

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da  
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região  
Marinha e Costeira Adjacente**

**RELATÓRIO ANUAL:**

**Anexo 3 Marinho – Mapeamento de Habitats**

**RT-19E RRDM/NOV19**

**Coordenação Geral**

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Novembro de 2019

## COORDENAÇÕES

### **Anexo 1**

Adalto Bianchini (FURG)

### **Anexo 3**

Edmilson Costa Teixeira (UFES)

Fabian Sá (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

#### **Subprojetos**

Alessandra Delazari Barroso (FAESA)

Alex Cardoso Bastos (UFES)

Ana Cristina Teixeira Bonecker (UFRJ)

Anderson Geyson Alves de Araújo (UFES)

Björn Gücker (UFSJ)

Camilo Dias Júnior (UFES)

Daniel Rigo (UFES)

Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna (UFOP)

Gilberto Amado Filho (IPJB) *in memoriam*

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Iola Gonçalves Boechat (UFSJ)

Leila Lourdes Longo (UFRB)

Leonardo Tavares Salgado (IPJB)

Luís Fernando Loureiro (UFES)

Marco Aurélio Caiado (UFES)

Renato David Ghisolfi (UFES)

Renato Rodrigues Neto (UFES)

Rodrigo Leão de Moura (UFRJ)

Valéria da Silva Quaresma (UFES)

Valéria de Oliveira Fernandes (UFES)

Vanya Marcia Duarte Pasa (UFMG)

### **Anexo 4**

Jacqueline Albino (UFES)

#### **Subprojetos**

Karla Costa (UFES)

Maria Tereza Carneiro (UFES)

### **Anexo 5**

Diolina Moura Silva (UFES)

Mônica Tognella (UFES)

### **Anexo 6**

Agnaldo Silva Martins (UFES)

#### **Subprojetos**

Ana Paula Cazerta Farro (UFES)

Leandro Bugoni (FURG)

Sarah Vargas (UFES)

### **Anexo 7**

Maurício Hostim (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

#### **Subprojetos**

Carlos W. Hackradt (UFSB)

Fabiana Felix Hackradt (UFSB)

Jean-Christophe Joyeux (UFES)

Luis Fernando Duboc (UFV)

### **Anexo 8**

Heitor Evangelista (UERJ)

#### **Coordenação Técnica (CTEC)**

Alex Cardoso Bastos

Lara Gabriela Magioni Santos

Laura Silveira Vieira Salles

Tarcila Franco Menandro

#### **Coordenação Escritório de Projetos**

Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

Patrícia Bourguignon Soares

Paulo Roberto Filgueiras

Valdemar Lacerda Junior

Walter Luiz Alda Junior

#### **Coordenação Núcleo de Atuação Integrada em Rede (NAIR)**

Edmilson Costa Teixeira

Karla Libardi Gallina

Andressa Christiane Pereira

Anna Paula Lage Ribeiro

Caroline De Marchi Pignaton

Paulo Eduardo Marques

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>11</b>
1.1	AQUISIÇÃO E ANÁLISE/PROCESSAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS .....	12
1.1.1	Vídeo imageamento – Verdade de Campo .....	12
1.1.2	Segmentação e classificação dos dados batimétricos e de backscatter .....	14
1.2	COLETA E PROCESSAMENTO DOS TESTEMUNHOS .....	14
1.2.1	Composição sedimentológica .....	15
1.2.2	Composição Mineralógica .....	15
1.2.3	Análise de Geoquímica .....	15
1.3	COLETA E ANÁLISE/PROCESSAMENTO DOS DADOS SÍSMICOS .....	17
1.4	COMPILAÇÃO DE DADOS EXISTENTES .....	18
<b>2</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>18</b>
2.1	SETOR APA COSTA DAS ALGAS .....	19
2.1.1	Mapeamento de habitats .....	19
2.1.2	Mapeamento da potencial ocorrência de rejeitos .....	35
2.2	SETOR FOZ DO RIO DOCE .....	47
2.2.1	Mapeamento de Habitats.....	47
2.2.2	Mapeamento da potencial ocorrência de rejeitos .....	61
2.3	SETOR NORTE (RECIFES ESQUECIDOS) .....	93
2.3.1	Mapeamento de Habitats.....	93
2.3.2	Mapeamento da potencial ocorrência de rejeitos .....	103
2.4	ANÁLISE DE RESULTADOS (MAPEAMENTO DE HABITATS) .....	116
2.4.1	Dados batimétricos e sísmico .....	116
2.4.2	Análise Geoquímica dos testemunhos.....	121
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>126</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa contemplando todo o levantamento realizado no Anexo 3 - Mapeamento de habitats	11
Figura 2: Foto da estrutura metálica (dropcâmera).....	13
Figura 3: Mapa batimétrico do Setor Apa Costa das Algas. ....	19
Figura 4: Batimetria em perspectiva 3D indicando feições do tipo “Buracas” e vales incisos.....	20
Figura 5: Detalhes da região próxima à quebra de plataforma no norte da área de levantamento. ....	22
Figura 6: Mapa do backscatter da região da APA Costa das Algas, juntamente com os dados pretéritos. .....	23
Figura 7: Histograma de distribuição dos valores de backscatter para o setor da APA.....	24
Figura 8: Representação em perspectiva do backscatter do setor APA Costa das Algas, com enfoque em manchas de baixo valores.....	25
Figura 9: Localização dos pontos de vídeo na área correspondente ao levantamento ecobatimétrico na região da APA Costa das Algas, entre as isóbatas de 45 e 275 metros. ....	26
Figura 10: Imagens do fundo na região de estudo (APA Costa das Algas) adquiridas por dropcâmeras. .....	29
Figura 11: Segmentação realizada pelo BRESS, tanto considerando apenas propriedades geomorfométricas (resultando nas Landforms), quanto considerando também o backscatter (Classes da segmentação).....	31
Figura 12: Segmentação da batimetria utilizando os dados batimétricos.....	32
Figura 13: Resultados da segmentação dos dados batimétricos e de backscatter executada na ferramenta do ArcGIS RSobria.....	33
Figura 14: Classificação de habitats para o setor da APA Costa das Algas mapeado. ....	34
Figura 15: Localização dos testemunhos coletados ao longo da plataforma. ....	36
Figura 16: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM_SCRD_T01 coletado na plataforma continental ES.....	38
Figura 17: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em µg/g ao longo do testemunho T1 com 42 cm de profundidade. ....	40
Figura 18: Descrição e exemplos das imagens referente aos cinco ecocaráteres identificados ao longo da região de levantamento.....	41

Figura 19: Localização do padrão de Ecocaráter do tipo Estruturas Recifais (A), Camada superficial transparente (B), Penetração e definição dos refletores subsuperficiais (D) e Sem definição de refletores subsuperficiais (E) com foco no setor da APA.....	44
Figura 20: Espessura do ecocarater B no setor da APA .....	46
Figura 21: Mapa batimétrico do Setor Foz.....	47
Figura 22: Exemplo de feições encontradas nos registros batimétricos.....	48
Figura 23: Comparação de dados batimétricos mostrando modificações do fundo marinho associados à passagem de frentes frias. ....	49
Figura 24: Exemplo de linhas batimétricas (diferentes cores) revelando um comportamento acústico indicativo de lama fluida. ....	49
Figura 25: Mapa do backscatter da região do Rio Doce.....	50
Figura 26: Backscatter sobreposto na batimetria em perspectiva 3D. ....	51
Figura 27: Histograma dos valores de backscatter.....	52
Figura 28: Exemplos da variação de backscatter ao longo da área. ....	52
Figura 29: Localização dos pontos de vídeo na área correspondente ao levantamento ecobatimétrico na região adjacente à foz do rio Doce, entre as isóbatas de 15 e 30 metros.....	53
Figura 30: Exemplo de frames coletados na região adjacente à foz do rio Doce .....	55
Figura 31: Exemplo dos frames das imagens de fundo para as visualizações ortogonal e lateral de diferentes pontos adjacentes à foz do Rio Doce.....	55
Figura 32: Resultados da segmentação realizada no software BRESS.....	58
Figura 33: Resultados da segmentação dos dados batimétricos e de <i>backscatter</i> para o setor Foz do Rio Doce.....	59
Figura 34: Classificação de habitas para o setor foz do Rio Doce mapeado. ....	60
Figura 35: Localização dos testemunhos coletados ao longo da plataforma. ....	62
Figura 36: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM_SCRD_T03 coletado na plataforma continental ES.....	64
Figura 37: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM_SCRD_T04 coletado na plataforma continental ES.....	66
Figura 38: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM_SCRD_T06 coletado na plataforma continental ES.....	68

Figura 39: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM_SCRD_T07 coletado na plataforma continental ES. ....	70
Figura 40: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM_SCRD_T08 coletado na plataforma continental ES. ....	72
Figura 41: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM_SCRD_T11 coletado na plataforma continental ES. ....	74
Figura 42: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM_SCRD_T13 coletado na plataforma continental ES. ....	76
Figura 43: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) em ferro (Fe) em $\mu\text{g/g}$ ao longo do testemunho T3 com 72 cm de profundidade. ....	77
Figura 44: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em $\mu\text{g/g}$ ao longo do testemunho T4 com 61 cm de profundidade. ....	79
Figura 45: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em $\mu\text{g/g}$ ao longo do testemunho T6 com 64 cm de profundidade. ....	81
Figura 46: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) em ferro (Fe) em $\mu\text{g/g}$ ao longo do testemunho T7 com 52 cm de profundidade. ....	82
Figura 47: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) em ferro (Fe) em $\mu\text{g/g}$ ao longo do testemunho T8 com 12 cm de profundidade. ....	83
Figura 48: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em $\mu\text{g/g}$ ao longo do testemunho T11 com 46 cm de profundidade. ....	85
Figura 49: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em $\mu\text{g/g}$ ao longo do testemunho T13 com 71 cm de profundidade. ....	87
Figura 50: Localização do padrão de Ecocaráter do tipo Estruturas Recifais (A), Camada superficial transparente (B), ; Camada superficial transparente com refletor do fundo marinho bem definido (Delta) (C) Penetração e definição dos refletores subsuperficiais (D) e Sem definição de refletores subsuperficiais (E) com foco no setor da foz do Rio Doce. ....	89
Figura 51: Espessura do ecocaráter B no Setor Foz do Rio Doce. ....	91
Figura 52: Indicativo de lama fluida mapeada no setor da foz do Rio Doce. ....	92
Figura 53: Região de mudança de ecocaráteres e do padrão de backscatter. a) Mapa de backscatter indicando os registros sísmicos; b) Perfil sísmico ao norte, com indicação do local onde ocorre a mudança de padrão; c) Perfil sísmico ao sul, com indicação do local onde ocorre a mudança de padrão. ....	93

Figura 54: Mapa batimétrico do Setor Norte. ....	94
Figura 55: Batimetria 3D em detalhe mostrando exemplos de recifes. ....	95
Figura 56: Exemplo de <i>furrows</i> encontradas na batimetria do setor norte. (a) Superfície batimétrica na qual é possível identificar <i>furrows</i> e recifes; (b) Batimetria em perspectiva 3D evidenciando recifes e <i>ribbons</i> , e indicação de um perfil batimétrico (linha vermelha); (c) outro exemplo de superfície batimétrica na qual é possível identificar <i>furrows</i> e recifes; d) Perfil batimétrico. ....	96
Figura 57: Mapa do Backscatter do setor Norte. ....	97
Figura 58: Frames obtidos a partir das filmagens de ROV. a) e b) Fragmentos bioclásticos; c) d) e) f) Estruturas recifais. Filmagens cedidas pelo Anexo 6. ....	98
Figura 59: Segmentação executada no software BRESS para o Setor Norte, com um quadro detalhando a classificação de Landforms na região norte da área. ....	99
Figura 60: a) Batimetria; b) Backscatter; c) Segmentação do Rsobia configurada para uma melhor resolução; d) Segmentação do Rsobia configurada para uma resolução mais abrangente. ....	100
Figura 61: Classificação de habitats para o setor Norte mapeado. ....	102
Figura 62: Mapa amostral dos testemunhos coletados ao longo da área de estudo. ....	103
Figura 63: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM_SCRD_T09 coletado na plataforma continental ES. ....	105
Figura 64: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM_SCRD_T10 coletado na plataforma continental ES. ....	107
Figura 65: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em $\mu\text{g/g}$ ao longo do testemunho 9 com 71 cm de profundidade. ....	109
Figura 66: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) em ferro (Fe) em $\mu\text{g/g}$ ao longo do testemunho 10 com 42 cm de profundidade. ....	111
Figura 67: Localização do padrão de Ecocaráter do tipo Estruturas Recifais (A), Camada superficial transparente (B), ; Camada superficial transparente com refletor do fundo marinho bem definido (Delta) (C) Penetração e definição dos refletores subsuperficiais (D) e Sem definição de refletores subsuperficiais (E) com foco no setor Norte. ....	113
Figura 68: Espessura do ecocaráter B no Setor Norte. ....	115
Figura 69: Mapa batimétrico para a plataforma continental do Espírito Santo, juntamente com os dados do Anexo 3 Marinho Integrado. ....	117
Figura 70: Mapa faciologico da plataforma continental do Espírito Santo, juntamente com os pontos do Anexo 3 – Marinho Integrado. ....	118

Figura 71: Medianas, quartis, mínimos e máximos dos Índices de Geoacumulação ( $I_{geo}$ ) para Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Mn e Fe no testemunho T1 no setor APA. ....	122
Figura 72: Medianas, quartis, mínimos e máximos dos Índices de Geoacumulação ( $I_{geo}$ ) para Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Mn e Fe nos testemunhos T3, T4, T6, T7, T8, T11 e T13 no setor foz do Rio Doce. ....	123
Figura 73: Medianas, quartis, mínimos e máximos dos Índices de Geoacumulação ( $I_{geo}$ ) para Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Mn e Fe nos testemunhos T9, T10 no setor norte. ....	124

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do grau de poluição de acordo com o índice de geoacumulação (Igeo).....	16
Tabela 2: Valores de referência para nível limite de efeito (TEL), nível provável de efeito (PEL) e concentrações de background utilizadas para o cálculo de índice de geoacumulação na plataforma continental do Rio Doce (PCRD) e na crosta continental superior. ....	16
Tabela 3: Coordenadas geográficas dos pontos de vídeo na região do APA Costa das Algas que foram coletados. ....	27
Tabela 4: Coordenada dos pontos de testemunho coletados, em UTM Sirgas 2000. ....	37
Tabela 5: Fases mineralógicas para o testemunho 01 .....	39
Tabela 6: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T1. ....	39
Tabela 7: Coordenadas geográficas dos pontos de vídeo na região do rio Doce. ....	53
Tabela 8: Coordenada dos pontos de testemunho coletados, em UTM Sirgas 2000. ....	63
Tabela 9 : Fases mineralógicas para o testemunho 03 .....	65
Tabela 10: Fases mineralógica para o testemunho 04 .....	67
Tabela 11 : Fases mineralógica para o testemunho 06 .....	69
Tabela 12 : Fases mineralógica para o testemunho 07 .....	71
Tabela 13 : Fases mineralógicas para o testemunho 11 .....	75
Tabela 14 : Fases mineralógica para o testemunho 13 .....	77
Tabela 15: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T3. ....	78
Tabela 16: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T4. ....	80
Tabela 17: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T6. ....	81
Tabela 18: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T7. ....	82
Tabela 19: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T8. ....	84
Tabela 20: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T11. ....	86
Tabela 21: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T13. ....	88
Tabela 22: Coordenada dos pontos de testemunho coletados, em UTM Sirgas 2000. ....	104
Tabela 23 : Fases mineralógicas para o testemunho 09 .....	106
Tabela 24 : Fases mineralógicas para o testemunho 10 .....	108

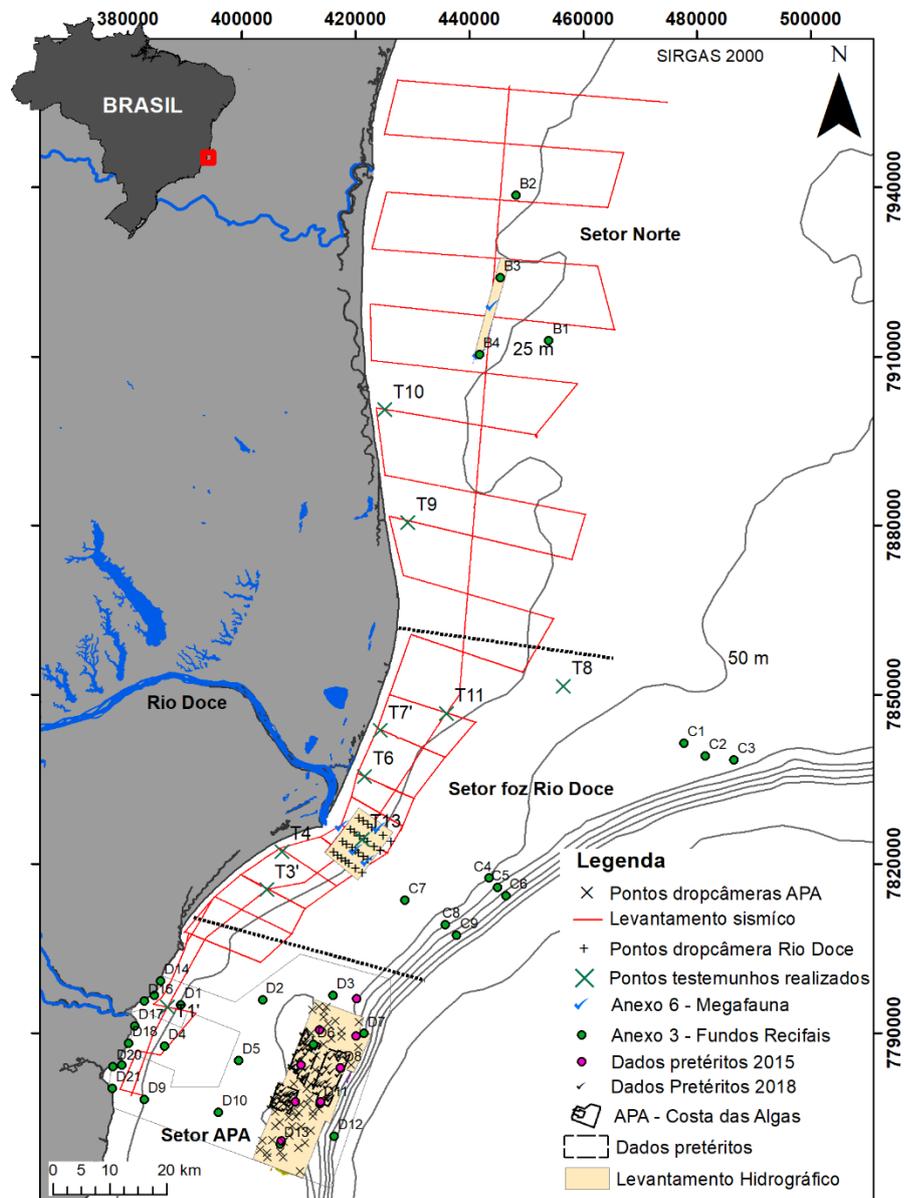
Tabela 25: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T9. ....	110
Tabela 26: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T10. ....	111
Tabela 27: Resultados do teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,0500$ ) para Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Cd, Fe e Mn entre os testemunhos T3, T6, T7, T8 e T10. ....	112

## ANEXO 3 MARINHO– SUBPROJETO MAPEAMENTO DE HABITATS

### 1 METODOLOGIA

Para alcançar todos os objetivos propostos no plano de trabalho deste subprojeto, as seguintes etapas foram realizadas: 1) Aquisição e análise/processamento dos dados batimétricos e de backscatter; 2) coleta e processamento dos testemunhos; 3) coleta e análise/processamento dos dados sísmicos; 4) Compilação de dados existentes. Assim, as áreas contempladas com levantamento seguem na Figura 1.

Figura 1: Mapa contemplando todo o levantamento realizado no Anexo 3 - Mapeamento de habitats



## 1.1 AQUISIÇÃO E ANÁLISE/PROCESSAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS

Os dados de batimetria multifeixe foram obtidos com o ecobatímetro multifeixe (fabricante R2Sonic 2024), utilizando a frequência de 170 Khz. A aquisição dos dados ocorreu no período entre janeiro a julho de 2019. O software QINSy foi utilizado na aquisição. Para o processamento e análise dos registros batimétricos e de backscatter foram utilizados os softwares Qimera, Fledermaus, FMGT e Caris Hips and Sips.

Todo o levantamento hidrográfico foi executado na embarcação Santa Edwiges, que possui adaptações específicas para esse tipo de levantamento. O plano de linhas de navegação para a aquisição dos dados foi construído de modo a atender a uma sobreposição de 30% entre as linhas de sondagem. A calibração dos ângulos de arfagem da montagem do equipamento, conhecida como Patch Test - onde são calculados os ângulos de roll, pitch e yaw - foi realizada sempre ao início de cada campanha ou quando por alguma eventualidade no campo houve uma alteração na posição do ecobatímetro.

Em todas as campanhas foram adquiridos perfis verticais de velocidade do som ao longo da coluna d'água, a cada 3 horas, com o propósito de corrigir efeitos de refração dos feixes do ecobatímetro, evitando assim artefatos e interpretações errôneas do fundo marinho. Utilizando uma maré prevista, durante o levantamento hidrográfico houve um controle contínuo da qualidade dos dados batimétricos. Em laboratório, os registros batimétricos foram corrigidos com os dados de oscilações da maré obtidos por meio de um Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), que foram tratados e disponibilizados pela equipe do Anexo 3 - Modelagem Numérica.

Dados de batimetria de multifeixe coletados em 2017 pelo LaboGeo do Dept de Oceanografia da UFES foram incorporados na análise, considerando inclusive a não repetição das áreas que já haviam sido imageadas. Foram adquiridos com um sistema Reson 7101, sistema inercial DMS05 e DGPS. Tal conjunto de dados faz parte de uma dissertação de mestrado defendida e de uma tese de doutorado em andamento, ambas desenvolvidas no Laboratório de Oceanografia Geológica (LabOGeo - Marine Geosciences Lab) da UFES

### 1.1.1 Vídeo imageamento – Verdade de Campo

As filmagens ocorreram através de GoPros Hero 3 e 4 em um sistema chamado *dropcam*. Este é composto por duas câmeras e lanternas acopladas a uma estrutura metálica piramidal de base 60 x 60 cm (Figura 2), onde uma filma o fundo ortogonalmente e a outra panoramicamente, durante dois minutos, em triplicata. Dos vídeos coletados foram geradas imagens instantâneas (*frames*), que permitem estimar a densidade dos principais organismos visualizados, suas formas, tamanhos, vitalidade e cobertura dos elementos das formações recifais, bancos de rodolitos e fundos lamosos/arenosos, lamosos e cascalhosos.

A amostragem com dropcâmeras para o setor da APA foi inviabilizada até o momento devido a um incidente durante a operação do equipamento em uma campanha. O campo foi realizado entre os dias

15 a 18 de agosto de 2019 e devido a perda da estrutura apenas 5 pontos foram adquiridos. Estas imagens serão coletadas até a finalização do relatório

Assim, para ajudar a compor estes resultados foram utilizados dados pretéritos, tais como: dados coletados em 2015 no âmbito do Projeto FAPES nº 65945336/2014, coordenado pelo Prof. Alex Cardoso Bastos; dados coletados em junho de 2018 no âmbito do Projeto IODP-CAPES, coordenado pelo Prof. PhD. Alex Cardoso Bastos. Tais conjunto de dados fizeram parte de duas dissertações de mestrados defendidas e de uma tese de doutorado em andamento, ambas desenvolvidas no Laboratório de Oceanografia Geológica (LabOGeo - Marine Geosciences Lab) da UFES; dados do Anexo 3 Marinho integrado e dados do Anexo 3 Fundos Recifais.

Todos estes dados adquiridos foram usados para caracterização do fundo marinho e verdade de campo nas análises dos habitats

Figura 2: Foto da estrutura metálica (dropcâmera).



### 1.1.2 Segmentação e classificação dos dados batimétricos e de backscatter

Buscando evitar a subjetividade da interpretação, otimizar o tempo de análise e permitir a repetibilidade dos processos, e a fim de automatizar e quantificar as análises dos resultados de batimetria e de backscatter, foram utilizadas duas ferramentas de segmentação e classificação: BRESS e RSobia.

O BRESS é um software livre desenvolvido pelo Center of Coastal and Ocean Mapping (University of New Hampshire). No trabalho de Masetti et al (2018) é possível verificar mais detalhes do desenvolvimento do algoritmo e aplicação. A partir dos resultados da batimetria, o software analisa inicialmente as propriedades geomorfométricas para gerar regiões de morfologia similar (configuração possibilita usar 4, 6 ou 8 classes *Landforms*). Após essa etapa, o algoritmo também analisa o *backscatter*, e gera diversos segmentos a partir das similaridades entre eles (utilizando cálculos de similaridade e multi-modal conforme os valores configurados para parâmetros que são supervisionados pelo usuário, como Splitting e Merging Intersection). O resultado final do software é uma tabela com diversos atributos e propriedades de cada segmento encontrado, bem como imagens georeferenciadas para utilização em plataforma GIS. Importante ressaltar que apesar de não ser um método que utiliza a análise tradicional por pixel, a fase inicial da análise está ancorada em conceitos de Padrão binário local (LBP, na sigla em inglês), que efetua uma análise comparativa para cada pixel em relação aos vizinhos (Masetti et al, 2018).

O RSobia (Remotely sensed Object Based Image Analysis) é uma extensão licenciada pelo ArcGIS, que analisa imagens de uma banda (superfície batimétrica e mosaico de backscatter, como exemplos) e consegue segmentar e classificar os dados com base em três propriedades principais: *slope*, rugosidade e backscatter. O usuário pode controlar parâmetros como número de *clusters* (foram utilizadas 6 classes), tamanho mínimo de objeto (resolução) e peso de cada propriedade (nesse caso, foi utilizado *Slope 1 - Rugosidade 1 - Backscatter 2*). Além disso, a plataforma permite integração com dados de verdade de campo para que seja possível rodar uma classificação do fundo marinho baseada também em dados de amostragem direta ou imagens. Essa ferramenta vem sendo aprimorada, bem disseminada nos grupos de mapeamento de habitats, e existem algumas publicações de aplicações que obtiveram êxito em seus resultados, como em Innangi et al. (2018), Innangi et al (2019).

## 1.2 COLETA E PROCESSAMENTO DOS TESTEMUNHOS

Foram coletados 10 testemunhos ao longo da plataforma continental do Espírito Santo (entre a região da APA Costa das Algas e Barra Nova), a coleta ocorreu entre os dias 26 a 29 de novembro de 2018, com auxílio de um testemunhador (*Gravity Corer*). As amostragens ocorreram de forma satisfatória, entretanto alguns pontos foram realocados devido à dificuldade de amostragem em áreas onde o sedimento superficial era composto por areia ou uma quantidade significativa da fração arenosa. Neste tipo de fundo, o testemunhador possui limitação na capacidade de penetração.

O processamento envolveu as seguintes etapas preliminares: 1) Abertura/Descrição e Fatiamento dos extratos; 2) Separação das alíquotas para análises de geoquímica/ taxa de sedimentação/ composição sedimentológica. Posteriormente à estas etapas, cada alíquota seguiu para o processamento dos parâmetros apresentados a seguir:

### **1.2.1 Composição sedimentológica**

A composição sedimentológica foi realizada no laboratório de sedimentologia da UFES onde envolveu análise de teor de carbonato por queima com HCL a 30%, teor de matéria orgânica por queima na Mufla por 4 horas a 450°C e análise granulométrica, onde a fração fina foi analisada no Malvern (granulômetro à laser) e a fração grossa por fracionamento via seca.

### **1.2.2 Composição Mineralógica**

As análises de mineralogia foram realizadas no Laboratório de Nanometria Fotônica da UFES. Para as análises mineralógicas as amostras foram submetidas a 2 horas no difratômetro, após as 2 horas, os resultados são comparados aos resultados obtidos nas análises de anos anteriores. Havendo discrepâncias, as amostras seguem para análise em fluorescência de raios-x, para determinação química elementar e são novamente submetidas à difratometria por período de 14 horas. Uma vez confirmados os resultados, os conformes seguem para análise de susceptibilidade magnética. As amostras que permanecem duvidosas seguirão para análises posteriores no síncrotron.

A verificação do indicativo da presença do rejeito da Barragem de Fundão em sedimentos marinhos foi realizada através do reconhecimento do aumento relativo total de fases minerais como hematita, goethita, grenalita-T, maghemita e magnetita, as quais representam óxidos de ferro e silicatos contendo ferro das amostras analisadas, comparativamente aos dados de amostras do testemunho T1. Da mesma forma, verificou-se aumentos nas susceptibilidades magnéticas totais e nas quantidades totais de ferro (FeOTotal). Maiores detalhes podem ser encontrados no relatório do subprojeto Sedimentologia do Anexo 3.

### **1.2.3 Análise de Geoquímica**

A análise dos metais seguiu as normas descritas por Rauret et al. (1999) baseados no método ISSO 11466 (ISO, 1995). A extração de metais traço, ferro e manganês nas amostras foi feita com água régia e aquecimento em bloco digestor em 0,500g de amostra previamente liofilizada e macerada (Da Silva et al., 2015). Após a extração as amostras foram lidas em um equipamento de absorção atômica AAnalyst 800 (Perkin Elmer®) pela técnica de chama.

A análise de metais em testemunhos permite a avaliação de influência antropogênica ao longo do tempo, baseando-se em níveis de background e índices ecológicos que indicam acumulação e enriquecimento ao longo da coluna sedimentar. No presente estudo foi utilizado o Índice de geoacumulação como avaliação da contaminação dos sedimentos por metais.

*Índice de Geoacumulação- $I_{geo}$ :*

O  $I_{geo}$  é calculado individualmente para cada elemento em cada amostra (Ruiz, 2001). Como valores de *background* da região foram utilizados valores extraídos de base de testemunhos obtidos por Cagnin (2018) na área de estudo para os elementos Zn, Pb, Ni, Cr e Fe. Para o background de Cu, Cd e Mn foram utilizados valores da crosta continental superior extraídos de Rudnick and Gao (2003), já que não há dados de base de testemunho disponíveis para a área estudada. O cálculo do índice de geoacumulação é dado pela equação a seguir.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \times B_n}$$

$C_n$  é a concentração do metal;  $B_n$  é a concentração de background do metal.

A classificação do grau de poluição de acordo com o resultado de  $I_{geo}$  é dado pela Tabela 1

Tabela 1: Classificação do grau de poluição de acordo com o índice de geoacumulação ( $I_{geo}$ ).

Índice de geoacumulação		
Classe	Valor	Classificação
0	<0	Não poluído
1	0-1	Não poluído ou moderadamente poluído
2	1-2	Moderadamente poluído
3	2-3	Moderado a fortemente poluído
4	3-4	Fortemente poluído
5	4-5	Forte a extremamente poluído
6	5-6	Extremamente poluído

A Tabela 2 mostra os valores de nível limite de threshold effect level –TEL (nível limite de efeito); probable effect level – PEL (nível provável de efeito), além das concentrações de *background* para cada elemento na plataforma continental do Rio Doce (PCRD) obtidas por Cagnin (2018). Para os elementos Cu, Cd e Mn foram utilizados como background valores da crosta continental superior, já que tais elementos não foram utilizados no estudo de Cagnin (2018).

Tabela 2: Valores de referência para nível limite de efeito (TEL), nível provável de efeito (PEL) e concentrações de background utilizadas para o cálculo de índice de geoacumulação na plataforma continental do Rio Doce (PCRD) e na crosta continental superior.

	Zn	Pb	*Cu	Ni	Cr	*Cd	*Mn	Fe
TEL (MacDonald et al., 1996)	124	30,2	18,7	15,9	52,3	0,68	-	-

	Zn	Pb	*Cu	Ni	Cr	*Cd	*Mn	Fe
PEL (MacDonald et al., 1996)	271	112	108	42,8	160	4,21	-	-
Background PCRD ao sul da foz do Rio Doce (Cagnin, 2018)	82,22	25,68	-	44,61	85,50	-	2.818,18	5.507,20
Background PCRD ao norte da foz do Rio (Cagnin, 2018)	89,67	57,58	-	49,52	128,70	-	8.348,89	103,93
Crosta continental superior (Rudnick and Gao, 2003)	67	17	28	47	92	0,09	0,10	50.400

\*valores da crosta continental superior;

### 1.3 COLETA E ANÁLISE/PROCESSAMENTO DOS DADOS SÍSMICOS.

Os dados sísmicos foram adquiridos com dois perfiladores sísmicos com fontes acústicas do tipo Chirp, possibilitando a aquisição simultânea de registros de alta (10-20 KHz) e baixa frequência (2-9 KHz). Estes equipamentos fazem parte de um sistema desenvolvido pela Meridata Finland Ltd, modelo MD DSS MULTI-MODE SONAR SYSTEM, e a sua utilização ocorreu em dois levantamentos, ambos no mês de abril de 2019: o primeiro entre os dias 3 e 7 e, o segundo entre 13 e 21.

O planejamento das rotas de navegação para a aquisição dos dados foi realizado de maneira a englobar a região marinha entre os municípios de Serra (ES) e de Conceição da Barra (ES), entre as isóbatas de 10 e 30 metros. Foram realizados três tipos de transectos: ortogonais à costa (espaçamento aproximado de 10 Km), paralelos à costa (costeiros ou profundos, ligando os transectos ortogonais) e, os transectos de verificação (cruzando os transectos ortogonais) (Figura 1). No setor da foz do rio Doce o espaçamento dos transectos ortogonais foi reduzido propositalmente com o intuito de aumentar a quantidade de informações da região. Neste setor, os transectos de verificação foram planejados de maneira a adquirir dados sísmicos nos locais de coleta dos testemunhos distantes da costa., separadas entre elas por uma distância de 10 km, com exceção para região da Plataforma Continental em frente à desembocadura do rio Doce. Nesta área, as linhas foram espaçadas por uma distância de 5 km. Os dados adquiridos correspondem a uma navegação com 1178,63 Km de extensão.

Tanto na etapa de aquisição, quanto na de processamento e análise dos dados, foram utilizados os softwares próprios do referido sistema: MDCS (marine data collection software) e MDPS (marine data processing and interpretation software). Além de conseguir adquirir e também analisar dados sísmicos

de distintas fontes acústicas simultaneamente, outra vantagem da aquisição de dados com o sistema Meridata é a simplicidade do processamento devido à elevada qualidade dos mesmos.

Desta forma, o processamento consistiu na automatização da aplicação de filtros de frequência (de acordo com o espectro de cada perfilador sísmico) e de aplicação de ganhos para aumentar ou diminuir o contraste dos perfis sísmicos produzidos.

A etapa de análise, ou seja, interpretação e delimitação dos padrões sísmicos (ecocaráteres) e refletores sísmicos foi de fato a que demandou maior tempo e esforço na classificação do fundo marinho em cada um de todos os arquivos adquiridos. Os ecocaráteres foram definidos a partir de suas características acústicas mais marcantes, como presença de camadas transparentes, de hipérbolos, de refletores superficiais e/ou subsuperficiais. A etapa posterior foi a delimitação espacial da espessura dos depósitos transparentes no fundo marinho, a partir da delimitação dos refletores superficial (topo) e subsuperficial (base). De posse destes refletores foi possível calcular a espessura da camada transparente no software Hypack 2018.

Por fim, todos os produtos foram integrados em plataforma GIS (ArcGIS 10.4 software).

