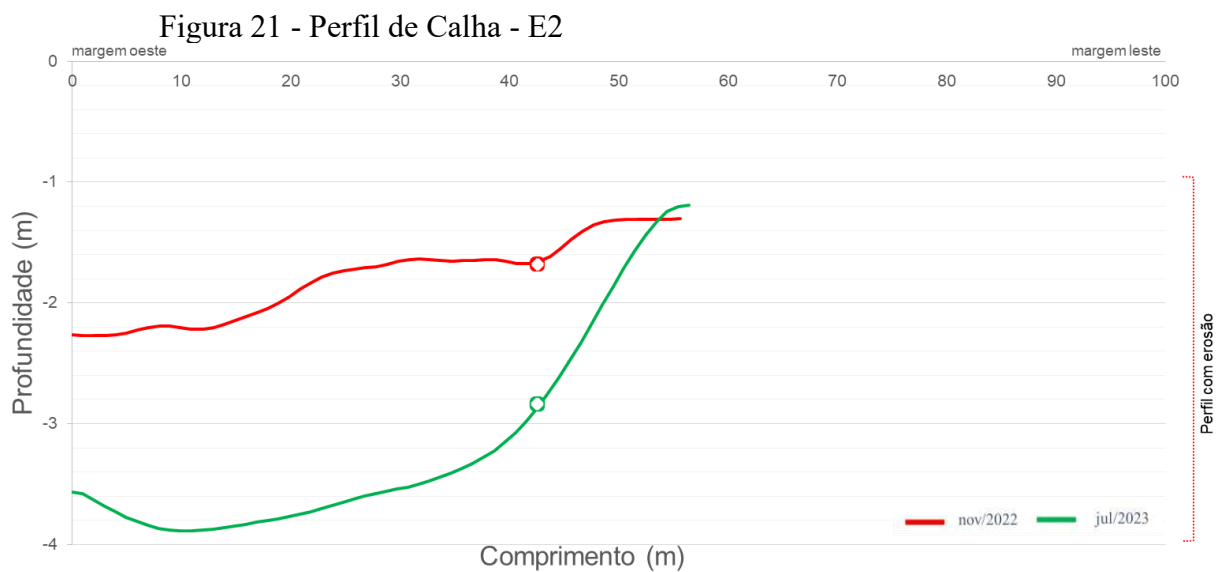
O perfil E1 (Figura 20), em novembro/2022, tinha cota máxima de -0,68m, já em julho de 2023, passou a ter uma cota máxima de -1,14m, um indicativo de que este perfil passou por processos de erosão. As alterações neste perfil ficam evidenciada e claras no comparativo, principalmente quando olhamos para o banco arenoso que passou de cotas positivas (0,61m) para cotas negativas em toda sua extensão, com aproximadamente, 250,0 metros.

Figura 20 - Perfil de Calha - E1



Fonte: Elaborado pelo Autor

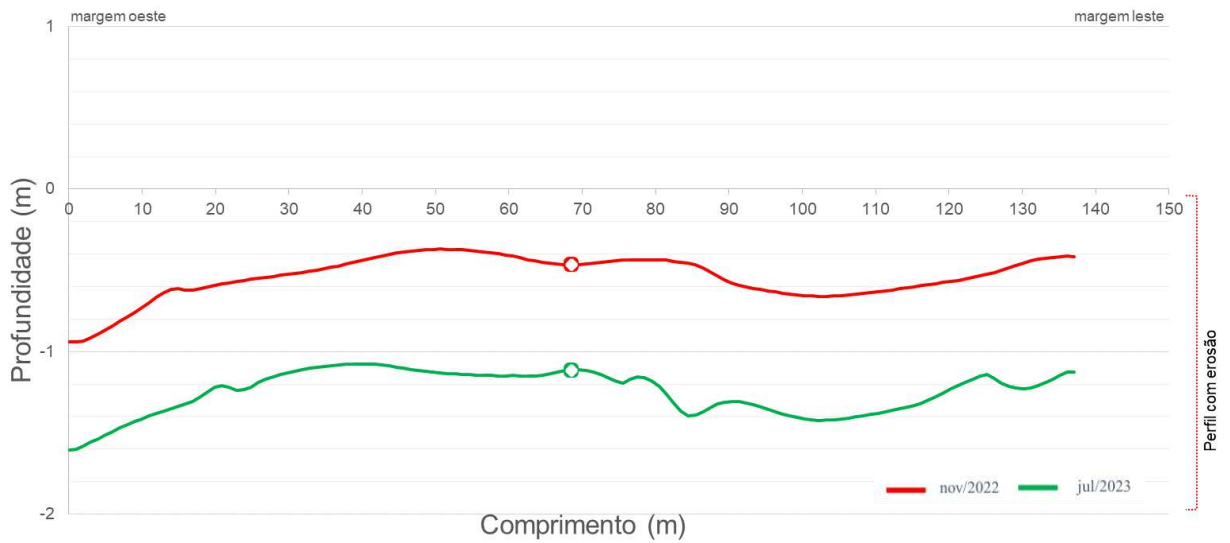
O perfil E2 (Figura 21), com extensão aproximada de 56,62m, em novembro de 2022 tinha a cota mais profunda, a cota de -2,27m, enquanto em julho de 2023, esse valor passou a ser de -3,89m. Possuindo ainda, cotas mais altas de -1,30m e -1,19m, para novembro de 2022 e julho/2023, respectivamente. Outra vez, fica evidenciado que este perfil passou por processos erosivos no intervalo entre as coletas, destacando as variações entre cota máxima e mínima, de 0,97m em novembro/2022 e 2,70m em julho e o exagero do canal, ficando mais côncavo.



Fonte: Elaborado pelo Autor

O Perfil E3 (Figura 22), que tem aproximadamente 137,08m, possuía cota máxima de -0,94m em novembro e passou a ser -1,61m em julho de 2023. Em relação às cotas mais altas, passou de -0,37m para -1,08, sendo uma variação de 0,57m em novembro e 0,53m em julho. Neste ponto, temos a presença de banco arenoso próximo a uma duna móvel que migra rio adentro, este banco teve menores variações quando comparado ao perfil E1 e E2.

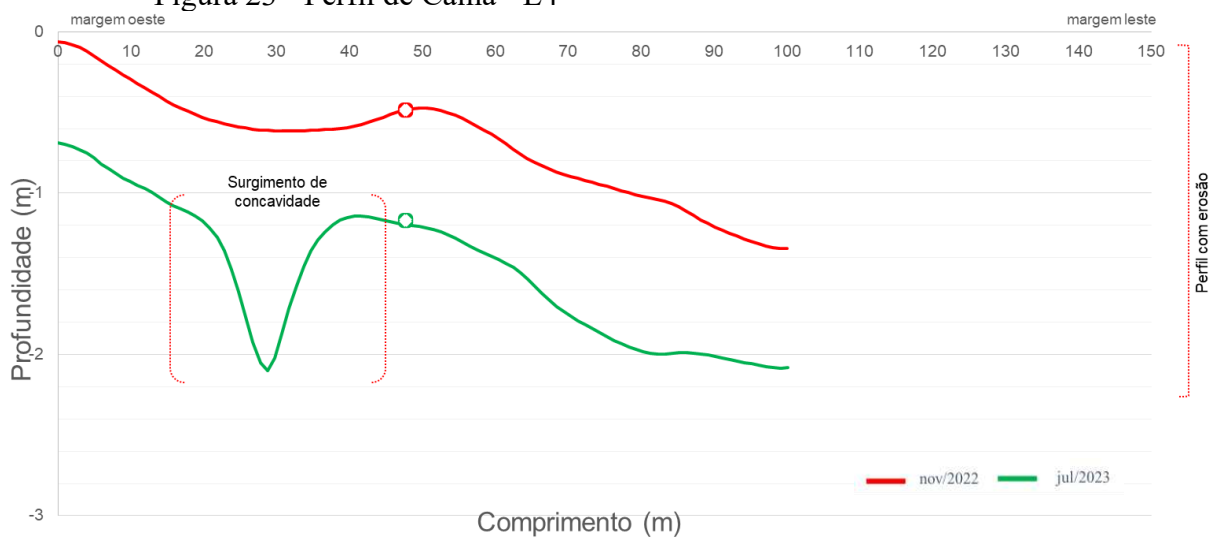
Figura 22 - Perfil de Calha - E3



Fonte: Elaborado pelo Autor

O perfil E4 (Figura 23), teve uma variação entre mínima e máxima de 1,28m e 1,41m, variações de -1,34m e -2,10m para cotas mais profundas e -0,06m e -0,69m para cotas mais altas, respectivamente para novembro e julho, e conta com extensão aproximada de 100,0m. Apesar da variação ser relativamente próxima entre cada período, este perfil teve erosão significativa, observada pelo surgimento de uma concavidade mais próxima da margem oeste.

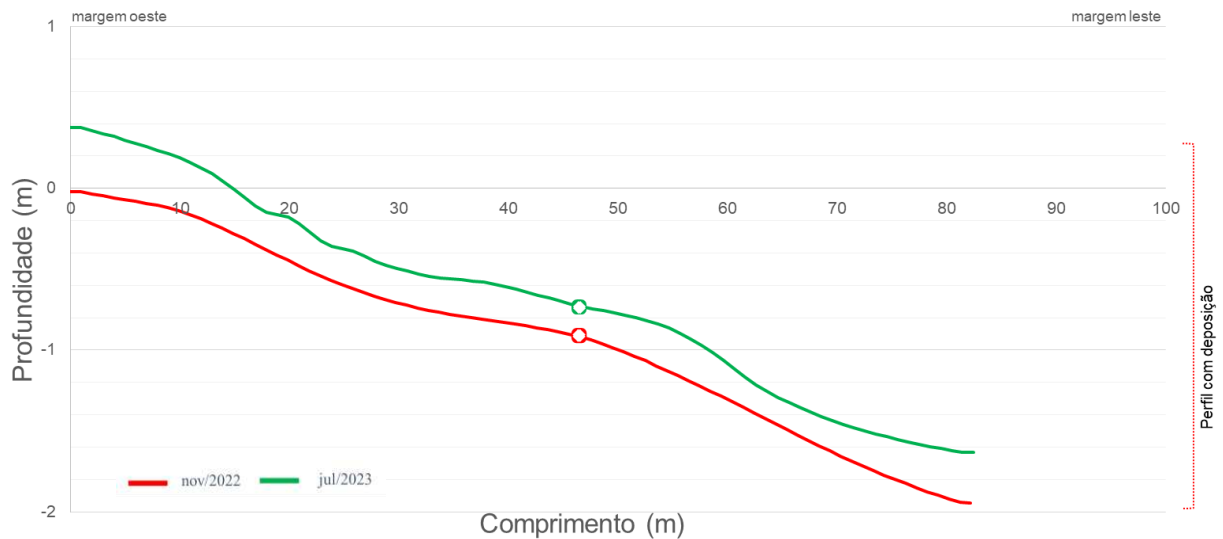
Figura 23 - Perfil de Calha - E4



Fonte: Elaborado pelo Autor

O perfil E5 (Figura 24) com extensão de 82,22m, passou de cotas mínimas de -1,95m para -1,63m, cotas máximas de -0,02m para 0,38m, e variação de 1,93m para 2,01m para novembro/2022 e julho/2023, respectivamente. Mantendo no geral sua inclinação e características, sendo o único perfil a apresentar, em toda sua extensão, processo de deposição.

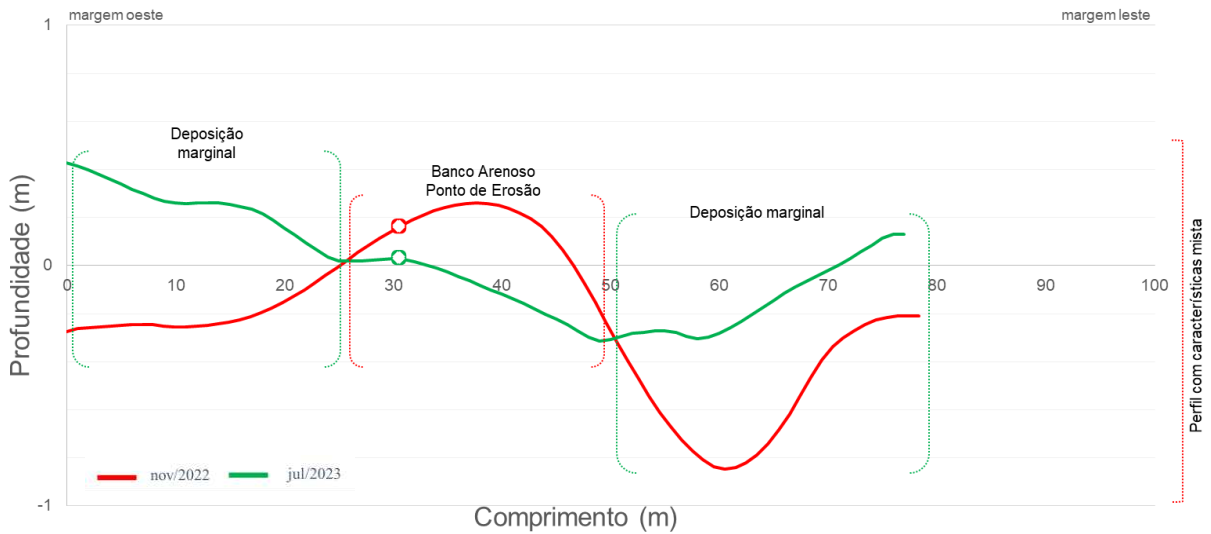
Figura 24 - Perfil de Calha - E5



Fonte: Elaborado pelo Autor

O perfil E6 (Figura 25) passou de cota mínimas de -0,85m para -0,32m, cotas máximas de 0,26m para 0,43 e variação entre estes padrões de 1,11m para 0,74m, para novembro/2022 e julho/2023, respectivamente. Este perfil, com extensão de 78,32m, possui características mistas de deposição, nas duas margens, destacando a margem leste com surgimento de concavidade com maior inclinação e de erosão no banco arenoso, localizado no centro do perfil e exemplificado pelas cotas positivas.

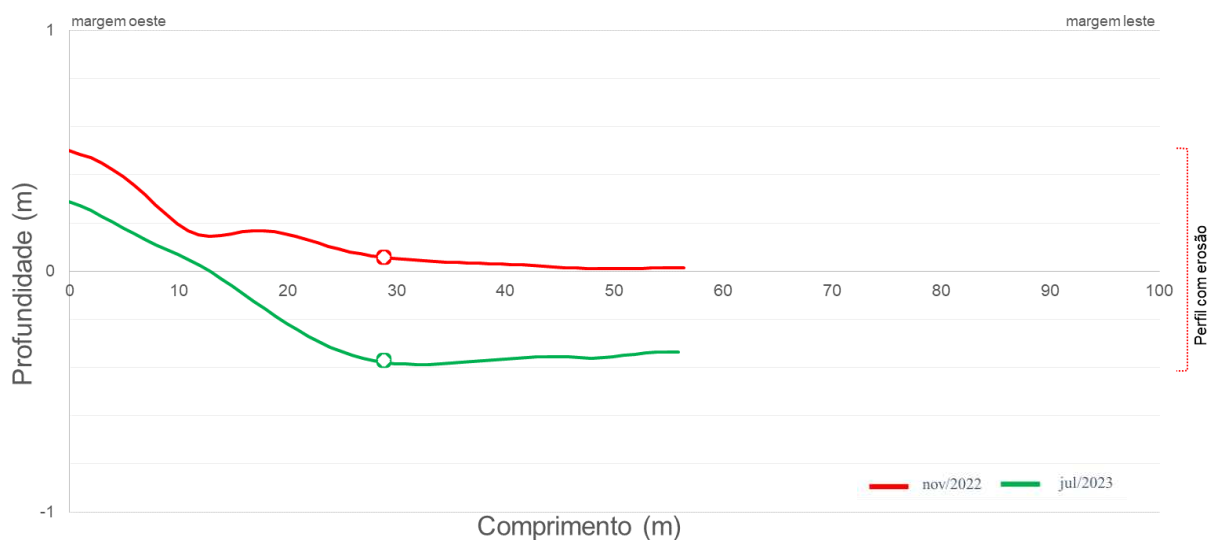
Figura 25 - Perfil de Calha - E6



Fonte: Elaborado pelo Autor

O perfil E7 (Figura 26) de aproximadamente 56,41m de comprimento, variou com cotas positivas indo de 0,01m a 0,5m em novembro/2022 e em julho/2023, indo de -0,39m a 0,29, com, aumentando o intervalo entre estes padrões de 0,49m para 0,68m em novembro/2022 e julho/2023, respectivamente. Mais uma vez, temos perfil com erosão e um aumento da declividade na margem a oeste.

Figura 26 - Perfil de Calha - E7

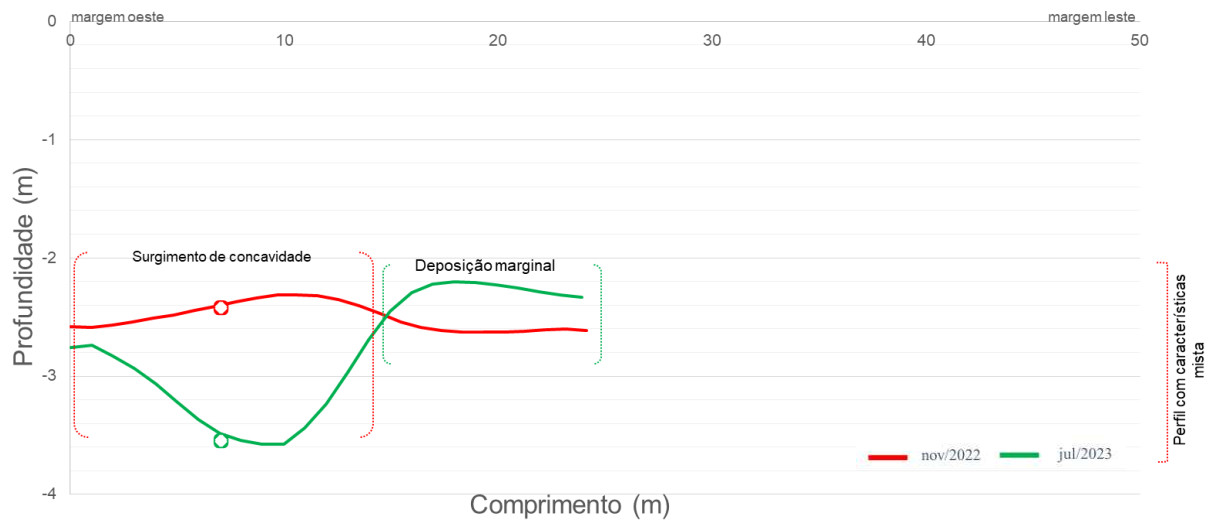


Fonte: Elaborado pelo Autor

O perfil E8 (Figura 27) com apenas 24,13m de comprimento, em novembro/2022 possuía variação de apenas 0,32m, indo de -2,63m a -2,31m, apresentando um perfil com baixa

variação e inclinação. Em julho/2023, uma variação de 1,38m, indo de -3,58 a -2,2m. Este perfil apresentou erosão na margem oeste, passando a ter a maior cota, marcada pelo surgimento de concavidade e, na margem leste, uma região de deposição.

Figura 27 - Perfil de Calha - E8



Fonte: Elaborado pelo Autor

## 6.3 BTM

### 6.3.1 Classificação BTM em novembro de 2022

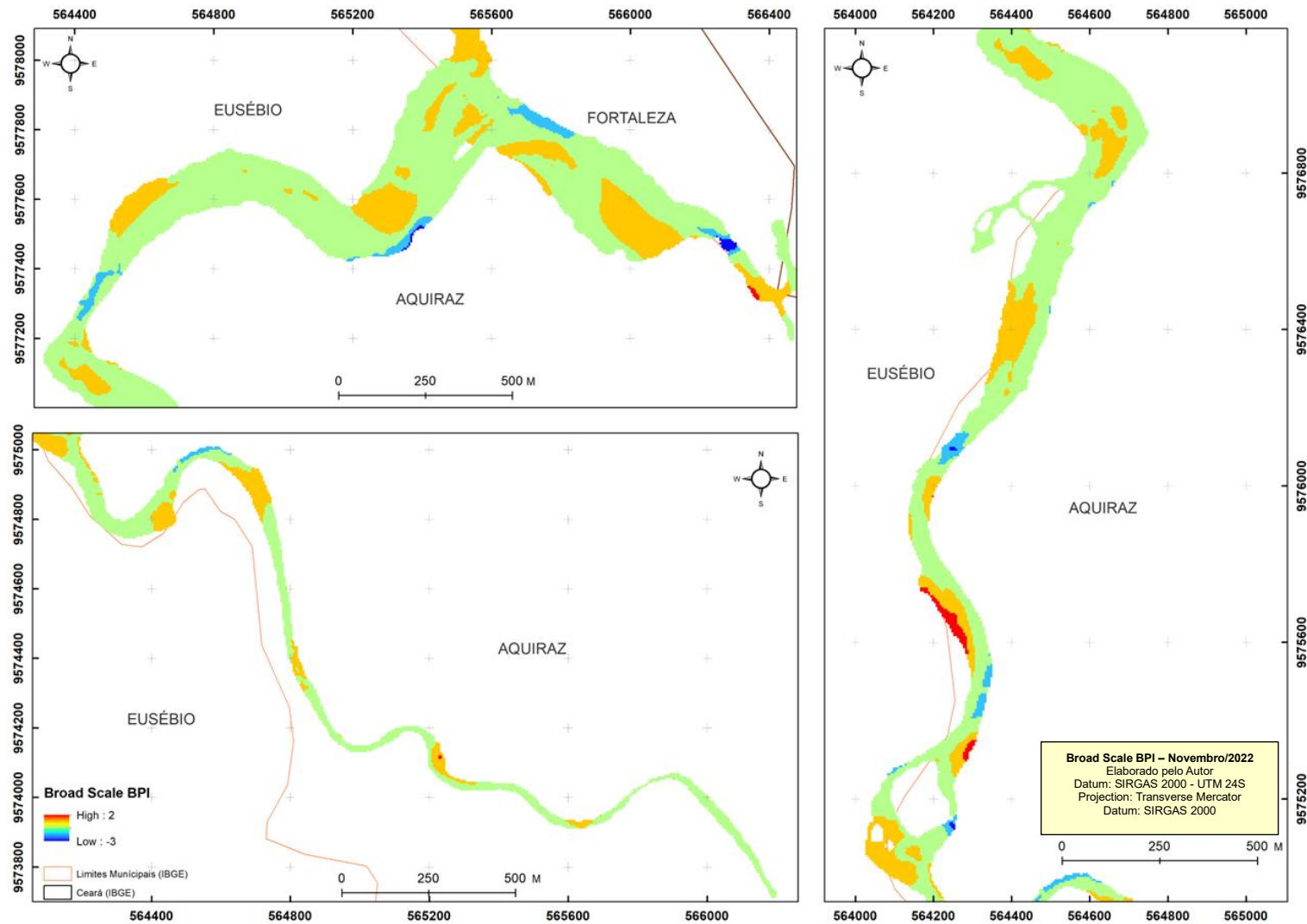
A análise de ampla e fina escala traz uma verificação dos valores em relação a vizinhança das células trazendo valores positivos para representar uma célula de maior elevação (ex.: cumes) e os valores negativos (ex.: vales) representando uma menor elevação e quantos mais próximo de zero, teremos áreas planas, ou seja, um gradiente de inclinação próximo de 0 (Weiss,2001).

Assim temos os produtos para ampla escala no seu primeiro processamento (Figura 28) e com valores de -3 a 2, mostrando que há uma variação de inclinação do relevo estudado, destacamos os valores de BPI igual a zero (cor verde), sendo o primeiro na quantidade e visualizado como a área pertencente a variação de maré e, segundo, os valores igual a um (cor laranja) coincidindo visualmente com os topos do bancos arenosos da região, mantendo essas condições em todos os setores após padronização da ferramenta *standardize* (Figura 29)

A ferramenta fina escala (Figura 30) , assim como a ampla escala, vai caracterizar essas regiões de forma similar, os valores de BPI igual a zero, sendo quase que maioria dos valores analisados, seguidos pelos valores iguais a 1 e mantidas essas características após padronização processamento (Figura 31) dos dados em todos os setores e, segundo (Goes, 2018), funciona destacando sutis diferenças na área, podendo demarcar entre as áreas da fina escala e os setores mais planos.

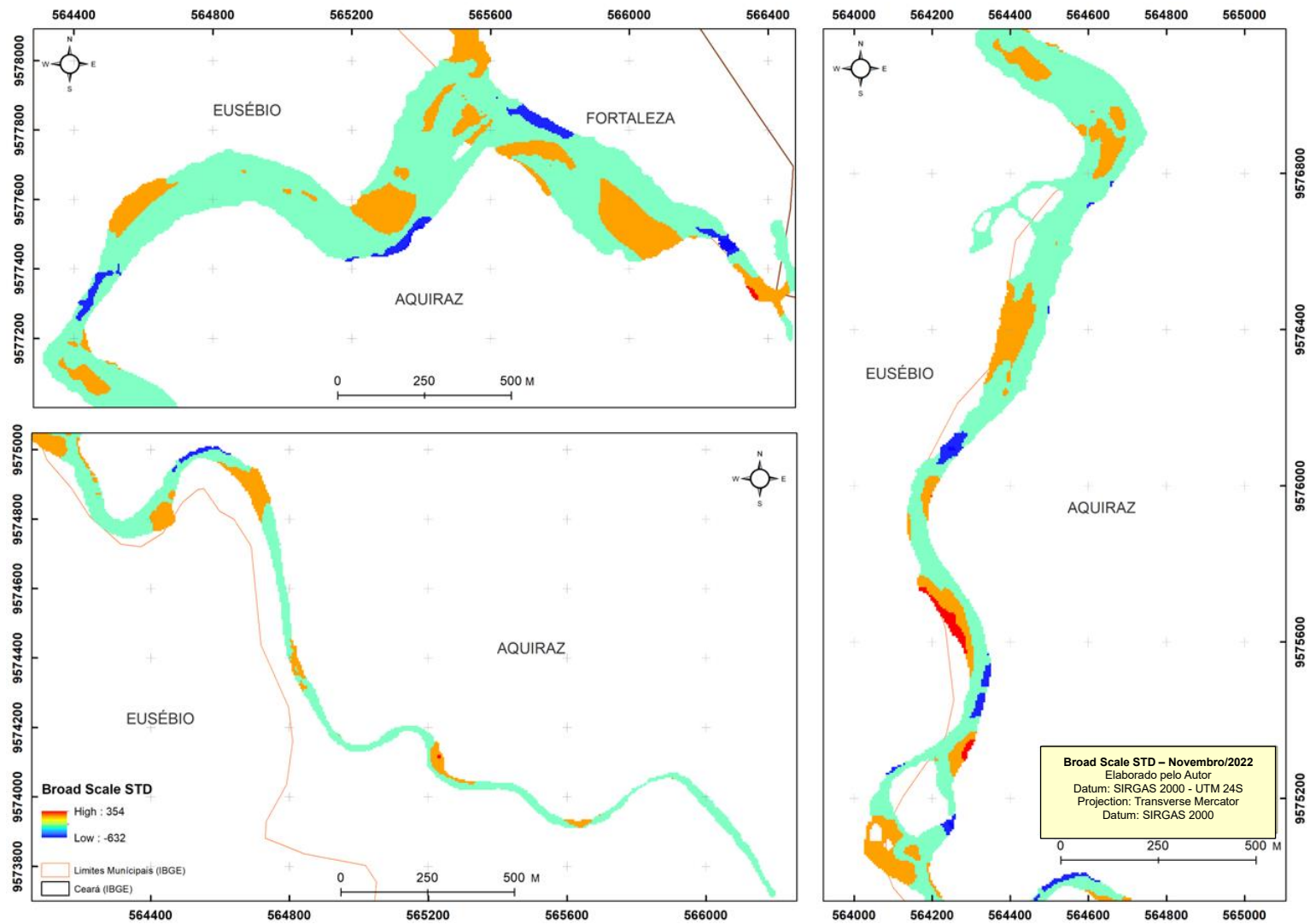
Para a inclinação em novembro de 2022 processamento (Figura 32), temos valores indo de 0° a 8° em todos os setores, sendo as regiões de menor gradiente próximo do gradiente zero, opostas as áreas de maior gradiente de inclinação que podem chegar a quase 8° de inclinação, este último valor presente também em toda região e muitas vezes associado a margem leste, sendo percebido como as áreas mais profundas e percebidas como o canal de navegação utilizado durante os embarques de coleta.