#### 1.4 COMPILAÇÃO DE DADOS EXISTENTES

Visando criar uma base de conhecimento sobre a geodiversidade da plataforma continental do Espírito Santo e sul Bahia, foram usados os dados já existentes da morfologia do fundo marinho e distribuição de fácies sedimentares. Esta base de dados está publicada em Bastos et al. (2015), Vieira (2017) e Vieira et al. (2019). Esta base de dados é formada por imageamento acústico do fundo marinho, sedimento superficial e imagens de câmeras subaquáticas.

## 2 RESULTADOS

Os resultados deste subprojeto serão apresentados por setor: a) *APA Costa das Algas*; b) *Foz do Rio Doce*; c) *Norte*. Para cada região serão abordados os resultados do “Mapeamento de habitats” (com base nos dados de batimetria, backscatter e imagens das câmeras), e do “Mapeamento da potencial ocorrência de rejeitos” (englobando os dados de sísmica e de testemunhos).

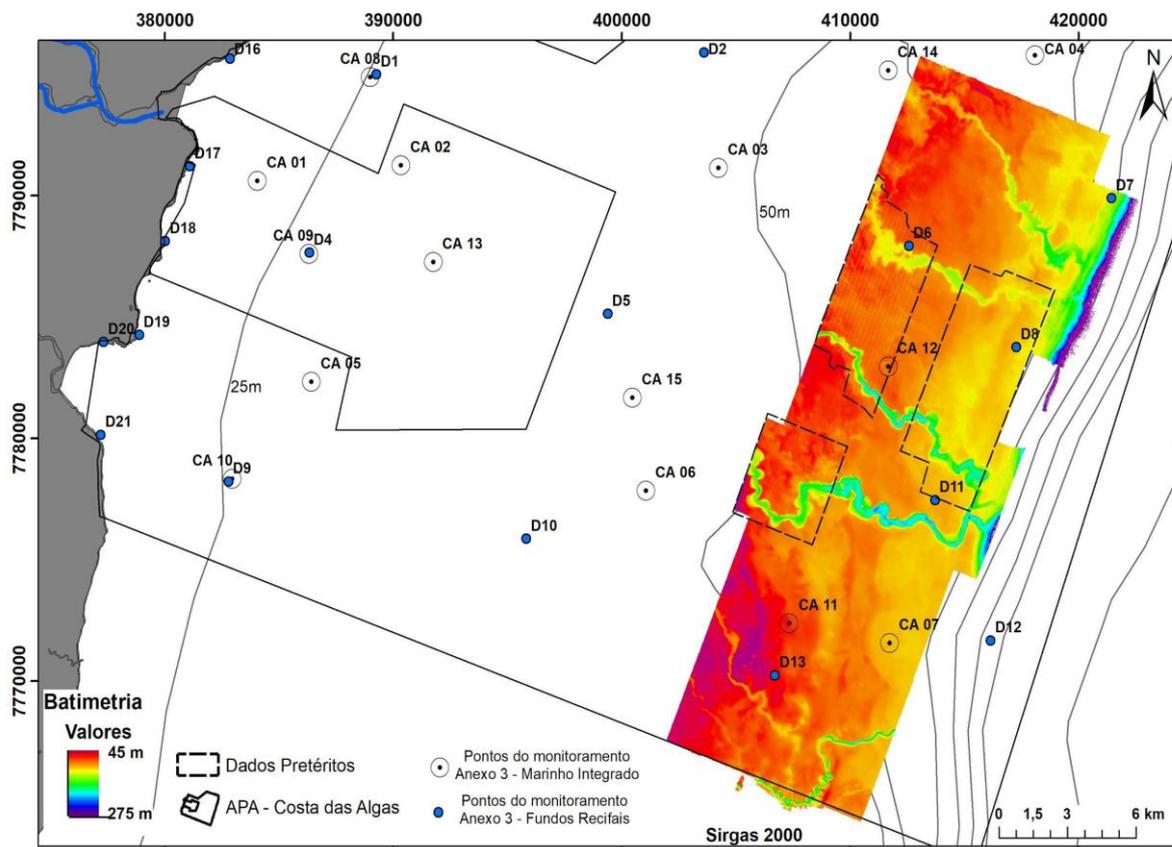
## 2.1 SETOR APA COSTA DAS ALGAS

### 2.1.1 Mapeamento de habitats

#### 2.1.1.1 Morfologia do fundo marinho

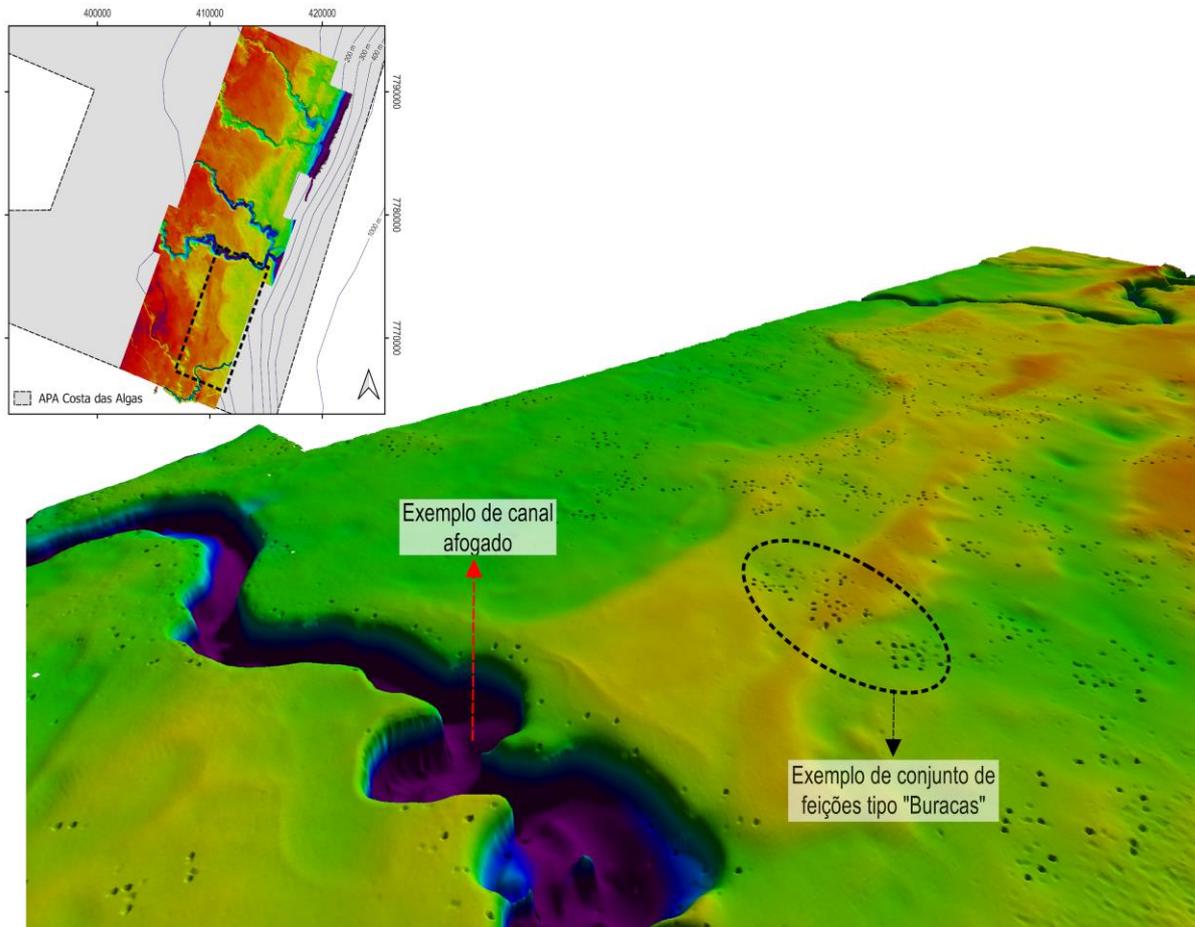
Os dados batimétricos coletados na Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (APA - Costa das Algas) compreendem uma área 221 km<sup>2</sup>, resultantes de ~3273.2 km de navegação, entre as isóbatas de 45 m e 275 m (Figura 3). A região no entorno desta área apresenta pontos de monitoramento de outros subprojetos do Anexo 3 Marinho (Figura 3).

Figura 3: Mapa batimétrico do Setor Apa Costa das Algas.



Como apresentado no mapa acima (Figura 3), a superfície batimétrica apresenta-se multiforme, com feições morfológicas distintas. Na área, destacam-se vales incisos, antigos cursos fluviais de menor expressão, feições de relevo positivo e negativo (tais como “buracas”) (Figura 4).

Figura 4: Batimetria em perspectiva 3D indicando feições do tipo “Buracas” e vales incisos.



As “buracas” são conhecidas como feições de depressões do fundo marinho, geralmente mais profundas do que largas nas bordas (em formato de copo). Este termo foi introduzido por pescadores locais da região de Abrolhos, onde alguns estudos já comprovaram a existência de tais feições em sua plataforma continental (Bastos et al., 2013; 2016). Na área de estudo, estas feições são mais largas do que profundas (largura média de 10 metros e profundidade das feições de 2 metros) e estão presentes ao longo de toda a região de estudo, sendo que em algumas áreas parece haver uma maior densidade de ocorrência destas feições (conforme observado na Figura 4).

Os vales incisos mapeados estão associados às variações relativas do nível do mar, mais especificamente aos períodos de exposição da plataforma continental, que proporcionaram uma queda do nível de base e conseqüentemente o estabelecimento da rede de drenagem ao longo da plataforma exposta. É mais provável que este cenário tenha ocorrido durante o último máximo glacial (cerca de 21 mil anos BP) (Angulo et al., 2006). Com a subida do nível do mar e inundação da plataforma continental, estes vales foram sendo retrabalhados, preenchidos e/ou afogados, preservando em muitos casos a morfologia de um canal na plataforma continental (Kowsmann e Costa, 1979; Domingues et al., 1981; Suguio et al., 1985; Martin et al., 1993; Abreu & Calliari, 2005; Campos et al., 2007; Dominguez, J. M.

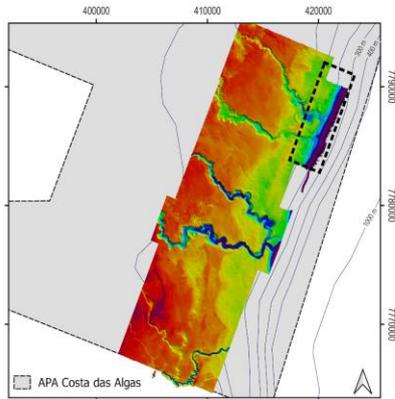
L. 2007; Weschenfelder et al., 2010). Foram mapeados 5 vales principais ao longo da área estudada. Esses vales apresentam um aprofundamento e alargamento dos canais em direção à quebra da plataforma continental. Em geral, a profundidade desses vales varia de 60 a mais de 88 metros, e a largura de 70 a 500 metros.

Os vales mapeados apresentam paredes íngremes, muitas vezes associadas com bancos recifais originados por bioconstruções carbonáticas. Estas podem ser encontradas também em alguns pontos no meio dos canais. As bioconstruções já foram mencionadas em Vieira et al (2019). Estas estruturas de bioconstruções associadas a margem de canais também foram descritas em outras regiões da plataforma continental brasileira (Moura et al., 2013 e Dominguez et al., 2013), sendo associadas ao último evento de variação do nível do mar na plataforma.

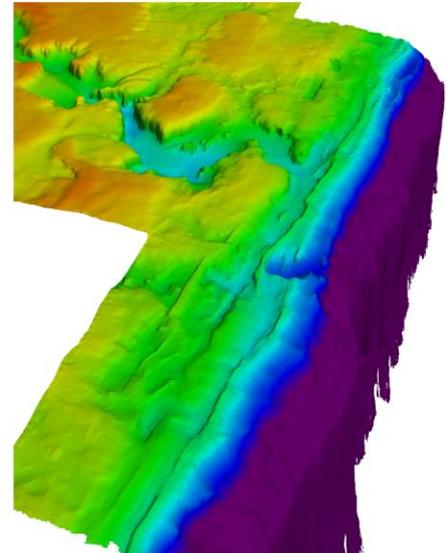
Na região mais ao norte do levantamento próximo a quebra de plataforma existem feições nunca antes descritas e observadas nesse trecho da plataforma continental. Nesse trecho, foram reconhecidas e mapeadas feições de relevo positivo cujo alinhamento (aproximadamente paralelo à linha de costa atual) representa um forte indicativo de que estas estruturas possam corresponder à paleolinhas de costa (feições similares na plataforma da África do Sul foram reconhecidas por Green et al., 2014). Estas paleolinhas criam zonas distintas de complexidade, uma vez que se contrastam com o sedimento local (Banks et al., 2008; McArthur et al., 2009; Brooke et al., 2017) propiciando condições favoráveis para o desenvolvimento de organismos, devido a criação de refúgio à predadores (Tsuchiya and Nishihira, 1986; Nakamura and Sano, 2005; Callaway, 2006) e alimentação, por meio da mudança no padrão de correntes (Greene et al., 2007a, b; Wedding et al., 2008).

Nessa mesma região, é notável ainda a presença de uma feição artificial do tipo duto na porção mais profunda da área (se estendendo por aproximadamente 16 km). Essas feições são apresentadas em detalhe na imagem abaixo (Figura 5).

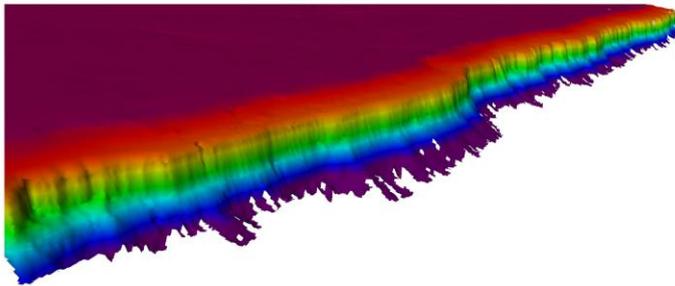
Figura 5: Detalhes da região próxima à quebra de plataforma no norte da área de levantamento.



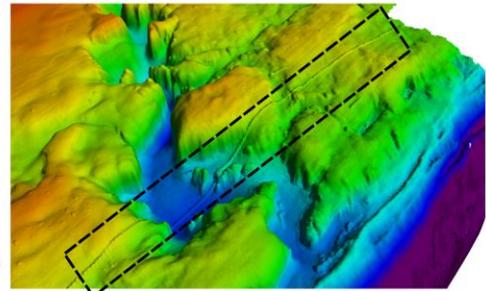
a) Região próxima a quebra de plataforma. Possíveis feições de paleolinha de costa



b) Talude (escala entre 90 - 280m)



c) Duto

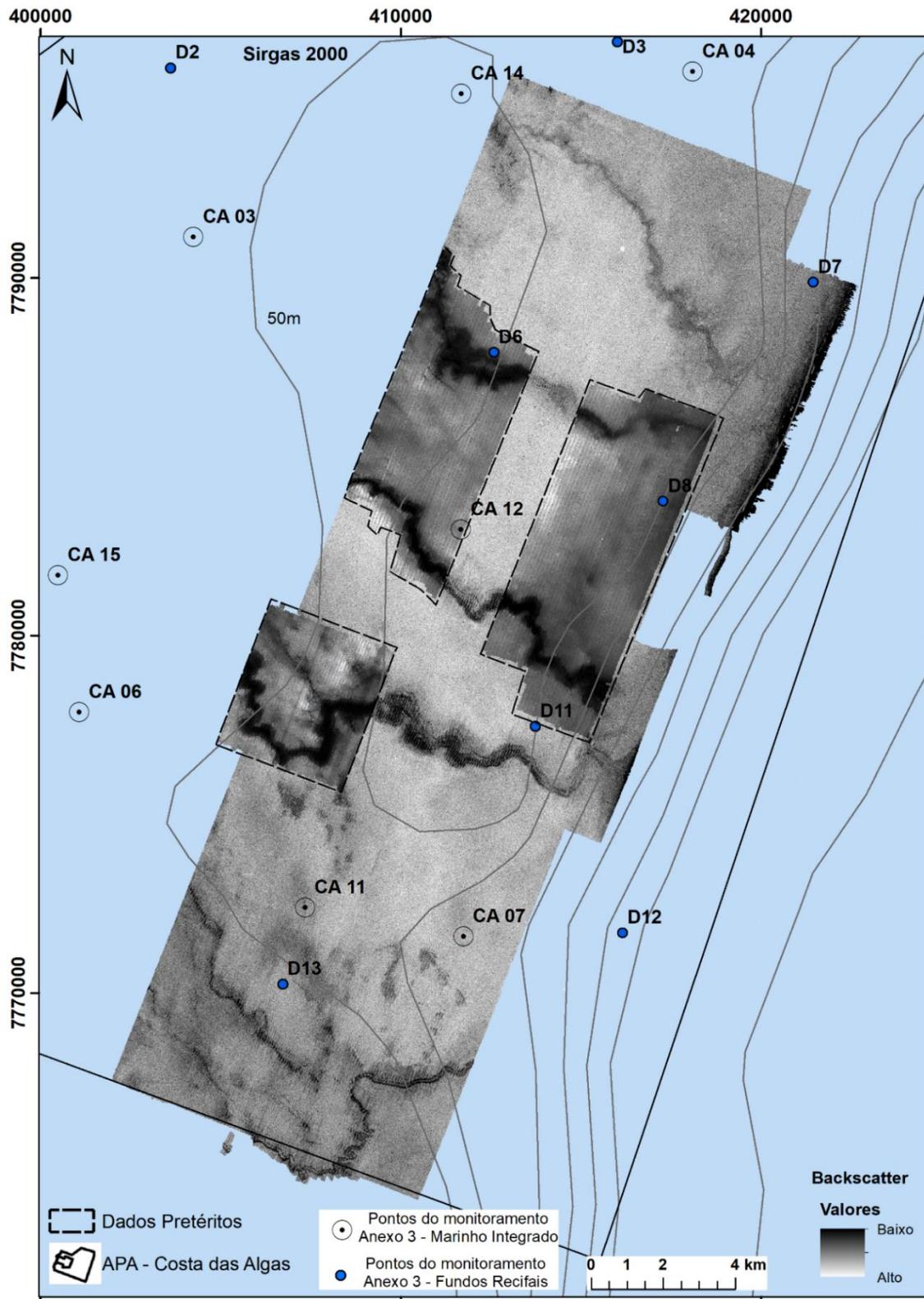


### 2.1.1.2 Backscatter

O *backscatter* representa a intensidade de retorno do sinal após interação do pulso acústico com a superfície (fundo marinho) (Lurton e Lamarche, 2015). A intensidade do *backscatter* é geralmente medida em decibéis (dB) e apresentada em valores negativos, sendo fundamentalmente dependente da frequência acústica do equipamento, da composição do fundo marinho e do ângulo de incidência do pulso sonoro. Assim, uma série de modelos de classificação vem sendo construída com base nas informações que a intensidade do *backscatter* fornece sobre as propriedades do fundo.

O mapa da Figura 6 mostra os resultados encontrados após o processamento dos dados de *backscatter*.

Figura 6: Mapa do backscatter da região da APA Costa das Algas, juntamente com os dados pretéritos.

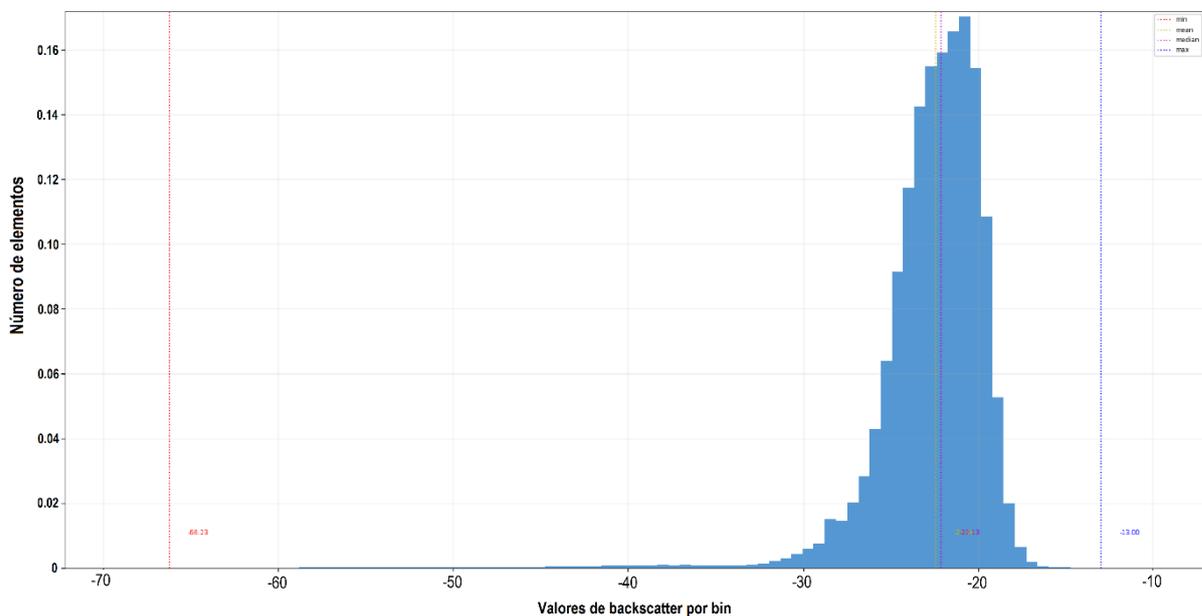


É importante ressaltar aqui que os dados pretéritos foram coletados com sistema diferente do utilizado no monitoramento (Reson 7101 240 KHz, e R2Sonic 2024 170 kHz, respectivamente). Outro ponto importante é que as etapas de processamento de backscatter não foram as mesmas para esses diferentes conjuntos de dados. Essas diferenças no range de backscatter notáveis no mapa não inviabilizam um ou outro dado, nem tampouco a comparação entre eles, desde que se considere algumas ressalvas (por exemplo: no conjunto de dados pretéritos não foram aplicadas algumas etapas como correção de efeitos da propagação ao longo da coluna d'água, ganho utilizado na aquisição, e correções radiométricas). Atualmente não existe ainda um padrão internacional de processamento, mas algumas etapas são sugeridas como mais importantes, além da recomendação de categorizar o resultado conforme o nível de processamento aplicado (Schimel et al, 2018).

Considerando uma escala mais abrangente, é possível identificar fundo de alta reflexão na maior parte da área (valores entre -18 dB e -21 dB), com valores mais baixos nos fundos dos vales incisivos (valores mais baixos do que -26 dB).

A Figura 7 apresenta o histograma com a distribuição dos valores de *backscatter*. O gráfico (curva unimodal e leptocúrtica) nos mostra claramente o padrão de alto backscatter, com média de -22.46 dB.

Figura 7: Histograma de distribuição dos valores de backscatter para o setor da APA

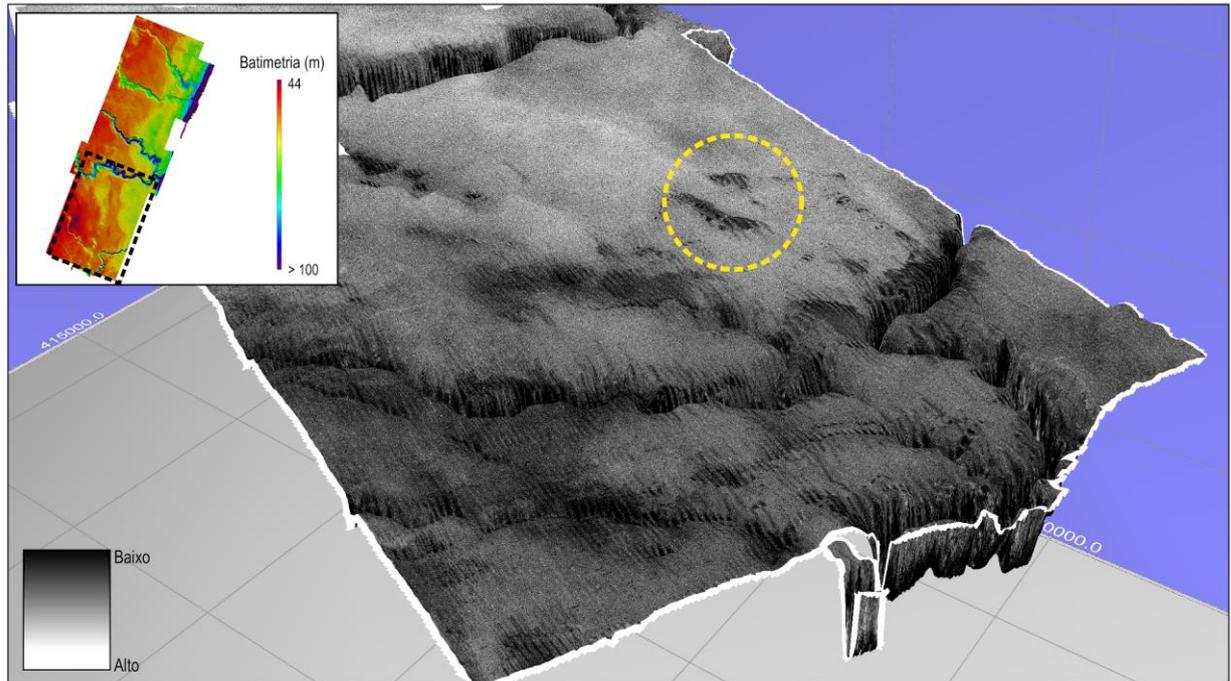


Na região mais ao sul do levantamento, é possível observar uma heterogeneidade maior nos valores de backscatter, sendo notáveis algumas manchas de backscatter de menor valor associadas a feições morfológicas possivelmente cobertas por algas. A tentativa de reconhecimento da presença de algas a partir de dados de backscatter e outros tipos de dados já foi objeto de estudo, por exemplo em Falco et al (2010). Contudo, ainda existe uma carência de bibliografia e de verdade de campo para afirmar que as manchas de menor backscatter estão associadas a presença de cobertura vegetal. Outra alternativa já levantada por Rocha (2019) é que as diferentes concentrações de rodólitos podem ser

expressadas em diferentes valores de backscatter devido também a microtopografia construída pelos nódulos.

A Figura 8 apresenta em perspectiva 3D algumas dessas manchas, além dos baixos valores no fundo de um vale inciso.

Figura 8: Representação em perspectiva do backscatter do setor APA Costa das Algas, com enfoque em manchas de baixo valores.



### 2.1.1.3 Verdades de Campo

Os dados coletados se encontram na Tabela 3 e Figura 9.

Figura 9: Localização dos pontos de vídeo na área correspondente ao levantamento ecobatimétrico na região da APA Costa das Algas, entre as isóbatas de 45 e 275 metros.

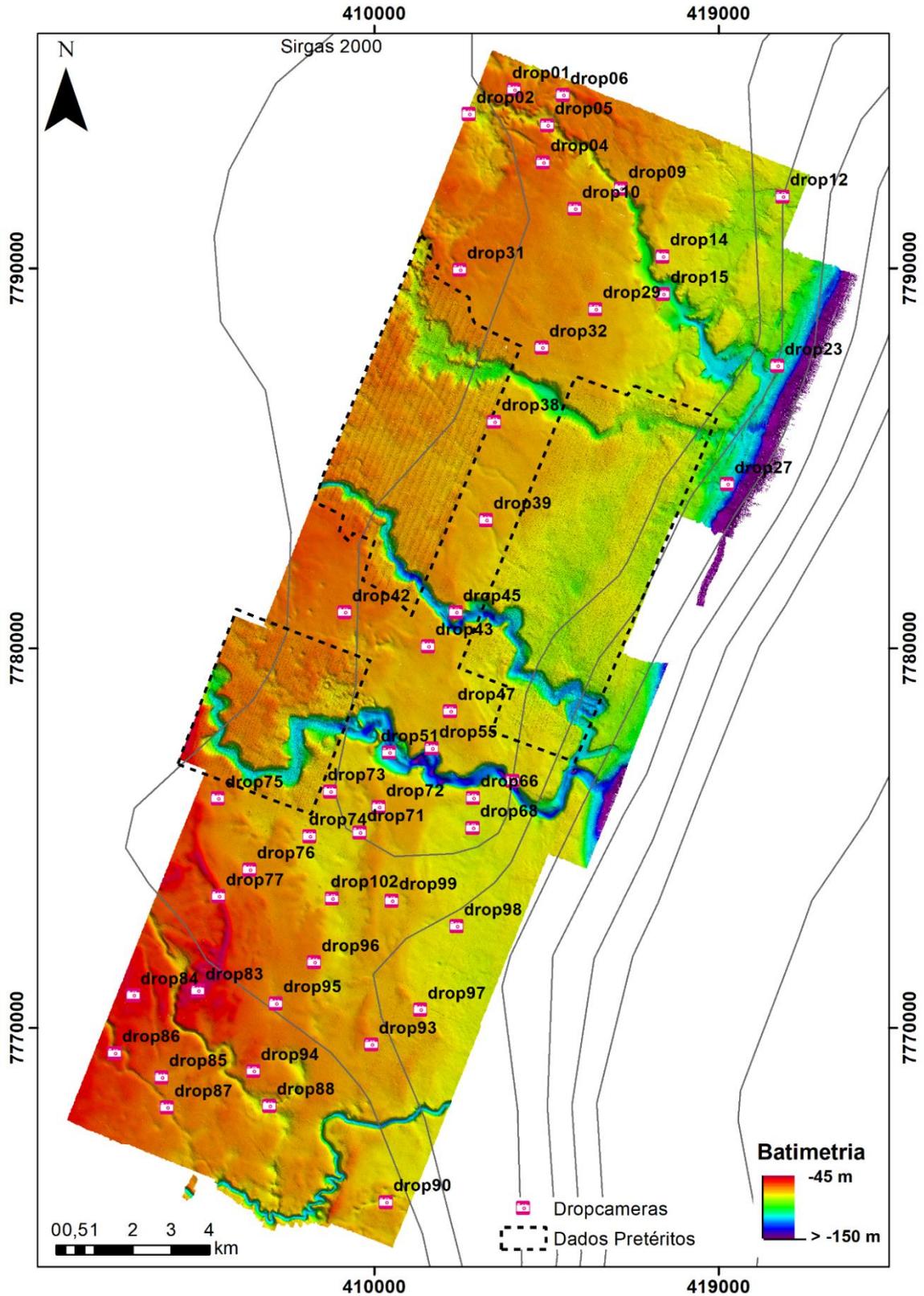


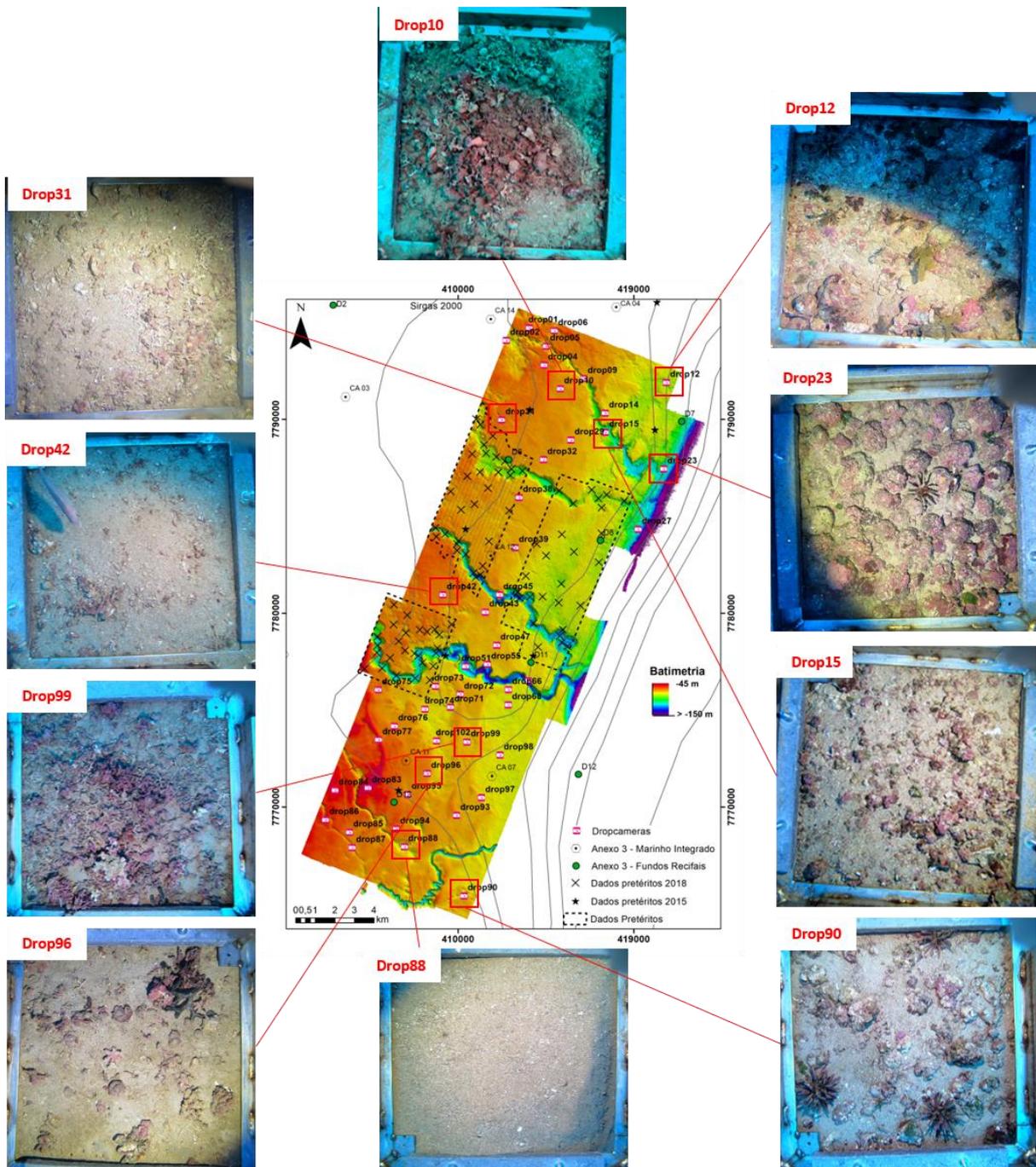
Tabela 3: Coordenadas geográficas dos pontos de vídeo na região do APA Costa das Algas que foram coletados.

Nome do Ponto	Coordenadas (Sirgas 2000)	
	X_UTM	Y_UTM
RRDM-APA-DROP01	413650,7	7794711
RRDM-APA-DROP02	412473,3	7794063
RRDM-APA-DROP04	414411,4	7792793
RRDM-APA-DROP05	414527,1	7793768
RRDM-APA-DROP06	414936,9	7794565
RRDM-APA-DROP09	416448,9	7792097
RRDM-APA-DROP10	415241,8	7791568
RRDM-APA-DROP12	420679,1	7791889
RRDM-APA-DROP14	417540,3	7790311
RRDM-APA-DROP15	417547,5	7789326
RRDM-APA-DROP23	420536,4	7787433
RRDM-APA-DROP27	419224,9	7784316
RRDM-APA-DROP29	415783,9	7788923
RRDM-APA-DROP31	412232,1	7789964
RRDM-APA-DROP32	414381,9	7787913
RRDM-APA-DROP38	413130	7785959
RRDM-APA-DROP39	412928,9	7783368
RRDM-APA-DROP42	409231,4	7780938
RRDM-APA-DROP43	411407,6	7780045
RRDM-APA-DROP45	412130,7	7780939
RRDM-APA-DROP47	411985	7778335
RRDM-APA-DROP51	410389,5	7777243
RRDM-APA-DROP55	411507,4	7777351
RRDM-APA-DROP58	413609,8	7776496
RRDM-APA-DROP66	412582,9	7776048
RRDM-APA-DROP68	412573,4	7775259
RRDM-APA-DROP71	409622	7775137
RRDM-APA-DROP72	410114,4	7775802
RRDM-APA-DROP73	408846	7776218
RRDM-APA-DROP74	408304,6	7775040
RRDM-APA-DROP75	405915,4	7776032
RRDM-APA-DROP76	406740,9	7774159
RRDM-APA-DROP77	405928,1	7773457
RRDM-APA-DROP83	405388,8	7770969
RRDM-APA-DROP84	403698,4	7770848
RRDM-APA-DROP85	404447,1	7768686
RRDM-APA-DROP86	403211,6	7769324
RRDM-APA-DROP87	404582	7767888
RRDM-APA-DROP88	407260,9	7767936

Nome do Ponto	Coordenadas (Siras 2000)	
	X_UTM	Y_UTM
RRDM-APA-DROP90	410304,7	7765400
RRDM-APA-DROP93	409928	7769546
RRDM-APA-DROP94	406840,3	7768849
RRDM-APA-DROP95	407426,6	7770632
RRDM-APA-DROP96	408426,9	7771719
RRDM-APA-DROP97	411207,3	7770465
RRDM-APA-DROP98	412155,8	7772668
RRDM-APA-DROP99	410454,7	7773337
RRDM-APA-DROP102	408897,3	7773401

Os dados mostram que a região de estudo é composta por fundos de rodolitos com densidade de nódulos variada e concreções carbonáticas (Figura 10).

Figura 10: Imagens do fundo na região de estudo (APA Costa das Algas) adquiridas por dropcâmeras.



Também é possível observar, através das imagens de *dropcameras*, a variação na densidade de nódulos ao longo da área de estudo dependendo da profundidade em que se encontram (Figura 10).

Em paralelo, outros trabalhos desenvolvidos na região também enfatizam a alta cobertura por fundos de rodolitos ao longo de toda a plataforma continental (Bastos et al., 2015; Vieira et al, 2019), corroborando, assim, com os resultados geofísicos obtidos. Todos estes dados são indicativos que a região aqui mapeada é composta por sedimentos carbonáticos, com destaque para os rodolitos.

Os fundos de rodolitos são agregados de nódulos compostos principalmente de algas calcárias incrustantes (*Crustose Coralline Algae*; Bosence, 1983) que ocorrem em ampla variedade de profundidades (desde a zona entremarés e alcançando 150 metros) (Foster, 2001). A presença de fundos de rodolitos representam a transformação de ambientes com sedimento de fundo não consolidado em substratos rígidos e heterogêneos formadores de habitats mais complexos (Foster, 2001). Os fundos de rodolitos suportam um complexo de teias alimentares de predadores, suspensívoros, detritívoros e micro-herbívoros (Grall et al., 2006), sendo considerados habitats críticos para a conservação (Hall-Spencer 1998; Peña & Barbara 2008; Nelson, 2009; Ávila & Riosmena-Rodriguez 2010; Steller et al. 2009; Riosmena-Rodriguez et al, 2010).

Tratando-se de nódulos compostos por formas fotossintetizantes, a mudança de padrões sedimentares como presença de pluma de sedimentos ou a deposição de uma camada de finos sobre os mesmos, pode alterar a dinâmica e desenvolvimento dos organismos, uma vez que esta deposição causa diminuição na irradiância necessária para a fotossíntese. Wilson et al. (2004) sugerem que o seu soterramento por uma camada fina de sedimentos é letal ou, no mínimo, causador de estresse significativo nas algas calcárias construtoras. Bem como no trabalho de Riul et al. (2008), no qual os autores mostraram que o aporte de sedimentos no ambiente resultou em redução de 70% na produção líquida de *Lithothamnion* sp, alga constituinte dos nódulos. Somado a isto, o depósito do sedimento reduz, não somente a luz disponível, mas também pode dificultar a fonte dos nutrientes e a troca dos gases, indispensáveis para a manutenção do metabolismo preliminar destas algas (Lobban & Harrison, 1997).

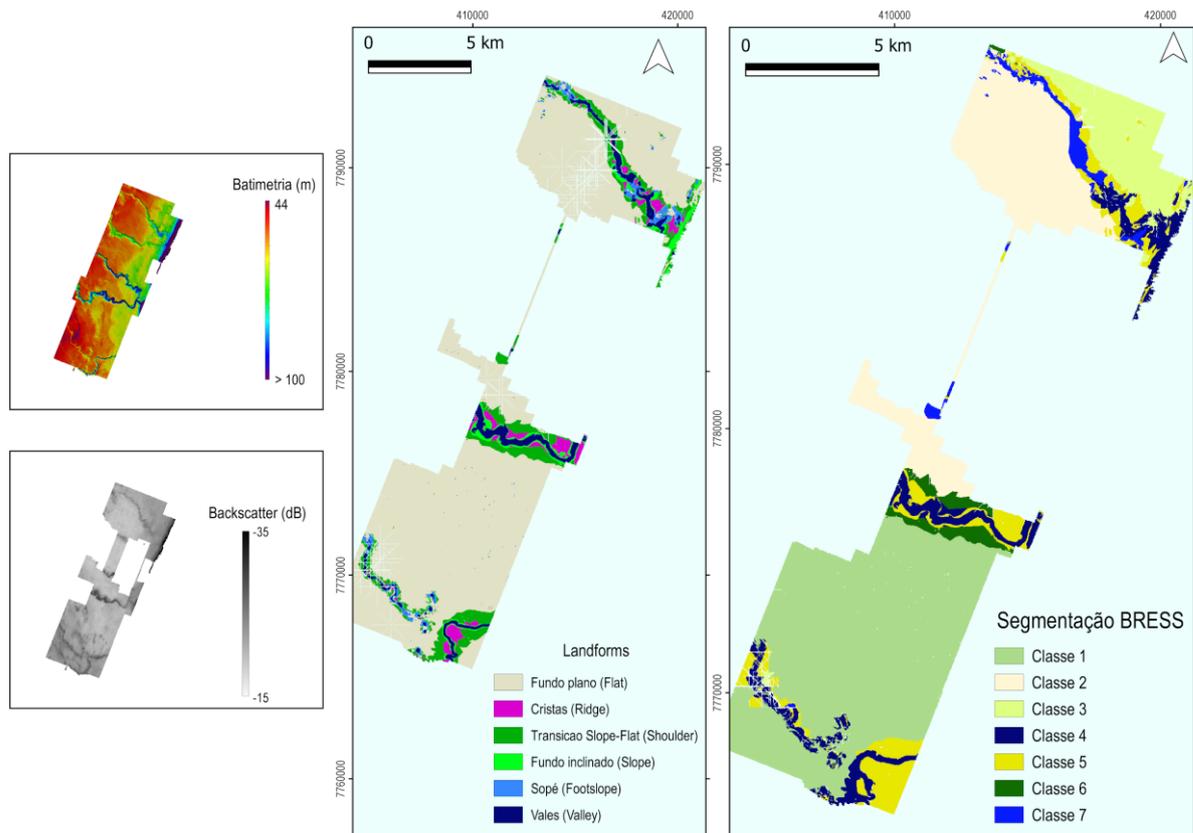
#### 2.1.1.4 Segmentação/Classificação Acústica

A partir dos dados de batimetria e de backscatter, foram realizadas segmentação e classificação dos dados acústicos utilizando dois diferentes softwares: i) BRESS (Bathymetric and reflectivity-based segments), que é uma ferramenta livre disponibilizada pela Universidade de New Hampshire; e ii) RSobria, que é uma ferramenta licenciada do ArcGIS, desenvolvida em parceria com a Universidade de Southampton.

Devido a questões de limitação das ferramentas (problemas para leitura de imagens com mais de 100 milhões de pixels), as análises de segmentação foram realizadas utilizando superfície batimétrica e de backscatter com resolução de 20 m.

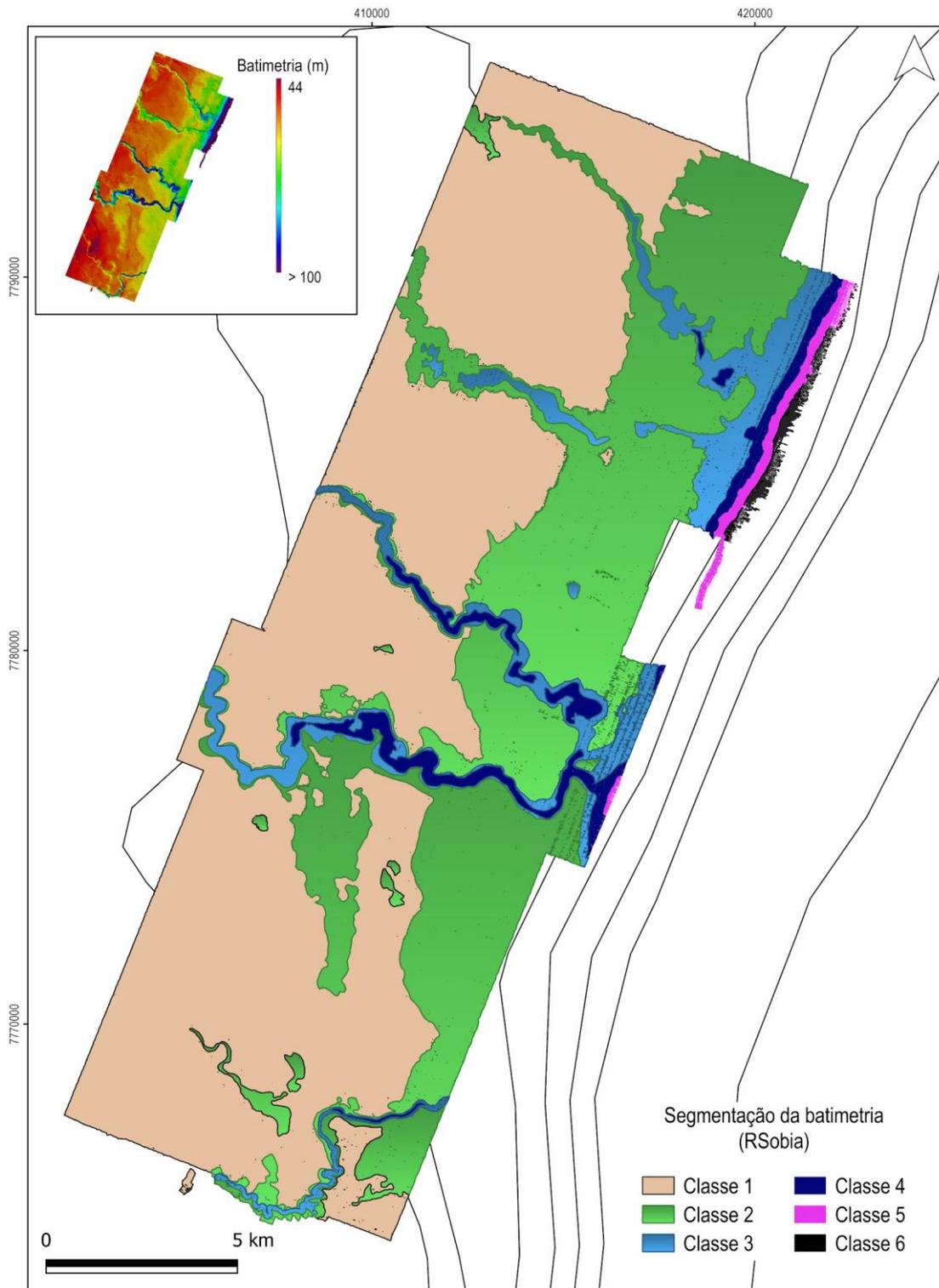
A segmentação do BRESS é apresentada no mapa da Figura 11. A maior parte da área foi classificada como “Fundo plano (Flat)”. Contudo, mais de um tipo de classe foi reconhecida dentro das delimitações de fundo plano (exemplos: Classes 1, 2 e 3), possivelmente devido às características de backscatter. Outro ponto notável na classificação de *Landforms* foi a identificação de feições similares a buracas (ora como sopé, ora como vale), já mencionadas anteriormente. Contudo, a segmentação final não conseguiu diferenciar essas feições como uma classe única.

Figura 11: Segmentação realizada pelo BRESS, tanto considerando apenas propriedades geomorfométricas (resultando nas *Landforms*), quanto considerando também o backscatter (Classes da segmentação).



A análise dos dados utilizando a ferramenta RSobria foi realizada de duas maneiras. A primeira (Figura 12) foi segmentada utilizando apenas a batimetria, com uma ferramenta licenciada no RSobria (ArcGIS) que executa uma clusterização por pixel para criação de mapas temáticos. O intuito dessa análise foi dar uma informação geral da morfologia da área de maneira que fossem considerados também os dados pretéritos de batimetria.

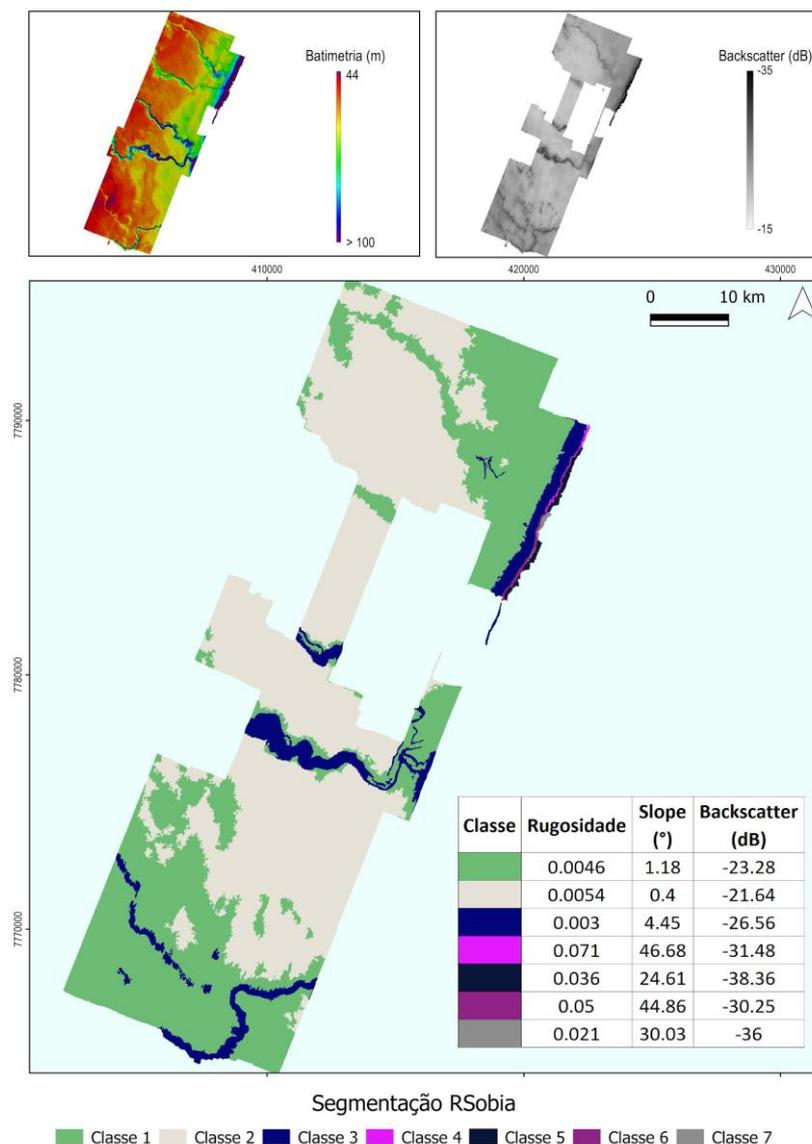
Figura 12: Segmentação da batimetria utilizando os dados batimétricos.



A segunda análise utilizou apenas os dados coletados no projeto, tanto batimetria como backscatter. Essa análise (Figura 13) resultou em 3 classes principais distribuídas ao largo da área, sendo as outras 4 presentes apenas na região do talude norte. Uma similaridade entre os resultados das duas

classificações pode ser notada na diferenciação dos vales mais ao norte e dos vales mais ao sul. Esses resultados estão associados às maiores profundidades dos canais mais ao sul, além de sugerir uma pequena diferença na cobertura sedimentar (resultados que vão ao encontro do que foi observado no mapa de backscatter). Na região sudeste, observam-se algumas manchas da classe 1 em uma área de predominância da classe 2. Essas manchas foram reconhecidas e mencionadas na descrição dos resultados de backscatter.

Figura 13: Resultados da segmentação dos dados batimétricos e de backscatter executada na ferramenta do ArcGIS RSobria.

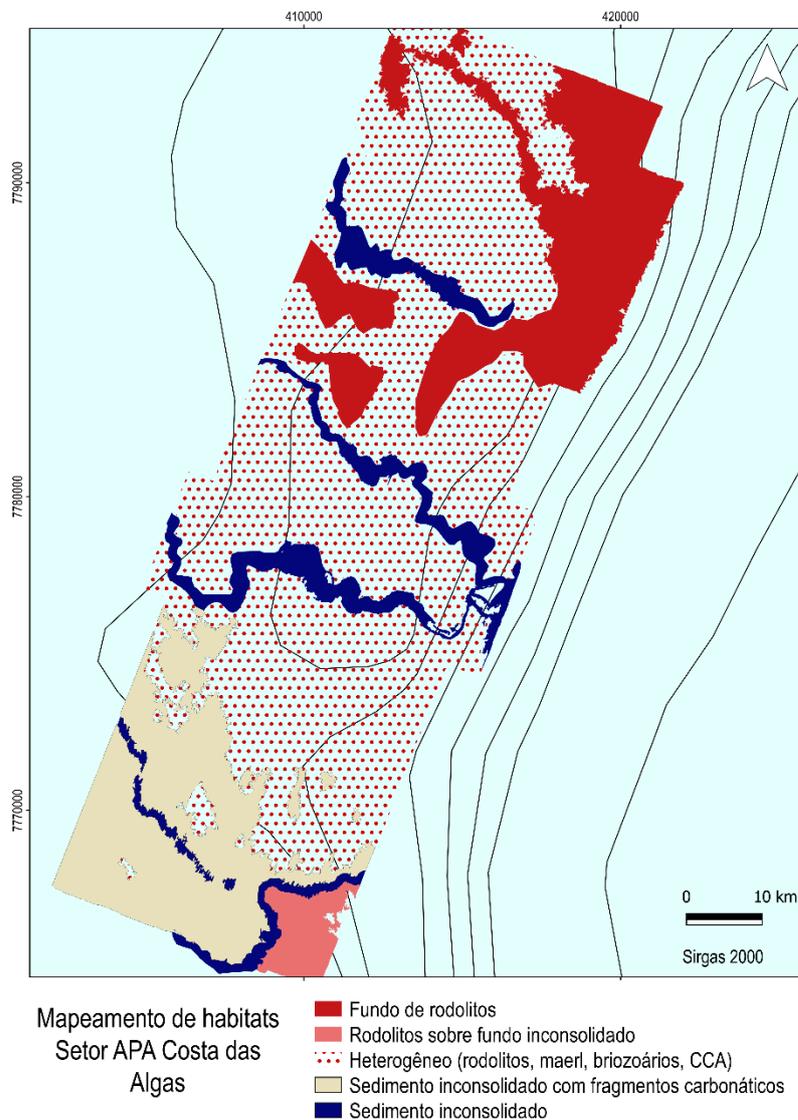


Fonte Labogeo – Marine Geosciences Lab/UFES

Na região do talude, as classes mostram altos valores de *Slope*. As classes 4 e 6 destacaram-se pelos maiores valores de *Slope* e *Rugosidade*, e provavelmente estão associadas às feições observadas na batimetria que remetem a paleolinha de costa. Já as feições 5 e 7 mostraram valores de *backscatter* bem mais baixos, sugerindo a presença de uma cobertura sedimentar bem fina.

A partir dos resultados da batimetria, do backscatter, das imagens de dropcameras e das segmentações efetuadas pelos softwares RSobria e BRESS, foi realizada uma classificação qualitativa de habitats para o setor em questão (Figura 14). A dominância dos rodolitos na composição do fundo marinho continua marcante, além de ocorrer em distintas concentrações e associações com outros tipos de habitats. Há de se destacar também a diversidade de habitats associada às regiões reconhecidas como paleovales. A geomorfologia heterogênea da área e as imagens das dropcameras (rodolitos, CCA, briozoários, organismos como equinodermos), foram os principais guias para a heterogeneidade de habitats proposta, reforçando a importância de sua classificação como área de proteção ambiental, bem como da permanente necessidade de monitoramento de impactos nesta região.

Figura 14: Classificação de habitats para o setor da APA Costa das Algas mapeado.



Por fim, com conjunto de resultados (batimetria, *backscatter*, dropcameras, segmentações e classificação) apresentados para esse Setor APA Costa das Algas conclui-se que a principal

característica dessa região em termos de mapeamento do fundo marinho é a heterogeneidade de morfologias e habitats, além da presença marcante de rodolitos e concreções carbonáticas (já relatadas em Bastos, et al., 2015; Bourguignon, et al., 2018 e Vieira et al., 2019). A região apresenta uma complexidade de vales incisivos, com diferentes habitats, em especial, os fundos de rodolitos, que possuem densidades espaciais distintas. Estes vales podem ser áreas propícias à acumulação de rejeito, tornam-se uma via de transporte das regiões costeiras para regiões offshore, podendo transportar o rejeito para regiões mais distantes, visto que, o Anexo 3 Marinho Integrado salienta maiores concentrações de metais (Fe, Al, Mn e Cr), na região, refletindo o impacto sofrido, além das evidências mineralógica (susceptibilidade magnética) para os pontos CA1, CA2, CA5, CA8, CA10 e CA13.

Além dessa questão, o conhecimento da morfologia e o reconhecimento de feições que até então nunca haviam sido mapeadas numa escala tão grande e em detalhe, reforçam a necessidade e a importância que o mapeamento de habitats fornece, visto que são informações essenciais para compreender diversos outros processos oceanográficos.

## **2.1.2 Mapeamento da potencial ocorrência de rejeitos**

### **2.1.2.1 Testemunhos**

Apenas o testemunho RRDM\_SCRD\_T01 foi coletado nesta região conforme Figura 15. A Tabela 4 amostra os testemunhos coletados com as suas respectivas coordenadas.

Figura 15: Localização dos testemunhos coletados ao longo da plataforma.

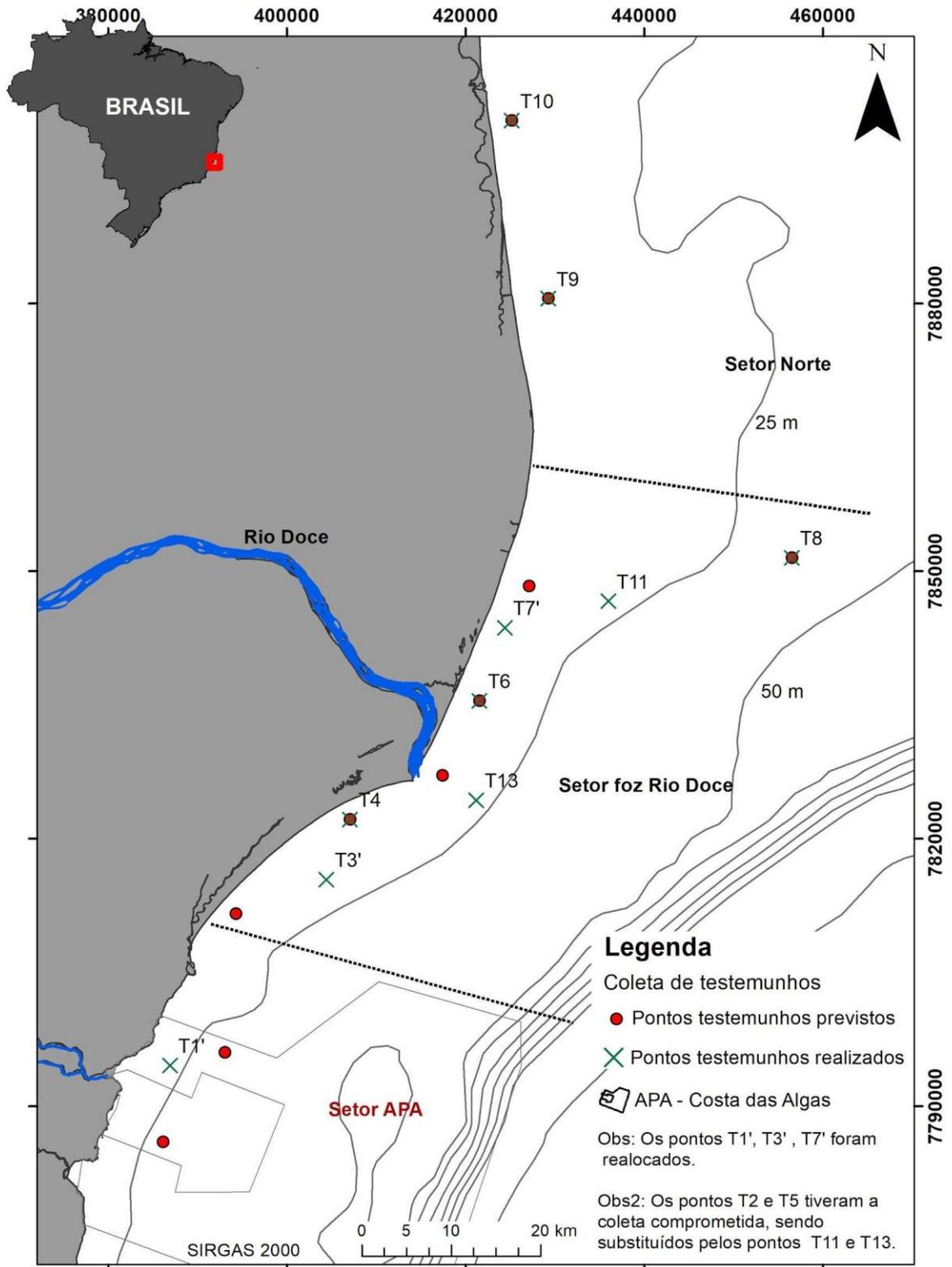


Tabela 4: Coordenada dos pontos de testemunho coletados, em UTM Sirgas 2000.

SUBPROJETO	NOME DA ESTAÇÃO AMOSTRAL	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE
Mapeamento de Habitats	RRDM-SCRD-T01	T1	7794575	386937

Em um contexto geral, é possível reconhecer nos testemunhos uma variação na distribuição granulométrica e composicional em termos espaciais e temporais.

#### 2.1.2.1.1 Descrição Granulométrica, Composicional e Mineralógica dos Testemunhos

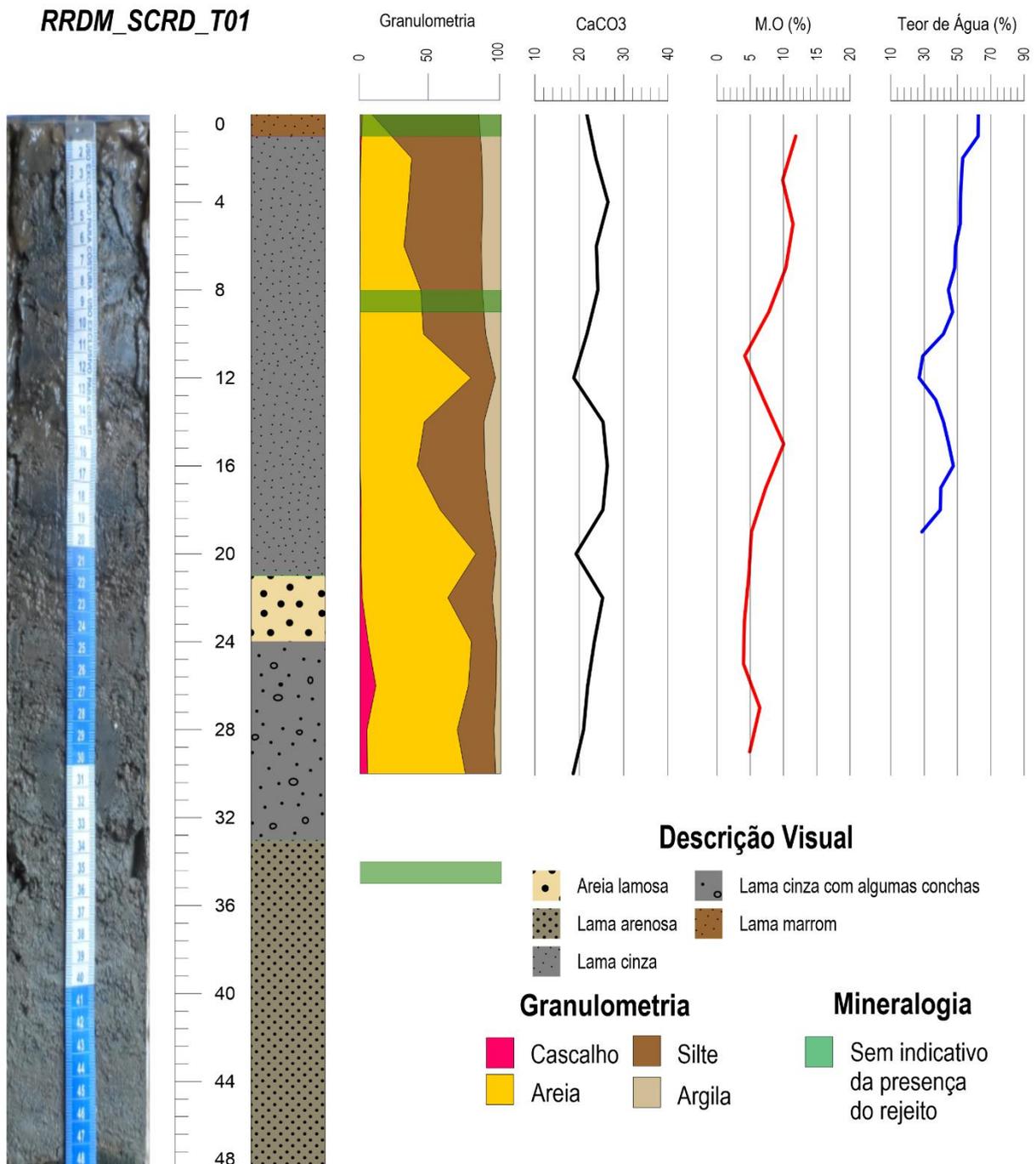
- Testemunho RRDM\_SCRD\_T01

A seguir são destacadas as características sedimentares de cada testemunho, que auxiliam na compreensão dos processos atuantes na plataforma continental. Vale destacar que a descrição granulométrica foi realizada apenas nos primeiros 30 cm para cada testemunhos, visto que o objetivo é apenas destacar a sedimentação recente.

O testemunho RRDM\_SCRD\_T01 foi coletado adjacente a desembocadura do estuário Piraquê-Açú, a 20 metros de profundidade (Figura 15) e obteve 48 cm de recuperação (Figura 16). A descrição visual mostrou que dos 48 a 34 cm uma lama arenosa, seguindo por uma lama acinzentada com a presença de conchas (entres os 34 a 24 cm), em seguida por uma areia lamosa (entre 24 a 21 cm), seguido por uma lama cinza (entre 21 a 2 cm) e por fim, uma lama marrom nos primeiros centímetros.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T01, apresenta uma tendência de aumento da base em direção ao topo, apresentando valores variando de 12 % a 2% (Figura 16). Ao longo dos estratos é possível observar picos de incremento de matéria orgânica.

Figura 16: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM\_SCRD\_T01 coletado na plataforma continental ES.



A descrição da distribuição granulométrica até os primeiros 30 cm mostrou uma inversão dos teores ao longo dos extratos. Da base até cerca de 19cm, o testemunho é predominantemente arenoso. Entre 18 e 11 cm, existe uma tendência de diminuição dos teores de areia, com um pico de elevação do teor de areia em 12 cm. Em 10 cm ocorre uma inversa na predominância granulométrica. De 10 cm até o topo do testemunho o sedimento é predominantemente lamoso, apresentando teores de até 90% de lama. (Figura 16). A mudança de granulometria nos 10 cm do topo é indicadora de mudança no aporte

sedimentar. O percentual de carbonato ao longo dos estratos se manteve constante com valores médios de 23%.

Os resultados de susceptibilidade magnética obtidos a partir das amostras do testemunho T1 foram utilizados como amostras controle para fins de comparação, nomeadas de valor de referência.

Já os teores das fases minerais associadas ao rejeito (H+Mh+M+G+Gt), bem as fases associadas aos alumino-silicatos (CaSiO+ H<sub>2</sub>O, Gibbsite e SiO<sub>2</sub>+ Alumino-Silicatos), aos carbonáticos (Aragonita, CaCO<sub>3</sub>) e outros (Ca,Fe)(OH)Br estão apresentados na Tabela 5 para os estratos analisados no testemunho T1.

Tabela 5: Fases mineralógicas para o testemunho 01

Testemunho	Estratos Analisados	Fases mineralógicas						
		H+Mh+M+G+Gt	Aragonita (Ar)	CaCO <sub>3</sub> (CaC)	Gibbsite (Gb)	CaSiO+ H <sub>2</sub> O	(Ca,Fe)(OH)Br	SiO <sub>2</sub> + Alumino-Silicatos
T1	0 -1 cm	< limite de detecção	< limite de detecção	< limite de detecção	< limite de detecção	< 5%	< limite de detecção	100%
	8 9 cm	< limite de detecção	< limite de detecção	36%	< limite de detecção	< limite de detecção	< limite de detecção	64%
	34 - 35 cm	< limite de detecção	12%	40%	< limite de detecção	< limite de detecção	< limite de detecção	48%

#### 2.1.2.1.2 Descrição Geoquímica

##### Testemunho 01

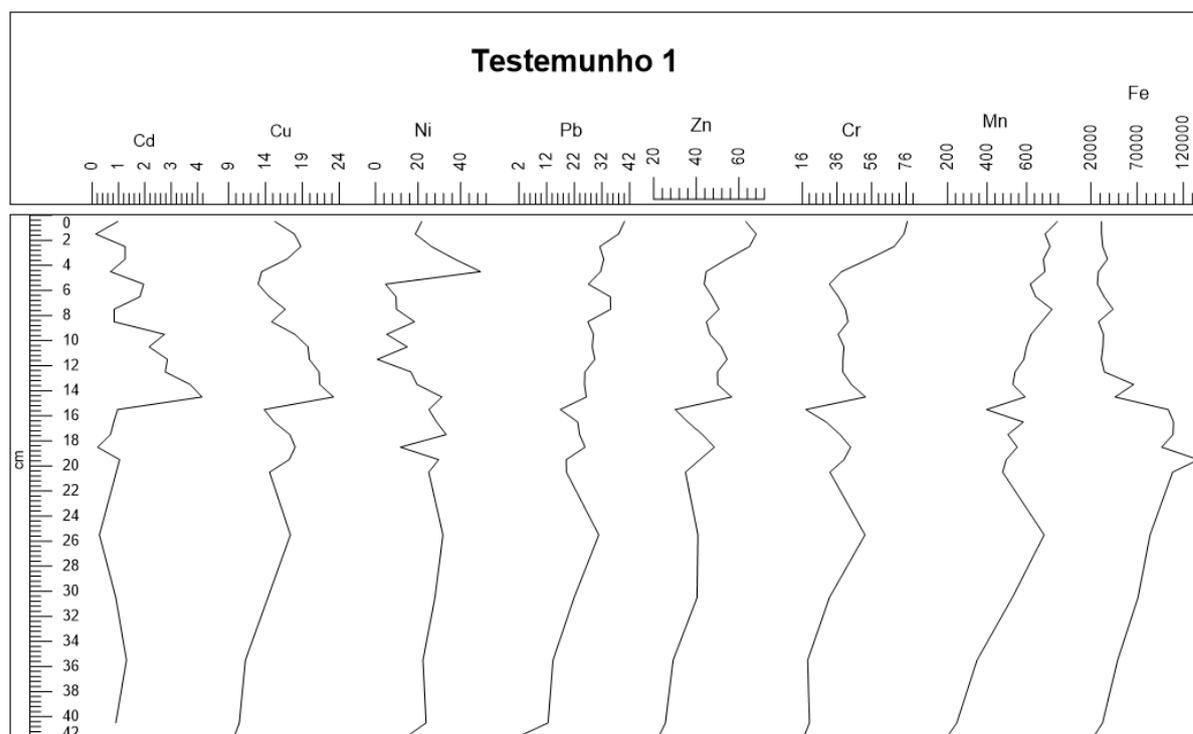
O testemunho T1 apresenta 42 cm de comprimento e foi subdividido de 1 em 1 cm de topo até 21 cm e depois de 5 em 5 cm até a base. O resultado da estatística básica para o testemunho T1 pode ser vista na Tabela 6. O Cd e o Cu apresentaram distribuição vertical semelhante (Figura 17), com picos de concentração máxima em 14-5 cm e diminuição dos valores em direção à base. A razão entre as concentrações de topo e base do Cd foi igual a 1, enquanto que para o Cu essa razão foi igual a 2, revelando maior concentração na superfície. As concentrações de cobre, no entanto, se mantiveram abaixo dos limites TEL ao longo de todo o testemunho. Já as concentrações de Cd ultrapassaram o limite TEL (Tabela 2) ao longo de praticamente todo o testemunho. A razão entre as concentrações de Ni entre topo e base foi igual a 1, no entanto o Ni apresentou o pico de valor máximo em 4-5 cm, 49,35 µg.g<sup>-1</sup>, valor que ultrapassou o limite PEL. As demais concentrações de Ni ao longo do testemunho ultrapassaram o limite TEL ao longo de praticamente todo o testemunho.