Figura 28 - Produto BTM – BPI Ampla escala - novembro/2022



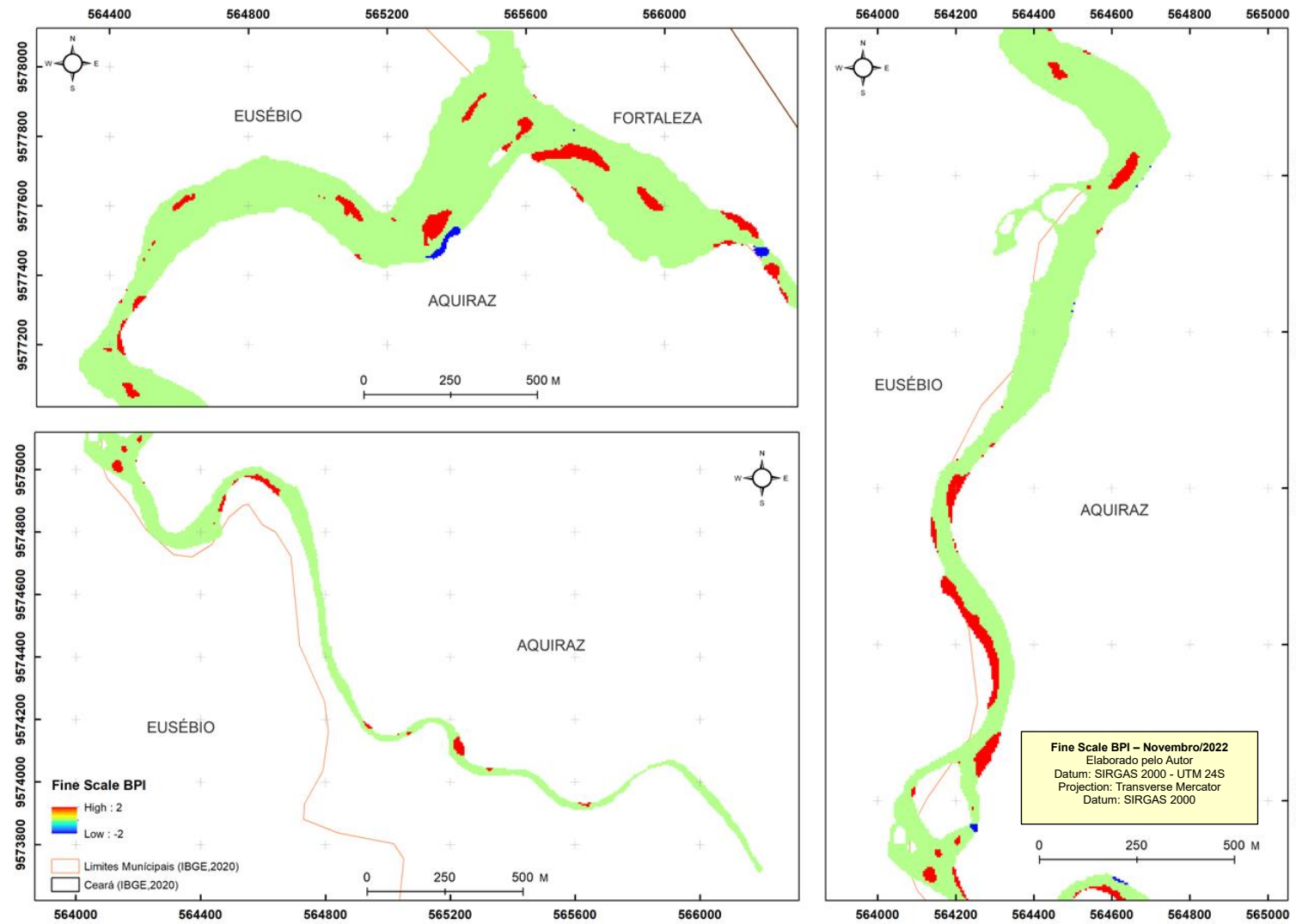
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 29 - Produto BTM – BPI Ampla escala (padronizado) - novembro/2022



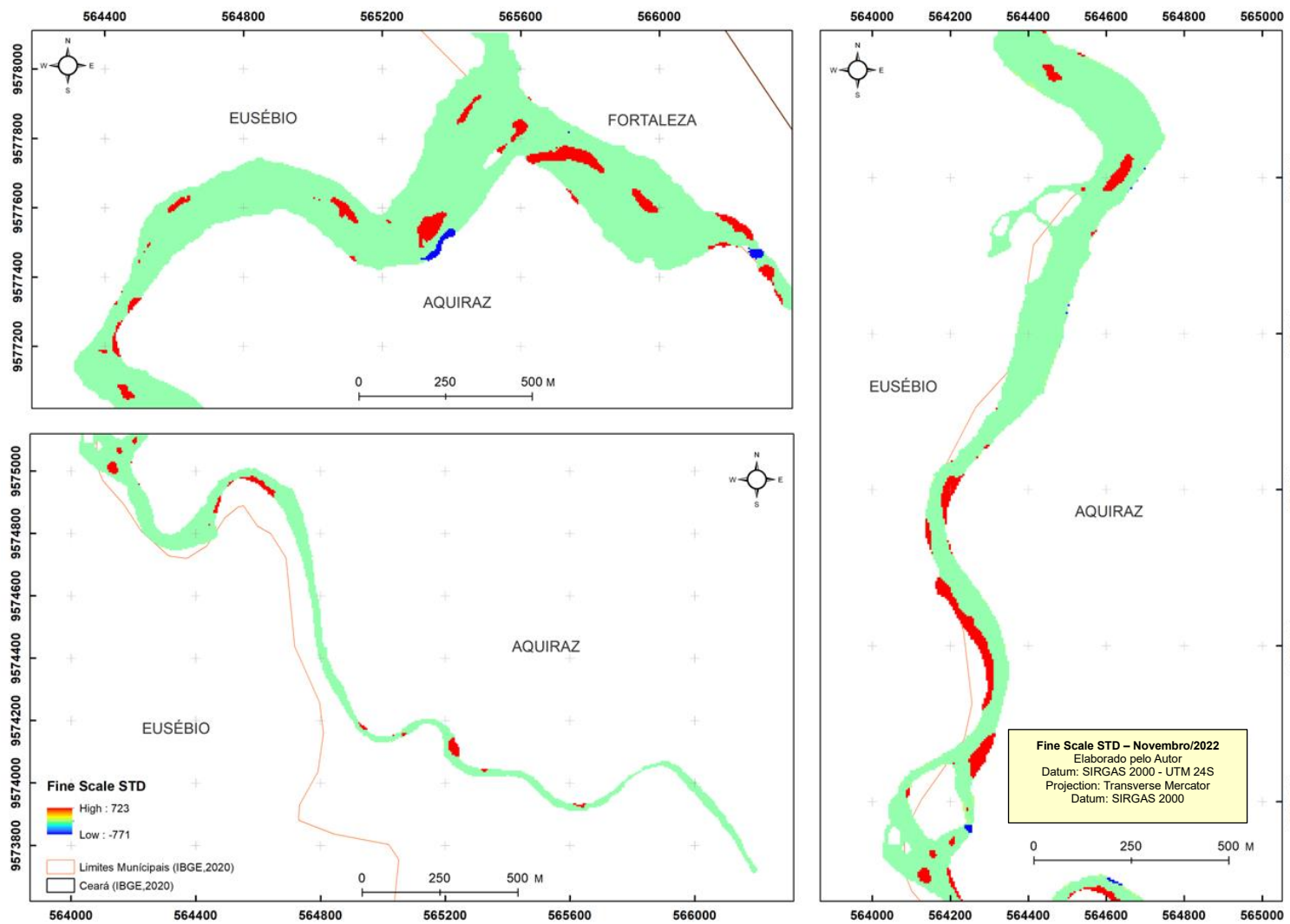
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 30 - Produto BTM – BPI fina escala - novembro/2022



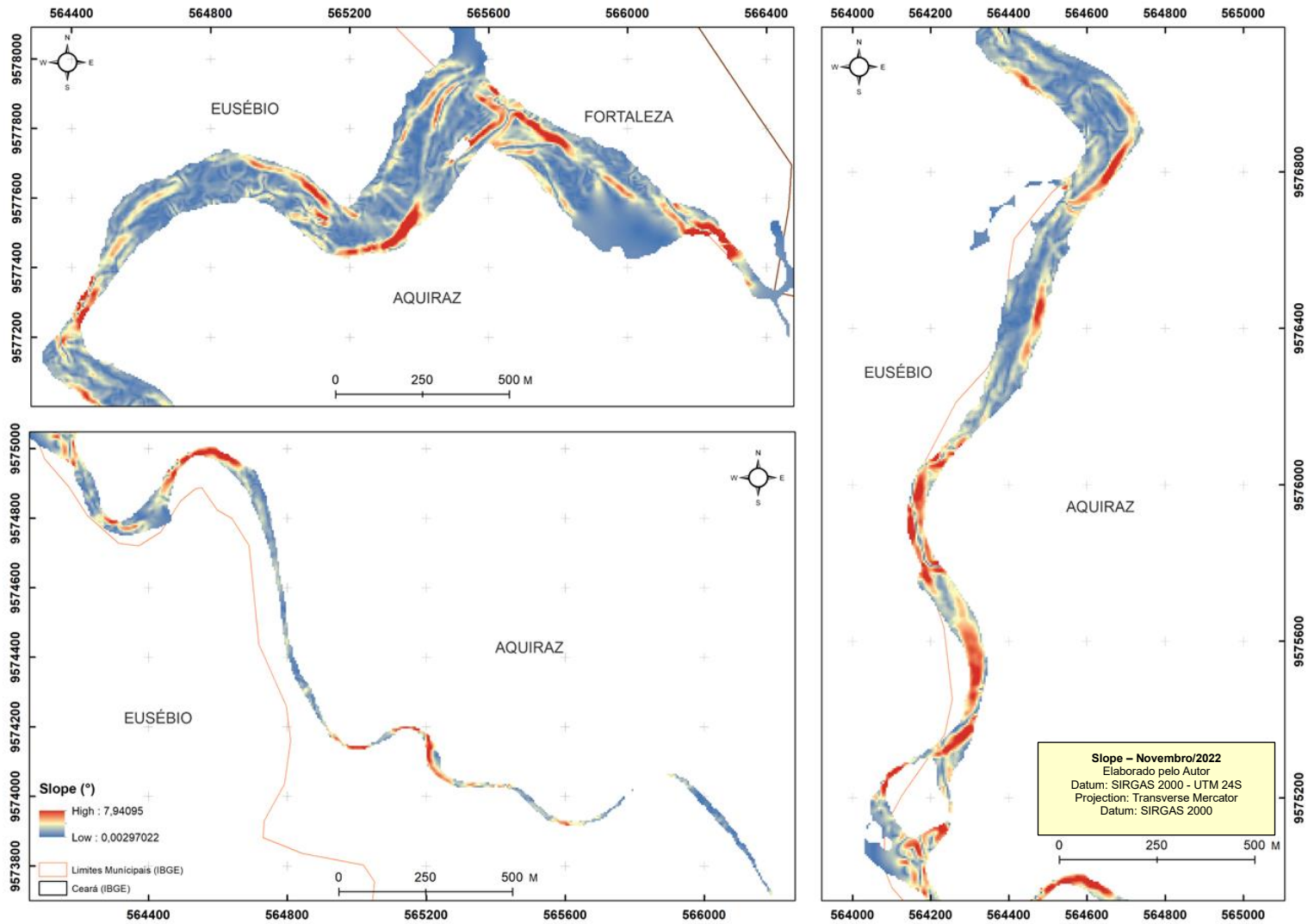
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 31 - Produto BTM – fina escala (padronizado) - novembro/2022



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 32 - Inclinação (slope) – novembro/2022



Fonte: Elaborado pelo Autor

A classificação de zonas, identificadas como: *transitions* (transição), *gentle slope* (encostas suaves), *channel flats* (canais planos), *coastal slope* (encostas costeiras), *depressions* (depressões) para o período de novembro de 2022 (Figura 33) foi apresentada como fruto da pesquisa de Pereira *et al.*, (2023).

Ainda baseado em (Pereira *et al.*, 2023), temos a descrição de cada zona e o levantamento quantitativo (Tabela 4) das áreas em relação ao total levantado nesta área de estudo.

As respectivas áreas e classificações, além de traduções adaptadas e/ou sugestões de classes, para uma melhor compreensão, são apresentadas a seguir: margem suave da calha (*gentle slopes*), 6,4%; canais planos (*channel flats*) com 64,6%, podendo ser compreendido como o trecho que fica exposto na variação de entre preamar e baixamar; margem íngreme do canal – “topo banco de areia” (*coastal slope*), 18,30% e as depressões ou canais profundos (*depressions*), 2,3%; e a categoria ‘*none*’, quando não é classificável, mas neste estudo, essas áreas serão identificadas com a transição entre margem suave da calha e as depressões, 0,7%. Assim, podemos associar a área de estudo a rios com canais do tipo meandrantés, fruto da escavação de maior energia, zonas de depressões e calhas íngremes dos canais, e as zonas de menor energia, os canais planos (*channel flats*) e os bancos de areias destacados por suas cristas planas (*coastal slope*). Fonte: (Pereira *et al.*, 2023).

A partir destas informações e dos produtos gerados por este autor, foi elaborado a (Tabela 4) para descrever/compreender cada região mapeada nesta modelagem.

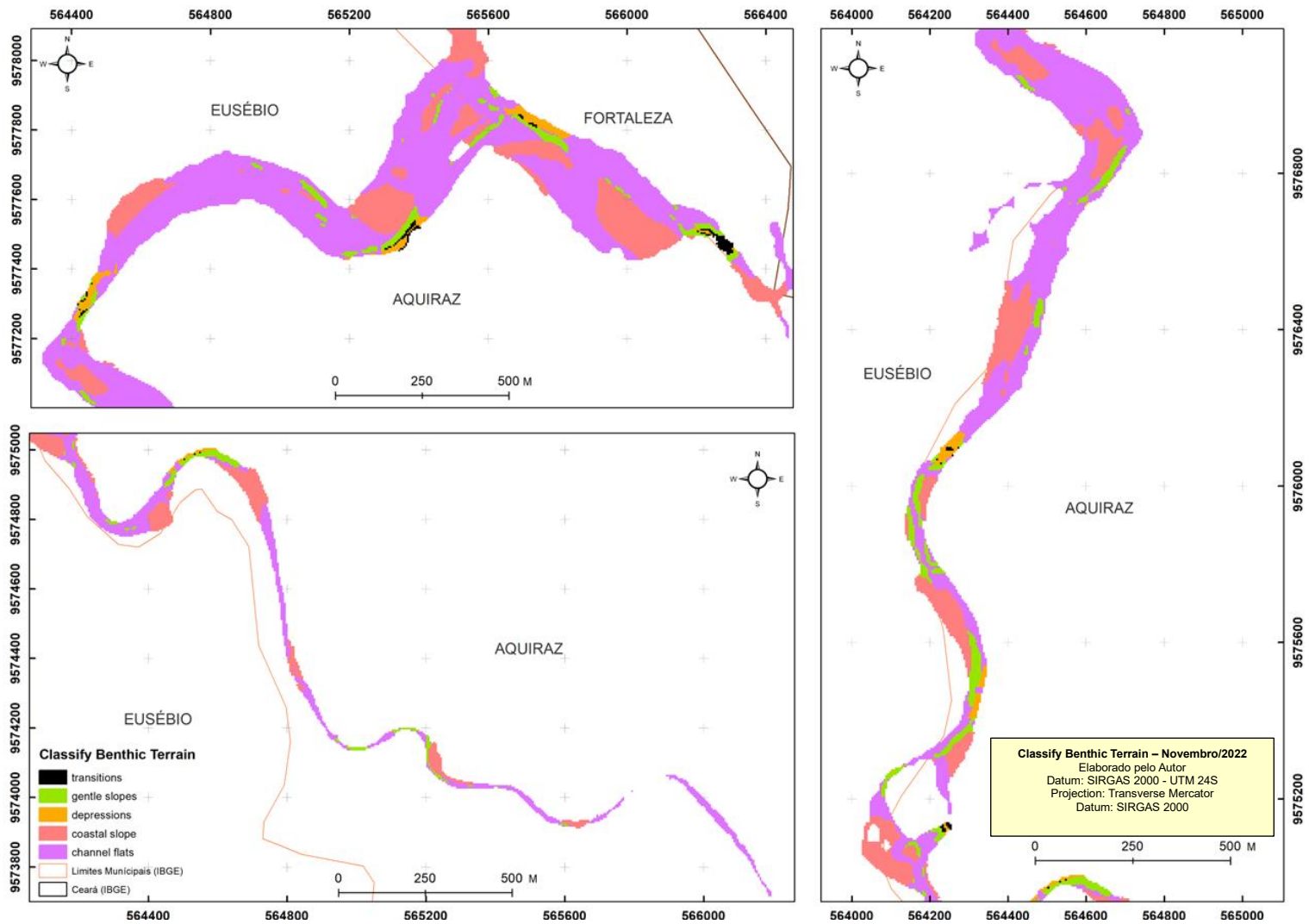
Tabela 4 - Classificação e descrição de zonas BTM - novembro/2022

Class	Zone	Zonas	% total	Área (ha)	descrição
0	transitions	transição*	1,3%	0,95	quando não é classificável, mas neste estudo, essas áreas serão identificadas com a transição entre margem suave da calha e as depressões
1	gentle slopes	Encostas suaves	6,4%	4,51	encosta íngreme com menor gradiente de inclinação, ou seja, o equilíbrio entre força e resistência de cisalhamento da encosta, surgindo uma nova área de deposição/remobilização de sedimento.
3	channel flats	Canais planos	64,2%	45,39	trecho que fica exposto na variação de entre preamar e baixa-mar (<0,4m /slope 0 a 5°)
4	coastal slope	Encostas costeiras	25,9%	18,30	regiões planas dos bancos arenosolamoso(?) associados ao topo dos bancos de areia (-0,5 a 0,5m)
5	depressions	Depressões	2,3%	1,60	trechos mais profundos e com maior gradiente de inclinação e maiores cotas

Fonte: elaborada pelo Autor baseada em (Pereira *et al.*, 2023).

Legenda: *transitions* (transição), *gentle slope* (encostas suaves), *channel flats* (canais planos), *coastal slope* (encostas costeiras), *depressions* (depressões).

Figura 33 - classificação de zonas - novembro/2022 (Pereira *et al.*, 2023)



Fonte: Elaborado pelo Autor

Assim, as áreas identificadas podem estar associadas aos canais do tipo meandantes, com regiões de maior energia, zonas de depressões e calhas íngremes dos canais, e as de baixa energia, canais planos (*channel flats*) e os bancos de areias destacados por suas cristas planas (*coastal slope*), o que corroboram com o trabalho de Santos A. *et al.*,(2023), quando este identificou zonas hidrodinâmicas mais altas nos pontos E1 a E7 (setor 1 e 2), e uma hidrodinâmica baixa, no ponto E8 (setor 3 deste trabalho), como consequência da sazonalidade e variação de precipitação interanual da região que serve como regulador da vazão e influencia na intensidade e velocidade hidrodinâmica, afetando a disposição e as características sedimentares ao longo do estuário.

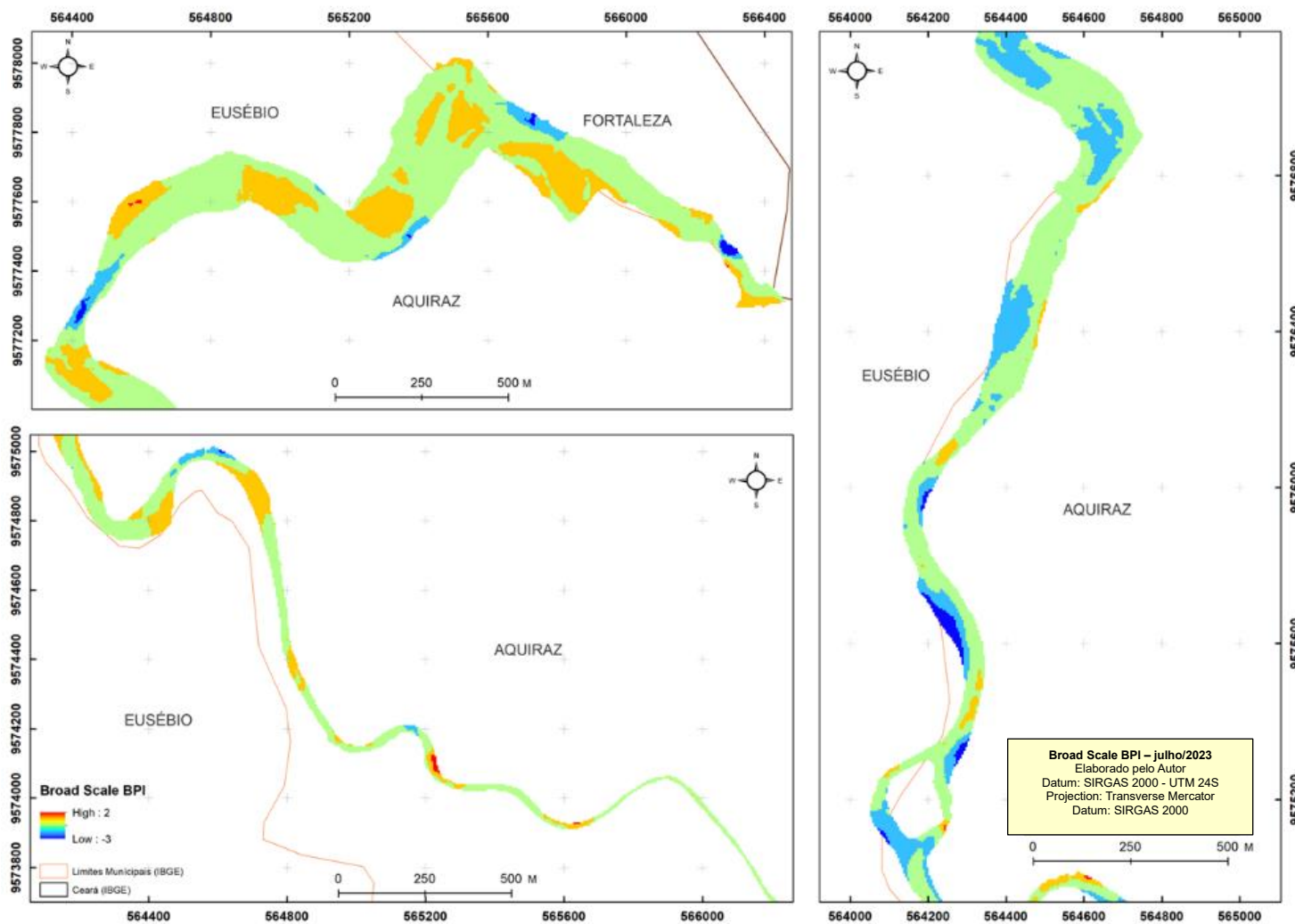
### **6.3.2 Classificação BTM em julho de 2023**

Na campanha de julho de 2023, após análise da ferramenta ampla escala (Figura 34 e 35) ficou constatado no setor 1, o mapeamento de uma nova área com valor de BPI igual a 1, entre os perfis E1 e E2. No setor 2, podemos destacar o aumento das áreas com valores de BPI negativos associados à presença de vales ou calhas (WEISS, 2001). No setor 3, o setor mais estreito, a predominância é de regiões com valores igual a zero e presença de áreas com valores igual a 1 e 2 com presença de pequenas áreas de valor -1.

Para análise de fina escala (Figura 36 e 37), em os setores, fica destacado às áreas de valor BPI igual 0, representando áreas mais planas (Weiss, 2001) e as áreas com BPI igual a 1, sendo as duas áreas com maior presença para este período.

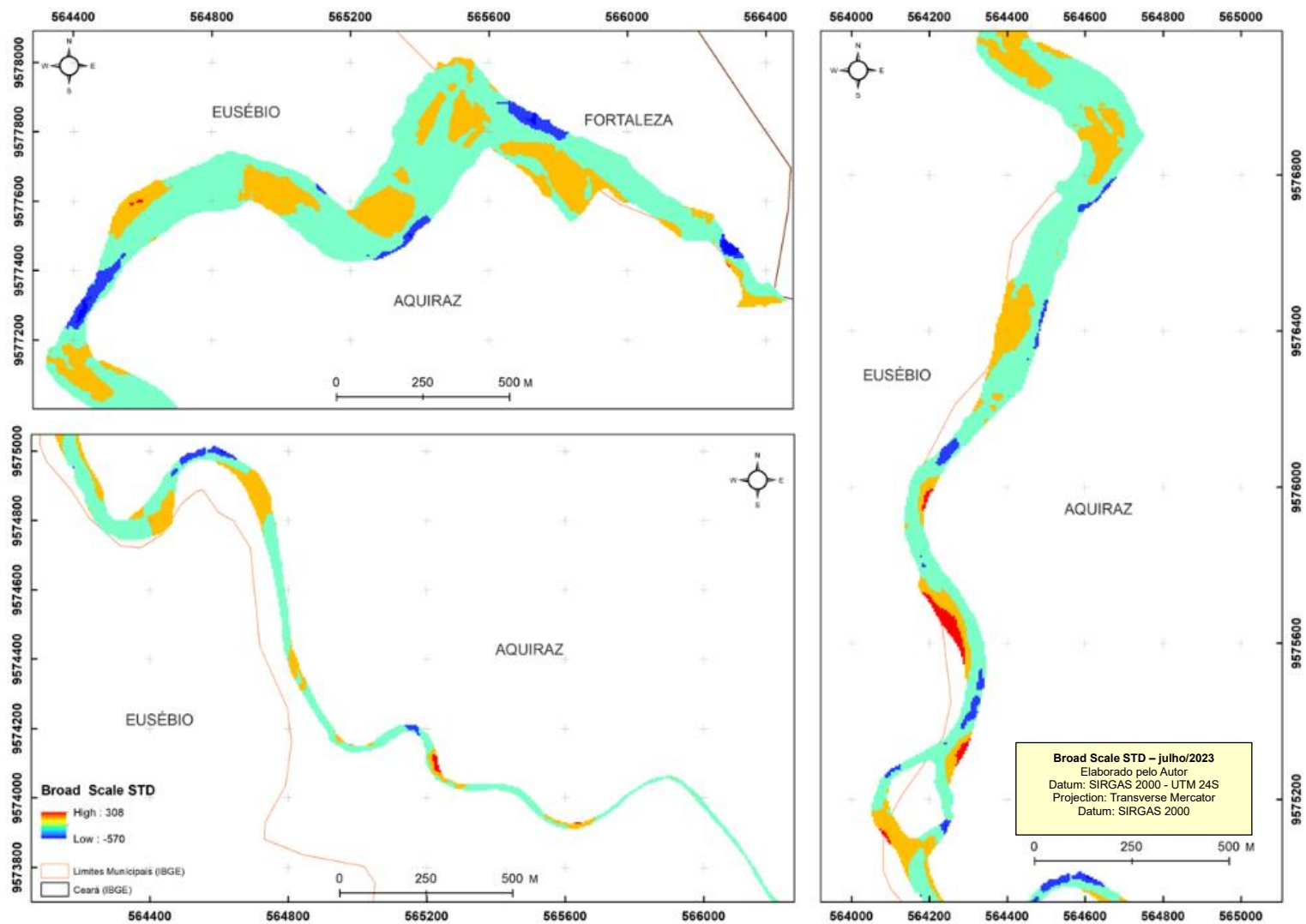
Para o gradiente de inclinação (Figura 38), temos o aumento, quando comparado a novembro de 2022, quando não passava de 8° de inclinação e, para esta campanha, vai de 0° a 15°. neste, quase todo o relevo, teve inclinação de 0° a 8°, com os maiores valores, presentes nos canais na margem leste ou oeste do rio, como mostrado nos resultados de batimetria. É observado que os valores de 8° a 10° de inclinação estão associados ao trecho sob a ponte da av. litorânea e os valores superior a 10°, no canal próximo a foz, ponto de maior hidrodinâmica devido ao encontro do rio com o mar.

Figura 34 - Produto BTM – BPI Ampla escala - julho/2023



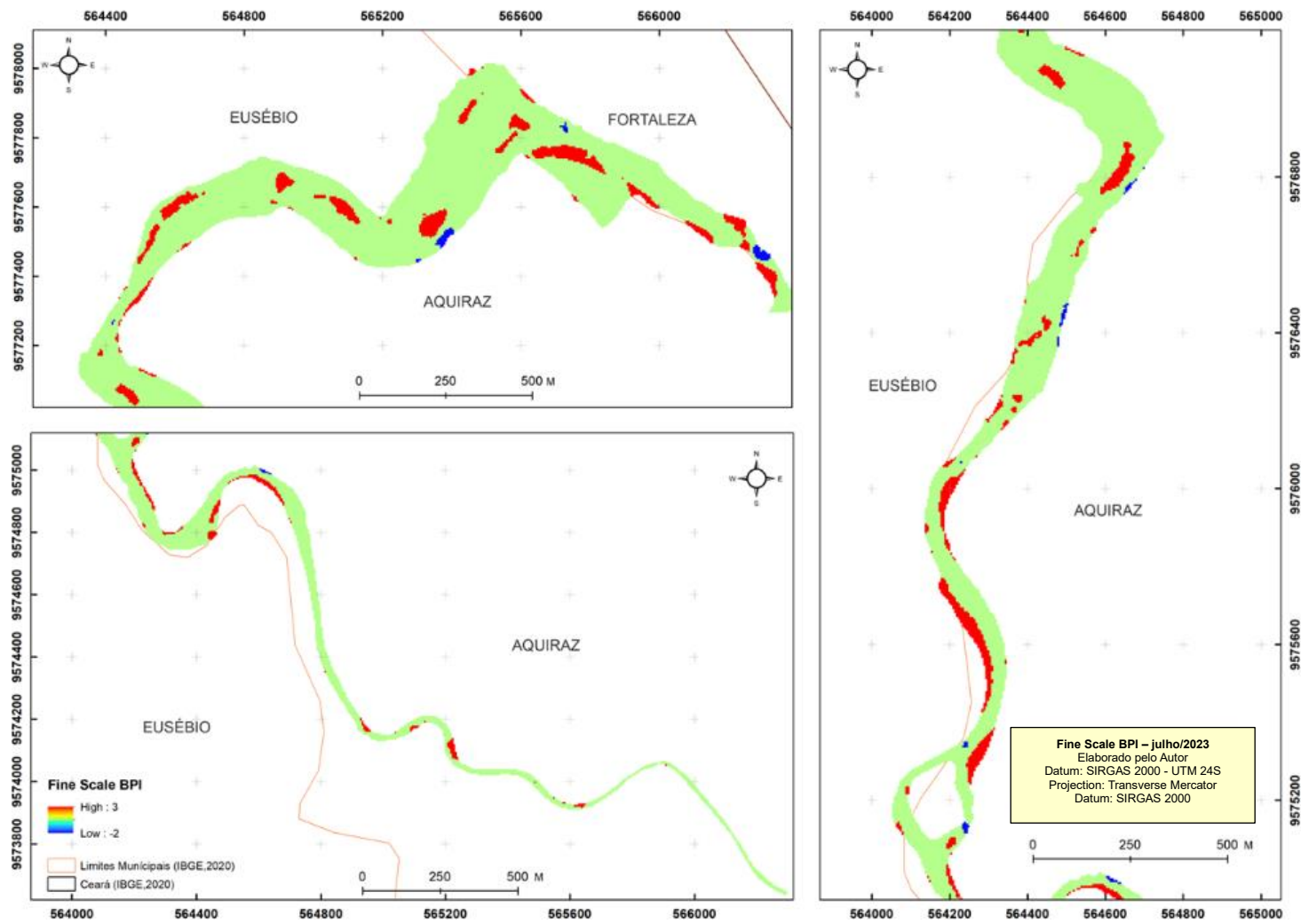
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 35 - Produto BTM – BPI Ampla escala (padronizado) - julho/2023