Tabela 6: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T1.

Elementos	Média±EP	Mínimo	Máximo
Zn	45,49±2,26	22,67	68,08
Cu	16,31±0,66	9,81	23,21
Pb	25,87±1,63	2,76	40,09

Elementos	Média±EP	Mínimo	Máximo
Cr	40,71±3,06	17,19	76,66
Ni	21,48±2,16	0,84	49,35
Cd	1,47±0,22	0,14	4,17
Mn	565,71±27,82	202,26	755,08
Fe	56.230,07±6665,42	23.660,41	13.6321,66

Figura 17: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em  $\mu\text{g/g}$  ao longo do testemunho T1 com 42 cm de profundidade.



Pb, Zn, Cr e Mn apresentaram distribuição vertical semelhante (Figura 17). O Pb foi o elemento com maior diferença de concentração entre topo e base, com valor 15x maior no topo, onde foi registrada a maior concentração,  $40,09 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Do topo do testemunho até a profundidade de 7-8 cm as concentrações de Pb ultrapassaram o limite TEL (Tabela 2), à exceção da profundidade de 5-6 cm. A razão entre as concentrações de topo e base para Cr e Mn revelaram um aumento de 4x, sendo que ambos apresentaram os maiores valores no topo do testemunho,  $76,66$  e  $755,08 \mu\text{g.g}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 6). O limite TEL para Cr (Tabela 2) foi ultrapassado do topo do testemunho até a profundidade de 5-6 cm e também em 14-15 cm. As concentrações de Fe entre topo e base não apresentaram diferenças, com razão igual a 1, e o pico de maior concentração para este elemento,  $136.321,66 \mu\text{g.g}^{-1}$ , ocorreu na profundidade de 19-20 cm (Figura 17).

### 2.1.2.2 Sísmica

A interpretação dos perfis sísmicos possibilitou a identificação de cinco ecocarateres distintos ao longo de toda a área levantada. As descrições de suas principais características e/ou feições de fundo às quais estão geralmente associados são sumarizadas na Figura 18, bem como exemplos de seus registros.

Figura 18: Descrição e exemplos das imagens referente aos cinco ecocarateres identificados ao longo da região de levantamento.

Padrão	Descrição	Exemplos	
<b>A</b>	Estruturas Recifais (hipérboles)		
<b>B</b>	Camada superficial transparente		
<b>C</b>	Camada superficial transparente com refletor do fundo marinho bem definido (Delta)		
<b>D</b>	Penetração e definição dos refletores subsuperficiais		
<b>E</b>	Sem definição de refletores subsuperficiais		

O ecocaráter do tipo A geralmente está associado às estruturas recifais, correspondendo às feições caracterizadas por um relevo positivo e relativamente mais rígido que o fundo marinho circundante, onde a interação com o pulso acústico é capaz de produzir feições singulares conhecidas como hipórbolas. O exemplo da esquerda (Setor APA Costa das Algas) é um padrão que apresenta uma continuidade maior ao longo do fundo marinho quando comparado ao exemplo da direita (Setor Norte - Recifes Esquecidos), onde as estruturas recifais se distribuem espacialmente de maneira mais isolada. Por sua vez, neste último exemplo as hipórbolas são mais facilmente distinguíveis. Devido à elevada refletividade do pulso acústico pelo fundo marinho associado a estes padrões, não é possível observar refletores subsuperficiais nestas regiões.

De maneira semelhante, nas regiões demarcadas pelo ecocaráter do tipo E também não é possível identificar com facilidade os refletores subsuperficiais (exemplo da esquerda) e/ou os mesmos não apresentam uma continuidade significativa. Contudo, não são identificadas hipórbolas nestes registros, sugerindo então a ocorrência de fundos inconsolidados cujas características geoacústicas favoreceram

a reflexão pelo fundo marinho em detrimento da penetração do pulso acústico no mesmo, limitando assim a definição de possíveis refletores acústicos subsuperficiais.

Já no caso do ecocaráter do tipo D foi observado o fenômeno contrário e as características geoacústicas (provavelmente fundos lamosos ou com predominância de areia fina) do fundo marinho foram ideais para a penetração máxima dos pulsos sísmicos nos depósitos sedimentares (sendo limitados apenas pela potência característica de cada tipo de fonte sísmica), permitindo a máxima performance da sísmica de alta resolução. Os exemplos à esquerda e à direita correspondem à notórios exemplos de paleocanais (vales incisos na plataforma continental já preenchidos por uma deposição sedimentar relativamente recente - pós último máximo glacial (Angulo et al., 2006)) do setor Norte. Vale lembrar que este ecocaráter não representa apenas as regiões com paleocanais, mas como sua descrição relata, abrange todas as regiões onde é possível observar refletores subsuperficiais bem definidos.

O ecocaráter do tipo C pode ser considerado como uma variação do tipo D com uma marcante presença de uma camada relativamente mais clara e, comumente denominada transparente, logo abaixo do refletor relativo ao fundo marinho, o qual se apresenta bem definido. Em registros sísmicos, essa característica transparente do registro é diretamente relacionada à sedimentos lamosos, e sua ocorrência ao longo de plataforma continental em estudo é um indicativo de depósito deltaico. O exemplo à esquerda corresponde à região costeira do setor Foz do Rio Doce, onde não é possível observar refletores subsuperficiais abaixo deste depósito transparente. Essa limitação está associada à presença significativa de gás “trapeado” no depósito sedimentar (Boni, 2014; Silva, 2017). O exemplo da direita também corresponde ao mesmo setor, porém em seu limite offshore. Nas demais regiões da área de estudo a quantidade e limitação ou não dos refletores subsuperficiais abaixo do depósito transparente foi bem variável.

Dentro deste contexto de mapeamento da potencial ocorrência do rejeito, o ecocaráter do tipo B representa o marcador ideal. Assim como o ecocaráter E, também apresenta a camada transparente no fundo marinho, porém neste caso o refletor relativo ao fundo marinho não apresenta um contraste de impedância tão significativo e, portanto, apresenta-se com um tom nitidamente mais claro. Essa diferença de resposta geoacústica pelo fundo marinho é um indicativo da ocorrência de um depósito também lamoso, mas com deposição relativamente mais recente e/ou ainda sendo submetido periodicamente a ressuspensão por agentes hidrodinâmicos locais (Schorrotke et al, 2015). Desta forma, a ocorrência do ecocaráter E é indicativo forte de lama fluida (Quaresma et al., 2011) ao longo da área de estudo, correspondendo a um registro geoacústico da diminuição do grau de compactação do e/ou teor de água do depósito lamoso na plataforma, corroborando com os resultados de Quaresma et al. (2015).

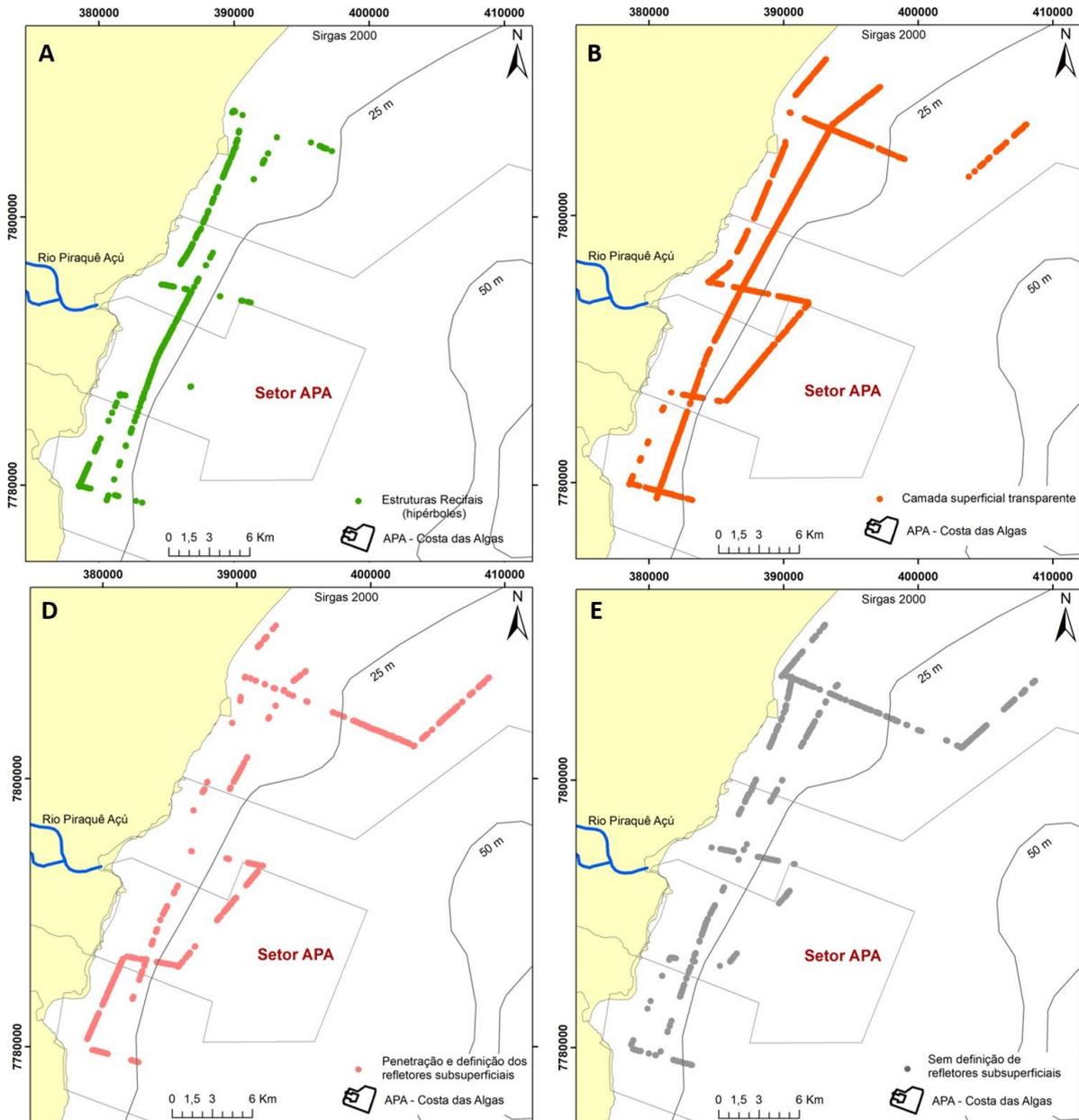
Como pode ser observado pelos exemplos, sua espessura é consideravelmente variável ao longo de toda a área de estudo, e por se tratar de um depósito estritamente recente, a sua ocorrência é estritamente superficial. Desta forma, como este ecocaráter naturalmente ocorreu por sobre os demais

padrões (Ecocaráter A no exemplo à esquerda e, Ecocaráter C no exemplo à direita), no contexto do mapeamento da potencial ocorrência de rejeitos, a sua cobertura espacial foi priorizada. No exemplo à direita (Setor Foz do rio Doce) este ecocaráter é observado em uma região de transição para um depósito com gás trapedo (lado esquerdo da imagem) onde é possível notar uma variação brusca nesta tonalidade do refletor do fundo marinho quando se transita (da direita para a esquerda) entre o Ecocaráter B (fundo transparente), passando pelo Ecocaráter C (fundo preto) e, retornando para o Ecocaráter B (fundo transparente).

Como citado acima, no exemplo da esquerda (Setor APA Costa das Algas) este padrão foi observado por sobre o Ecocaráter do tipo A, correspondente a estruturas recifais contínuas, sendo que nesta faixa de profundidades as mesmas estão associadas aos terraços lateríticos (Vieira et al, 2019). Desta forma, estas estruturas recifais poderiam estar “trapeando” sedimentos lamosos. Uma outra possibilidade para a ocorrência deste ecocaráter nestas regiões seria apenas uma resposta geoacústica semelhante em função do grau de cobertura bentônica nestas estruturas recifais. Infelizmente, devido a diversas limitações (método, equipamentos, área de estudo) os estudos que almejaram encontrar uma relação significativa entre a cobertura benthica e a variação no contraste de impedância/Backscatter associado ao retorno do pulso acústico pelas estruturas recifais (Parnum & Gavrilov, 2012; Falco et al., 2010; Torres-Medina et al., 2010) ainda não demonstraram ser amplamente conclusivos. Desta forma, o estudo acústico indireto dos fundos recifais ainda demanda uma parametrização de seus padrões a partir do uso de informações diretas oriundas das verdades de campo.

Na Figura 19 a seguir é possível observar a distribuição espacial dos ecocaráteres ao longo do setor APA.

Figura 19: Localização do padrão de Ecocaráter do tipo Estruturas Recifais (A), Camada superficial transparente (B), Penetração e definição dos refletores subsuperficiais (D) e Sem definição de refletores subsuperficiais (E) com foco no setor da APA.



O ecocaráter A (Figura 19, A) está possivelmente associado a fundos rígidos, definidos por Bastos et al. (2015) e Vieira et al. (2019) como terraços marinhos de lateritas formados durante a última transgressão marinha ou por afloramentos rochosos no fundo marinho que foram colonizados por organismos incrustantes. Este padrão ocorre majoritariamente próximo à costa, mas de maneira mais contínua ao longo do transecto de verificação.

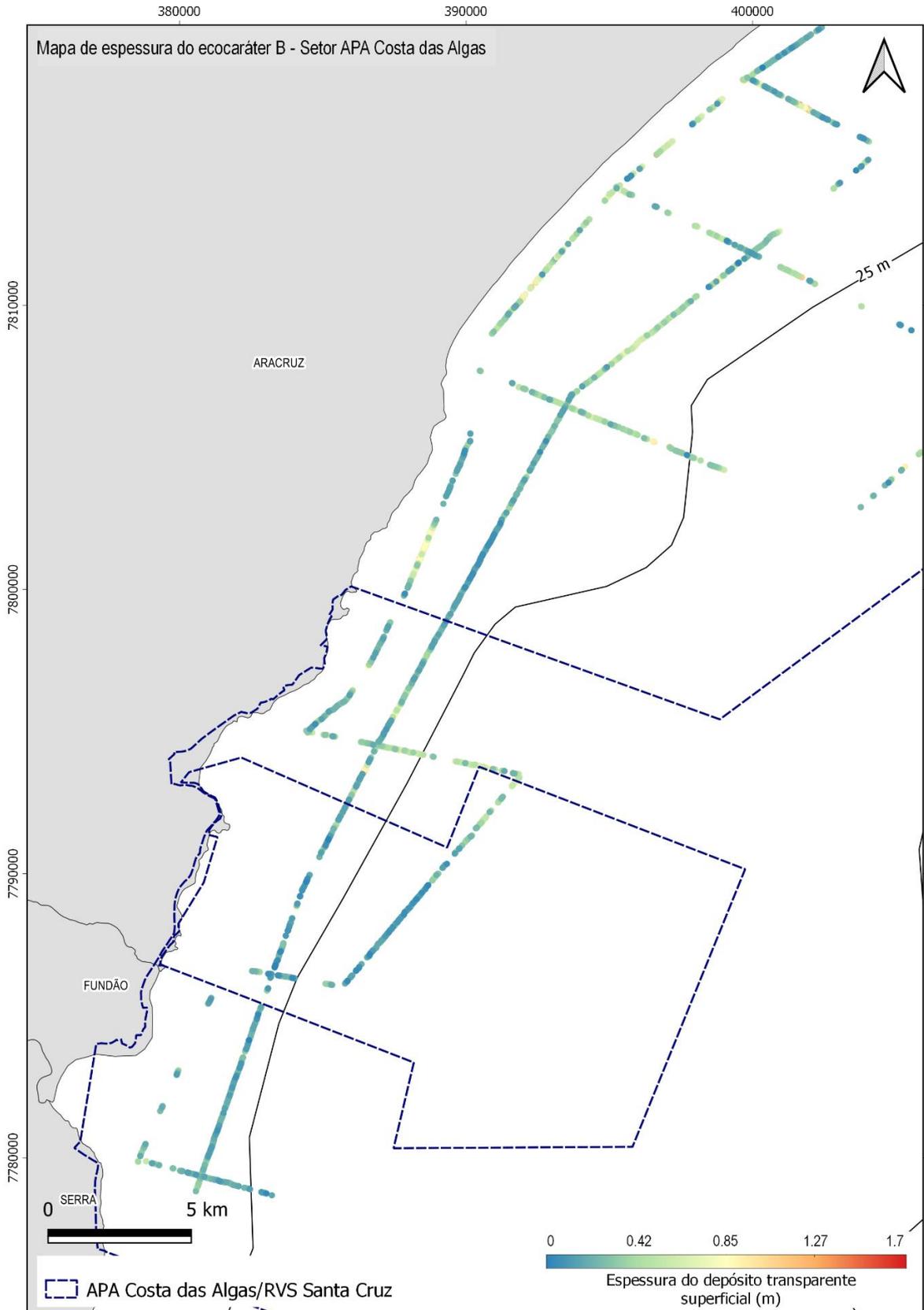
Ao longo deste relatório, os fundos marinhos considerados como não-recifais serão então demarcados pela ocorrência dos ecocaráteres C, D e E. Neste setor não foi observada a ocorrência do ecocaráter

C. Os ecocaráteres D e E (Figura 19, D e E) se distribuíram de maneira complementar, sendo que os primeiros ocorrem nos transectos relativamente mais profundos do que aqueles relativos ao segundo padrão. Desta forma, acredita-se que a sedimentação mais externa seja abundante em granulometria fina, enquanto a costeira/inter-recifal seja majoritariamente dominada por grãos maiores (provavelmente bioclastos) devido à maior ocorrência do ecocaráter E nas adjacências dos ecocaráteres recifais.

O ecocaráter B (Figura 19, B) ocorreu de maneira muito abrangente ao longo de todo o setor fazendo com que a possibilidade de ocorrência do rejeito nesta região seja significativa. Aparentemente, a predominância de uma distribuição contínua das estruturas recifais nesta região propicia uma maior capacidade de acumulação de possíveis rejeitos, pois sua morfologia irregular proporciona reentrâncias que podem estar atuando como armadilhas e trapeando os sedimentos de granulometria mais fina. A coleta e/ou a análise de verdades de campo ao longo deste padrão permitiriam identificar também se o mesmo estaria ou não associado à cobertura bentônica destas estruturas recifais.

A (Figura 20) revela a distribuição espacial da espessura do depósito transparente relativo ao ecocaráter B. Em termos de continuidade do depósito transparente, o extremo sul costeiro é região com o maior destaque pois também apresenta depósitos espessos. Também é observada uma aglomeração deste depósito na região proximal à foz do rio, tanto na zona costeira, quanto no limite offshore do setor, com grande espessura neste último. Outra observação pontual de depósito espesso fica ao norte da foz, em profundidades intermediárias. Há de se destacar também a ocorrência de um depósito relativamente espesso e contínuo na região costeira do extremo norte deste setor.

Figura 20: Espessura do ecocarater B no setor da APA



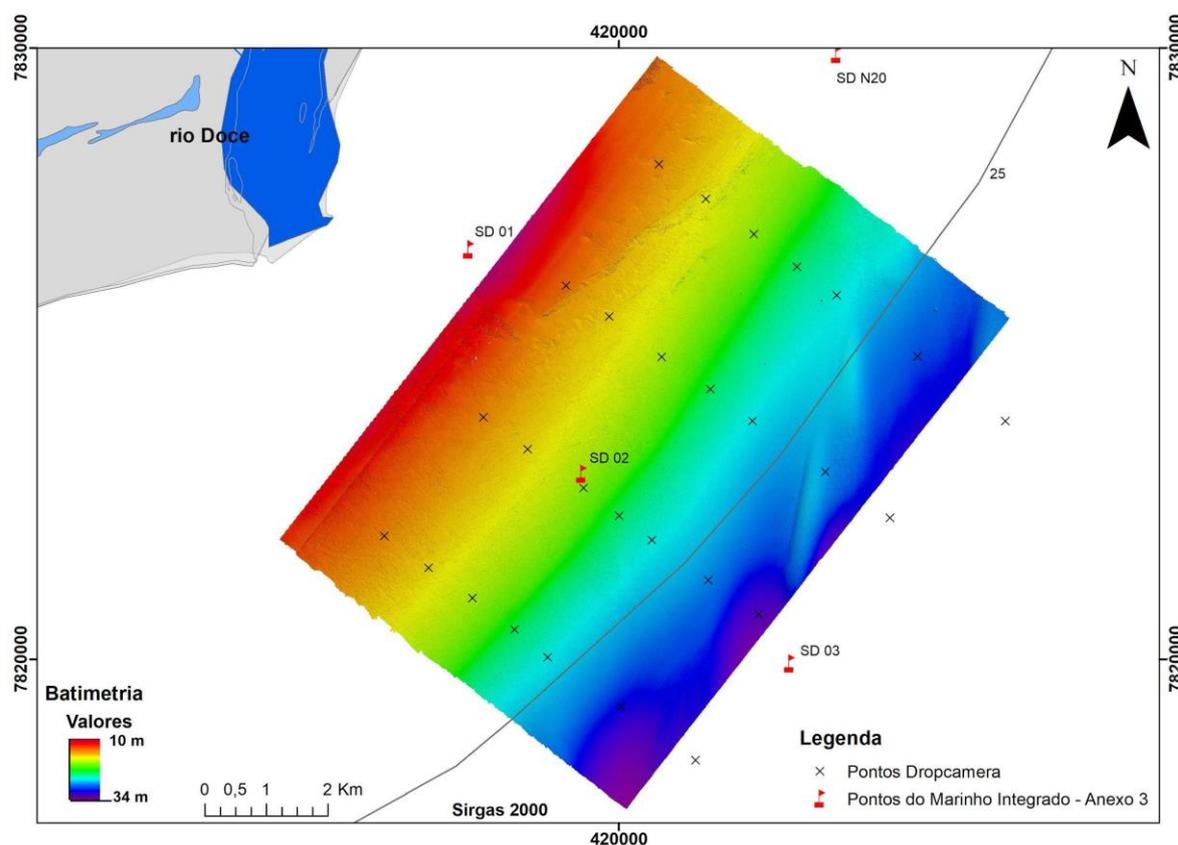
## 2.2 SETOR FOZ DO RIO DOCE

### 2.2.1 Mapeamento de Habitats

#### 2.2.1.1 Morfologia do fundo marinho

Os dados batimétricos adquiridos no Setor Foz somam 2824.43 km de navegação, resultando em uma superfície batimétrica cobrindo 72.2 km<sup>2</sup>. Essa região foi a mais afetada com a chegada do rejeito, ou seja, a que mais recebeu material e continua recebendo sedimento oriundo do Rio Doce. No mapa da Figura 21 é apresentado o inédito mapeamento da morfologia do lobo deltaico com resolução de 2 m. Além da superfície batimétrica da região, são indicados também os pontos de monitoramento de outros subprojetos no entorno da área.

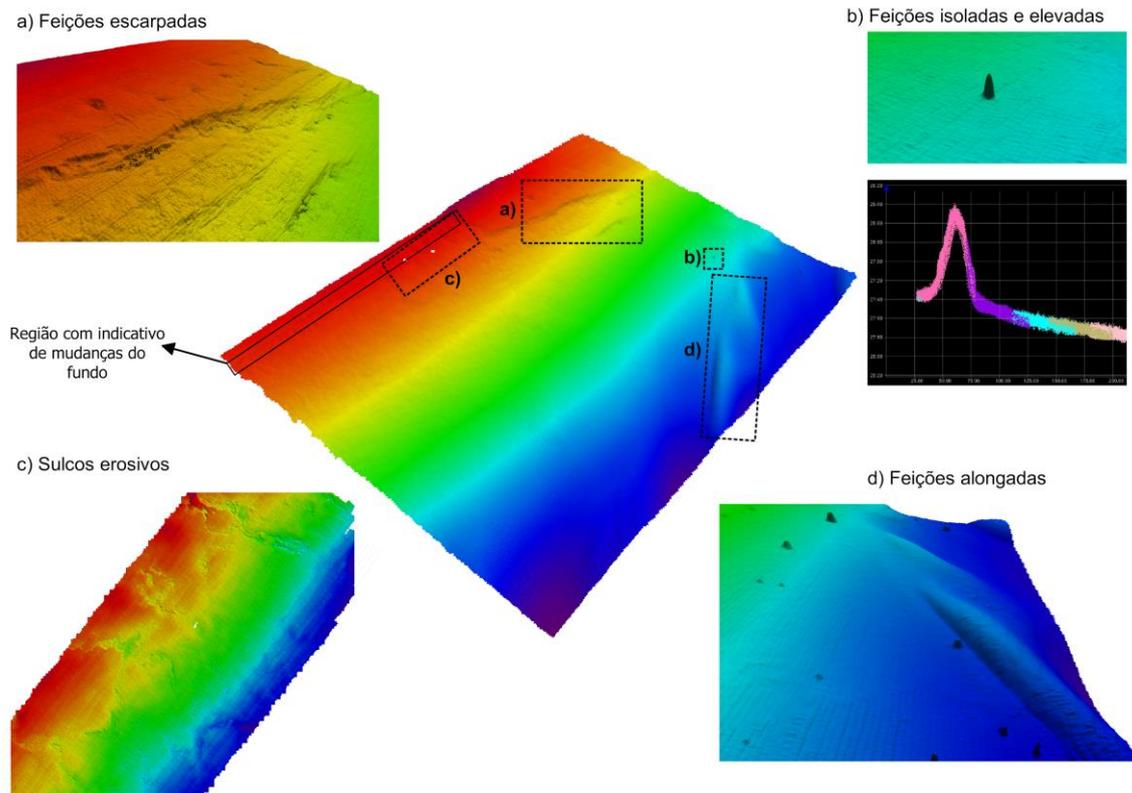
Figura 21: Mapa batimétrico do Setor Foz.



As profundidades na área variaram entre 10 e 34 m. Uma análise geral do aspecto morfológico para a região indica uma morfologia regular, com algumas feições escarpadas, sulcos erosivos, feições alongadas de relevo positivo, feições isoladas e elevadas (com altura em torno de 1 m e diâmetros variando de 9 m a até 35 m). A Figura 22 indica a localização e exemplifica nos frames o detalhe das feições mencionadas. É importante ressaltar que estas feições definidas aqui como escarpas e sulcos erosivos são indicativos de processos sedimentares, mostrando o potencial transporte de sedimento fino de regiões mais rasas para regiões mais profundas no lobo deltaico. Essas características nunca

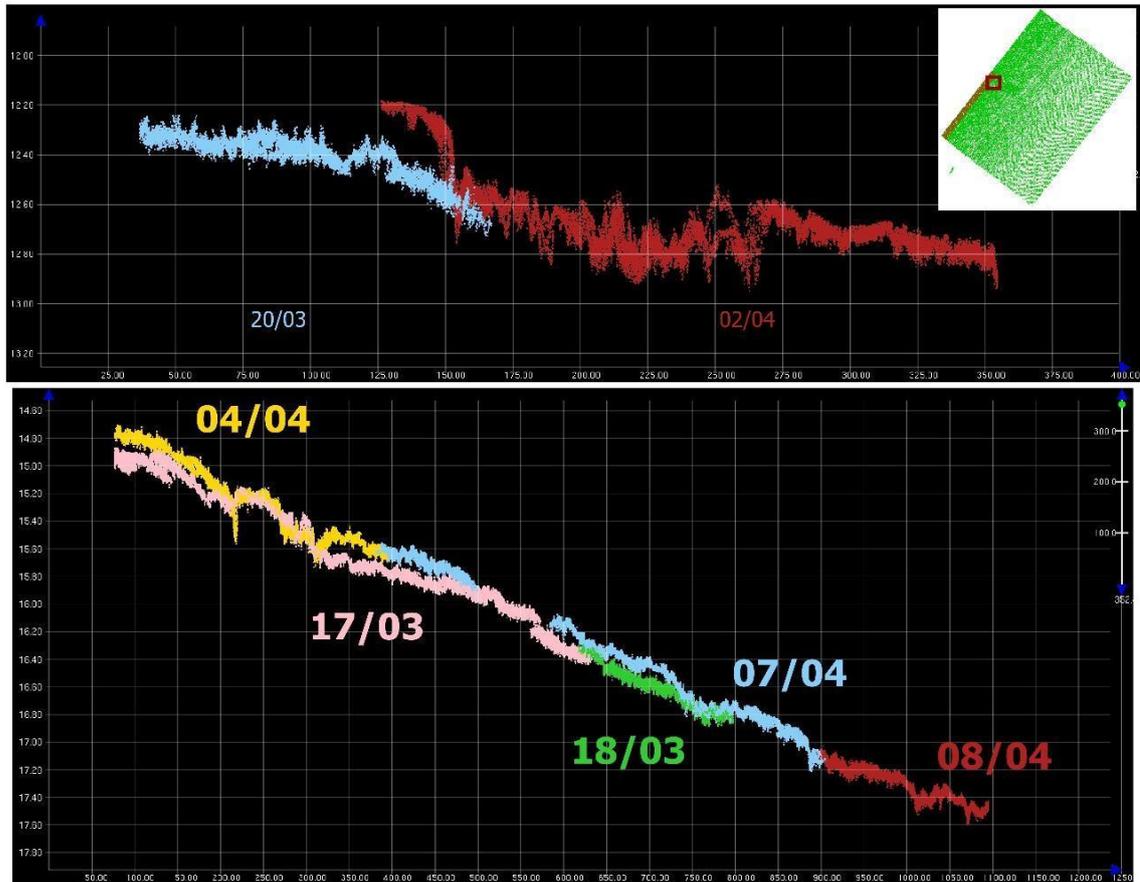
haviam sido mapeadas antes nesta região e podem indicar um importante processo de transferência de sedimento. Da mesma maneira, observa-se que o lobo deltaico é cortado por bancos arenosos, oblíquos a costa, o que também é um novo indicativo de transporte de sedimento, potencialmente causado por correntes de maré (Figura 22 a, b, c, d).

Figura 22: Exemplo de feições encontradas nos registros batimétricos.



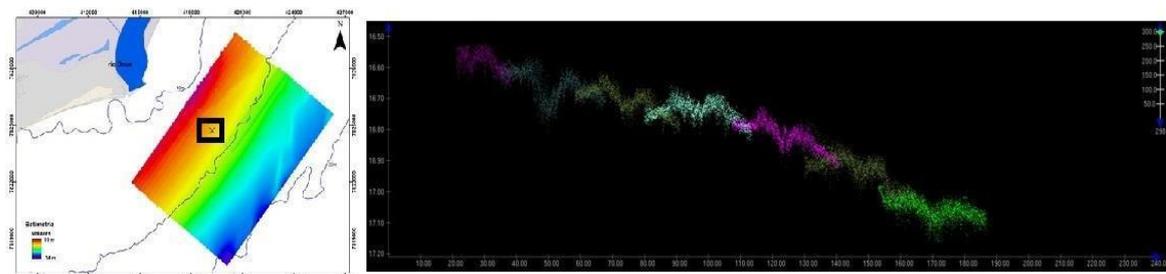
O levantamento foi realizado entre 13 de março e 05 de maio, com alguns intervalos entre as campanhas devido às condições meteoceanográficas inadequadas para a aquisição de dados satisfatórios. Na região costeira ao sul foi possível observar algumas diferenças significativas entre os registros batimétricos em regiões com sobreposição de dados relativos à diferentes campanhas. Essa diferença batimétrica é um forte indicativo de mobilidade do fundo marinho associada à condições meteoceanográficas mais intensas. Os resultados do backscatter, apresentados no tópico a seguir, também sugerem a presença de uma lama mais fluida nessa região das mudanças batimétricas. Vale ressaltar que essa região de transição, onde existem indicativos de mudança do fundo, provavelmente sofreu tais modificações em um intervalo entre as campanhas devido a entrada de frente fria, a qual foi alertada pela Marinha do Brasil como uma possível formação de ciclone. A imagem a seguir (Figura 23) exemplifica o descasamento das linhas batimétricas de diferentes campanhas em locais onde há sobreposição de dados.

Figura 23: Comparação de dados batimétricos mostrando modificações do fundo marinho associados à passagem de frentes frias.



Na região mais rasa foi observado um comportamento acústico distinto nos dados batimétricos (Figura 24). No conjunto central de feixes da varredura, também conhecido como *nadir*, é visível uma cava que sugere uma maior penetração do sinal. Além desse comportamento, foi verificada uma grande quantidade de ruídos nos dados, e em alguns locais a nuvem de pontos (espessura vertical dos registros) aumentou. Essas características acústicas foram interpretadas como indicativo de alta concentração de material particulado em suspensão na coluna d'água, possivelmente marcando a presença de lama fluida. Essa questão será novamente abordada adiante como indicativo da potencial ocorrência de rejeito.