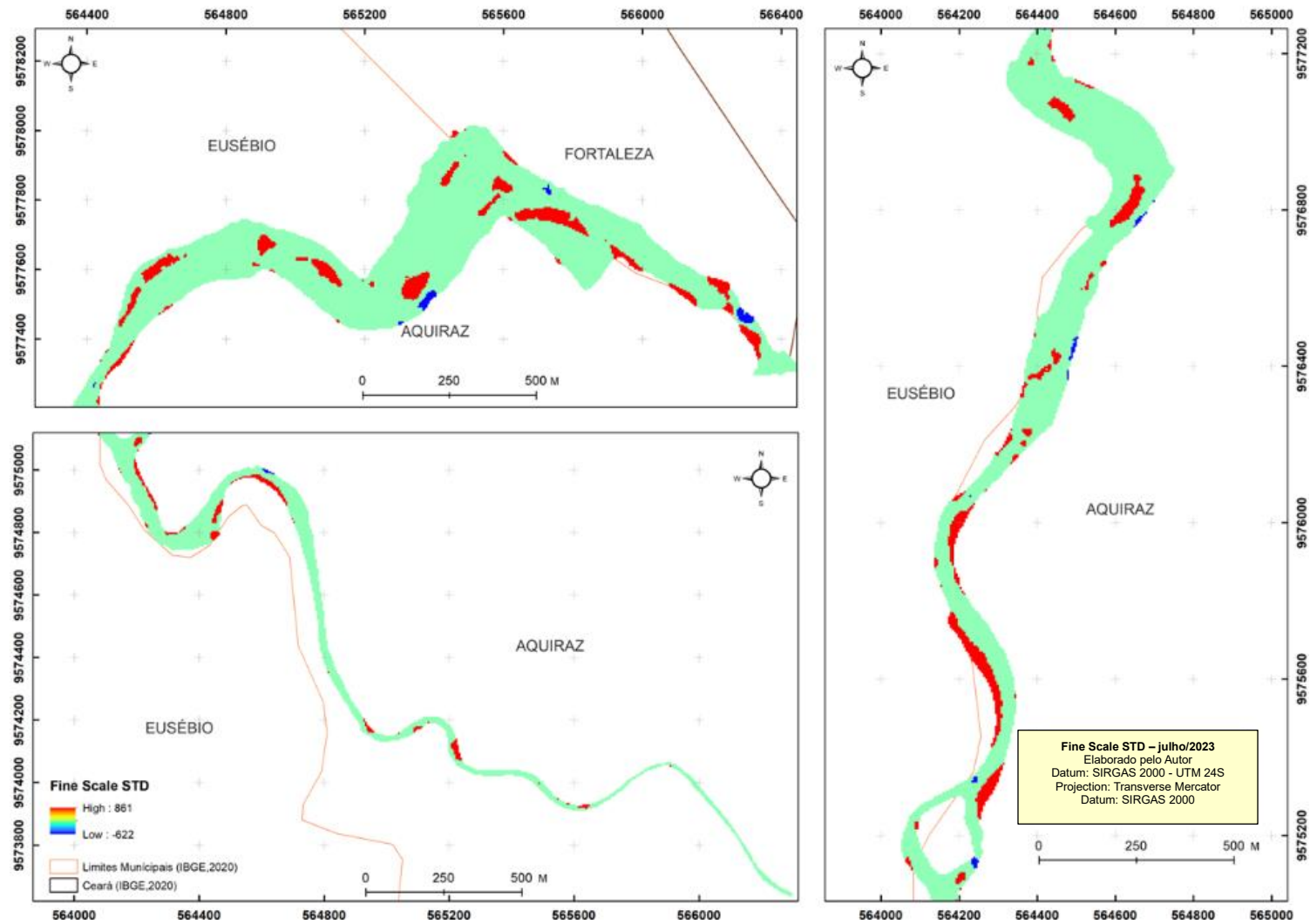
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 36 - Produto BTM – BPI fina escala - julho/2023



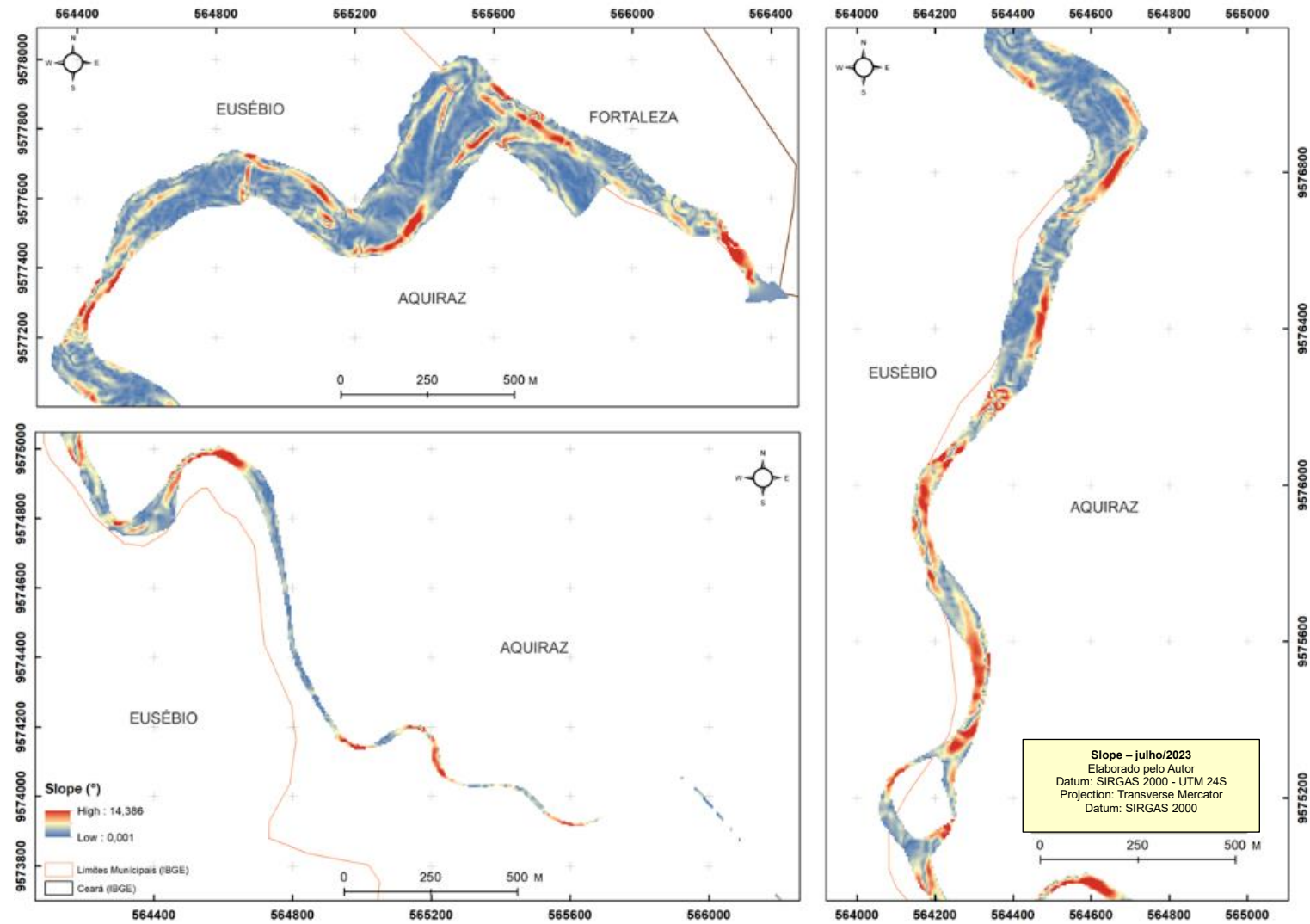
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 37 - Produto BTM – BPI fina escala (padronizado) - julho/2023



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 38 - Inclinação (slope) – julho/2023



Fonte: Elaborado pelo Autor

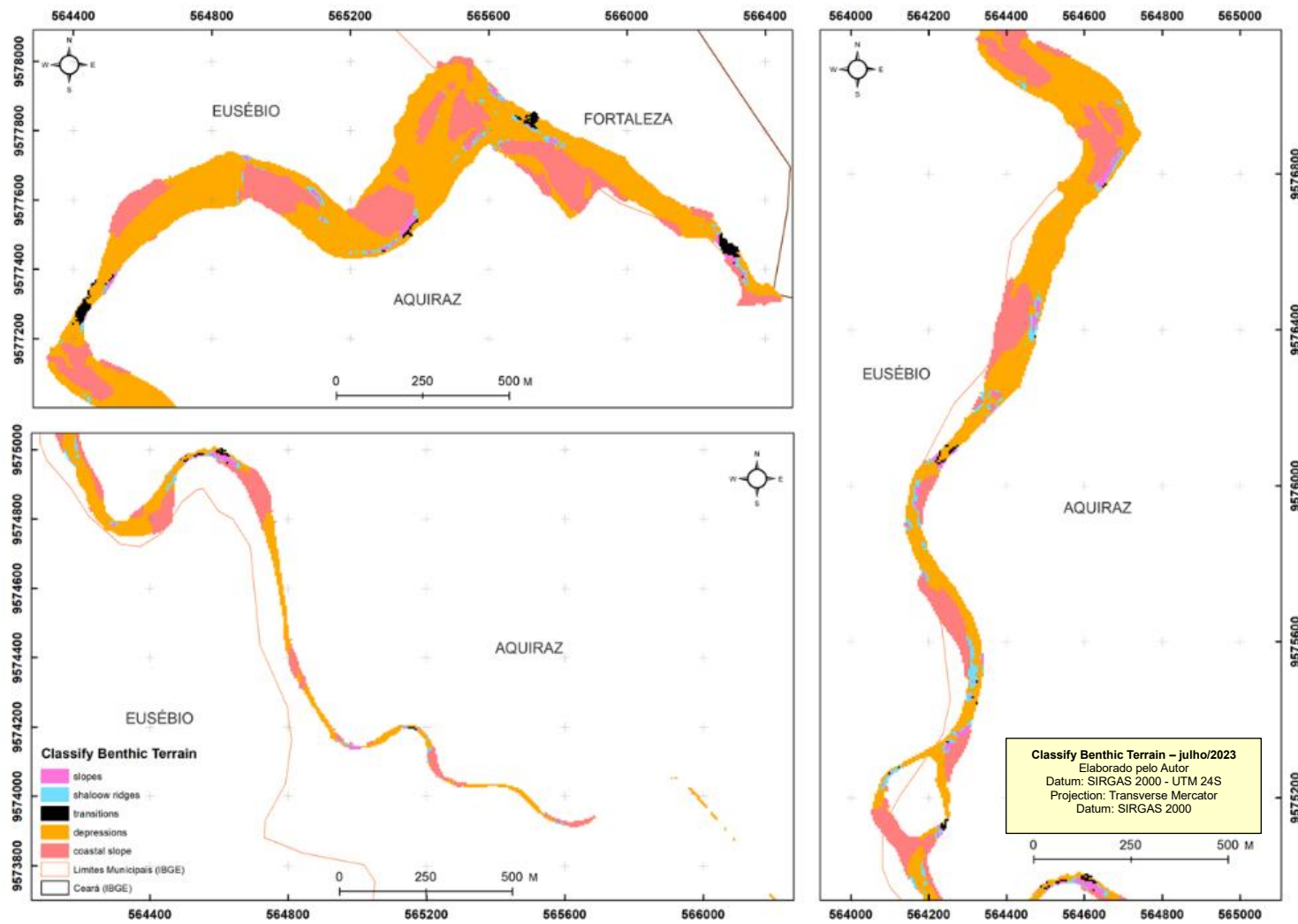
A classificação de zonas (*Classify Benthic Terrain*) (Figura 39) foi feita de forma inédita, identificando a presença de quatro zonas (Tabela 5): Encostas costeiras (*coastal slope*), Depressões (*depressions*), Encostas (*slopes*), cristas rasas (*shallow ridges*) além da identificação da classe “*none*” quando não é possível classificar com base no dicionário adotado, sendo que para este mapeamento específico não foi possível identificar quais características essas áreas possuem para aplicar uma possível categoria a estas.

Tabela 5 - Classificação e descrição de zonas BTM - julho/2023

<b>Class</b>	<b>Zone</b>	<b>Zonas</b>	<b>% total</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>descrição</b>
0	transitions	transição*	1,3%	0,80	quando não é classificável, mas neste estudo, essas áreas serão identificadas com a transição entre margem suave da calha e as depressões
4	coastal slope	Encostas costeiras	31,9%	19,83	regiões planas dos bancos arenosos-lamoso(?) associados ao topo dos bancos de areia (-0,5 a 0,5m)
5	depressions	Depressões	62,0%	38,51	trechos mais profundos e com maior gradiente de inclinação e maiores cotas
8	slopes	Encostas	1,9%	1,15	regiões com maior gradiente de inclinação. Possível alteração no canal para formato em “V”
9	shallow ridges	Cumes rasos	2,9%	1,80	são áreas submersas com presença de cristas rasas submersas

Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 39 - classificação de zonas - julho/2023

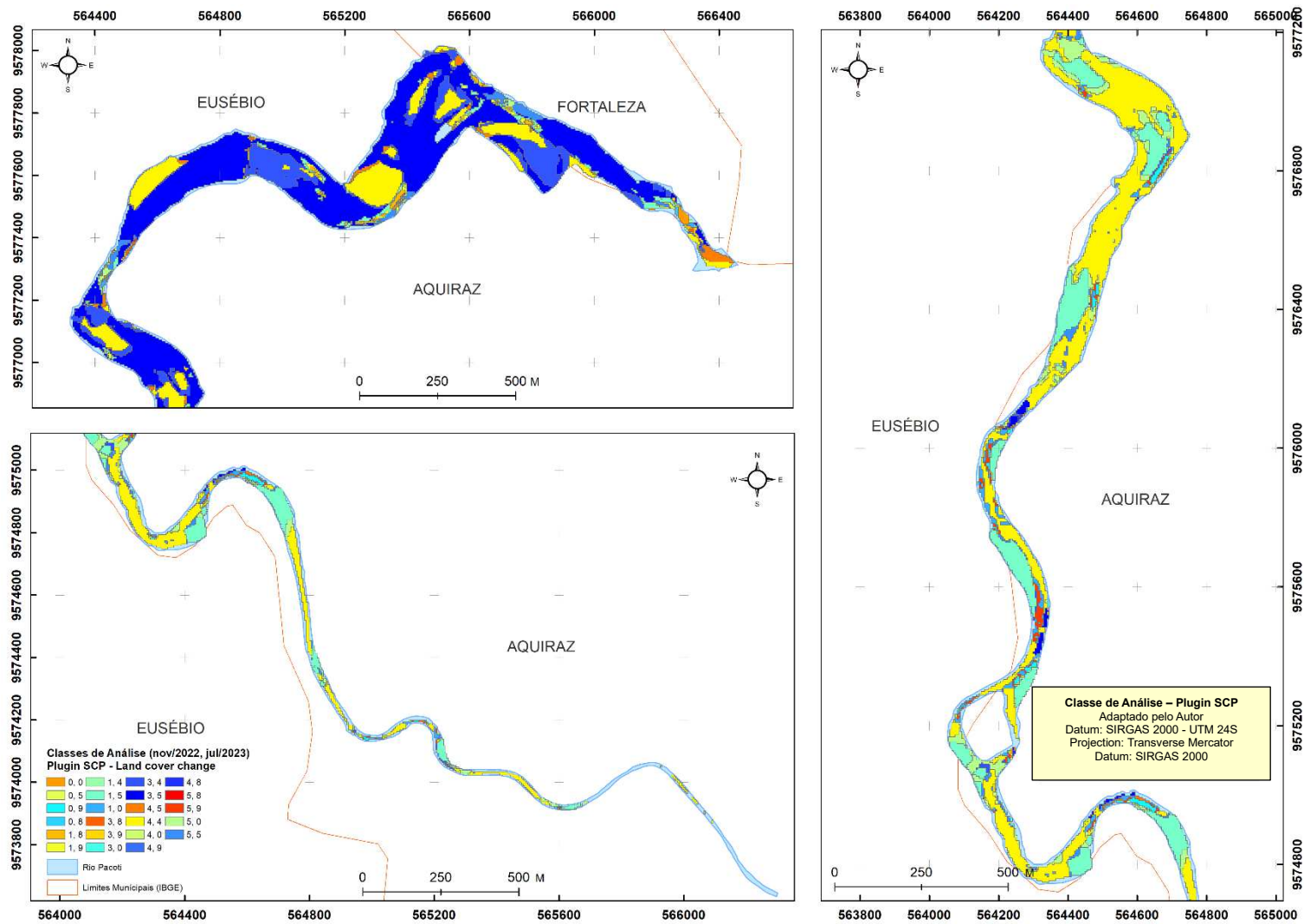


Fonte: Elaborado pelo Autor

#### **6.4 Análise De Variação de Paisagens**

A análise de paisagens feita com a ferramenta SCP *plugin* gerou, após tratamento dos dados, uma caracterização das zonas mapeadas (Figura 40) pela modelagem do BTM. Na Tabela 3, temos a comparação entre a campanha de novembro de 2022 e julho de 2023. Como a sazonalidade das chuvas típica da região costeira do Estado do Ceará que tem período chuvoso entre fevereiro e maio (Ceará, 2019), foram coletados dados de dois postos pluviométricos, apresentado anteriormente, próximo ao estuário estudado, onde fica constatado uma quadra chuvosa com acumulado mensal significativo para os referidos meses.

Figura 40 - Análise de Paisagens - SCP Plugin



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Tabela 6, traz na coluna “*sclasscode*” a identificação de cada alteração em relação ao período analisados. Sendo assim, na classe “10”, por exemplo, foi identificado a mudança das zonas de *channels flats* para *coastal slope* com área total de 6,98 hectares. Foram identificados áreas que mantiveram suas zonas nos dois períodos, como na classe “18”, quando foi identificado a manutenção da classe *depressions* nas duas campanhas. No total, foram analisados 58,98 ha quanto a variação de paisagens.

Pensando em uma forma de melhorar a visualização dos dados da Tabela 6, foram criados 2 mapas. Na Figura 41 temos o mapa “Análise de paisagens - regiões estáveis”, temos as regiões inalteradas, as regiões estáveis, fica constatado a preservação dos bancos arenosos nos setores 1 e 2, onde essas feições são bem características, evidenciado pela cor laranja mais clara de área inalteradas com áreas nas casas de 1 a 2 ha e, áreas de 0 a 1 ha, na cor azul, presentes em todos os setores.

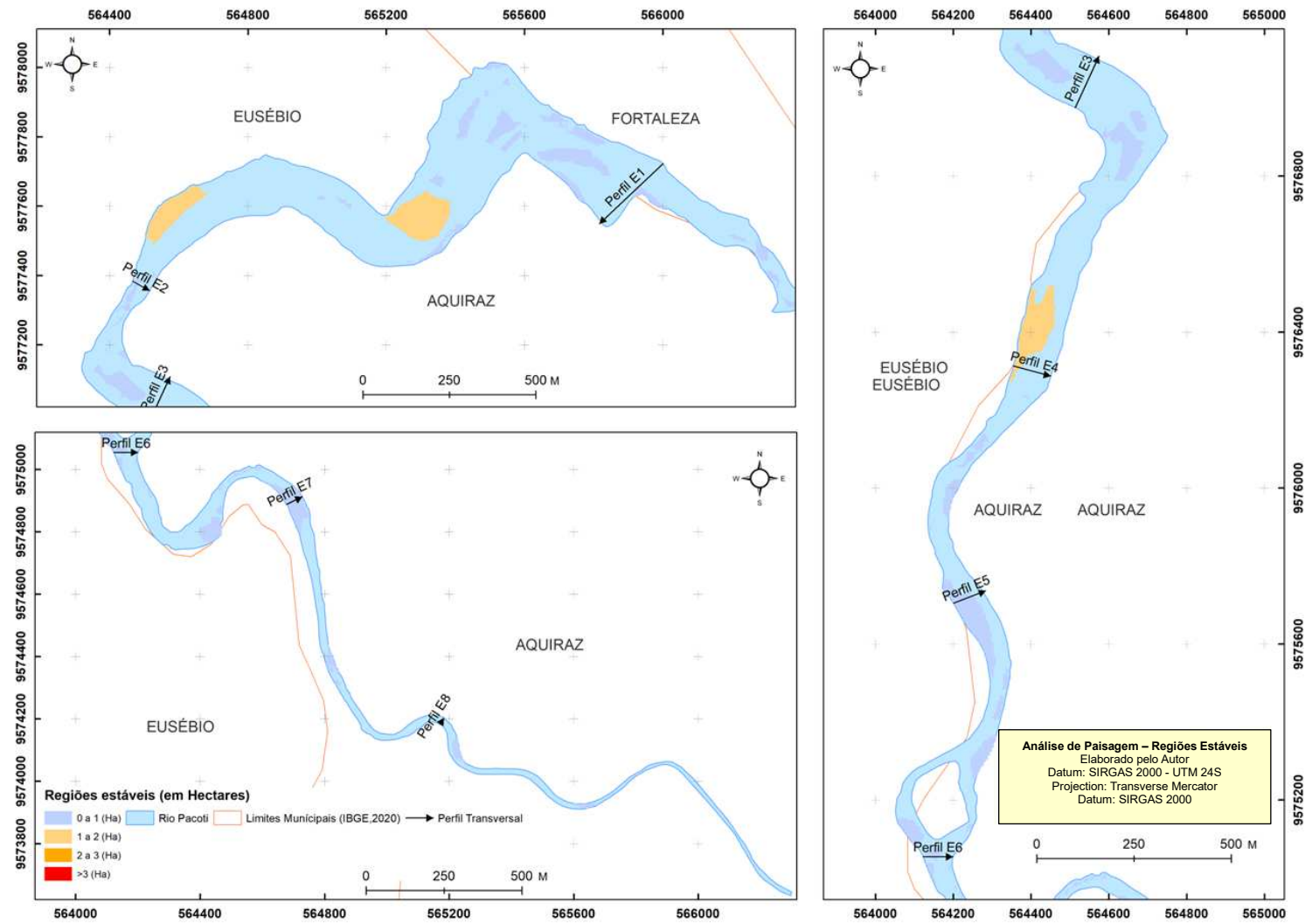
Na Figura 42 temos o mapa “Análise de paisagens - regiões instáveis”, temos as áreas instáveis, ou seja, quando houve variação de zona naquele trecho de análise. No setor 1, fica claro a suscetibilidade da região próxima a foz como consequência da proximidade do mar com área alteradas com mais de 3 ha (cor vermelha) e de 2 a 3ha (cor laranja escuro) além da variação para as outras áreas ao longo do rio assim como a proximidade as dunas adjacentes, onde podemos destacar os meandros com presença dos bancos arenosos.

Tabela 6 - Dados processados da análise de paisagens

Classe (Plugin SCP)	Campanha		Classificação zonas BTM		levantamento
	novembro/ 2022	julho/2 023	novembro/ 2022	julho/ 2023	área (ha)
sclasscode	gridcode	gridcode			
1	0	0	transitions	transitions	0,22
2	1	0	gentle slopes	transitions	0,18
3	3	0	channel flats	transitions	0,05
4	4	0	coastal slope	transitions	0,00
6	5	0	depressions	transitions	0,27
7	1	4	gentle slopes	coastal slope	0,33
10	3	4	channel flats	coastal slope	6,98
11	4	4	coastal slope	coastal slope	11,41
8	0	5	transitions	depressions	0,12
9	1	5	gentle slopes	depressions	1,95
12	3	5	channel flats	depressions	32,14
15	4	5	coastal slope	depressions	1,29
18	5	5	depressions	depressions	1,17
13	0	8	transitions	slopes	0,06
16	1	8	gentle slopes	slopes	0,81
20	3	8	channel flats	slopes	0,16
21	4	8	coastal slope	slopes	0,05
23	5	8	depressions	slopes	0,03
17	0	9	transitions	shallow ridges	0,01
19	1	9	gentle slopes	shallow ridges	1,02
22	3	9	channel flats	shallow ridges	0,64
24	4	9	coastal slope	shallow ridges	0,09
25	5	9	depressions	shallow ridges	0,02

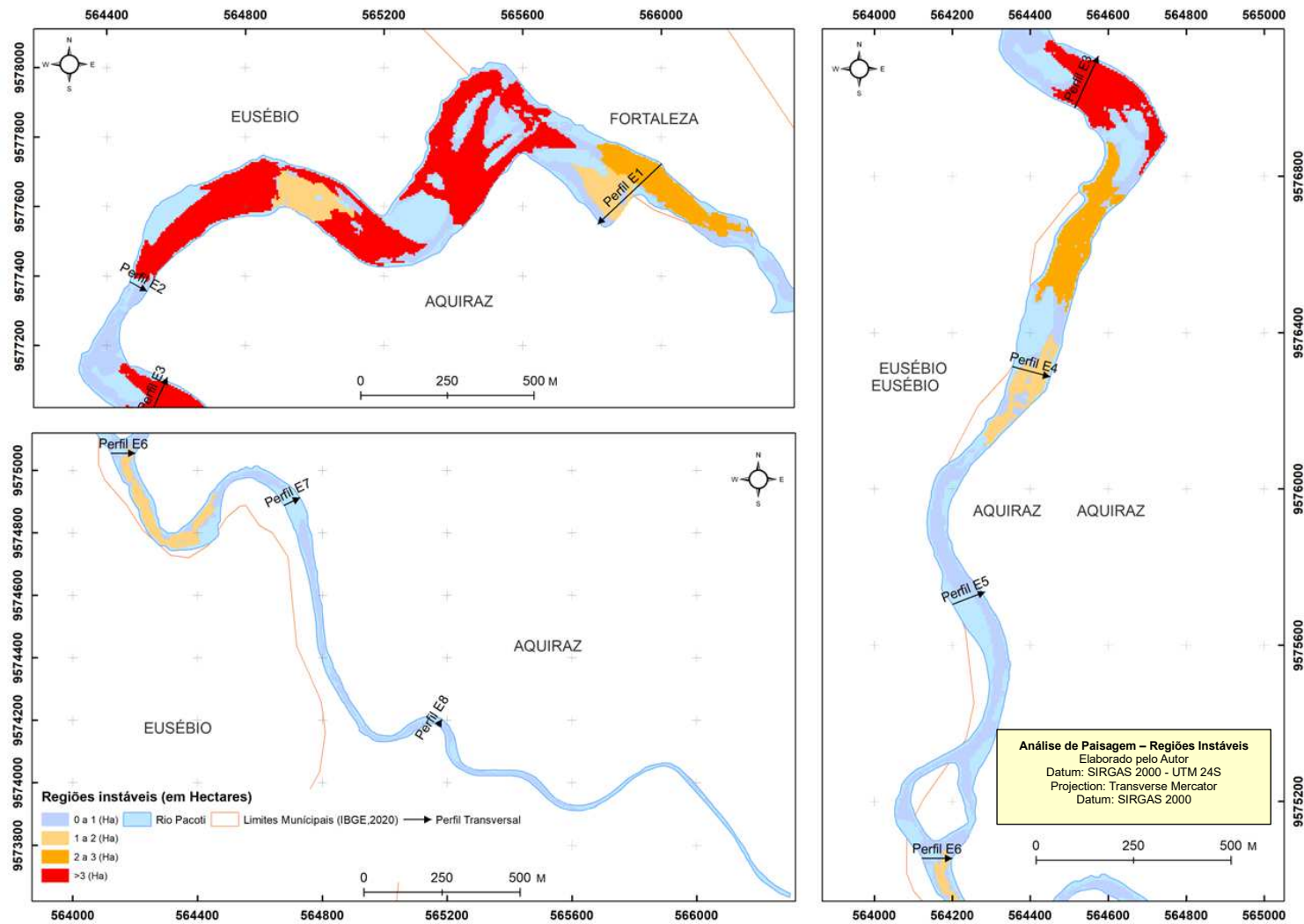
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 41- Mapa análise de paisagens - regiões estáveis



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 42 - Mapa análise de paisagens - regiões instáveis



Fonte: Elaborado pelo Autor

## 6.5 Bancos Areno-lamosos no Rio Pacoti

Em 1951, Bascom destacava a relação entre gradiente praial e a granulometria. Assim, como os processos de infiltração e granulometria explicam a declividade (Sunamura, 1984; Komar, 1998; Bujan *et al.*, 2019; McFall, 2019), quando associaram areias de maior granulometria, alta permeabilidade e infiltração a uma baixa competência em transportar sedimentos, criando perfis mais íngremes e convexos. Para areias de menor granulometria, as areias finas possuem menor permeabilidade infiltração a menor capacidade de transporte e menores inclinações (Bascom, 1951; Komar, 1998; Masselink e Li, 2001; Reis e Gama, 2010). Outros autores (McLachlan e Dorvlo, 2005; McLachlan e Brown, 2006; Defeo *et al.*, 2017.) afirmam que a granulometria da areia atua na composição e distribuição da fauna bentônica, ou ainda, nas funcionalidades desses organismos de escavar ou de se locomover (Brown e McLachlan, 1990).