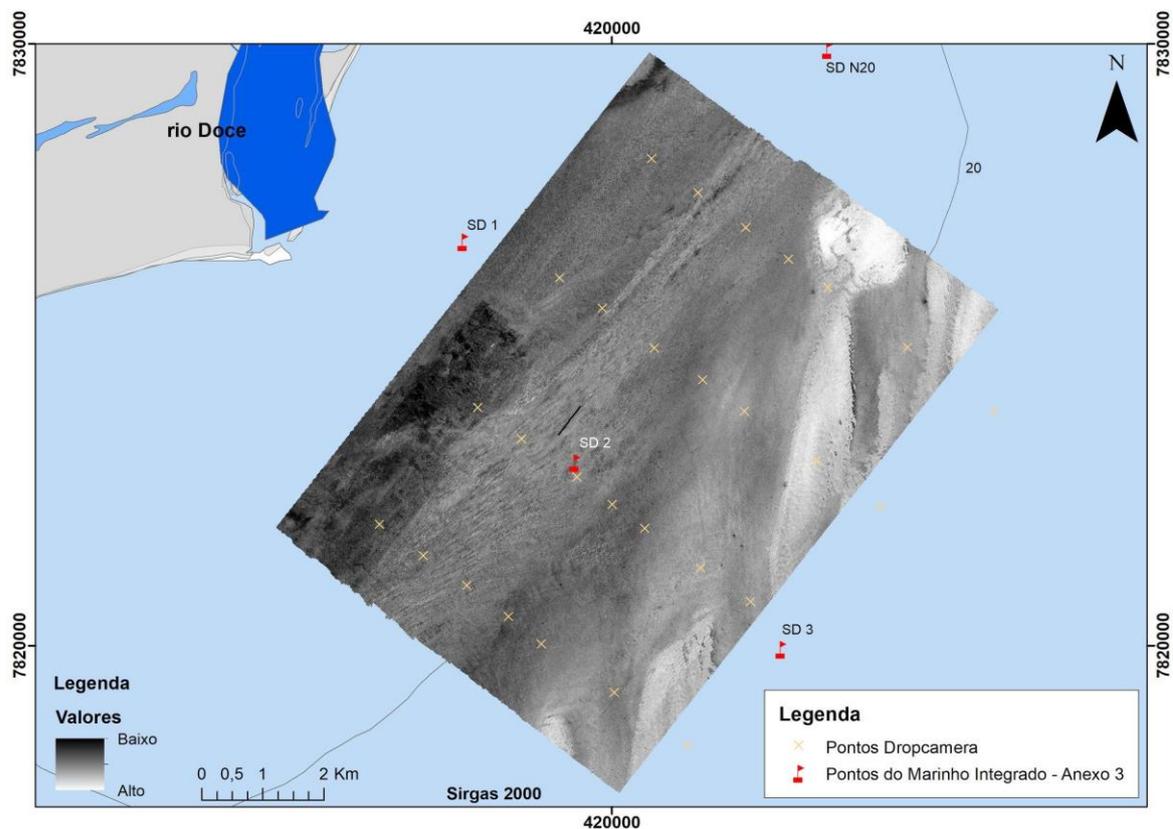
Figura 24: Exemplo de linhas batimétricas (diferentes cores) revelando um comportamento acústico indicativo de lama fluida.



### 2.2.1.2 Backscatter

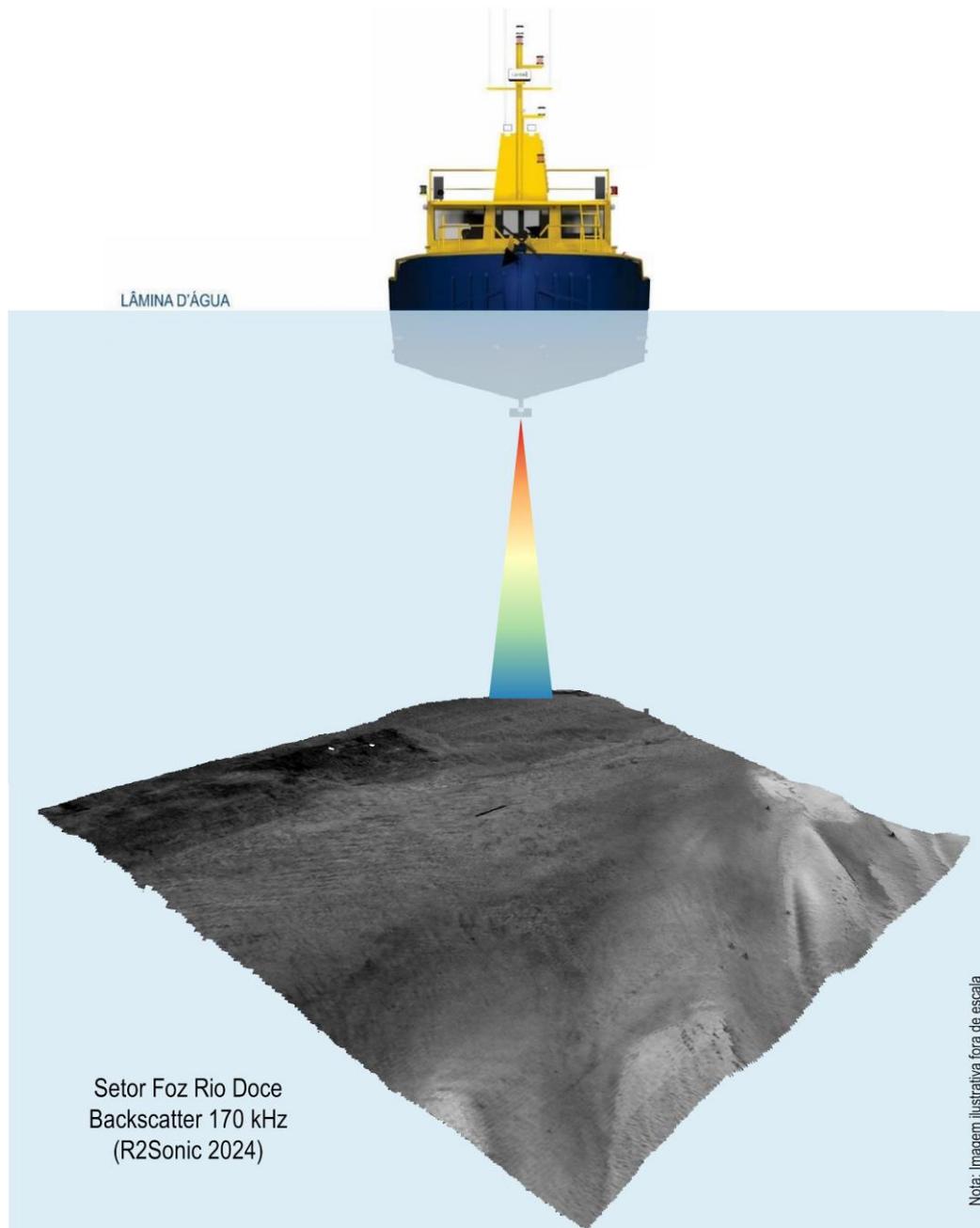
Conforme já mencionado anteriormente, o *backscatter* está intrinsicamente associado à frequência acústica utilizada, ao tipo de fundo marinho e à angulação do ângulo de incidência. Os resultados do backscatter são apresentados no mapa abaixo (Figura 25). Em geral, os valores de backscatter são menores na parte mais rasa/próximo à costa, e aumentam pouco e gradativamente em direção offshore.

Figura 25: Mapa do backscatter da região do Rio Doce.



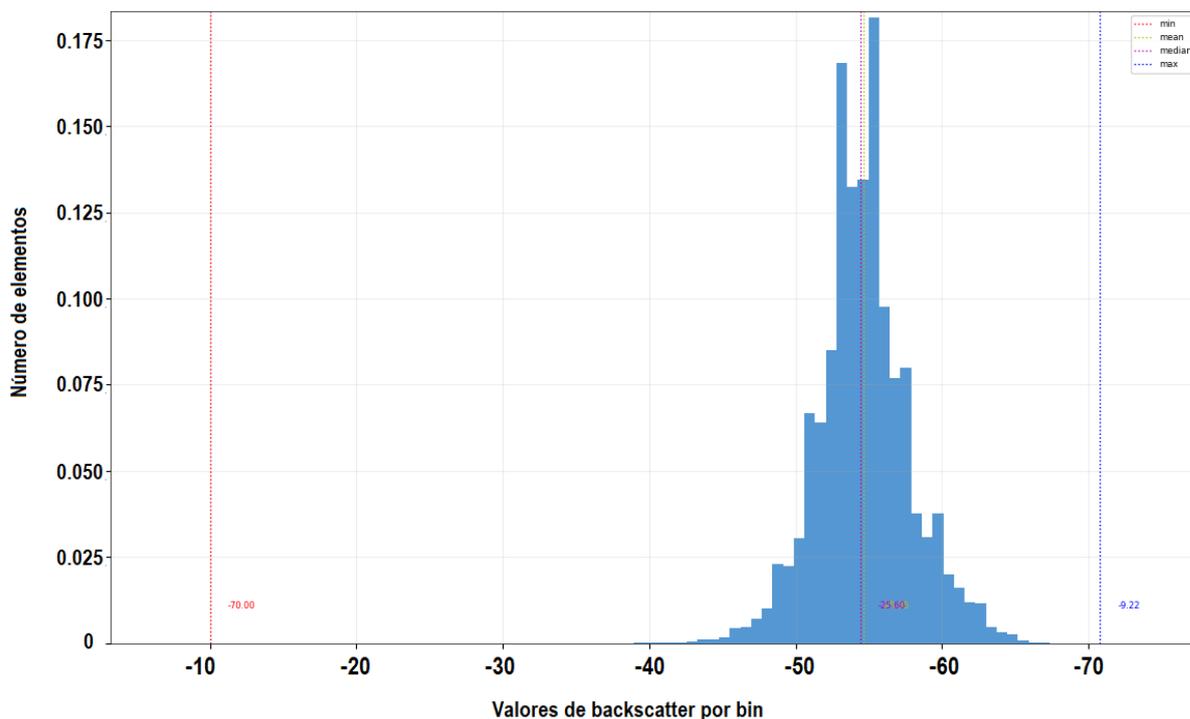
A Figura 26 apresenta o backscatter sobreposto na batimetria em perspectiva 3D. Fica mais fácil visualizar algumas características, como o padrão de baixa reflexão na parte mais rasa do lobo deltaico, e o padrão de reflexão mais alta na parte mais funda indicando a feição alongada de relevo positivo.

Figura 26: Backscatter sobreposto na batimetria em perspectiva 3D.



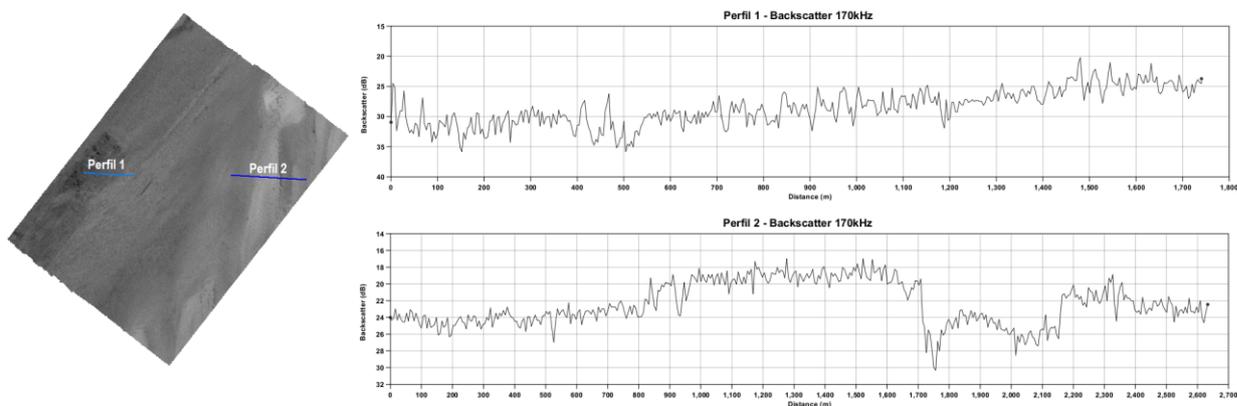
O histograma dos valores de backscatter (Figura 27) indica um padrão geral homogêneo (curva unimodal, leptocúrtica). Além disso, o histograma também apresenta valores de média e mediana que geralmente estão associados a sedimentos finos, conforme já relatado em frequências parecidas por Parnum and Gavrilov (2012) e Brown et al (2019).

Figura 27: Histograma dos valores de backscatter.



Na região mais rasa ao sul do levantamento, onde apareceram diferenças batimétricas que foram atribuídas a mobilidade do fundo, foi traçado um perfil (Perfil 1) sobre os dados do backscatter. Os valores baixos indicam um fundo lamoso. Já no perfil 2 os valores mais altos coincidem com as feições alongadas encontradas na batimetria, e sugere que essas feições sejam constituídas de um material mais arenoso (Figura 28).

Figura 28: Exemplos da variação de backscatter ao longo da área.



### 2.2.1.3 Verdades de Campo

O vídeo-imageamento não apresentou resultados adequados uma vez que a alta concentração de MPS na coluna d'água não permitiu discernir e classificar satisfatoriamente o fundo marinho. Entretanto, esta observação é um indicativo da constante ressuspensão de material depositados no fundo e/ou que estejam sendo transportados, uma vez que as campanhas foram realizadas em período de mar calmo e baixa vazão do rio.

As imagens foram coletadas entre os dias 12 e 13 de março correspondendo à área do levantamento ecobatimétrico, entre as isóbatas de 15 e 30 metros (Figura 29). As coordenadas de cada ponto de vídeo seguem na Tabela 7.

Figura 29: Localização dos pontos de vídeo na área correspondente ao levantamento ecobatimétrico na região adjacente à foz do rio Doce, entre as isóbatas de 15 e 30 metros.

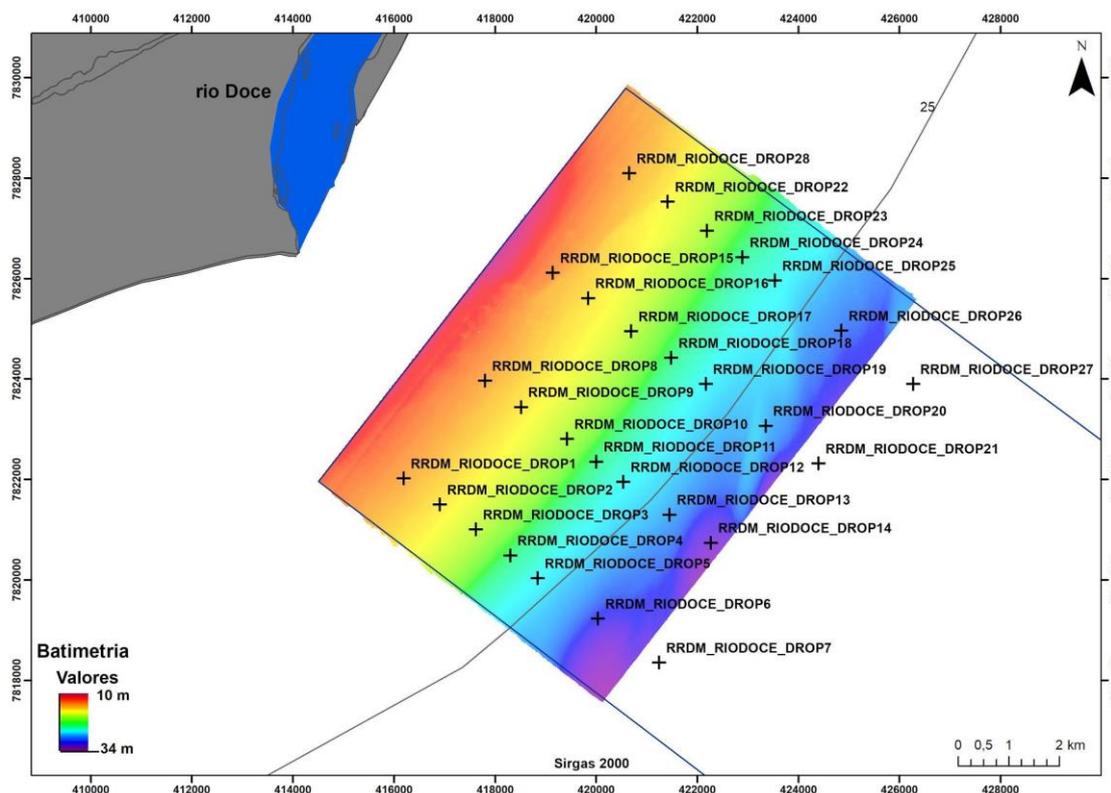


Tabela 7: Coordenadas geográficas dos pontos de vídeo na região do rio Doce.

Nome do Ponto	Coordenadas (SIRGAS 2000)	
	X_UTM	Y_UTM
RRDM_RIODOCE_DROP1	416190.26	7822019.10
RRDM_RIODOCE_DROP2	416910.19	7821496.17
RRDM_RIODOCE_DROP3	417622.82	7821000.41

Nome do Ponto	Coordenadas (Sirgas 2000)	
	X_UTM	Y_UTM
RRDM_RIODOCE_DROP4	418302.69	7820484.71
RRDM_RIODOCE_DROP5	418842.84	7820029.54
RRDM_RIODOCE_DROP6	420038.40	7819223.97
RRDM_RIODOCE_DROP7	421243.43	7818348.68
RRDM_RIODOCE_DROP8	417799.99	7823962.00
RRDM_RIODOCE_DROP9	418518.19	7823437.19
RRDM_RIODOCE_DROP10	419426.51	7822805.09
RRDM_RIODOCE_DROP11	420004.71	7822350.96
RRDM_RIODOCE_DROP12	420539.50	7821948.68
RRDM_RIODOCE_DROP13	421449.94	7821294.91
RRDM_RIODOCE_DROP14	422270.16	7820735.16
RRDM_RIODOCE_DROP15	419140.73	7826113.39
RRDM_RIODOCE_DROP16	419840.70	7825607.42
RRDM_RIODOCE_DROP17	420693.58	7824948.68
RRDM_RIODOCE_DROP18	421486.35	7824417.87
RRDM_RIODOCE_DROP19	422170.16	7823898.20
RRDM_RIODOCE_DROP20	423356.57	7823066.00
RRDM_RIODOCE_DROP21	424397.75	7822313.39
RRDM_RIODOCE_DROP22	421411.57	7827527.04
RRDM_RIODOCE_DROP23	422193.80	7826948.68
RRDM_RIODOCE_DROP24	422893.86	7826420.02
RRDM_RIODOCE_DROP25	423540.04	7825957.16
RRDM_RIODOCE_DROP26	424848.80	7824960.00
RRDM_RIODOCE_DROP27	426270.16	7823898.48
RRDM_RIODOCE_DROP28	420652.01	7828094.31

Ao longo de toda a região foi possível observar por meio das imagens adquiridas um alto nível de turbidez na coluna d'água em todos os pontos do vídeo-monitoramento, tais como os exemplos apresentados na Figura 30.

Figura 30: Exemplo de frames coletados na região adjacente à foz do rio Doce

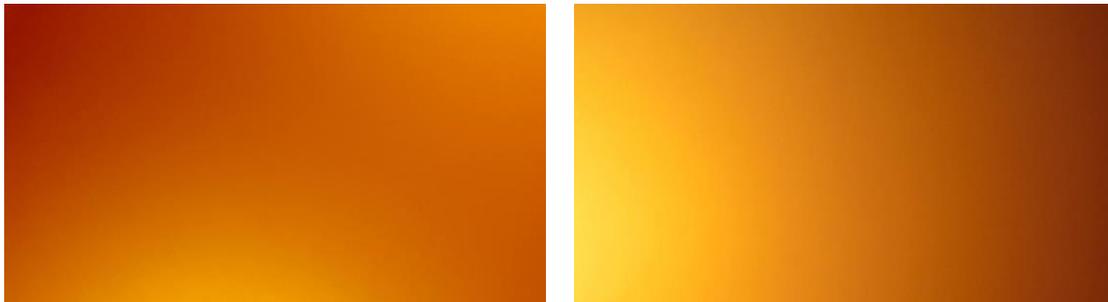


Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP07

Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP10

Foram produzidas imagens a partir dos vídeos de ambas as câmeras (ortogonal e lateral) em cada ponto. Alguns pontos mostram uma diferenciação na coloração quando comparadas as imagens da câmera ortogonal e lateral (Figura 31). Em alguns pontos, como por exemplo RRDM\_RIODOCE\_DROP1, as imagens indicam alto nível de turbidez apresentando uma coloração alaranjada. Já para outros pontos, como exemplo RRDM\_RIODOCE\_DROP04 (Figura 31), a imagem da visualização ortogonal apresenta uma coloração diferenciada da visualização lateral.

Figura 31: Exemplo dos frames das imagens de fundo para as visualizações ortogonal e lateral de diferentes pontos adjacentes à foz do Rio Doce.



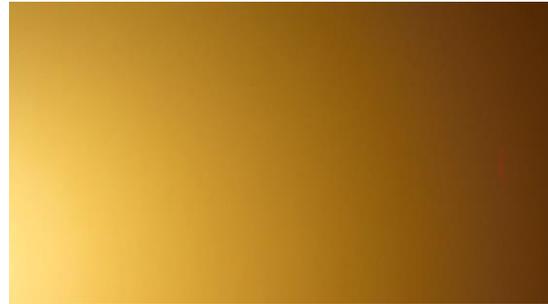
Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP01  
VISUALIZAÇÃO ORTOGONAL

- Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP01 -  
VISUALIZAÇÃO LATERAL



Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP03  
VISUALIZAÇÃO ORTOGONAL

- Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP03 -  
VISUALIZAÇÃO LATERAL



Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP04  
VISUALIZAÇÃO ORTOGONAL

- Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP04 -  
VISUALIZAÇÃO LATERAL



Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP06  
VISUALIZAÇÃO ORTOGONAL

- Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP06 -  
VISUALIZAÇÃO LATERAL



Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP07 - Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP07 -  
VISUALIZAÇÃO ORTOGONAL VISUALIZAÇÃO LATERAL

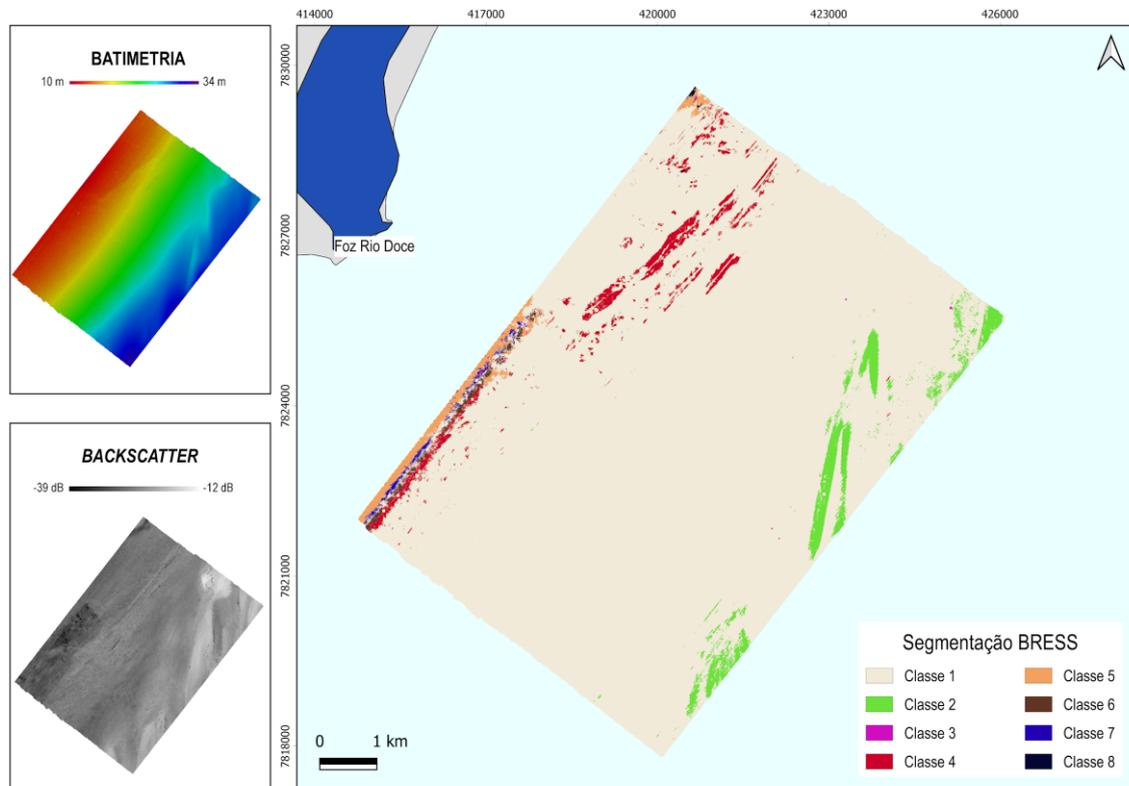
A coloração alaranjada foi observada na coluna d'água próxima ao fundo (imagens laterais) ao passo que a coloração marrom foi mais observada nas imagens ortogonais que apontam para o fundo marinho. Dessa forma, em alguns pontos, é possível inferir que há algum processo atuante que faz com que o material alaranjado de sedimentos em suspensão mantenha-se acima do fundo, ou seja, dificultando sua deposição.

#### 2.2.1.4 Segmentação/Classificação Acústica

A partir dos dados de batimetria e de backscatter, foram realizadas segmentação e classificação dos dados acústicos utilizando dois diferentes softwares: i) BRES (Bathymetric and reflectivity-based segments), que é uma ferramenta livre disponibilizada pela Universidade de New Hampshire); ii) RSobria, que é uma ferramenta licenciada do ArcGIS, desenvolvida em parceria com a Universidade de Southampton.

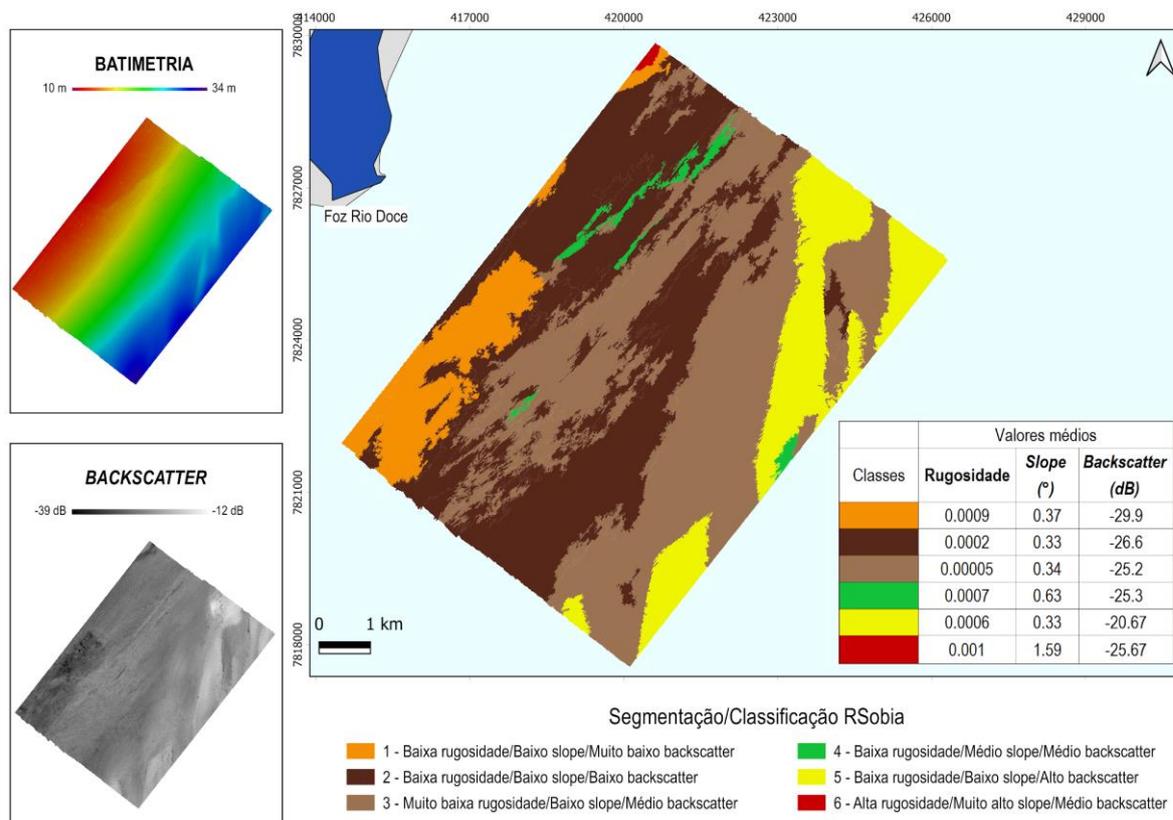
Os resultados obtidos com o BRESS estão plotados no mapa da Figura 32. Dentre as classes encontradas, vale pontuar algumas observações: é possível observar uma predominância absoluta da classe 1, que está fortemente associada com fundo "Flat", e um valor médio de backscatter de -25.3 dB. Já a classe 2 apareceu associada com o fundo (*landform*) "Slope", e marcou na parte mais profunda as feições alongadas e elevadas com valores de *backscatter* mais altos (-20.4 dB), sugerindo sedimentos arenosos. A classe 4 indica forte associação com a inclinação das feições ("*slope*"), e ficou bem marcada principalmente nas feições escarpadas. Ficou nítido nos resultados uma faixa na região mais rasa a sudoeste, onde é possível reconhecer uma mescla de classes (4, 5, 6 e 7), todas elas com valores baixos de *backscatter* (em torno de -30dB), indicando sedimentos lamosos. Essa observação vai ao encontro das alterações batimétricas mostradas nas Figura 23 e Figura 24.

Figura 32: Resultados da segmentação realizada no software BRESS.



O mapa da Figura 32 sumariza os resultados alcançados com a segmentação da ferramenta RSobria. Foram distinguidas 6 classes a partir da rugosidade, *slope* e *backscatter*, com pesos 1-1-2, respectivamente. Conforme observado na imagem, essa classificação aparentemente conseguiu utilizar de forma mais proveitosa os dados de acústicos, segmentando, por exemplo, as feições alongadas observadas tanto na batimetria como no *backscatter*. As feições escarpadas também ficaram bem marcadas.

Figura 33: Resultados da segmentação dos dados batimétricos e de *backscatter* para o setor Foz do Rio Doce.

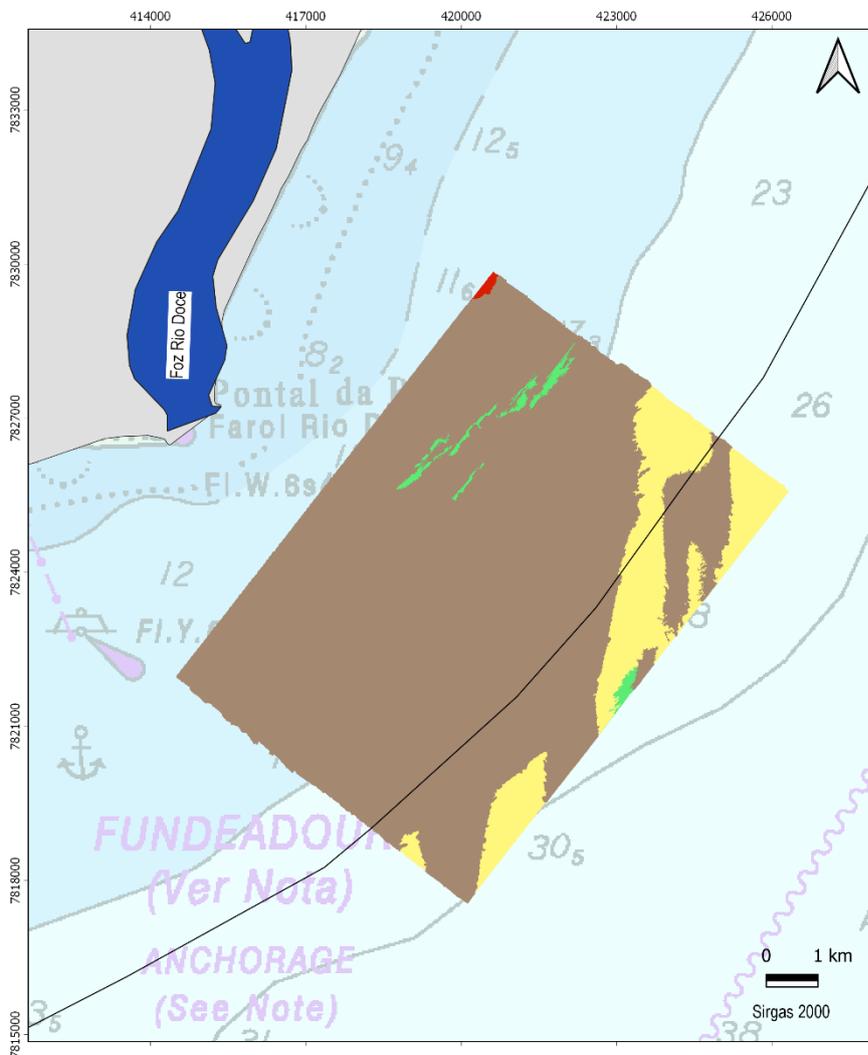


Ao considerarmos os resultados das duas classificações, é possível verificar coerências, por exemplo, nas feições escarpadas, que foram reconhecidas por ambas as ferramentas. Além disso, nota-se que para a maior parte da área (Classe 1 do BRESS, e classes 1/2/3/5 do RSobria) o fundo possui baixa rugosidade e baixos valores de slope.

A classificação qualitativa de habitats deste setor foi realizada com os mesmos tipos de resultados do setor APA (Figura 34). A geomorfologia predominante da área, junto ao padrão de baixos valores de backscatter foram as principais características que permitiram propor a distribuição desses habitats. Importante ressaltar o caráter geomorfológico/sedimentar embebido no conceito de habitat proposto para esse setor, visto que as imagens de dropcameras não permitiram nenhum reconhecimento visual. Como era de se esperar, a maior parte da área foi classificada como um fundo lamoso, revelando a distribuição espacial de um segmento do delta submerso do rio Doce. Outros achados interessantes são aqueles que remontam a fundos relativamente mais inclinados e rugosos, como as feições escarpadas e as feições rugosas, respectivamente, exemplificando a heterogeneidade de habitats deste setor. Outro resultado marcante é o padrão de intercalação dos fundos lamosos com os fundos arenosos, estando estes associados à feições alongadas do limite offshore da área, já indicando uma dinâmica sedimentar distinta da região rasa. A validade temporal desse tipo de classificação de habitats é uma questão que eventualmente se discute, visto que é um ambiente com grande aporte sedimentar, e que está sujeito a processos hidrológicos e meteoceanográficos com distintas escalas espaciais e

temporais (vazão fluvial e passagens de frentes frias). Um exemplo são as modificações de fundo que foram mapeadas na região mais rasa e já mencionadas anteriormente.

Figura 34: Classificação de habitats para o setor foz do Rio Doce mapeado.



Mapeamento de Habitats  
Setor Foz do Rio Doce

- Fundo lamoso
- Fundo arenoso
- Feições escarpadas
- Feições rugosas

Por fim, com o conjunto de resultados (batimetria, *backscatter*, dropcâmeras, segmentações e classificação) apresentados para esse Setor foz do Rio Doce conclui-se que a principal característica dessa região em termos de mapeamento do fundo marinho são as feições erosivas e escarpas nunca mapeadas para essa região. Estas feições erosivas dão indícios de regiões preferencias de transporte de sedimento junto ao fundo. Outro fato importante, é com relação a possível mudança espacial de feições do fundo, correlacionada possivelmente pela passagem de frente fria na região. Além do mapa de indicativo de lama fluida para o setor da foz do Rio Doce, apontado pelo mapeamento, também

mostrou relação com os resultados encontrados na sedimentologia (Anexo 3 - Marinho integrado), onde foi possível observar sedimento com características de lama fluida nas amostras do SDN 15, SDN 20, SDN 30, SDS 13, SD 1, SD2, SD 3, SDS 13 e SDS 20.

## **2.2.2 Mapeamento da potencial ocorrência de rejeitos**

### **2.2.2.1 Testemunhos**

Os testemunhos RRDM\_SCRD\_T03, RRDM\_SCRD\_T04, RRDM\_SCRD\_T06, RRDM\_SCRD\_T07, RRDM\_SCRD\_T08, RRDM\_SCRD\_T11 e RRDM\_SCRD\_T13 foram coletados nesta região conforme Figura 35. A Tabela 8 mostra os testemunhos coletados com as suas respectivas coordenadas.

Figura 35: Localização dos testemunhos coletados ao longo da plataforma.