Estes sedimentos não consolidados são associados à comunidades bentônicas com papel crítico e funcional aos ambientes estuarinos (Neves e Valentin, 2011) atuando como fonte de alimento e consumidores de detritos (Snelgrove *et al.*, 1997; Weslawski *et al.*, 2004) e participando de interações complexas entre elementos bióticos e abióticos (Wallace, 2007). À exemplo disso, temos a possível relação destes organismos no ciclo do carbono e do fluxo de energia, como cita (Neves e Valentin, 2011). Quaisquer alterações podem afetar estes ambientes, causando, por exemplo, falta de alimento para níveis mais tróficos da cadeia alimentar (Figueiredo & Vieira, 1998; Pascal *et al.*, 2008), mais uma vez, ficando provado a necessidade deste trabalho.

Para a região estudada, trabalhos baseados dentro do sítio PELD CSB, trazem registros da comunidade bentônica da área. Segundo Meneses *et al.*, (2022), foram registrados 712 macro invertebrados, sendo moluscos e poliquetas os mais abundantes, como afirma a autora. Já (Paiva, 2023), trabalhou com a distribuição e a composição da poliquetofauna, que são indicadoras de poluição e mudança climáticas. Em seu trabalho, Paiva (2023) identificou 536 poliquetas, com presença de 7 gêneros, sendo o mais abundante o *Streblospio* sp, ainda segundo este autor, o ponto de coleta “CEAC” teve menor abundância com domínio de *Laeonereis acuta* enquanto o ponto “River Park” apresentou a maior abundância de poliquetas, sendo *Streblospio* sp de maior domínio.

No estudo de Nascimento (2023) que registrou 1266 macro invertebrados, com maior abundância de moluscos e poliquetas, identificados no período de novembro de 2022 como um dos de maiores abundância de organismos. No trabalho de Damasceno (2023),

especificamente com *Anomalocardia flexuosa*, esta autora identificou um aumento significativo da abundância deste organismo no período chuvoso de 2022 no ponto “CEAC”. Estes quatros últimos autores identificaram estes organismos após caracterização de macrofauna no sedimento e medição de temperatura e salinidade nos bancos areno-lamosos da região.

A posição destes bancos arenosos corroboram com as zonas mapeadas pelo BTM como “*coastal slope*” associadas aos banco arenosos por (Pereira *et al.*, 2023) no mapeamento em novembro de 2022 e, com as descrição inéditas abordadas nos item 5.3.2 neste trabalho como prova da eficiência deste, principalmente por se tratarem da mesma data de coleta em alguns trabalhos, assim, temos a identificação de zonas bentônicas de grande importância para região, os bancos areno-lamosos.

## 7 CONCLUSÃO

De forma inédita, para estuários no Ceará, foi possível mapear zonas bentônicas e a variação de zonas associadas às paisagens bentônicas, com apoio das ferramentas do BTM e o *Plugin SCP*, provando a eficiência destas ferramentas associadas a coleta de dados batimétricos.

O Uso do método acústico de geofísica subaquática em corpos hídricos mais rasos, como rios ou lagos, pode ser usado de forma eficiente como uma fonte de dados e aplicados ao mapeamento de geomórficos e de possíveis ambientes bentônicos. Além disso, mesmo que limitada pela dificuldade de acesso em alguns trechos, estes dados geomórficos, fornecem indicativos destas comunidades bentônicas, principalmente, como norteador aos primeiros estudos sobre áreas poucas ou nunca estudadas, cabe ressaltar que esta metodologia necessita de outras informações, como substrato, dados oceanográficos (maré, ondas, entre outros), para uma abordagem integrada.

Assim, estas ferramentas podem, e devem, ser usadas como apoio ao monitoramento para preservação ou conservação destes ambientes. Podendo servir ainda para nortear estudos em regiões de maior abrangência, já que esta modelagem pode apontar possíveis áreas de interesse exploratório. Valendo disso, estudos como estes podem (e deveriam) ser minimamente adotadas frente aos tomadores de decisão, visto a necessidade de caracterização das áreas ambientais, afinal, por exemplo, como tomar decisões sobre o que pode ou não ser ocupado pela indústria petrolífera ou eólica *offshore*, sem se conhecer minimamente o ambiente de instalação, ou ainda, nos estudos básicos de regiões com finalidade de realizar o zoneamento para delimitação do Planejamento Espacial Marinho(PEM).

Esta aplicação serve ainda para auxiliar zoneamento dentro de áreas de preservação. Através da identificação das zonas bentônicas associadas a fauna e através da análise nas regiões vizinhas, é possível gerir o uso dentro da área, evitando atividades poluidoras próximas a essas, por exemplo.

Por último, e não menos importante, fica claro a necessidade de formação e incentivo em recursos humanos para o avanço e desenvolvimento de novos trabalhos. E que estas ferramentas de modelagens e estudos, possam ser adotadas como dados básicos de consulta e, quando não houver esta fonte de conhecimento, que estes sejam adquiridos e passem a integrar a base de qualquer governo.

É importante a divulgação científica deste e de outros trabalhos para as comunidades que englobam à área de estudo e as regiões circunvizinhas como uma forma de aproximar a academia da sociedade civil.

## REFERÊNCIAS

- 3.4.5.10. Mudança de cobertura do solo — **Documentação do plug-in de classificação semiautomática 7.9.7.1.** Disponível em: <[https://semiautomaticclassificationmanual-readthedocs-io.translate.google.com/en/latest/landCoverChangeTab.html?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=pt&\\_x\\_tr\\_hl=pt-BR](https://semiautomaticclassificationmanual-readthedocs-io.translate.google.com/en/latest/landCoverChangeTab.html?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR)>. Acesso em: 23 set. 2023.
- ALBINO, J.; COSTA K. G.; CARNEIRO, M. T. W. D. **Relações entre a morfodinâmica, geoquímica e comunidade bentônica das praias expostas adjacentes à desembocadura fluvial: caso do rio Doce, Espírito Santo.** In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. P. 244- 265. ISBN 978-65-992571-0-0
- ArcGIS Desktop Help 9.3 - **Using the Topo to Raster tool.** Disponível em: <<https://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Using%20the%20Topo%20to%20Raster%20tool>>. Acesso em: 5 set. 2023.
- BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. Introdução a Geologia Marinha. Rio de Janeiro. **Interciência.** 2004.
- BARBOSA, L. N. Caracterização geoecológica do estuário do rio Pacoti-Ceará: ações para um planejamento integrado. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 971–980, 27 out. 2016.
- BASCOM, W. N. The relationship between sand size and beach-face slope. *Transactions, American Geophysical Union*, Washington, USA, p. 866-874. 1951
- BEGON, M.; HARPER, IL.; TOVYNSEND, CR. Ecology: individuals, population and communities. **Blackwell Scientific Publications**; 1990.
- BRANDÃO, R. L. 1995. **Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza.** Fortaleza: CPRM.
- BROWN, A.C. and MCLACHLAN, A. (1990) **Ecology of sandy shores.** Elsevier, Amsterdam.
- BROWN, C. J.; SMITH, S. J.; LAWTON, P.; ANDERSON, J. T. Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 92, n. 3, p. 502-520, 2011/05/01/ 2011.
- BUJAN, N.; COX, R.; MASSELINK, G. From fine sand to boulders: Examining the relationship between beach-face slope and sediment size. **Marine Geology** 417, 2019

CASTELLO, J. P.; KRUG, L. C. (org.). **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Ed. Textos, 2017. Disponível em:

<https://cienciasdomarbrasil.furg.br/images/livros/LivroIntroducaoCienciasDoMar.pdf>.

CAVALCANTE, I.N. **Fundamentos Hidrogeológicos para a Questão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza - Estado do Ceará**. Tese de Doutorado. São Paulo: USP, 1998

CEARÁ . **Plano de Gerenciamento das Águas de Bacias Metropolitanas**. Fortaleza: COGERH, 2003

CEARÁ. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos e Meteorológicos do Ceará**. Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/obras/foto.asp?objeto=acudes&codigo=88>.

COGERH. **Plano de Gerenciamento das Águas de Bacias Metropolitanas**. Fortaleza. 2003.

COLARES, M. C. da S. **Evolução geomorfológica do canal estuarino do Rio Coreá, Ceará, Brasil**. Fortaleza (CE), 2015. 96 f. Tese (doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

COLEMAN, K.D.S.; JENKINSON, G.J.; CROCKER, P.R.; GRACE, I.; KLIR, M.; KÓRSCHENS, PR; POULTON, D.D.; RICHTER Simulate ting trends in soil organic carbon in long-term experiment tussling Roth C-26.3. P. Smith, D.S.

Powlson, J.U. Smith, E.T. Elliott (Eds.), **Geoderma**, v. SI, p. 29-44, 1997.

CONGEDO, L(a). **Semi-Automatic Classification Plugin — QGIS Python Plugins Repository**. Disponível em:

<<https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/>>. Acesso em: 23 set. 2023.

CONGEDO, Luca, (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. **Journal of Open Source Software**, 6(64), 3172, <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

CONNOR, D.W.; ALLEN, J.H.; GOLDING, N.; HOWELL, K.L.; LIEBERKNECHT, E.M.; NORTHEN, K.O.; REKER, J.B. **The marine habitat classification for Britain and Ireland version 04.05 introduction**. Joint Nature Coneservation Committee. Institute of Coastaland Estuarin Estudios, UniversityofHull, 2004.

CONTI, L. A.; MOTA, G. T. DA; BARCELLOS, R. L. High-resolution optical remote sensing for coastal benthic habitat mapping: A case study of the Suape Estuarine-Bay, Pernambuco, Brazil. **Ocean & Coastal Management**, v. 193, p. 105205, 1 ago. 2020.

DALRYMPLE, R. W. Tidaldepositional systems. In: WALKER, R. G.; JAMES, N. P.

(Eds.). **Facies models: response to sea level change**. Canada: Geological Association of Canada, 1992.

DALRYMPLE, R.W.; ZAITLAN, B.A. E BOYD, R. **Estuarine facies models: conceptual basics and stratigraphic implications**. J. Sediment. Petrol. 62, 1030-1046.1992.

DAMASCENO, M. P. **Distribuição Espaço-Temporal Do Bivalve Anomalocardia Flexuosa (Mollusca: Bivalvia: Veneridae) No Estuário Do Rio Pacoti, Ceará - BRASIL**. . Em: XLII ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. , 2023. Disponível em: <<http://sysprppg.ufc.br/eu/2023/Resumos/wrappers/MostrarResumo.php?cpf=39042278315&cod=025>>. Acesso em: 13 nov. 2023

DEFEO O., BARBOZA C., BARBOZA F., AEBERHARD W., CABRINI T., CARDOSO R., ORTEGA L.,SKINNER, V., WORM B. 2017. Aggregate patterns of macrofaunal diversity: an interocean comparison. **Global Ecol. Biogeogr**, 26: 823–834

DIAS G.T.M.; ROBRINI M.; FREIRE Anais G.S.F., FIGUEIREDO JR A.G. **Cartas de Sedimento de Fundo. Areas da Oceanografia Geológica (Sul, Central, Nordeste e Norte) Programa de Avaliação ao do Potencial Sustentável dos recursos vivos na Zona Económica Exclusiva**. REVIZEE, 2004a. CD-ROM de Cartas Sedimentológicas.

DIAS, C. B. **Dinâmica do sistema estuarino Timonha/Ubatuba (Ceará - Brasil): considerações ambientais**. 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

DIAZ, R.J.; SOLAN, M.; VALENTE, R.M. A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. **Journal of Environmental Management**, 73, p. 165-181, 2004.

DIESING, M., Coggan, R., Vanstaen, K., 2009. Ocorrência generalizada de recifes rochosos no Canal da Mancha central e as implicações para o mapeamento preditivo de habitats. **Ciência Estuarina, Costeira e de Plataforma** , 83, 647-658.

DUNN, DC, e Halpin, PN, 2009, **Preenchendo uma lacuna de dados de planejamento espacial marinho: rugosidade como proxy de mesoescala para habitat de fundo duro**. Série de Progresso em Ecologia Marinha, 377:1-11.2009.

ERDEY-HEYDORN, MD, 2008. Uma caixa de ferramentas de caracterização do fundo marinho ArcGIS desenvolvida para investigar habitats bentônicos. **Geodésia Marinha** , 31(4): 318-358.

ESRI ARCGIS. **Benthic Terrain Modeler** - Visão Geral. Disponível em: <<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=b0d0be66fd33440d97e8c83d220e7926>>.

Acesso em: 12 set. 2023.

EUNTI. **EUROPEAN NATURE INFORMATION SYSTEM (EUNIS)**.

In:<https://eunis.eea.europa.eu/habitats.jsp>. 2007, revisada em 2012.

FIGUEIREDO, G.M. & VIEIRA, J.P. **Cronologia alimentar e dieta da corvina, *Micropogonias furnieri*, no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil.** *Atlântica*, v.20, p.55-72, 1998. GitHub - semiautomaticgit/SemiAutomaticClassificationPlugin. Disponível em: <<https://github.com/semiautomaticgit/SemiAutomaticClassificationPlugin>>. Acesso em: 23 set. 2023.

GOES, E. R. **Mapeamento preditivo dos habitats marinhos na plataforma continental interna adjacente aos municípios de Paulista e Olinda (PE)**. masterThesis. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29700>>. Acesso em: 13 nov. 2023.

GORAYEB, A.; SILVA, E. V. ; MEIRELES, A. J. A. Meio Ambiente e Condições de Sustentabilidade da Planície Flúvio-Marinha do Rio Pacoti – Ceará – Brasil. **Geoambiente On-line**, Jataí/GO, n. 2, p. 1-17, jan-jun. 2004.

GUIDE UNESCO - EHLER, C.; DOUVERE, F. **Marine Spatial Planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management**. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme. Paris. 2009.

GUISAN, A., SB Weiss, AD Weiss. 1999. **Modelagem espacial GLM versus CCA da distribuição de espécies de plantas.** *Ecologia Vegetal* , 143: 107-122.

HARARI, J. **Noções sobre Oceanografia** - IOUSP. São Paulo/SP2023.

HARRIS, P. T.; MACMILLAN-LAWLER, M.; RUPP, J.; BAKER, E. K. Geomorphology of the oceans. **Marine Geology**, 352, p. 4-24, 2014/06/01/ 2014.

HORN, B. K. P. **Hill shading and the reflectance map**. v. 69, p. 14–47, jan. 1981.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, n. 3, p. 211–232, 30 abr. 1989.

HUTCHINSON, M. F. Calculation of Hydrologically Sound Digital Elevation Models. Third International Symposium on Spatial Data Handling, p. 117–133, 1 jan. 1988.