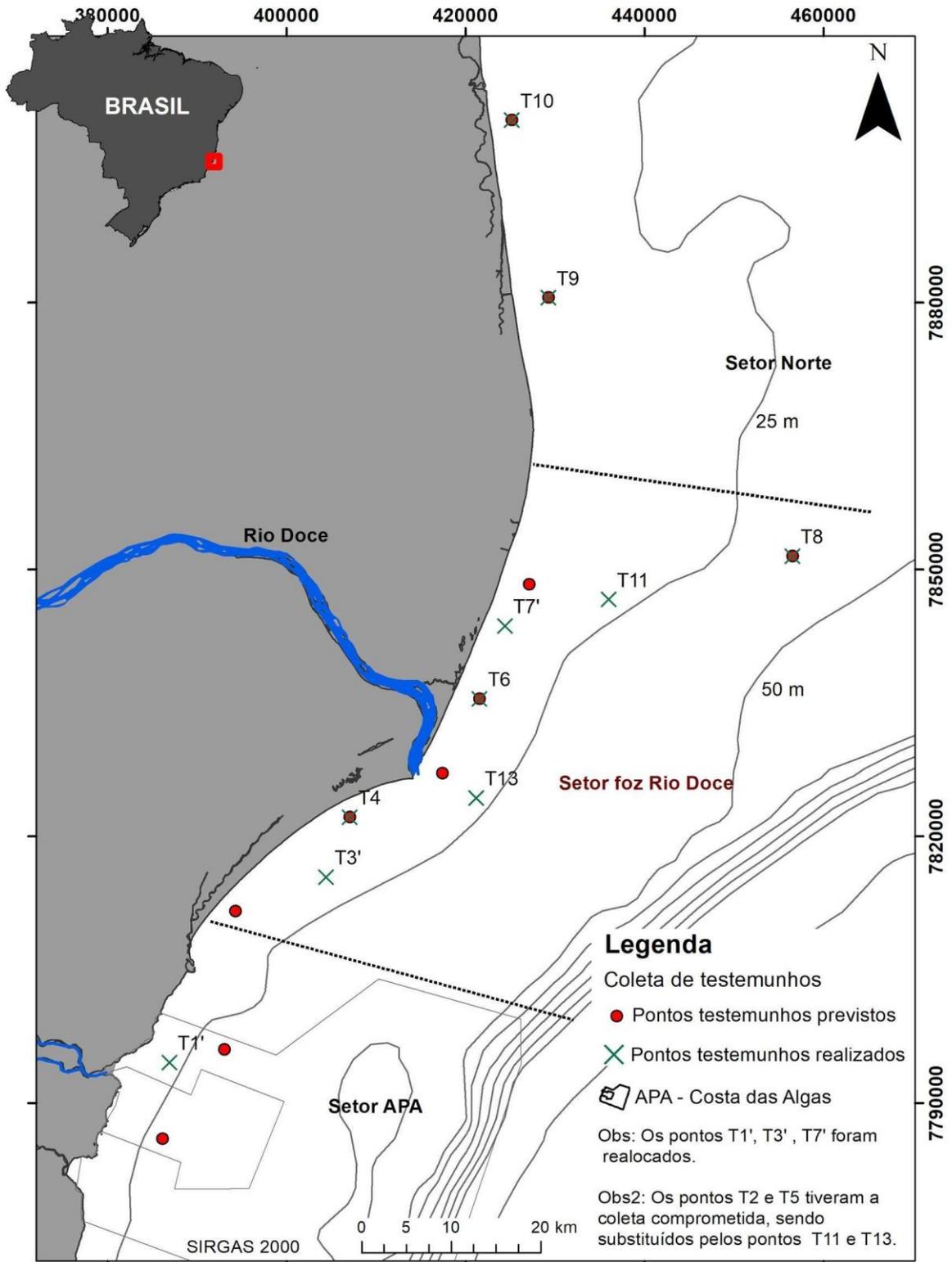


Tabela 8: Coordenada dos pontos de testemunho coletados, em UTM Sirgas 2000.

SUBPROJETO	NOME DA ESTAÇÃO AMOSTRAL	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE
Mapeamento de Habitats	RRDM-SCRD-T03	T3	7815420	404452
Mapeamento de Habitats	RRDM-SCRD-T4	T4	7822173	407091
Mapeamento de Habitats	RRDM-SCRD-T06	T6	7835479	421607
Mapeamento de Habitats	RRDM-SCRD-T07	T7	7843677	424433
Mapeamento de Habitats	RRDM-SCRD-T08	T8	7851517	456563
Mapeamento de Habitats	RRDM-SCRD-T11	T11	7846660	436022
Mapeamento de Habitats	RRDM-SCRD-T13	T13	7824340	421243

#### 2.2.2.1.1 Descrição Granulométrica, Composicional e Mineralógica dos Testemunhos

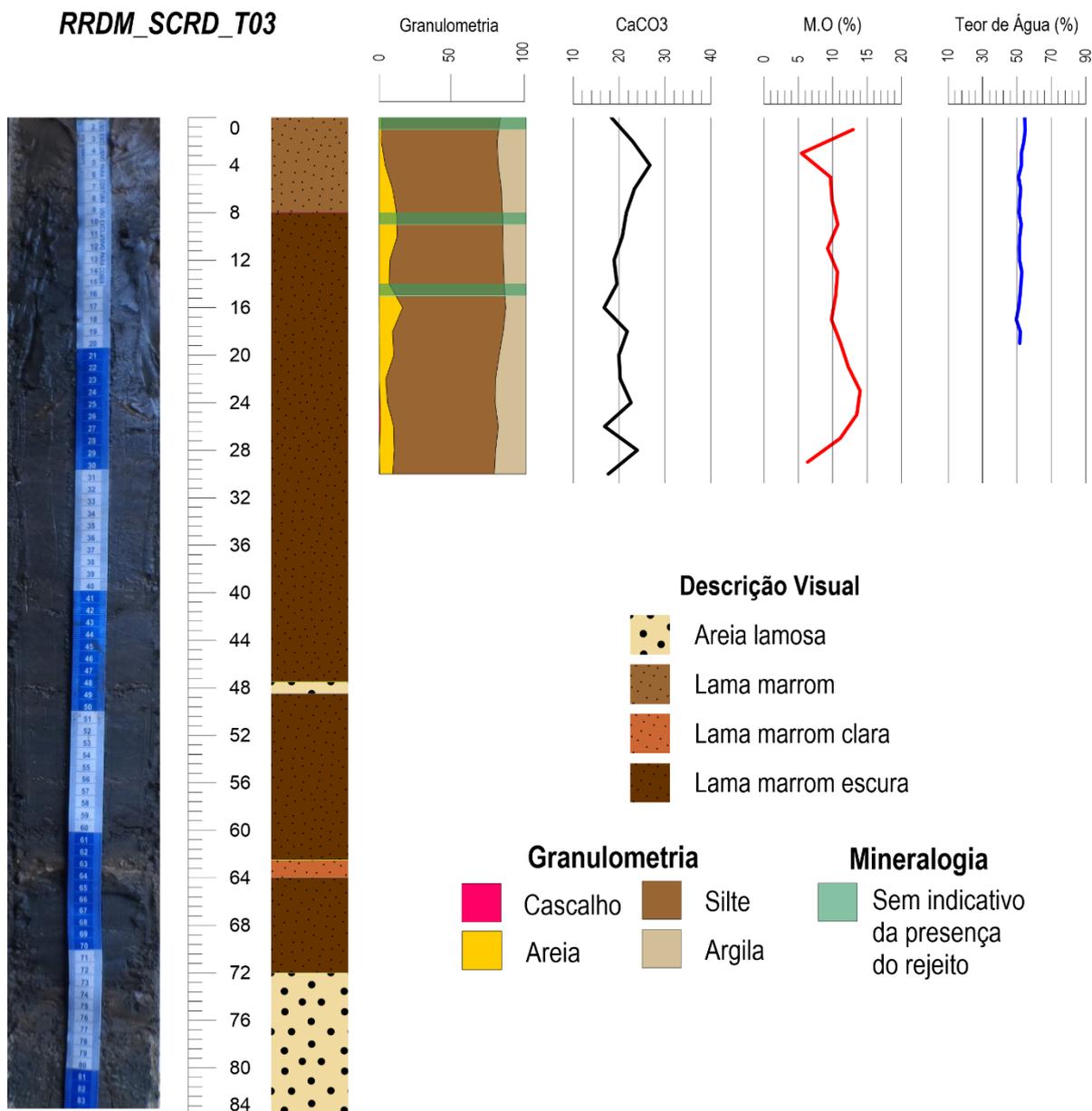
- Testemunho RRDM\_SCRD\_T03

O testemunho RRDM\_SCRD\_T03 foi coletado ao sul da desembocadura do rio Doce, a 21 metros de profundidade (Figura 35) e obteve 83 cm de recuperação (Figura 36). A descrição visual mostrou a presença de uma lama arenosa entre 83 a 70 cm, seguido por uma lama marrom variando entre tons escuros e claros, entre 70 a 48,5 cm. De 48,5 a 47,5 cm a presença de uma areia lamosa. Entre 47,5 a 8 cm a presença de uma lama marrom escura. Por fim, os primeiros centímetros são representados por uma lama marrom.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T03, de forma geral variaram de 12 % a 5% (Figura 36). Ao longo dos extratos é possível observar picos de incremento de matéria orgânica. Assim, no topo do testemunho é possível observar uma queda brusca, variando de 12% para 5% na profundidade de 3-4 cm. O percentual de água do RRDM\_SCRD\_T03 mostrou-se constante ao longo dos extratos, média de 53%.

Com relação a descrição da composição granulométrica temos um incremento na composição lamosa da base para o topo, com a presença de uma pequena parcela de areia na composição, média de 6% chegando a 15% em alguns extratos na porção central do testemunho. Essa mudança de granulometria no topo é indicadora de mudança no aporte sedimentar. O percentual de carbonato ao longo dos extratos se manteve constante com valores médios de 21%.

Figura 36: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM\_SCRD\_T03 coletado na plataforma continental ES.



Os resultados de susceptibilidade magnética obtidos a partir das amostras do testemunho T3 mostraram valores próximos ao valor de referência no primeiro centímetro (topo).

Os teores das fases minerais associadas ao rejeito (H+Mh+M+G+Gt), bem as fases associadas aos alumino-silicatos (CaSiO+ H2O, Gibbsite e SiO2+ Alumino-Silicatos), aos carbonáticos (Aragonita, CaCO<sup>3</sup>) e outros (Ca,Fe)(OH)Br estão apresentados na Tabela 9 para os estratos analisados no testemunho T3.

Tabela 9 : Fases mineralógicas para o testemunho 03

Testemunho	Estratos Analisados	Fases mineralógicas						
		H+Mh+M+ G+Gt	Aragonita (Ar)	CaCO3 (CaC)	Gibbsite (Gb)	CaSiO+ H2O	(Ca,Fe)(OH)Br	SiO2+ Alumino- Silicatos
T3	0 - 1 cm	15%	< limite de deteccção	< 5%	14%	< limite de deteccção	< limite de deteccção	67%

- Testemunho RRDM\_SCRD\_T04

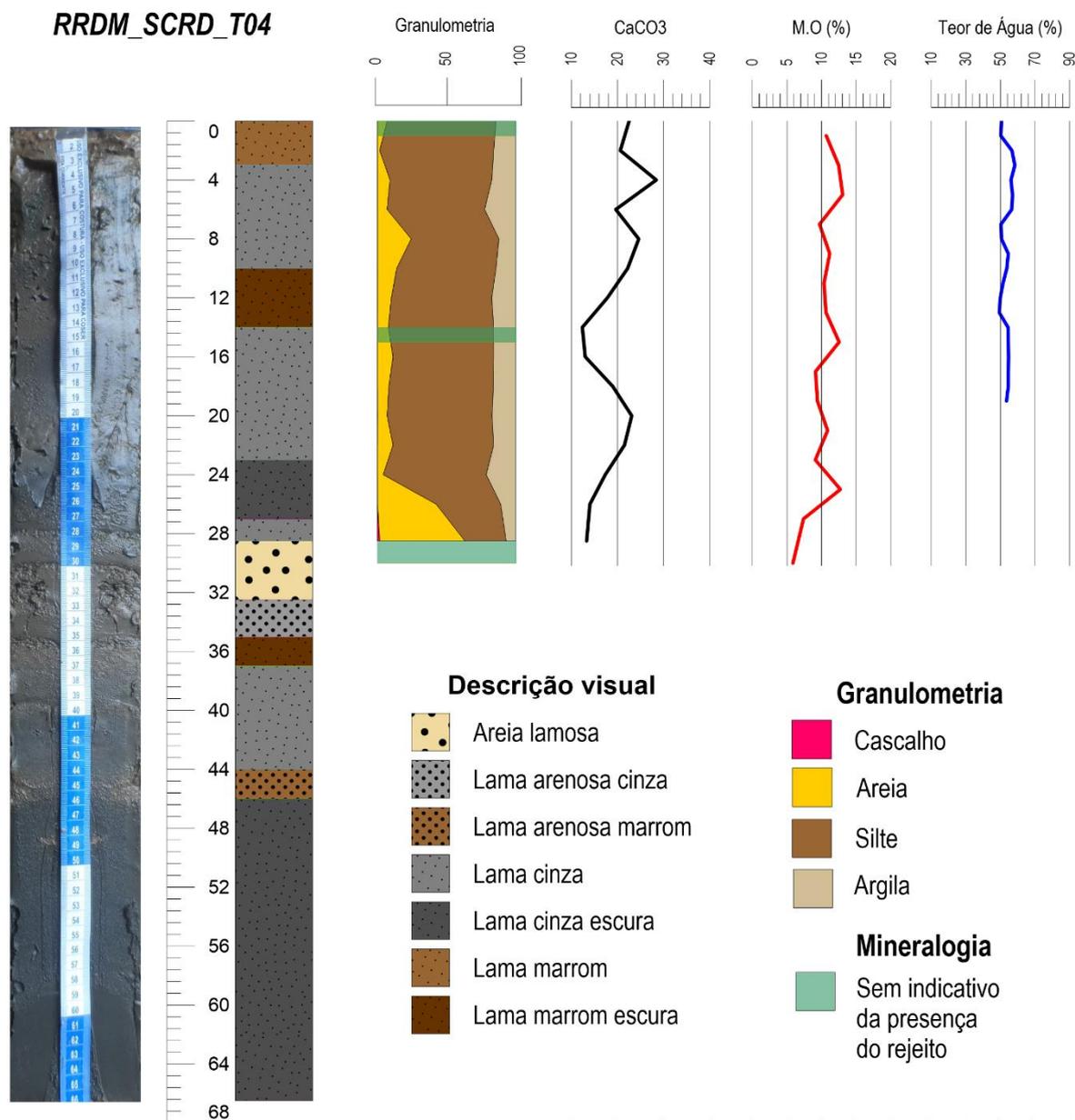
O Testemunho RRDM\_SCRD\_T04 foi coletado ao sul da desembocadura do rio Doce, a 16 metros de profundidade (Figura 35) e obteve 66 cm de recuperação (Figura 37).

A descrição visual mostrou a presença de uma lama cinza escura em sua base, entre 66,5 a 46 cm. Entre 46 a 44 cm a presença de lama arenosa marrom. Já entre 44 a 35 cm a presença de uma lama variando sua coloração em tons de marrom escuro e cinza. Entre 35 a 32,5 lama arenosa cinza. Entre 32,5 a 30 a presença de uma areia lamosa. No topo do testemunho entre 28,5 e 3 centímetros foi observado uma variação lamosa, sendo os primeiros 3 cm a presença de uma lama marrom.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T04, de forma geral mostrou um padrão bem regular, com pequenas variações ao longo da profundidade, com média de 10%, e um pico máximo de 13% (5-6 cm). Com exceção das profundidades 27 a 28,5 com 7% e aos 30-31 cm com 5%, este representando o menor valor encontrado. (Figura 37). Já o percentual de água do RRDM\_SCRD\_T04 mostrou um percentual constante ao longo dos extratos, mantendo uma média 53%.

A descrição da composição granulométrica até os primeiros 30 cm, mostrou um predomínio lamoso ao longo dos extratos, média de 84%. Contudo, em sua base, entre 27-26 e 30-28,5 cm foi observado um predomínio arenoso (61%). Entre 9 e 8 cm, a porção areia representa 24% da amostra. O percentual de carbonato apresentou valores médios de 20%, com exceções de alguns extratos que apresentaram valores inferiores a 15% (30-28,5, 27-26, 17-16 e 15-14 cm).

Figura 37: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM\_SCRD\_T04 coletado na plataforma continental ES.



Os resultados de susceptibilidade magnética obtidos a partir das amostras do testemunho T4 mostraram valores próximos ao valor de referência em todos os estratos analisados (28.5 - 30 cm, 14 - 15 cm e 0 - 1 cm).

Os teores das fases minerais associadas ao rejeito (H+Mh+M+G+Gt), bem as fases associadas aos alumino-silicatos (CaSiO+ H<sub>2</sub>O, Gibbsite e SiO<sub>2</sub>+ Alumino-Silicatos), aos carbonáticos (Aragonita, CaCO<sub>3</sub>) e outros (Ca,Fe)(OH)Br estão apresentados na Tabela 10 para os estratos analisados no testemunho T4.

Tabela 10: Fases mineralógica para o testemunho 04

Testemunho	Estratos Analisados	Fases mineralógicas						
		H+Mh+M+ G+Gt	Aragonita (Ar)	CaCO3 (CaC)	Gibbsite (Gb)	CaSiO+ H2O	(Ca,Fe)(OH)Br	SiO2+ Aluminio- Silicatos
T4	0 - 1 cm	< 5%	< 5%	5%	6%	< 5%	< 5%	89%
	14 - 15 cm	< 5%	< 5%	< 5%	< 5%	10%	< 5%	90%
	28 - 30 cm	< 5%	< 5%	6%	< 5%	< 5%	< 5%	94%

- Testemunho RRDM\_SCRDT06

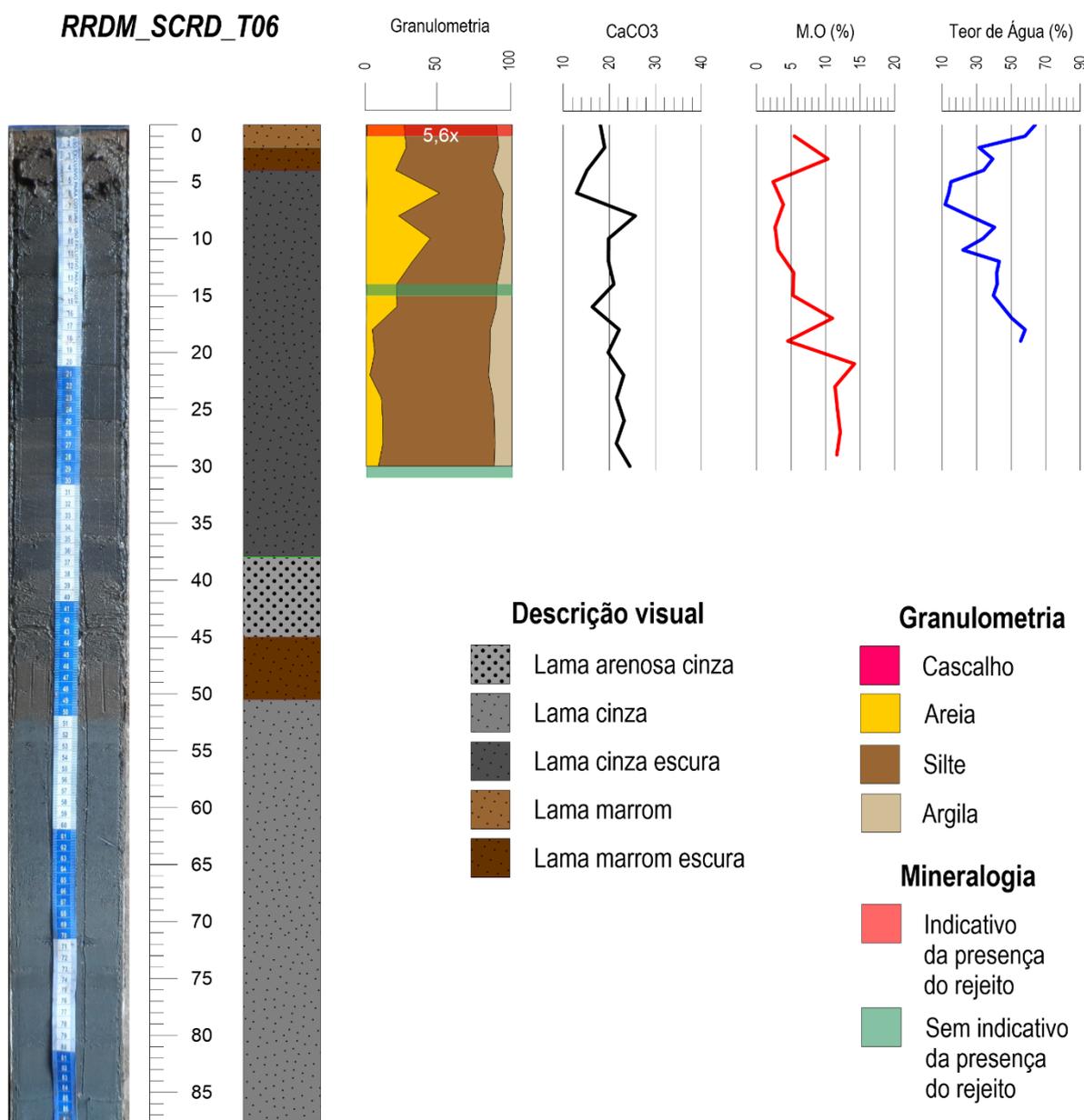
O Testemunho RRDM\_SCRD\_T06 foi coletado ao norte da desembocadura do rio Doce, a 14 metros de profundidade (Figura 35) e obteve 87,5 cm de recuperação (Figura 38). A descrição visual mostrou a presença de uma lama cinza entre 87,5 e 50,5 cm. Entre 50 a 45 cm a presença de uma lama marrom escura, seguido por uma variação lamosa entre 38 a 2 cm, sendo que entre 38 e 4 cm foi observado a presença de lama cinza escuro, já entre 4 e 2 cm lama marrom escuro. Por fim, no seu topo, os primeiros 2 cm foi caracterizado por uma lama marrom.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T06, apresentou de uma forma geral um decréscimo de M.O em direção ao topo, variando de 14,2% (21-22 cm) até 2,4% (5-6 cm). A profundidade 3-4 cm se destaca por um percentual de M.O, chegando à 10,3%.

Já o percentual de água do RRDM\_SCRD\_T06 obteve o maior percentuais na superfície de 64% mostrando um sedimento fluidizado, assim como em sua base, entre 19 e 20 cm. Vale ressaltar uma queda no teor de água até a profundidade 7-8 cm.

A descrição da composição granulométrica até os primeiros 30 cm, mostrou um predomínio lamoso ao longo dos extratos, média de 80%, contudo, é preciso ressaltar que o testemunho apresentou um incremento de areia da base para o topo. Entre os centímetros 11-10 com 43,9% de areia e com valores percentuais de 49,8% entre 7 e 6 cm, indicando assim uma mudança no padrão da sedimentação. O percentual de carbonato ao longo dos extratos se manteve constante com valores médios de 20%.

Figura 38: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM\_SCRD\_T06 coletado na plataforma continental ES.



Os resultados de susceptibilidade magnética obtidos a partir das amostras do testemunho T6 mostraram valores próximos ao valor de referência para os estratos 30 -31 cm e 14 -15 cm. Já para o estrato 0 - 1 cm (topo), o valor encontrado foi 5.6 vezes maior do que o valor de referência.

Os teores das fases minerais associadas ao rejeito (H+Mh+M+G+Gt), bem as fases associadas aos alumino-silicatos (CaSiO+ H<sub>2</sub>O, Gibbsite e SiO<sub>2</sub>+ Alumino-Silicatos), aos carbonáticos (Aragonita, CaCO<sub>3</sub>) e outros (Ca,Fe)(OH)Br estão apresentados na Tabela 11 para os estratos analisados no testemunho T6.

Tabela 11 : Fases mineralógica para o testemunho 06

Testemunho	Estratos Analisados	Fases mineralógicas						
		H+Mh+M+G+Gt	Aragonita (Ar)	CaCO3 (CaC)	Gibbsite (Gb)	CaSiO+ H2O	(Ca,Fe)(OH)Br	SiO2+ Alumino-Silicatos
T6	0 - 1 cm	29%	< 5%	< 5%	< 5%	< limite de detecção	< limite de detecção	71%
	14 - 15 cm	< 5%	< 5%	< 5%	6%	< 5%	< 5%	94%
	30 - 31 cm	< 5%	< 5%	< 5%	6%	5%	< 5%	89%

- Testemunho RRDM\_SCRD\_T07

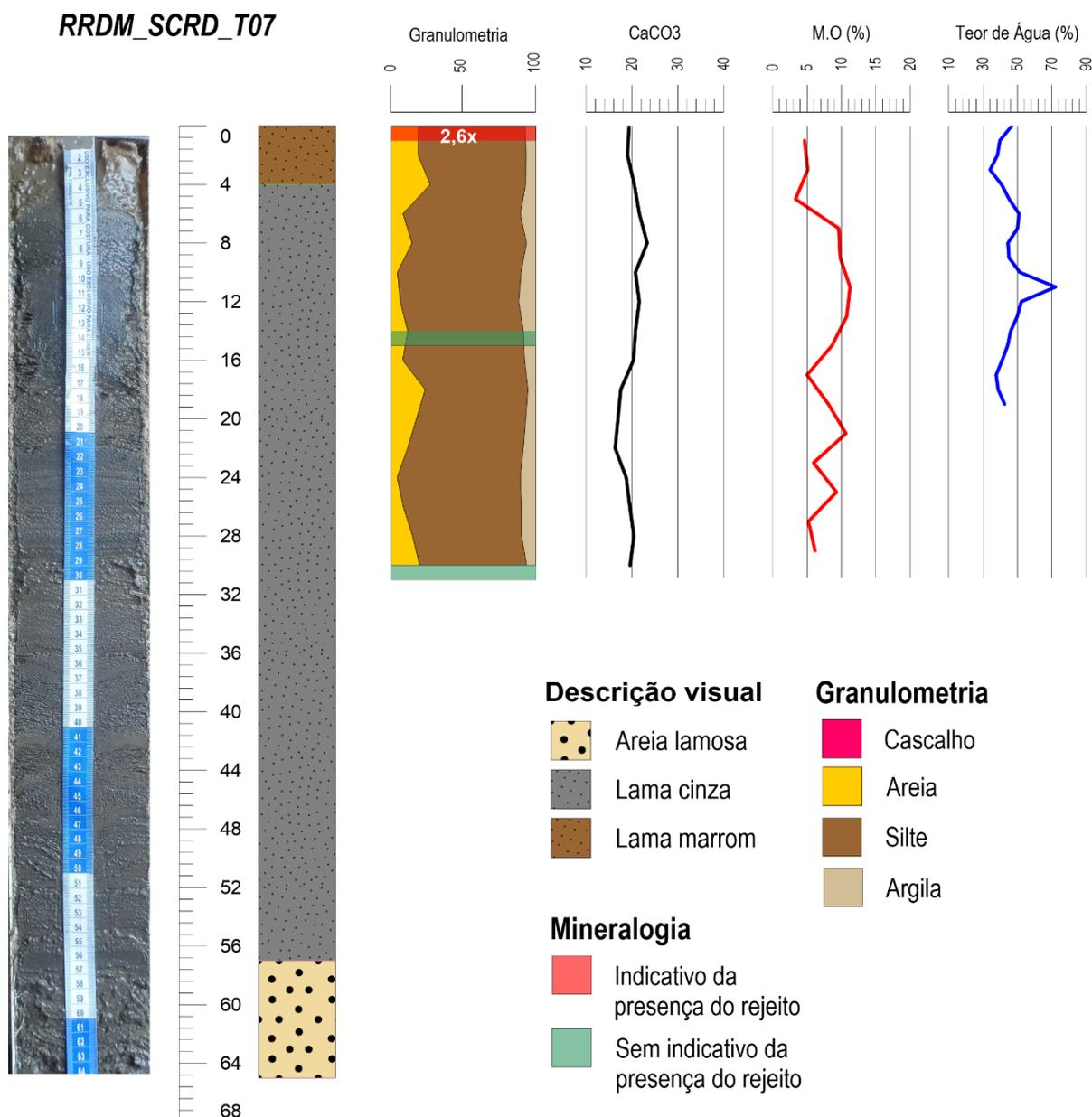
O Testemunho RRDM\_SCRD\_T07 foi coletado ao norte da desembocadura do rio Doce, a 11,5 metros de profundidade (Figura 35) e obteve 65 cm de recuperação (Figura 39).

A descrição visual mostrou a presença de uma areia lamosa entre 65 a 57 cm, seguido de uma lama cinza entre 57 a 4 cm. Já o seu topo, os primeiros 4 cm foi observado uma lama marrom.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T07, apresentou de uma forma geral uma variação de M.O ao longo dos extratos. Valores percentuais de 9,3% entre 26-25 cm, seguidos de 10,6% entre 22-21 cm. Entre 14 e 6 cm uma média de 10%, já o seu topo foi observado valores médios de 4,3%. Já o percentual de água do RRDM\_SCRD\_T07 se manteve constante ao longo dos extratos, média de 45,5%. Com exceção ao centímetro 12-11, com valor chegando a 72% mostrando um sedimento mais fluidizado.

A descrição da composição granulométrica até os primeiros 30 cm, mostrou um predomínio lamoso ao longo dos extratos, média de 85%, com incremento de areia no topo do testemunho, em que foi observado valores de 23,6% de areia entre 19 e 18 cm, e entre os centímetros 4-5, valores percentuais de 27,2% de areia. O percentual de carbonato ao longo dos extratos se manteve constante com valores médios de 20%.

Figura 39: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM\_SCRD\_T07 coletado na plataforma continental ES.



Os resultados de susceptibilidade magnética obtidos a partir das amostras do testemunho T7 mostraram valores próximos ao valor de referência para os estratos 30 -31 cm e 14 -15 cm. Já para o estrato 0 - 1 cm (topo), o valor encontrado foi 2.6 vezes maior do que o valor de referência.

Os teores das fases minerais associadas ao rejeito (H+Mh+M+G+Gt), bem as fases associadas aos alumino-silicatos (CaSiO+ H<sub>2</sub>O, Gibbsite e SiO<sub>2</sub>+ Alumino-Silicatos), aos carbonáticos (Aragonita, CaCO<sub>3</sub>) e outros (Ca,Fe)(OH)Br) estão apresentados na Tabela 12 para os estratos analisados no testemunho T7.

Tabela 12 : Fases mineralógica para o testemunho 07

Testemunho	Estratos Analisados	Fases mineralógicas						
		H+Mh+M+G+Gt	Aragonita (Ar)	CaCO <sub>3</sub> (CaC)	Gibbsite (Gb)	CaSiO+ H <sub>2</sub> O	(Ca,Fe)(OH)Br	SiO <sub>2</sub> + Aluminio-Silicatos
T7	0 -1 cm	12%	< 5%	< 5%	< 5%	< limite de detecção	< limite de detecção	88%
	14 - 15 cm	< 5%	< 5%	< 5%	< 5%	6%	< 5%	94%
	30 - 31 cm	< 5%	< 5%	< 5%	6%	5%	< 5%	89%

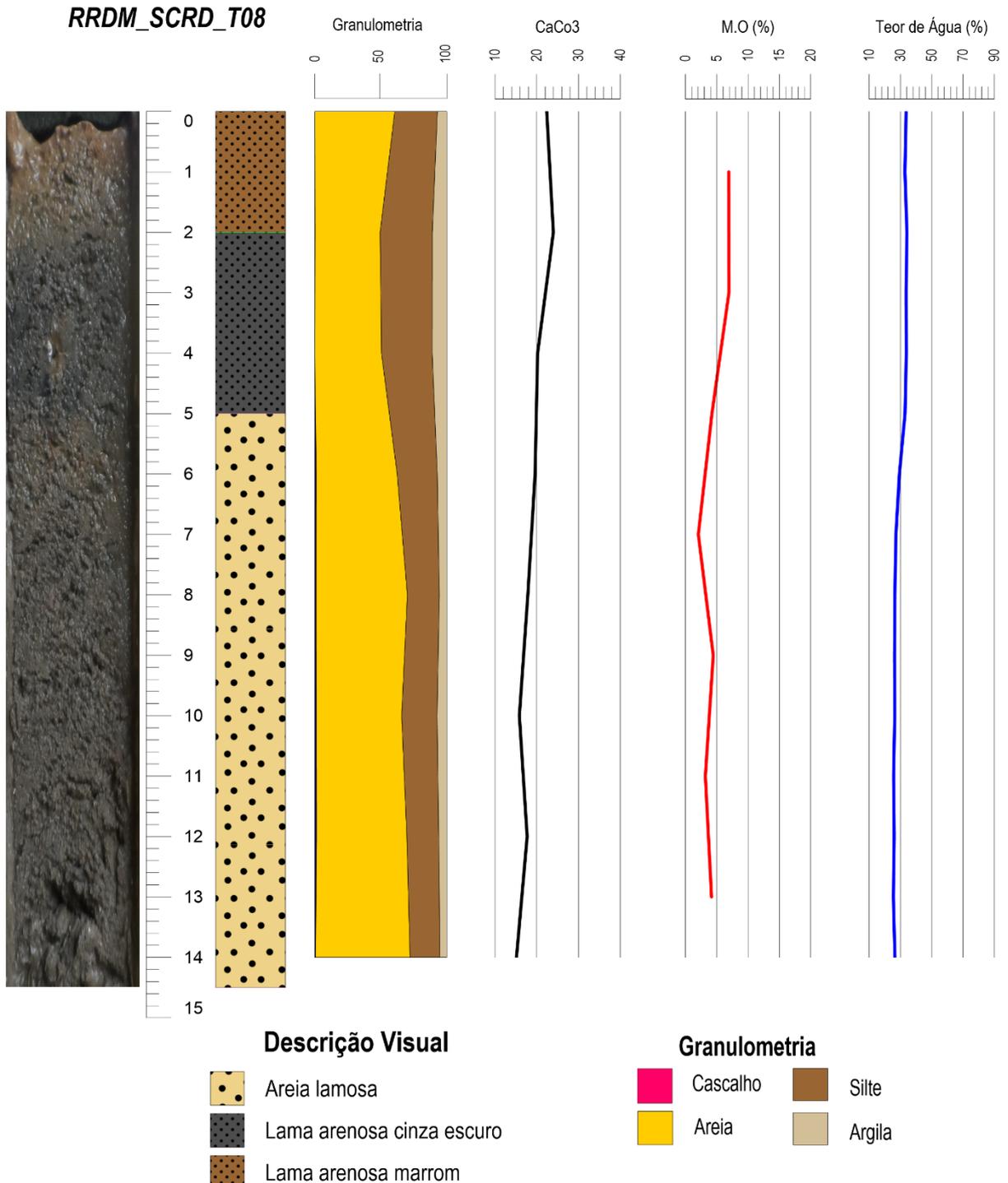
- Testemunho RRDM\_SCRD\_T08

O Testemunho RRDM\_SCRD\_T08 foi coletado ao norte da desembocadura do rio Doce, a 39 metros de profundidade (Figura 35) e obteve 14,5 cm de recuperação (Figura 40). A descrição visual mostrou a presença de areia lamosa entre sua base e 5 cm. Entre 5 e 2 cm foi observado uma lama arenosa de coloração cinza escura, e o seu topo foi caracterizado por uma lama arenosa marrom.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T08, apresentou um suave incremento. O menor valor esteve presente entre as profundidades de 8 e 7 cm, com 2%. Por outro lado, os primeiros centímetros apresentaram os maiores valores, com percentuais de 6,9% (3-4 cm). Já o percentual de água do RRDM\_SCRD\_T08 se manteve constante ao longo dos extratos, média de 29%.

A descrição da composição granulométrica apresentou um predomínio arenoso ao longo dos extratos, média de 61%. Os centímetros com maior percentual de lama são 2-3 (50,5%) e 4-5 (49,5%). O percentual de carbonato ao longo dos extratos apresentou um pequeno acréscimo ao longo dos extratos, variando 15,3% (14-14,5 cm) até 23,9% (2-3 cm).

Figura 40: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM\_SCRD\_T08 coletado na plataforma continental ES.



- Testemunho RRDM\_SCRD\_T11

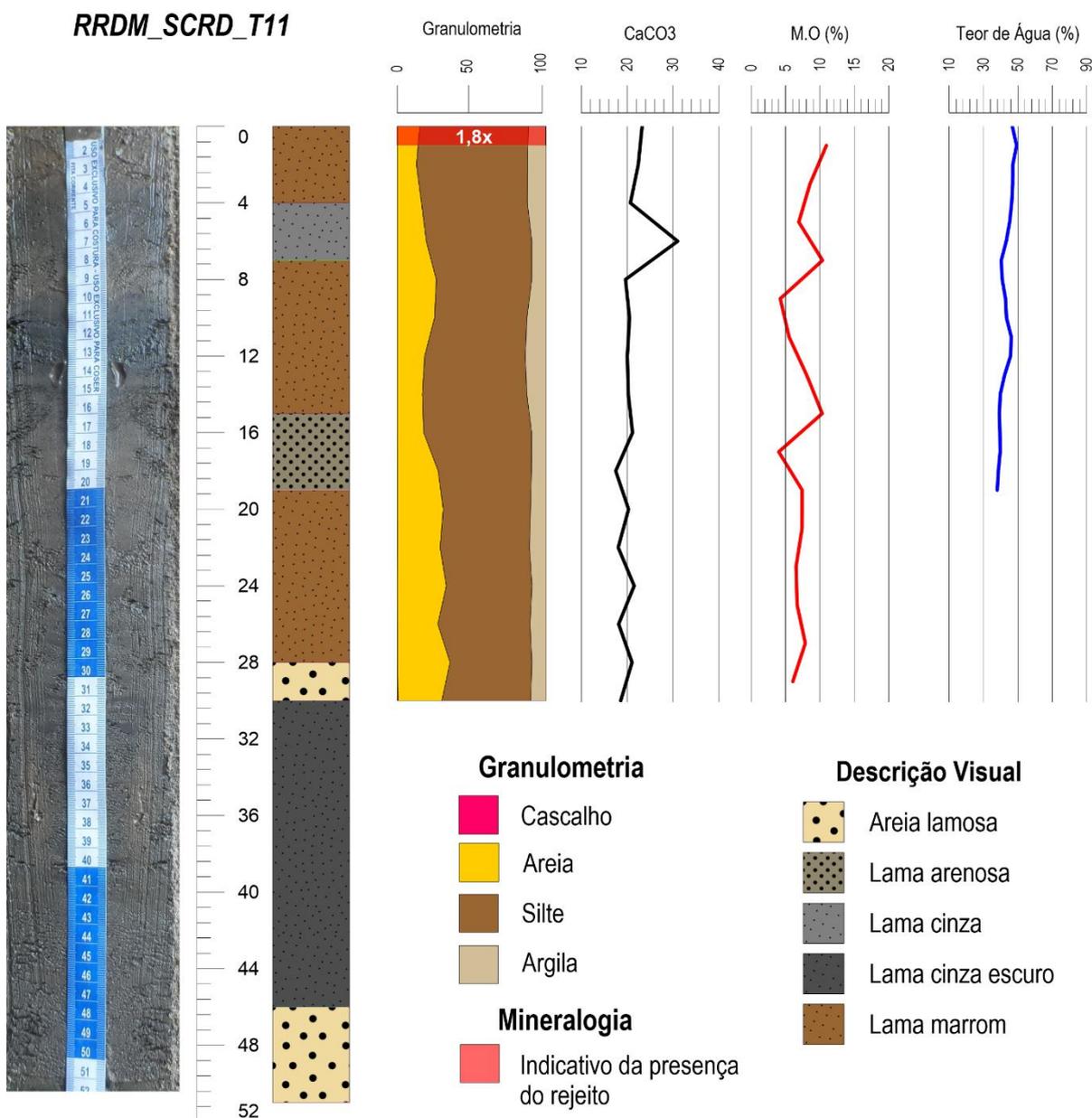
O Testemunho RRDM\_SCRD\_T11 foi coletado ao norte da desembocadura do rio Doce, a 22 metros de profundidade (Figura 35) e obteve 51 cm de recuperação (Figura 41). A descrição visual mostrou areia lamosa intercalando com lama cinza escura de sua base até 28 cm. Seguindo o padrão de areia

lamosa entre 51 a 46 cm, lama cinza escuro entre 46 e 30 cm e areia lamosa entre 30 a 28 cm. Do mesmo modo, entre 28 e o topo do testemunho, foi observado estratos intercalados entre lama marrom, lama cinza e lama arenosa. Entre 28 a 18 cm lama marrom, 18 a 14 cm lama arenosa, 14 a 7 lama marrom, 7 a 4 lama cinza e entre 4 a 0 cm novamente a presença de lama marrom.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T11, apresentou uma variação ao longo dos extratos, apesar disso, é possível observar um incremento nos valores entre base e topo. Do centímetro 30-29 até 20-19 os valores permaneceram semelhantes, com 7% de média. Nos centímetros 16-15 e 8-7 cm foi observado momentos de incremento de M.O, com valores de 10,3%. E o topo do testemunho entre 2 e 1 cm, constatou-se valores percentuais de 10,9%. Já o percentual de água do RRDM\_SCRD\_T09 se manteve constante ao longo dos extratos, média de 40%.

A descrição da composição granulométrica mostrou um predomínio lamoso ao longo dos extratos, com o incremento da porção lamosa entre base e topo. O percentual de carbonato ao longo dos extratos apresentou poucas variações, com valores médios de 21% com exceção ao centímetro 6-7 (31%).

Figura 41: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM\_SCRD\_T11 coletado na plataforma continental ES.



Os resultados de susceptibilidade magnética obtidos a partir das amostras do testemunho T11 mostrou um valor 1.8 vezes maior que o valor de referência.

Os teores das fases minerais associadas ao rejeito (H+Mh+M+G+Gt), bem as fases associadas aos aluminosilicatos (CaSiO<sub>3</sub>+ H<sub>2</sub>O, Gibbsite e SiO<sub>2</sub>+ Aluminosilicatos), aos carbonáticos (Aragonita, CaCO<sub>3</sub>) e outros (Ca,Fe)(OH)Br estão apresentados na Tabela 13 para os estratos analisados no testemunho T11.

Tabela 13 : Fases mineralógicas para o testemunho 11

Testemunho	Estratos Analisados	Fases mineralógicas						
		H+Mh+M+ G+Gt	Aragonita (Ar)	CaCO <sub>3</sub> (CaC)	Gibbsite (Gb)	CaSiO+ H <sub>2</sub> O	(Ca,Fe)(OH)Br	SiO <sub>2</sub> + Aluminio- Silicatos
T11	0 - 1 cm	5%	6%	6%	5%	< limite de detecção	< limite de detecção	76%

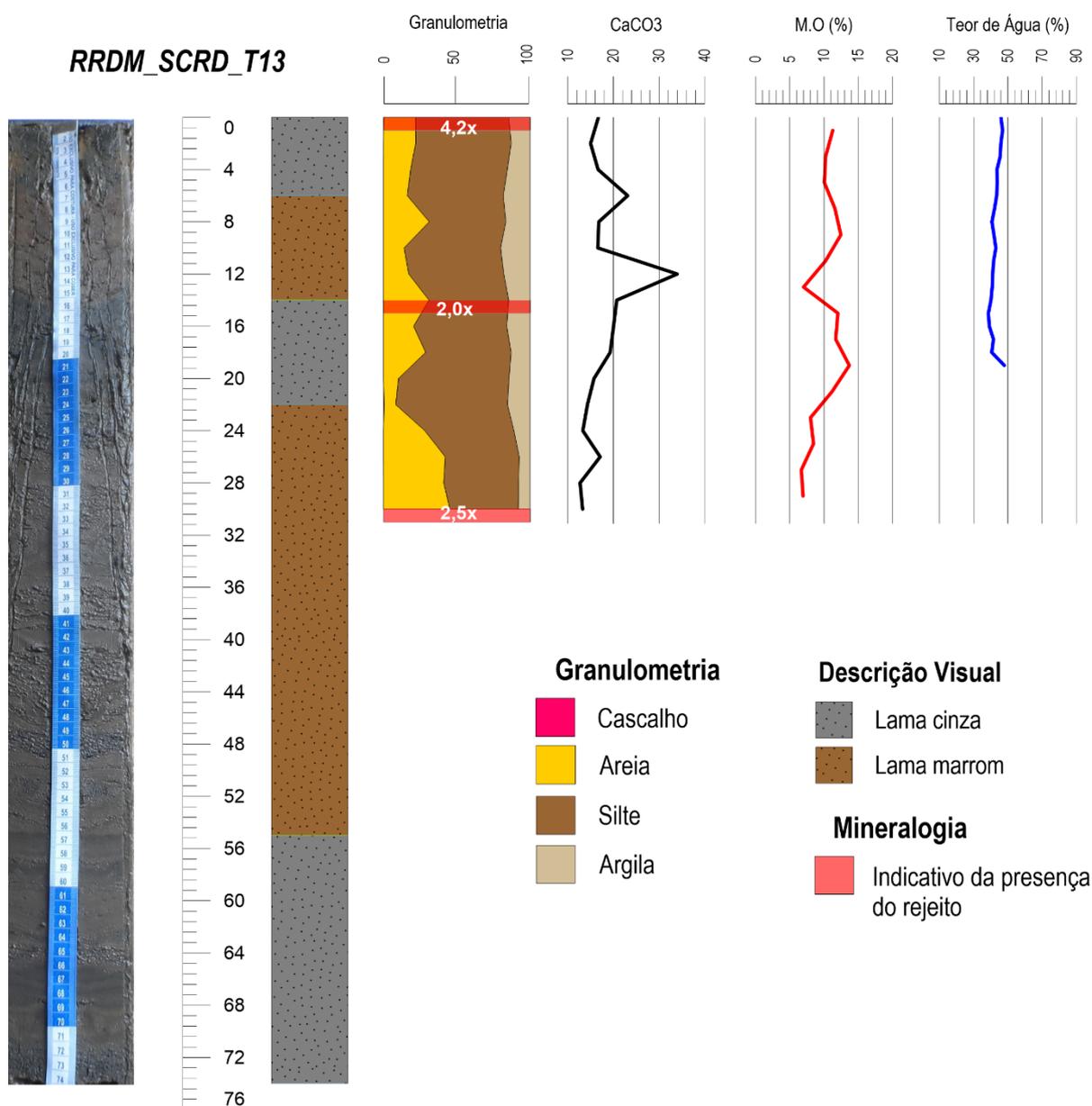
- Testemunho RRDM\_SCRD\_T13

O Testemunho RRDM\_SCRD\_T13 foi coletado em frente a desembocadura do rio Doce, a 21 metros de profundidade (Figura 35) e obteve 74 cm de recuperação (Figura 42). A descrição visual mostrou a presença de lama cinza e marrom se intercalando ao longo de todo testemunho. Entre 74 a 55 cm lama cinza. Já entre 55 a 22 cm lama marrom, seguido de lama cinza entre 22 a 14 cm. Entre 14 e 6 cm a presença de lama marrom novamente, e por fim, lama cinza nos primeiros 6 cm.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T13, apresentou um incremento entre base e topo, com valores de 6,9% e 11,27% respectivamente. De sua base até a profundidade de 24-23 cm, valores médias percentuais são de 7,5%. Entre os centímetros 22-21 até 2-1, os valores apresentaram uma média de 11%. Entre 20-19 cm foi observado o maior valor percentual, 13,9%. Já o percentual de água do RRDM\_SCRD\_T013 se manteve constante ao longo dos extratos, média de 40%.

A descrição da composição granulométrica até os primeiros 30 cm, mostrou um predomínio lamoso ao longo dos extratos, com uma tendência a sedimento menos lamosos em sua base. O percentual de carbonato ao longo dos extratos apresentara valores médios de 21% com exceção ao centímetro 12-13 (34%). Neste extrato (12-13 cm) o aumento no teor carbonático também foi possível observar um decaimento no teor de M.O. (7%).

Figura 42: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM\_SCRD\_T13 coletado na plataforma continental ES.



Os resultados de susceptibilidade magnética obtidos a partir das amostras do testemunho T13 mostraram valor acima do valor de referência para todos os estratos analisados. No estrato 30 - 31 cm, o valor encontrado foi 2.5 vezes maior do que o de referência. No estrato 14 - 15 cm o valor foi 2 vezes maior que o valor de referência. Já no estrato de 0 - 1 cm o valor ficou 4.2 vezes maior que o valor de referência.

Os teores das fases minerais associadas ao rejeito (H+Mh+M+G+Gt), bem as fases associadas aos alumino-silicatos (CaSiO+ H<sub>2</sub>O, Gibbsite e SiO<sub>2</sub>+ Alumino-Silicatos), aos carbonáticos (Aragonita,

CaCO<sub>3</sub>) e outros (Ca,Fe)(OH)Br) estão apresentados na Tabela 14 para os estratos analisados no testemunho T13.

Tabela 14 : Fases mineralógica para o testemunho 13

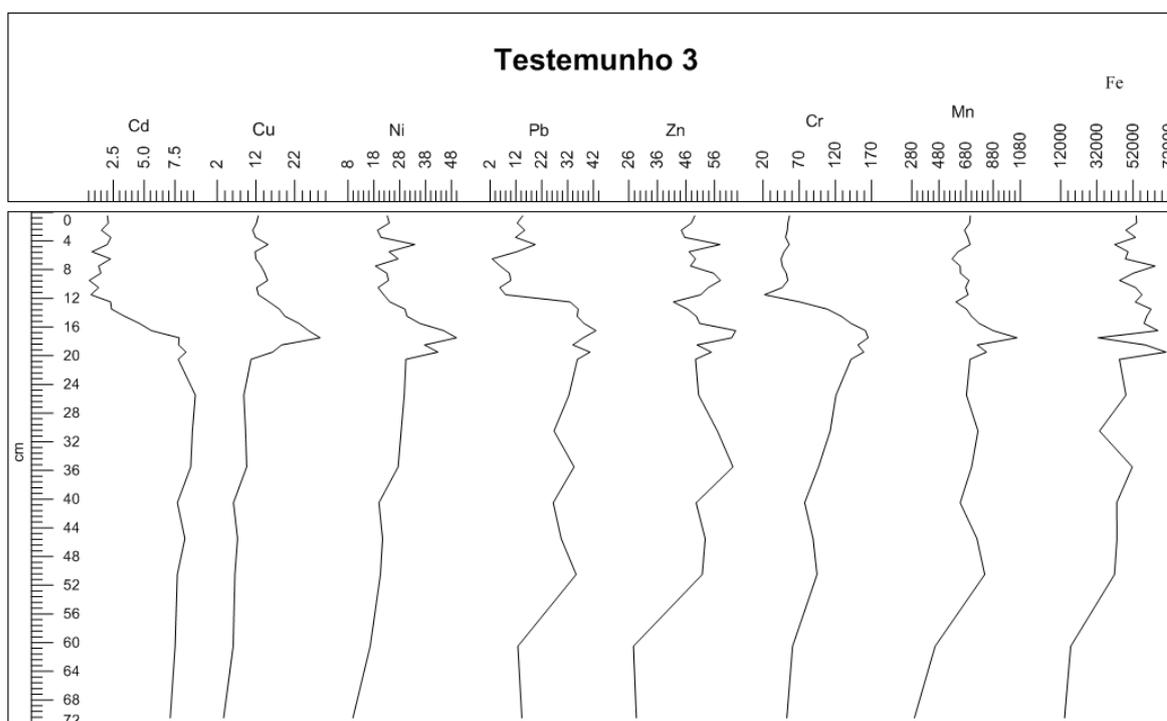
Testemunho	Estratos Analisados	Fases mineralógicas						
		H+Mh+M+ G+Gt	Aragonita (Ar)	CaCO <sub>3</sub> (CaC)	Gibbsite (Gb)	CaSiO+ H <sub>2</sub> O	(Ca,Fe)(OH)Br	SiO <sub>2</sub> + Alumino- Silicatos
T13	0 -1 cm	18%	< 5%	< 5%	< 5%	< limite de deteccção	< limite de deteccção	82%
	14 - 15 cm	11%	< 5%	< 5%	< 5%	< limite de deteccção	< limite de deteccção	89%
	30 -31 cm	20%	< 5%	5%	< 5%	< limite de deteccção	< limite de deteccção	75%

### 2.2.2.1.2 Descrição Geoquímica

#### Testemunho 03

O testemunho 3 (T3) apresenta 72 cm de comprimento e foi subdividido de 1 em 1 cm do topo até 21 cm. A partir de 21 cm as subdivisões foram de 5 em 5 cm até 50 cm e depois de 10 em 10 cm até a base. Observaram-se picos de concentração de todos os metais analisados na profundidade entre as profundidades de 16-17 cm e 25-26 cm (Figura 43). Os valores máximos alcançados por cada elemento podem ser vistos na Tabela 15.

Figura 43: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) em ferro (Fe) em µg/g ao longo do testemunho T3 com 72 cm de profundidade.



As concentrações de Cd se mostraram menores nas camadas sub-superficiais do testemunho, com tendência de aumento em direção à base. Para os demais metais, à exceção dos picos de máximas concentrações já mencionados anteriormente, a tendência foi de diminuição em direção à base. A

Tabela 15 mostra média e variação das concentrações de metais no testemunho T3. Ao longo do testemunho observou-se que Cu, Cr, Pb, Ni e Cd ultrapassaram os valores de TEL, e o valor de PEL foi ultrapassado para Cr, Ni e Cd. As concentrações de Cu e Pb que ultrapassaram TEL foram registradas, entre as profundidades de 13-19 cm e 12-26 cm, respectivamente. Para Ni e Cr as concentrações acima de TEL foram registradas praticamente ao longo de todo o testemunho. Ainda pra Ni e Cr, concentrações acima de PEL foram registradas nas profundidades de 16-20 cm e 16-18 cm, respectivamente. No caso do Cd, as concentrações se mostraram acima de TEL do topo do testemunho até 15 cm e a partir dessa profundidade ultrapassaram PEL até a base. Em relação às diferenças entre topo e base do testemunho destacam-se as concentrações de Cu, com valor de topo aproximadamente 3x maior que a base. O ferro apresentou maior variação entre o topo e aproximadamente 20 cm (Figura 43), com a concentração do topo aproximadamente 4x maior que a da base, e valor máximo em 19-20 cm (70.236,06 mg.kg<sup>-1</sup>). O manganês apresentou concentração máxima em 17-18 cm (1056,45 mg.kg<sup>-1</sup>), com pouca variação ao longo do testemunho. Em relação ao topo, a concentração de Mn na base, foi aproximadamente 2x menor.

Tabela 15: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T3.

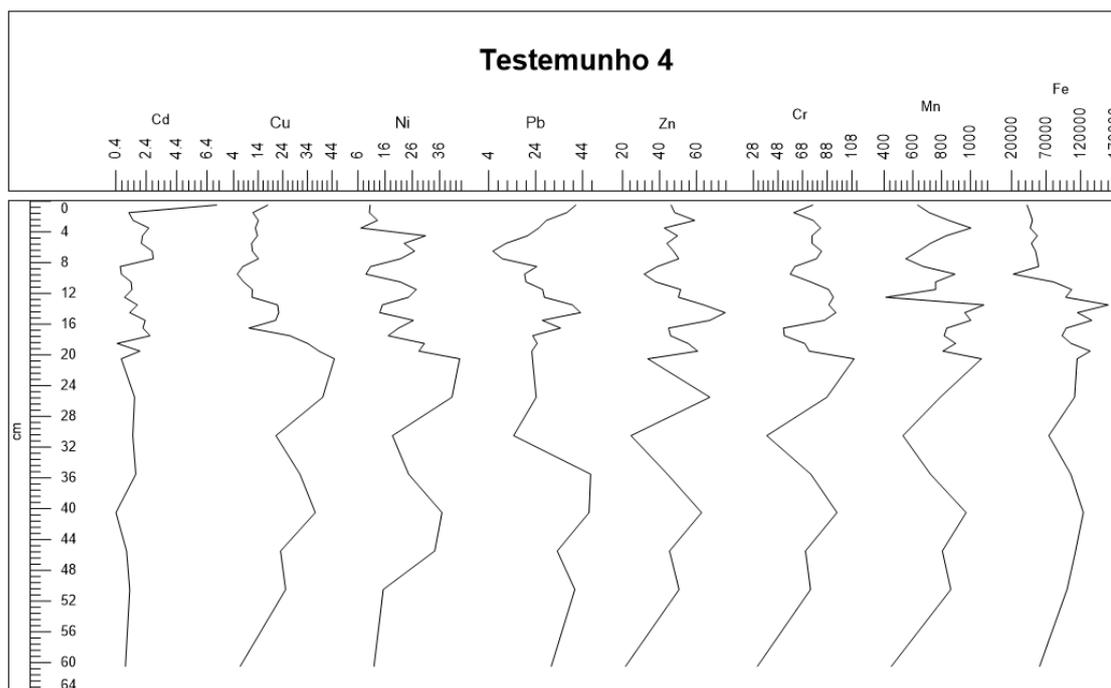
Elementos	Média±EP	Mínimo	Máximo
Zn	50,21±1,51	27,61	63,42
Cu	13,36±1,07	3,66	28,56
Pb	23,30±2,37	2,76	42,90
Cr	86,92±7,97	22,06	165,26
Ni	26,88±1,66	9,89	49,98
Cd	4,60±0,59	0,55	9,15
Mn	696,36±24,20	299,24	1056,45
Fe	48.824,40±2.364,52	14.121,97	70.236,06

O testemunho 6 (T6) tem comprimento total de 64 cm e foi amostrado de 1 em 1 cm até 21 cm. A partir de 21 cm, foi amostrado de 5 em 5 cm até 51 cm, e depois de 10 cm até a base (Figura 45). As concentrações de zinco se mantiveram abaixo do limite TEL ao longo de todo o testemunho, com picos de máximas concentrações entre 13 e 15 cm (69,55-64,93 mg.kg<sup>-1</sup>). O Cu ultrapassou o valor de TEL apenas em uma profundidade no testemunho, 17-18 cm (18,78 mg.kg<sup>-1</sup>), que foi seu valor máximo. O Pb extrapolou o limite TEL no topo do testemunho (0-2 cm) com concentrações entre 34,61 e 37,43 mg.kg<sup>-1</sup>, e também entre 19 e 21 cm com valores entre 41,19 e 43,41 mg.kg<sup>-1</sup>. Para o cromo, todos os intervalos amostrados do testemunho T6 ultrapassaram o valor de TEL. A concentração máxima foi registrada em 40-41 cm com valor de 79,26 mg.kg<sup>-1</sup> (Tabela 17). O níquel também ultrapassou o valor de TEL ao longo de quase todo o testemunho até, aproximadamente 40-41 cm. A concentração máxima de Ni foi encontrada entre 9 e 10 cm (25,26 mg.kg<sup>-1</sup>).

#### Testemunho 4

A Tabela 16 apresenta os resultados da estatística básica para o testemunho 4 (T4). No T4 a diferença de concentração de Cd entre topo e base foi de 7x, sendo o valor de superfície o máximo encontrado,  $7,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , ultrapassando o limite TEL (Tabela 2). As demais concentrações encontradas ao longo do testemunho se mostraram superiores ao limite TEL (Tabela 2).

Figura 44: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em  $\mu\text{g}/\text{g}$  ao longo do testemunho T4 com 61 cm de profundidade.



O Cu e o Ni apresentaram distribuição vertical bastante semelhante (Figura 44), com valores máximos de concentração em 20-21 cm. A razão entre as concentrações de Cu no topo e na base foi igual a 3, enquanto para o Ni essa razão foi de 1. As concentrações de Ni ultrapassaram o limite TEL ao longo de quase todo o testemunho. O Cu ultrapassou o limite TEL a partir da profundidade 13-14 cm até praticamente a base.

Não se observou diferença entre a base e o topo do testemunho para Pb, porém, a concentração máxima foi registrada em 35-36 cm,  $47,39 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Observou-se ainda um pico de  $43,11 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  em 14-15 cm, além do valor detectado no topo, também elevado, de  $41,14 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . As concentrações de Pb ultrapassaram o limite TEL no topo do T4, entre 13 e 17 cm e também na porção inferior do testemunho, entre 35 e 61 cm.

A diferença de concentração de Zn entre topo e base do testemunho 4 foi de 2X. O Zn apresentou o pico máximo em 14-15 cm. A razão entre as concentrações de Cr entre topo e base foi igual a 2, e o valor máximo foi registrado em 20-21 cm. À exceção do valor na base do testemunho, todas as concentrações de Cr ultrapassaram o limite TEL (Tabela 2).

Mn e Fe apresentaram picos de valor máximo na mesma profundidade, 13-14 cm, 1.094, 84  $\mu\text{g}^{-1}$  e 160.143,68  $\mu\text{g}^{-1}$ , respectivamente. A razão entre as concentrações de Mn no topo e na base foi igual a 1,4 e para o Fe <1, indicando maior concentração deste elemento na base.

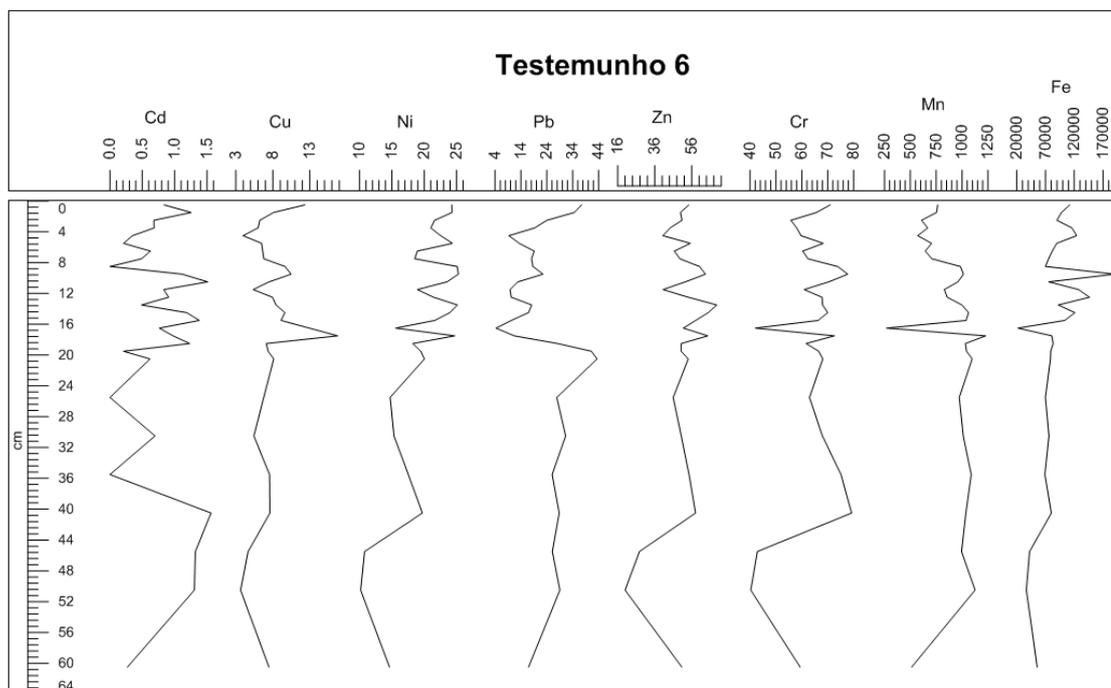
Tabela 16: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T4.

Elementos	Média $\pm$ EP	Mínimo	Máximo
Zn	48,61 $\pm$ 2,39	21,54	75,53
Cu	19,87 $\pm$ 2,11	5,52	44,92
Pb	27,58 $\pm$ 2,06	5,80	47,39
Cr	74,56 $\pm$ 3,28	31,24	109,79
Ni	21,96 $\pm$ 1,86	7,09	43,40
Cd	1,78 $\pm$ 0,23	0,41	7,04
Mn	788,00 $\pm$ 33,09	410,70	1.094,84
Fe	86.324,06 $\pm$ 6565,50	22.206,03	160.143,68

### Testemunho 06

O testemunho 6 (T6) tem comprimento total de 64 cm e foi amostrado de 1 em 1 cm até 21 cm. A partir de 21 cm, foi amostrado de 5 em 5 cm até 51 cm, e depois de 10 cm até a base (Figura 45). As concentrações de zinco se mantiveram abaixo do limite TEL ao longo de todo o testemunho, com picos de máximas concentrações entre 13 e 15 cm (69,55-64,93  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). O Cu ultrapassou o valor de TEL apenas em uma profundidade no testemunho, 17-18 cm (18,78  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), que foi seu valor máximo. O Pb extrapolou o limite TEL no topo do testemunho (0-2 cm) com concentrações entre 34,61 e 37,43  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , e também entre 19 e 21 cm com valores entre 41,19 e 43,41  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Para o cromo, todos os intervalos amostrados do testemunho T6 ultrapassaram o valor de TEL. A concentração máxima foi registrada em 40-41 cm com valor de 79,26  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Tabela 17). O níquel também ultrapassou o valor de TEL ao longo de quase todo o testemunho até, aproximadamente 40-41 cm. A concentração máxima de Ni foi encontrada entre 9 e 10 cm (25,26  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

Figura 45: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em  $\mu\text{g/g}$  ao longo do testemunho T6 com 64 cm de profundidade.



Assim como o cromo e o níquel, Cd também se mostrou acima do limite TEL ao longo de boa parte do testemunho, com concentração máxima de  $1,56 \text{ mg.kg}^{-1}$  em 40-41 cm. Considerando-se as diferenças entre topo e base, o Cd foi o elemento que mais se destacou, com concentração de topo aproximadamente 3x superior à base. Cu, Pb, Ni e Fe apresentaram concentrações de topo aproximadamente 2x maiores que as de base.

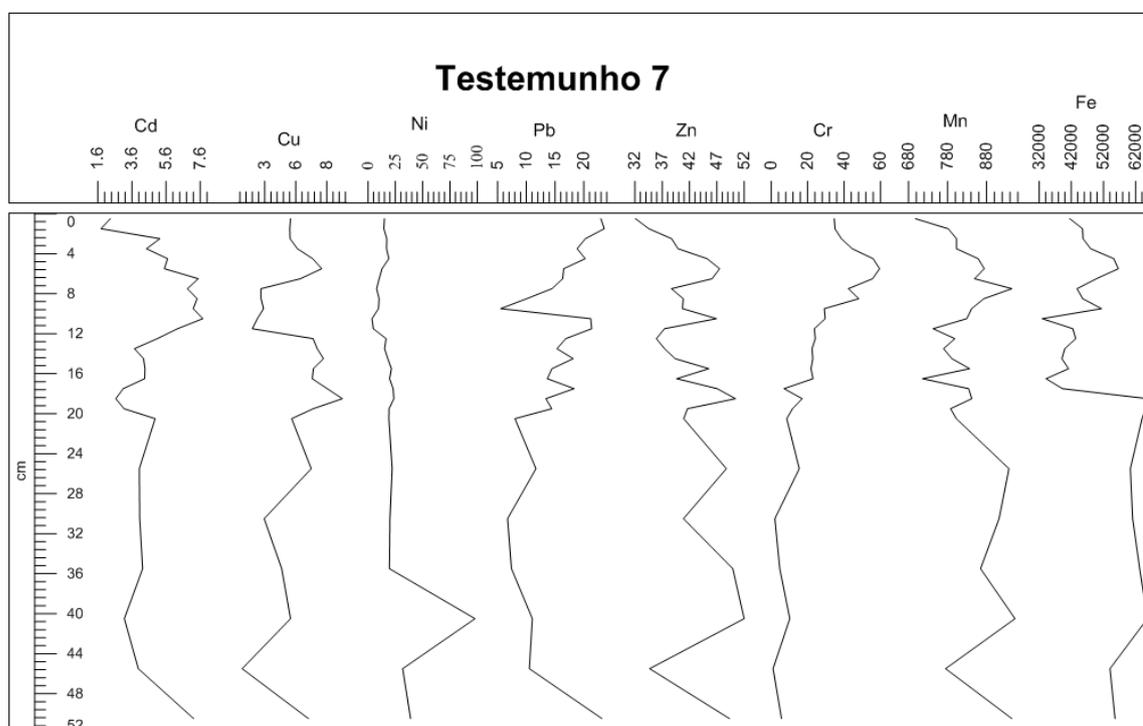
Tabela 17: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T6.

Elementos	Média $\pm$ EP	Mínimo	Máximo
Zn	51,18 $\pm$ 1,98	19,97	69,55
Cu	7,63 $\pm$ 0,51	3,64	16,78
Pb	21,76 $\pm$ 1,92	4,36	43,41
Cr	64,11 $\pm$ 1,86	40,29	79,26
Ni	20,04 $\pm$ 0,81	10,16	25,326
Cd	0,77 $\pm$ 0,09	0,00	1,56
Mn	877,58 $\pm$ 42,46	269,79	1227,92
Fe	88.804,56 $\pm$ 6.449,73	22.068,08	190.109,73

### Testemunho 07

O testemunho 7 (T7), de 51 cm de comprimento foi amostrado de 1 em 1 cm até 21 cm e depois de 5 em 5 cm até a base. As concentrações de zinco, cobre e chumbo se mantiveram abaixo do limite TEL para cada elemento ao longo de todo o testemunho (Figura 46). O limite TEL foi ultrapassado para Cr próximo ao topo do testemunho, entre 5 e 6 cm. Ni também ultrapassou o limite TEL, próximo ao topo do testemunho, entre 2 e 5 cm, e depois a partir de 13 cm até a base. O Ni também extrapolou o limite PEL em 40-41cm, com concentração de 97,87 mg.kg<sup>-1</sup>. As concentrações de Cd se mostraram elevadas, entre 1,79 e 7,75 mg.kg<sup>-1</sup> (Tabela 18) com valores extrapolando TEL e PEL ao longo de praticamente todo o testemunho.

Figura 46: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) em ferro (Fe) em µg/g ao longo do testemunho T7 com 52 cm de profundidade.



Em relação às diferenças de concentração entre topo e base do testemunho todos os elementos apresentaram concentrações de base superiores às de topo, à exceção do cromo para o qual foi registrada uma concentração no topo aproximadamente 6x maior que a de base (Figura 46).

Tabela 18: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T7.