IAMPIETRO, P.; Kvittek, R. **Classificação quantitativa do habitat do fundo do mar usando análise de terreno GIS: Efeitos da densidade, resolução e escala de dados**. Em Anais da 22a Conferência Anual de Usuários da ESRI, San Diego, CA, EUA, 9–13 de julho de 2002; págs. 8–12.

IERODIACONOU, D. et al. Combining pixel and object based image analysis of ultra-high resolution multibeam bathymetry and backscatter for habitat mapping in shallow marine waters. *Marine Geophysical Research*, v. 39, n. 1, p. 271–288, 1 jun. 2018.

KOMAR, P. D., **Beaches Processes and Sedimentation. 2nd ed.** USA:Prentice Hall Inc., 1998.

LACERDA, L. D. DE; MENEZES, M. O. T. DE; MOLISANI, M. M. **Alteração na cobertura de manguezais ao longo do estuário do Rio Pacoti, CE, NE do Brasil devido a mudanças ambientais entre 1958 e 2004. 2007.**

LANIER, A., ROMSOS, C. e GOLDFINGER, C., 2007. Mapeamento de habitat do fundo do mar na margem continental do Oregon: Uma abordagem GIS espacialmente aninhada para escala de mapeamento, métodos de mapeamento e quantificação de precisão. **Geodésia Marinha** , 30:51-76.

LESSA, G. **Aspectos básicos da circulação estuarina e sua relação com o ambiente costeiro.** In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) *Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos.* Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 74-103. ISBN 978-65-992571-0-0

LISNIEWSKI, M. A. **Caracterização de potenciais habitats bentônicos na elevação do Rio Grande.** Rio de Janeiro/RJ. 2020.

LUNDBLAD, E. R. et al. A Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa. **Marine Geodesy**, v. 29, n. 2, p. 89–111, 1 jul. 2006.

LUNDBLAD, E., Wright, DJ, Miller, J., Larkin, EM, Rinehart, R., Battista, T., Anderson, SM, Naar, DF e Donahue, BT, 2006. Um esquema de classificação de terreno bentônico para americanos Samoa, **Geodésia Marinha** , 29(2): 89-111.

MARINHO, C. B. R. **Morfodinâmica Da Foz Do Estuário Do Rio Pacoti, Ceará A Partir Da Análise De Dados De Sensoriamento Remoto (VANT/DRONE).** Disponível em: <<http://sysprppg.ufc.br/eu/2023/Resumos/wrappers/MostrarResumo.php?cpf=63052296353&cod=001>>. Acesso em: 13 nov. 2023.

MASSELINK, G. e LI, L. The role of swash infiltration in determining the beachface gradient: a numerical study. *Marine Geology* 176, 139–156. 2001.

MATT PENDLETON, N. et al. **Benthic Terrain Modeler | ArcGIS Resource Center.**

Disponível em:

<<https://resources.arcgis.com/en/communities/oceans/02pp00000007000000.htm>>. Acesso em: 17 set. 2023.

MAYER L., JAKOBSSON M., ALLEN G., DORSCHER B., FALCONER R.,

- FERRINI V., LAMARCHE G., SNAITH H., WEATHERALL P. 2018. The Nippon Foundation—GEBCO Seabed 2030 Project: The quest to see the world's oceans completely mapped by 2030. **Geosciences**, 8,63.
- MCFALL, B. C. The relationship between Beach Grain Size and Intertidal Beach Face Slope. **Journal of Coastal Research**, 35 (5), p. 1080-1086, 2019.
- MCLACHLAN A. & DORVLO A. 2005. **Global patterns in sandy beach macrobenthic communities**. *J Coast Res*, 21:674–687.
- MCLACHLAN, A. & BROWN, A. 2006. **The ecology of sandy shores**. London: Academic Press. p. 273-301, Academic Press. isbn: 9780123725691. doi:10.1016/b978-012372569-1/50014-8.
- MENESES, L. D. et al. **Análise Preliminar Da Macrofauna Bentônica Dos Bancos Arenos-Lamosos Do Estuário Do Rio Pacoti, Ceará**. . Em: XLI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. , 2022. Disponível em: <<http://sysprppg.ufc.br/eu/2022/Resumos/wrappers/MostrarResumo.php?cpf=39042278315&cod=007>>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Dieter Muehe, organizador. – Brasília: MMA. 2006.
- MIRANDA, L. B., and B. M. Castro, 2002: **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. Editora da USP, 2002.
- MÓLLER, P.; PIHL, L.; ROSENBERG, R. **Benthic faunal energy flow and biological interaction in some shallow marine soft bottom habitats**. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* , v. 27, p. 109-121, 1985.
- MORAIS, J. O.; IRION, G. F.; PINHEIRO, L. S.; MEDEIROS, C. **Aspectos sedimentológicos comparativos entre o sistema estuarino do Malcozinhado e lagoa da Encantada-Ceará**. *Essentia*, Sobral, v. 4, n. 1, p. 101-112, 2002."
- MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. DE S. **Geografia Marinha - OCEANOS E COSTAS NA PERSPECTIVA DE GEÓGRAFOS**. 1. ed. Rio de Janeiro. v. 1
- NASCIMENTO, L. R. S. D. **Macrofauna Bentônica De Bancos Arenos-Lamosos Em Um Estuário Do Semiárido Nordeste**. . Em: XLII ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. , 2023. Disponível em: <<http://sysprppg.ufc.br/eu/2023/Resumos/wrappers/MostrarResumo.php?cpf=39042278315&cod=002>>. Acesso em: 15 nov. 2023
- NEVES, R. A. F.; VALENTIN, J. L. **Revisão Bibliográfica Sobre A Macrofauna Bentônica**

**De Fundos Não-Consolidados, Em Áreas Costeiras Prioritárias Para Conservação No Brasil.** Arquivos de Ciências do Mar, v. 44, n. 3, 1 dez. 2011.

NOAA, C. S. C.; ESRI. **Benthic Terrain Modeler for ArcGIS 10.1 - TUTORIAL.** , ago. 2013. Disponível em: <<https://coast.noaa.gov/data/digitalcoast/pdf/btm-tutorial.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2023

PAIVA, C. V. P. B. **Composição E Distribuição Da Poliquetofauna No Estuário Do Rio Pacoti, Ceará - Brasil.** . Em: XLII ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. , 2023. Disponível em:

<<http://sysprppg.ufc.br/eu/2023/Resumos/wrappers/MostrarResumo.php?cpf=39042278315&cod=003>>. Acesso em: 13 nov. 2023.

PASCAL, P.Y.; DUPUY, C.; RICHARD, P.; HAUBOIS, A.G. & NIQUIL, N. **Influence of environment factors on bacterial ingestion rate of the deposit-feeder *Hydrobia ulvae* and comparison with meiofauna.** J. Sea Res., v.60, p.151-156, 2008.

PEREIRA, I. S. et al. **Classificação De Paisagens Bentonicas Em Um Estuário Semiárido Na Margem Equatorial Brasileira.** . Em: XXXIII SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA. Recife/PE, dez. 2023. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/participante/trabalhocientifico/submissao/658190/>>. Acesso em: 14 nov. 2023

PINHEIRO, L. S. ; MORAIS, J.O. ; ROCHA, G. H. M. ; OLIVEIRA, M. M. N. 2008. Impactos de Barramentos na Morfodinâmica da Foz do Rio Malcozinhado, Cascavel- Ceará - Brasil.. In: VII Simposio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. Dinâmica e Diversidade da Paisagem. Belo Horizonte : UFMG, 2008. v. 1. p. 1-10.

PINHEIRO, L. S.; MEDEIROS, C.; MORAIS, J. O. **Erosive processes monitoring linked to the estuarine evolution systems nearby AguasBelas, Cascavel,Ceará, Brazil.** Journal of Coastal Research, Itajaí, v. 39, n.1, p. 1403-1406, 2006.

PINHEIRO, L. S.; MEDEIROS, C.; MORAIS, J. O. **Riscos e Gestão Ambiental no Estuário do Rio Malcozinhado, Cascavel-CE.** 2003. 229 p. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Cidade, 2003.

PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J. O.; PITOMBEIRA, E. S. Caponga Shoreline Rehabilitation Assesments. **Journal of Coastal Research, Itajaí**, Special Issue, v. 35, p. 536-542, 2003.

PINHEIRO, L. S.;MORAIS,J. O. Interferências de barramentos no regime hidrológico do estuário do rio Catú-Ceará-Nordeste do Brasil. **Sociedade & natureza (UFU)**, v. 22, p. 237-250, 2010.

PINHEIRO, L.; RODRIGUES XIMENES NETO, A.; AQUINO BEZERRA FILHO, F.A.; ROSANE SILVEIRA PINTO, C.; DE SOUZA PINHEIRO, L.; PESSOA, P.; LIMA FILHO, R.; BALBINO DA SILVA, R.; MORAIS, J.; GORAYEB, A.; et al. **Seascape Ethnomapping on the Inner Continental Shelf of the Brazilian Semiarid Coast**. *Water* 2023, 15, 798. <https://doi.org/10.3390/w15040798>

PRITCHARD, D. W. **Estuarine Hidrography. Advances in Geophysics**. New York:Academic Press, 1952. v. 1.

QUARESMA, V. S. et al. **Mapeamento geológico de habitat marinhos: abordagem e estudo de caso**. In:MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) *Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 267-291. ISBN 978-65-992571-0-0

QUEIROZ, A. B. J. DE. **Análise ambiental do estado de conservação do baixo curso do Rio Pacoti - Ceará**. 2005.

REIS, A. H. e GAMA, C. Sand size versus beachface slope - An explanation based on the Constructal Law. **Geomorphology**. V. 144, p. 276-283. 2010

RINEHART, R. W. et al. **ArcGIS 8.x Benthic Terrain Modeler: Analysis in American Samoa. Proceedings of the 24th Annual ESRI User Conference**. Anais... Em: PROCEEDINGS OF THE 24TH ANNUAL ESRI USER CONFERENCE. San Diego, CA: 2004. Disponível em: <[https://dusk.geo.orst.edu/esri04/p1433\\_ron.html](https://dusk.geo.orst.edu/esri04/p1433_ron.html)>. Acesso em: 15 set. 2023

ROCHA, G. H. M. **Morfodinâmica de desembocaduras de sistemas estuarinos barrados: o caso do rio Pacoti-Ceará**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará (UECE), Fortaleza, 2013.

ROCHA, G.H.M. 2013. Morfodinâmica de Desembocaduras de Sistemas Estuarinos Barrados: o Caso do Rio Pacoti – Ceará. **Revista GeoUECE** - Programa de Pós-Graduação em Geografia da UECE Fortaleza/CE, v.2, nº1, p.154-155, jan./jun.,2013.

SANTOS A, W. D. et al. **Dinâmica Sedimentar No Estuário Do Rio Pacoti, Ceará**. . Em: XXXIII SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRRAFIA. Recife/PE, out. 2023. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/participante/trabalhocientifico/submissao/667356/>>. Acesso em: 14 nov. 2023

SECCHIN, N.A. **Mapeamento de Habitats Marinhos na Plataforma de Abrolhos**. Vitória, 2011. 71 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Espírito Santo.

SILVA, Nubelia Moreira da. **Nos meandros do Pacoti:os impactos socioambientais da**

**atividade imobiliária nas comunidades do entorno da planície flúvio-marinha do rio Pacoti-Ceará.** 2005. 127 f. : Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa Regional de Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, Fortaleza-CE, 2005

SNELGROVE, P.V.R.; BLACKBURN, T.H.; HUTCHINGS, P.; ALONGI, D.; GRASSLE, J.F.; HUMMEL, H.; KING, G.; KOIKE, I.; LAMBSHEAD, P.J.D.; RAMSING, N.B. & SOLIS-WEISS, V. **The importance of marine biodiversity in ecosystem processes.** *Ambio*, v.26, p.578-583, 1997.

SOUZA, M.J.N. **Bases Naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará.** In: Lima, L. C., MORAIS, J. O. e SOUZA, M. J. N. (Orgs). *Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará.* Fortaleza: FUNECE.2000.

SRH. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos e Meteorológicos do Ceará.** 2003.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário: mudanças ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

SUNAMURA, T. **Quantitative predictions of beachface slopes.** *Geological Society of America Bulletin* **95**, 242–245. 1984.

VITAL, H., ESTEVES, L., ARAÚJO, T. C. M., PATCHINEELAM, S. M. 2005. **Oceanografia geológica e geofísica da plataforma continental brasileira.** In: SOUZA, C.R.G. et al., *quaternário do Brasil.* Ribeirão Preto: Holos, Cap. 8. p. 153-175

WALBRIDGE, S. et al. Unified Geomorphological Analysis Workflows with Benthic Terrain Modeler. *Geosciences*, v. 8, n. 3, p. 94, mar. 2018.

WALBRIDGE, S.; Slocum, N.; Pobuda, M.; Wright, DJ Fluxos de trabalho de análise geomorfológica unificada com modelador de terreno bentônico. *Geociências* 2018 , 8 , 94. doi: 10.3390/geosciences8030094

WALLACE, K.J. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation*, v. 139, p. 235-246, 2007.

WARD, R. D. et al. Vertical accretion rates of mangroves in northeast Brazil: Implications for future responses and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 289, p. 108382, 31 ago. 2023.

WEDDING, L., A. Friedlander, McGranaghan, M., Yost, R., e Monaco, M. 2008. **Usando LiDAR batimétrico para definir a complexidade do habitat bentônico próximo à costa: Implicações para o gerenciamento de assembleias de peixes de recife no Havai.**

Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente, 112(11): 4159-4165.

WEISS, A. D. 2001. **Topographic Positions and Landforms Analysis** (Conference Poster). Proceedings of the 21st Annual ESRI User Conference. San Diego, CA, July 9-13.2001.

WESLAWSKI, J.M.; SNELGROVE, P.V.R.; LEVIN, L.A.; AUSTEN, M.C.; KNEIB, R.T.; ILIFFE, T.M.; CAREY, J.R.; HAWKINS, S.J. & WHITLATCH, R. B. **Marine sedimentary biota as providers of ecosystem goods and services**, p. 73 - 98, in WALL, D.H. (ed.), Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments. Island Press, 275 p., Washington, 2004.

WILSON, MFJ, O'Connell, B., Brown, C., Guinan, JC e Grehan, AJ, 2007. Análise de terreno multiescala de dados de batimetria multifeixe para mapeamento de habitat na encosta continental. **Geodésia Marinha** , 30:3-35.

WRIGHT, D. J., E. R. Lundblad, E. M. Larkin, R. W. Rinehart, J. Murphy, L. Cary-Kothera, and K. Draganov. 2005. **ArcGIS Benthic Terrain Modeler**. Corvallis, Oregon, Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory and NOAA Coastal Services Center. Accessible online at: <http://maps.csc.noaa.gov/digitalcoast/tools/btm>.

ZAJAC, R. N.; LEWIS, R. S.; POPPE, L. J.; TWICHELL, D. C. et al. **Responses of infaunal populations to benthoscape structure and the potential importance of transition zones. Limnology and Oceanography**, 48, n. 2, p. 829-842, 2003."