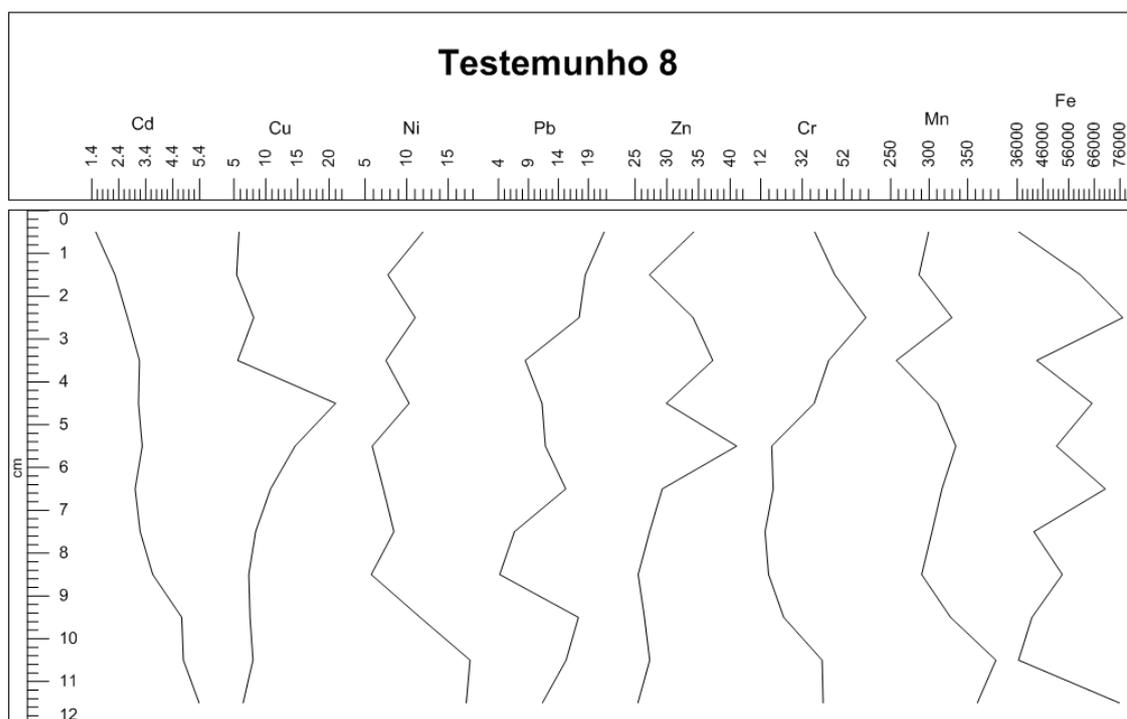
Elemento	Média±EP	Mínimo	Máximo
Zn	42,30±1,05	32,10	51,99
Cu	5,39±0,41	1,18	9,25
Pb	15,35±1,01	5,53	23,55
Cr	25,72±3,33	1,05	59,54

Elemento	Média±EP	Mínimo	Máximo
Ni	20,27±3,31	3,57	97,87
Cd	4,82±0,33	1,79	7,75
Mn	831,86±13,07	697,53	952,67
Fe	50.003,80±1.952,88	32.913,73	65769,53

### Testemunho 08

O testemunho 8 (T8) tem comprimento total de 12 cm e foi amostrado de 1 em 1 cm do topo à base (Figura 47). Zinco, chumbo e cromo não ultrapassarem o limite de TEL para cada elemento. Níquel ultrapassou o limite TEL próximo à base do testemunho, entre 10 e 12 cm (17-65-17,19 mg.kg<sup>-1</sup>). Cd ultrapassou o limite TEL do topo do testemunho até 9 cm (1,55-3,66 mg.kg<sup>-1</sup>), e a partir dessa profundidade o limite PEL foi extrapolado até a base (4,74-5,38 mg.kg<sup>-1</sup>).

Figura 47: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) em ferro (Fe) em µg/g ao longo do testemunho T8 com 12 cm de profundidade.



Apenas o chumbo apresentou valor de topo maior que o de base, aproximadamente 2x. Para o zinco a diferença de concentração entre topo e base foi pequena (<2), ainda com a concentração de topo ligeiramente superior. Para os demais elementos foram observadas concentrações de base superiores às de topo, com destaque para o Cd e o Fe, que apresentaram valores na base 3 e 2x maiores que os de topo, respectivamente (Figura 47). A Tabela 19 apresenta a estatística básica para o testemunho T8.

Tabela 19: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T8.

Elemento	Média±EP	Mínimo	Máximo
Zn	30,42±1,46	25,44	41,01
Cu	9,08±1,31	5,41	21,02
Pb	13,27±1,50	4,21	21,65
Cr	33,61±4,49	14,09	62,78
Ni	10,19±1,15	5,73	17,65
Cd	3,41±0,32	1,55	5,38
Mn	317,18±10,00	257,41	386,63
Fe	54.538,41±4,306,43	36.473,39	77.081,01

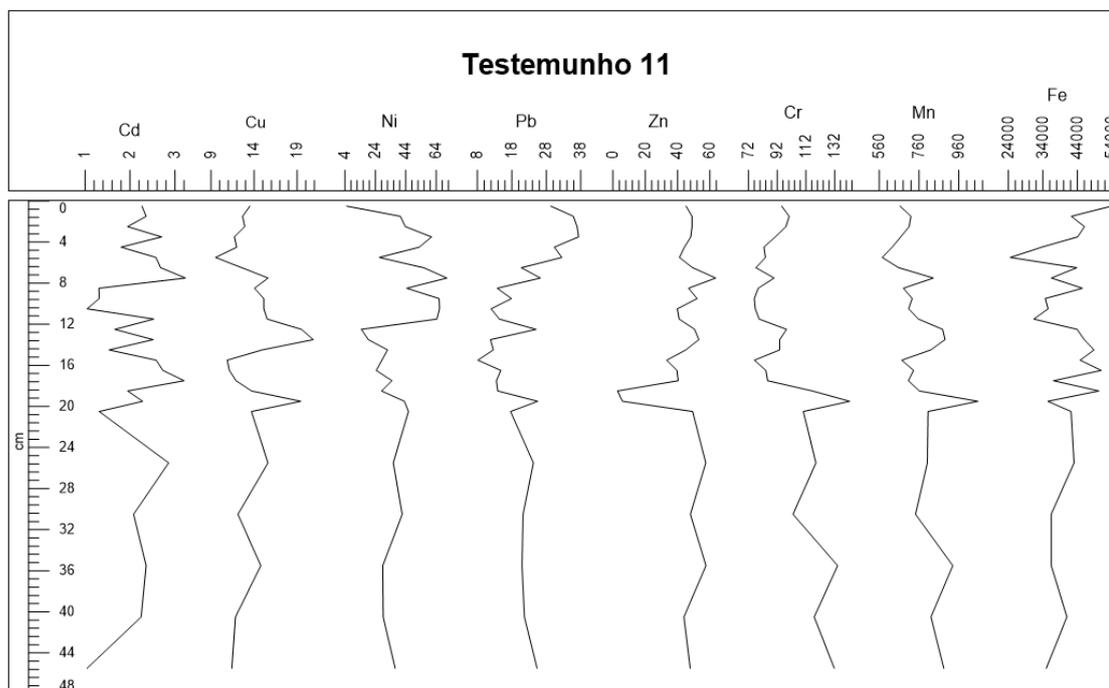
Fonte: Anexo 3 – Mapeamento Habitats – UFF

### Testemunho 11

O testemunho 11 tem 45 cm de comprimento e foi subdividido de 1 em 1 cm até 21 cm e depois de 5 em 5 cm até a base. A Figura 48 mostra os resultados das concentrações de metais no testemunho 11 (T11) e a Tabela 20 apresenta os resultados da estatística básica para esse testemunho. A concentração de Cd no topo do T11 se mostrou 2x acima do valor encontrado na base do mesmo, e todas as concentrações ao longo do testemunho ultrapassaram o limite TEL (Tabela 2). A concentração máxima de Cd, 3,23  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , ocorreu na profundidade de 7-8 cm (Figura 48).

O Cu apresentou um ligeiro incremento na concentração de topo em relação à base, com razão entre os dois valores igual a 1,2. As maiores concentrações de Cu ocorreram nas profundidades de 12-13 cm (19,50  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) e de 13-14 cm (20,87  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), e ambas ultrapassaram o limite TEL.

Figura 48: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em  $\mu\text{g/g}$  ao longo do testemunho T11 com 46 cm de profundidade.



Ni apresentou razão entre as concentrações de topo e de base igual a 0,1, revelando uma concentração na base ( $37,01 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) muito mais elevada que a da superfície do testemunho ( $5,08 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). A concentração máxima de Ni foi de  $71,00 \mu\text{g.g}^{-1}$  registrada na profundidade de 7-8 cm. A maioria das concentrações de Ni ao longo do T11 extrapolaram os limites TEL e PEL (Tabela 2), sendo que o intervalo entre as profundidades de 2 a 12 cm concentraram os valores que ultrapassaram PEL, além disso, os valores entre 19-21 cm também extrapolaram o referido limite.

A concentração de Pb no topo do T11 foi ligeiramente superior ao valor encontrado na base, sendo a razão entre esses dois valores igual a 1,2. A maior concentração de Pb ocorreu na profundidade de 3-4 cm e foi observada uma tendência de aumento em direção ao topo a partir da profundidade de 7-8 cm, região em que a maioria dos valores ultrapassou o limite TEL.

A razão entre as concentrações de Zn no topo e na base foi  $<1$ , com valor na base ligeiramente superior ao de superfície. A maior concentração de Zn,  $63,57 \mu\text{g.g}^{-1}$ , foi registrada na profundidade de 7-8 cm.

Cr e Mn apresentaram uma distribuição vertical bastante semelhante, com valores máximos (Tabela 20) registrados em 19-20 cm. Ambos os elementos apresentaram razão entre as concentrações de topo e base  $<1$ , com valores de base ligeiramente superiores aos de superfície.

A distribuição vertical de Fe mostrou uma clara tendência de aumento das concentrações em direção ao topo do T11 (Figura 48), com razão igual a 1,5 entre topo e base a valor máximo (Tabela 20) alcançado no topo.

Tabela 20: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T11.

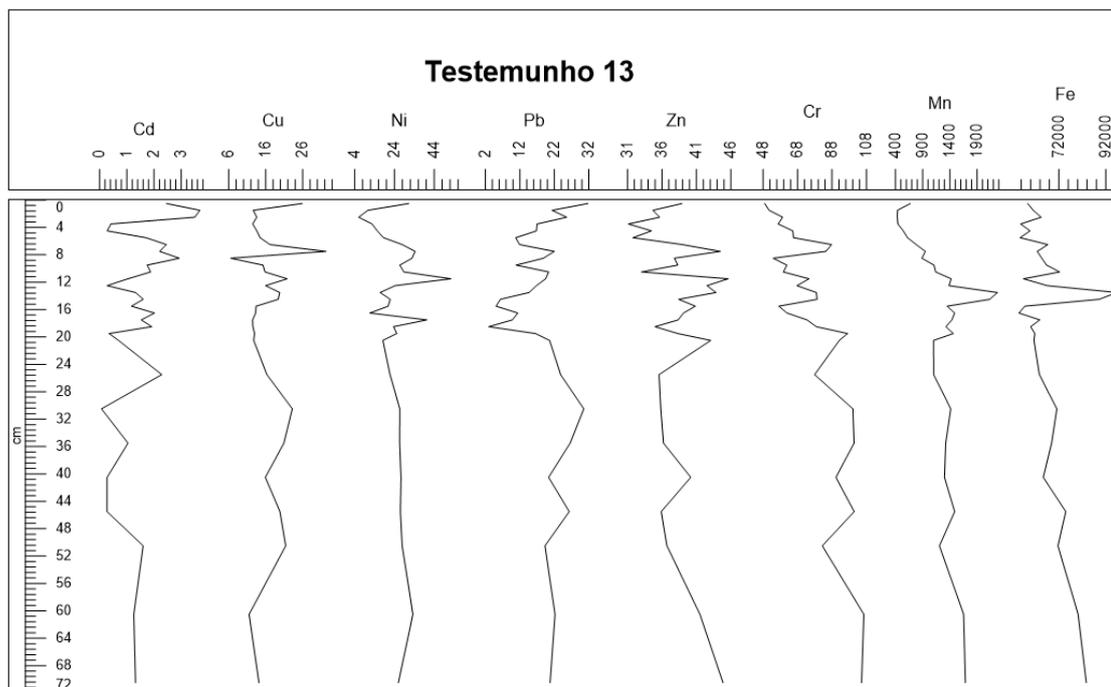
Elemento	Média±EP	Mínimo	Máximo
Zn	43,99±13,31	2,85	63,57
Cu	13,93±2,76	9,54	20,87
Pb	21,69±8,43	8,16	37,38
Cr	97,44±19,26	75,98	142,43
Ni	40,01±16,95	5,08	71,00
Cd	2,16±0,63	1,04	3,23
Mn	762,25±106,90	574,91	1056,50
Fe	40876,85±6819,33	24516,71	53889,43

### Testemunho 13

O testemunho 13 (T13) tem 71 cm de comprimento e foi subdividido de 1 em 1 cm até 21 cm e depois disso de 5 em 5 até a base. O Cd apresentou razão entre as concentrações de topo e base igual a 2, com ligeira tendência de aumento da base ao topo (Figura 49). O valor máximo de Cd, 3,68  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Tabela 21) ocorreu em 1-2 cm e praticamente todas as concentrações ao longo do T13 extrapolaram o limite TEL.

O Cu também apresentou razão entre topo e base igual a 2, com concentração máxima de 32,34  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  na profundidade de 7-8 cm (Figura 49). Ao longo do T13 foram observadas algumas concentrações de Cu que ultrapassaram o limite TEL.

Figura 49: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em  $\mu\text{g/g}$  ao longo do testemunho T13 com 71 cm de profundidade.



O Ni apresentou concentração no topo ligeiramente superior à de base com a razão entre os dois valores igual a 1,2. O valor máximo de Ni foi alcançado na profundidade de 11-12 cm,  $52,41 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , que ultrapassou o valor limite de PEL. A maioria das concentrações ao longo do T13 se mostraram superiores ao valor limite de TEL.

Para o Pb, notou-se uma tendência de aumento em direção ao topo (Figura 49), com razão entre as concentrações de topo e base igual a 2. O valor máximo de Pb (Tabela 21) foi registrado no topo e ultrapassou o valor limite de TEL. A concentração de Pb na profundidade de 30-31 cm,  $30,53 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , também ficou acima do limite TEL.

O Zn apresentou concentração de top ligeiramente inferior à de base, com razão entre as duas igual a 0,9. O maior valor de concentração ocorreu em 11-12 cm,  $45,60 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Para o Cr observou-se uma tendência de aumento em direção à base do testemunho, com razão entre as concentrações de topo e base igual a 0,5. A concentração máxima ocorreu em 60-61 cm e, à exceção dos 2 primeiros centímetros, as concentrações ao longo de todo o testemunho foram superiores ao limite TEL.

Mn e Fe apresentaram perfis verticais bastante semelhantes (Figura 49), com concentrações de base maiores que as de topo. A razão entre as concentrações de topo e de base pra Mn e Fe foram iguais à 0,4 e 0,7, respectivamente. As maiores concentrações de Mn e Fe (Tabela 21) ocorreram na profundidade de 13-14 cm.

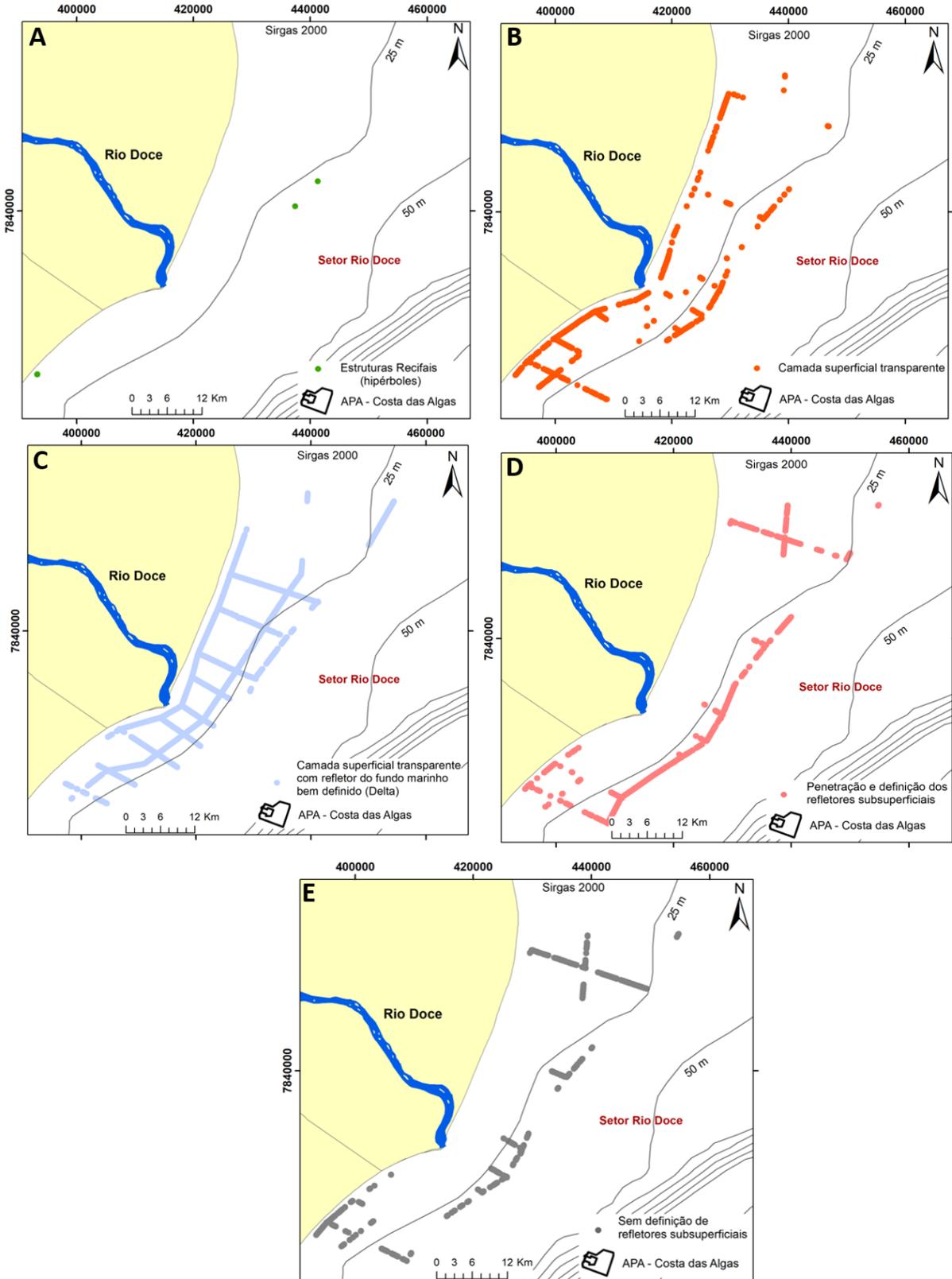
Tabela 21: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T13.

<b>Elemento</b>	<b>Média±EP</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Zn	38,31±0,72	31,13	45,60
Cu	16,47±0,96	6,55	32,34
Pb	17,95±1,34	2,94	31,76
Cr	76,55±3,25	48,94	106,44
Ni	24,72±1,75	6,03	52,41
Cd	1,49±0,18	0,07	3,68
Mn	1192,01±86,64	434,62	2273,82
Fe	66846,45±1880,70	55001,99	96788,41

#### 2.2.2.2 Sísmica

A Figura 50 a seguir apresenta a distribuição espacial dos ecocaráteres ao longo do setor Foz do Rio Doce.

Figura 50: Localização do padrão de Ecocaráter do tipo Estruturas Recifais (A), Camada superficial transparente (B), ; Camada superficial transparente com refletor do fundo marinho bem definido (Delta) (C) Penetração e definição dos refletores subsuperficiais (D) e Sem definição de refletores subsuperficiais (E) com foco no setor da foz do Rio Doce.



Naturalmente, nas regiões adjacentes à foz do rio Doce pode-se observar a presença de um lobo deltaico moderno. Segundo Silva (2017), esse padrão está relacionado com processos sedimentares atuais, pois o seu depósito está associado ao último afogamento total da plataforma continental, por volta de 5100 anos a.p., devido a sua configuração interna e geometria em cunha, o autor define esse padrão como o atual lobo deltaico do Rio Doce e se estende sobre a plataforma até a profundidade de 35 metros.

Contrastando significativamente com o setor APA, a distribuição do ecocaráter A (Figura 50, A) ao longo do setor Foz do rio Doce é estritamente pontual e a sua associação a fundos rígidos, definidos por Bastos et al. (2015) e Vieira et al. (2019) como terraços marinhos de lateritas formados durante a última transgressão marinha ou por afloramentos rochosos no fundo marinho que foram colonizados por organismos incrustantes só pode ser aplicada à ocorrência costeira, no extremo sudoeste do setor, devido a diminuição da influência dos depósitos terciários da formação barreiras ao longo do delta do rio Doce (Dominguez, 2016). No sentido oposto da área e bem afastado da linha de costa foram registradas estruturas recifais naturais (ponto ao norte) e artificiais (dutos submarinos no ponto ao sul). Conforme as cartas náuticas locais, o duto artificial não ocorre de maneira pontual e sim de maneira contínua, mas o seu registro foi feito de maneira pontual devido à orientação do transecto de aquisição dos dados.

Complementarmente, a predominância dos ecocaráteres C, D e E (Figura 50, C, D e E) é outro forte indicativo do predomínio de fundos não recifais para este setor. Como era esperado para a região, o ecocaráter C delta foi indubitavelmente o padrão dominante, corroborando e complementando (de maneira contínua e em alta resolução) a classificação desta plataforma interna como sendo dominada por uma sedimentação terrígena e essencialmente lamosa (Bastos et al., 2015 e Quaresma et al., 2015). Os ecocaráteres D e E (Figura 50, D e E) deram continuidade à distribuição do eco C, sendo o primeiro mais abundante no sentido offshore, um indicativo da continuação do predomínio da sedimentação de grãos mais finos também para aquele sentido. Além de ocorrer também no limite offshore do setor, o eco E ocorre significativamente no extremo sudoeste, demarcando o limite de ocorrência da sedimentação carbonática e/ou interrecifal observada no setor APA Costa das Algas. Já a distribuição deste Eco no extremo norte do setor Foz é um indicativo do início da influência da sedimentação mista definida por Bastos et al. (2015) e Vieira et al. (2019) como sendo dominante ao norte deste setor, uma vez que o aumento no teor de grãos carbonáticos promoveria esse incremento da reflexão em detrimento da penetração e definição dos refletores subsuperficiais.

Assim como observado no setor APA, o ecocaráter B (Figura 50, B) também se distribui significativamente por todo o setor Foz do Rio Doce, porém acredita-se em uma possibilidade ainda maior de ocorrência do rejeito neste setor, pois além de o mesmo ter sido submetido ao aporte direto do rejeito, sua área espacial é significativamente maior que aquela relativa ao setor APA. De uma maneira geral, o Eco B se distribuiu mais significativamente ao longo da região costeira e do extremo sul do setor. Aparentemente, a ausência de estruturas recifais contínuas como as observadas ao longo do setor APA seria um fator limitante para a ocorrência do Eco B, mas o fato de o mesmo continuar

mantendo a sua predominância ressalta a importância de outros fatores controladores de sua distribuição, como a citada proximidade da foz do rio.

A Figura 51 revela a distribuição espacial da espessura do depósito transparente relativo ao ecocaráter B. Em termos de continuidade do depósito transparente, o extremo sul costeiro é região com o maior destaque pois também apresenta depósitos espessos. Também é observada uma aglomeração deste depósito na região proximal à foz do rio, tanto na zona costeira, quanto no limite offshore do setor, com grande espessura neste último. Outra observação pontual de depósito espesso fica ao norte da foz, em profundidades intermediárias. Há de se destacar também a ocorrência de um depósito relativamente espesso e contínuo na região costeira do extremo norte deste setor.

Figura 51: Espessura do ecocaráter B no Setor Foz do Rio Doce.

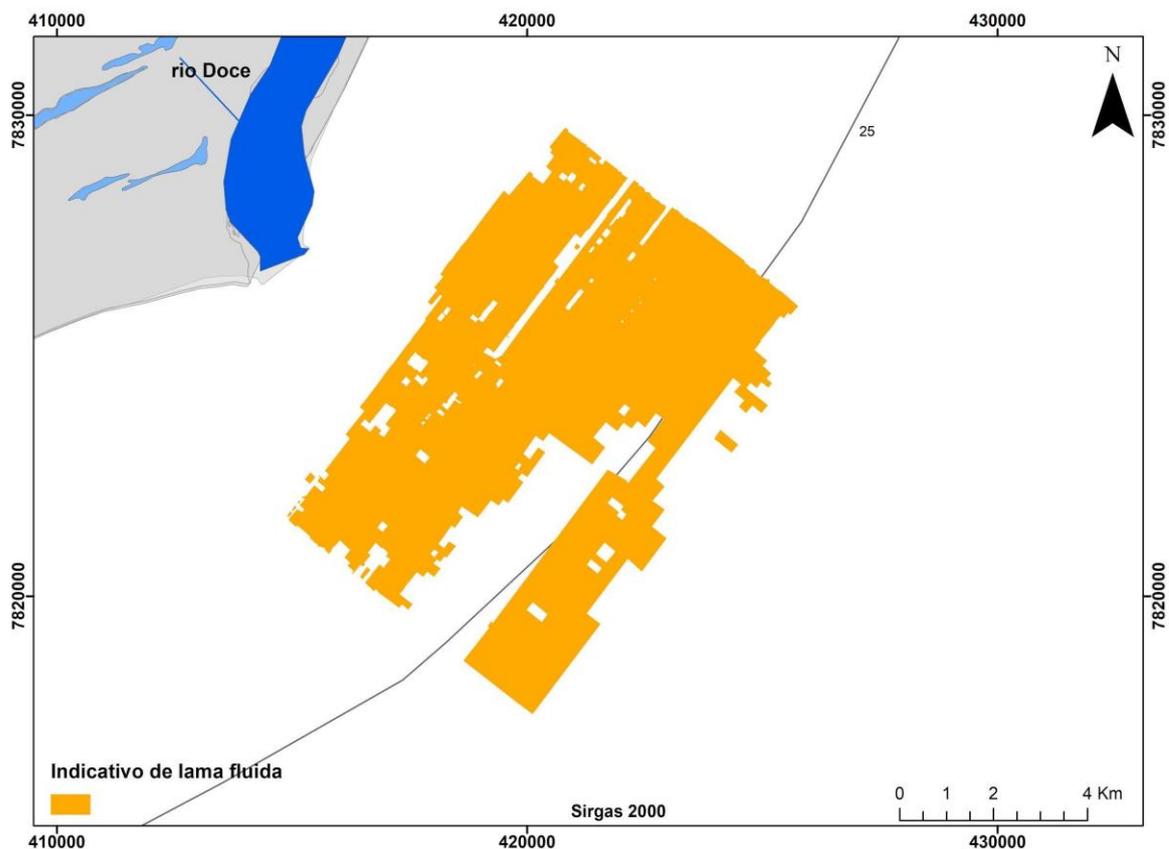


### 2.2.2.3 Mapeamento acústico

Como mencionado no tópico de mapeamento de habitats, o levantamento batimétrico para o setor do rio Doce apresentou um comportamento acústico distinto. Dentre eles podemos citar: i) incompatibilidade entre as linhas adjacentes devido à penetração do sinal, às vezes nos feixes externos, às vezes no nadir; ii) grande quantidade de ruídos nos dados, e em alguns locais a nuvens de pontos (espessura vertical do registro) aumentou; iii) alta incerteza vertical do registro, devido a diferença na penetração do feixe.

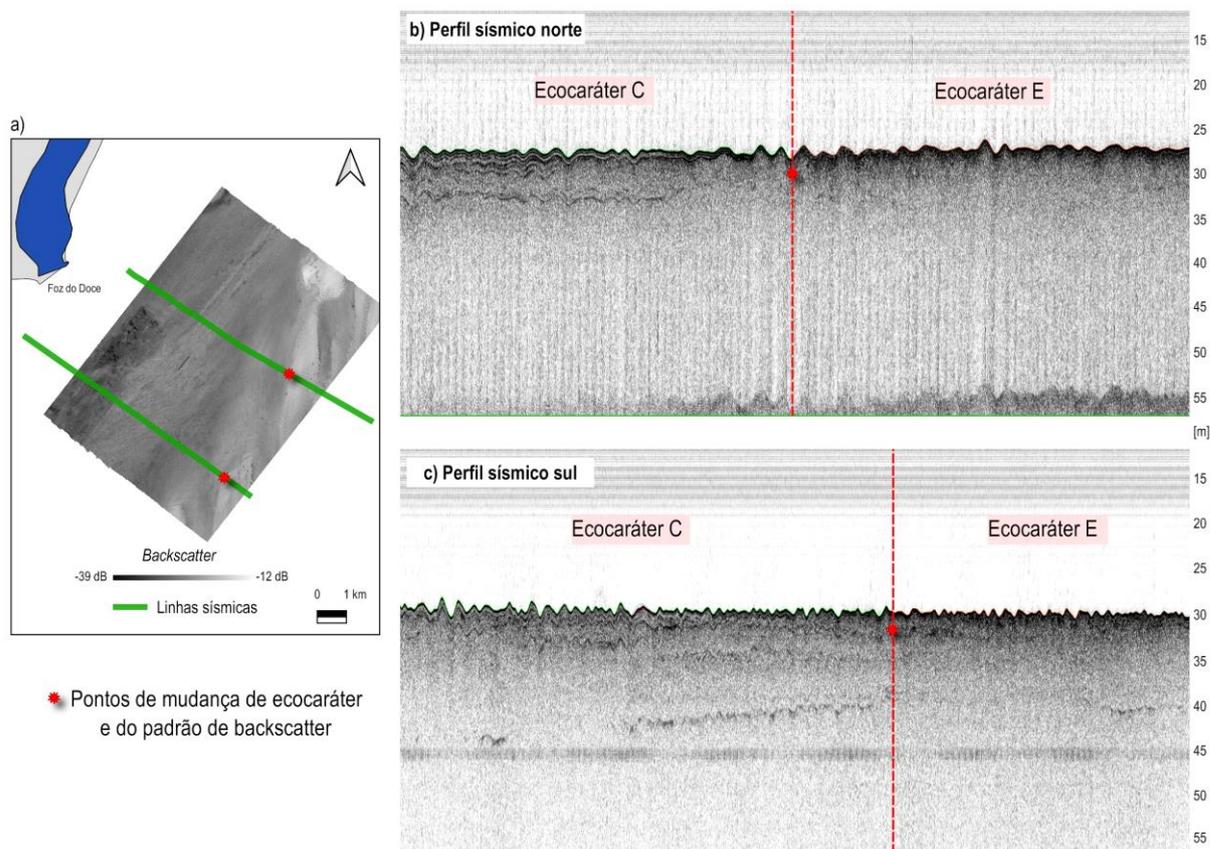
Essas características acústicas foram interpretadas como indicativos de alta concentração de material particulado em suspensão na coluna d'água, possivelmente marcando a presença de lama fluida. Essa ocorrência foi mapeada com base no comportamento acústico e apresentado a seguir no mapa de indicativo da presença de lama fluida para o setor (Figura 52) no cenário do mapeamento, ou seja, entre os meses de março a maio de 2019 quando ocorreram o levantamento.

Figura 52: Indicativo de lama fluida mapeada no setor da foz do Rio Doce.



Outro resultado interessante que apareceu pode ser observado ao concatenarmos os registros sísmicos com o mapa de backscatter. Na Figura 53, observa-se que a transição de ecocaráteres (de um padrão com penetração interpretado como delta - "C", para um padrão sem penetração - "E") ocorre exatamente na região das feições alongadas que possuem altos valores de backscatter.

Figura 53: Região de mudança de ecocaráteres e do padrão de backscatter. a) Mapa de backscatter indicando os registros sísmicos; b) Perfil sísmico ao norte, com indicação do local onde ocorre a mudança de padrão; c) Perfil sísmico ao sul, com indicação do local onde ocorre a mudança de padrão.



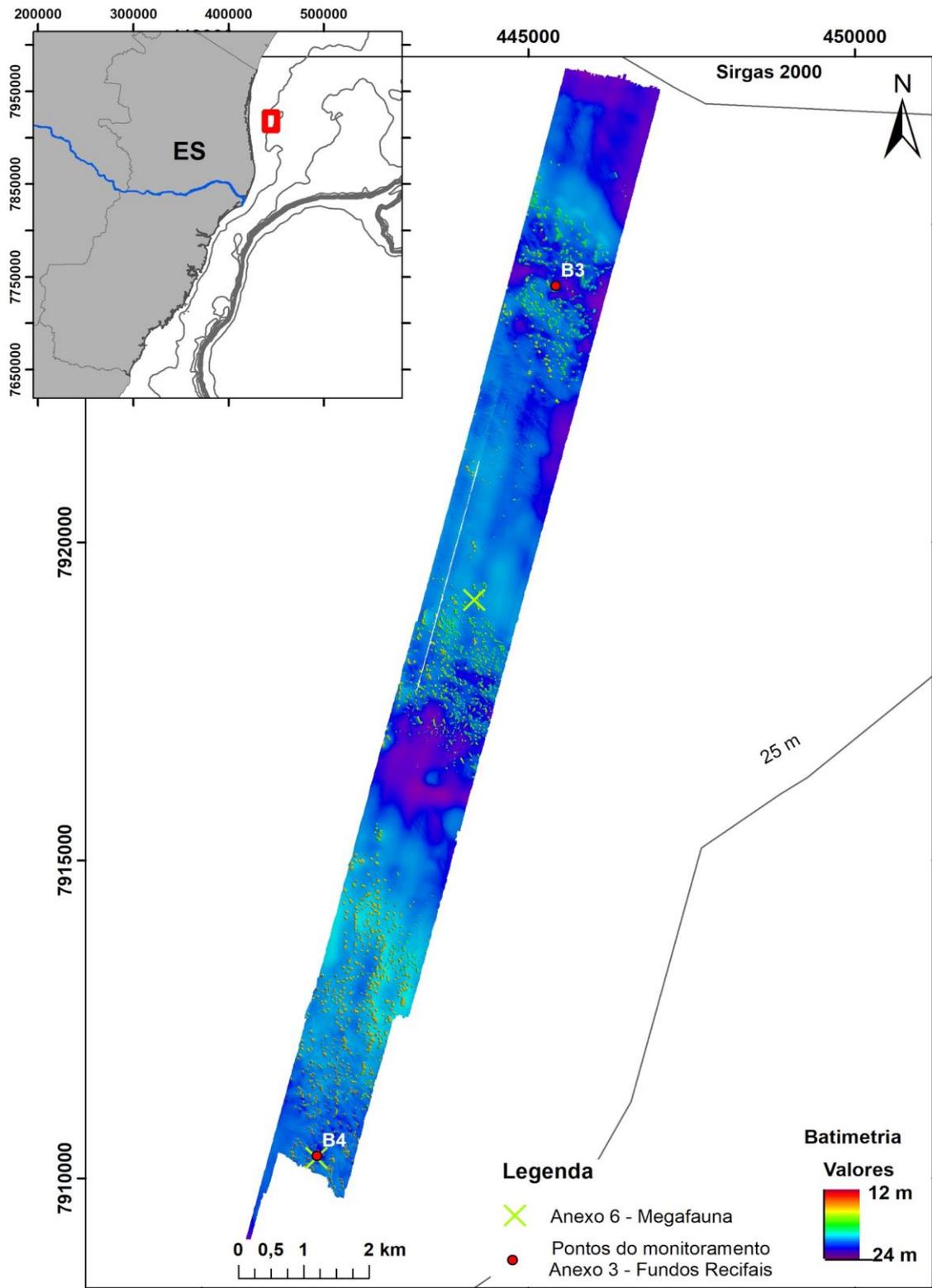
## 2.3 SETOR NORTE (RECIFES ESQUECIDOS)

### 2.3.1 Mapeamento de Habitats

#### 2.3.1.1 Morfologia do fundo marinho

O levantamento batimétrico no setor norte compreende uma área de 26,13 km<sup>2</sup> e 940,7 km de navegação. Certamente o que mais chamou a atenção nos registros batimétricos foi a grande quantidade de estruturas recifais (exemplo na Figura 54), o que aponta para a evidente importância de ampliação do mapeamento considerando a sensibilidade desse habitat aos potenciais impactos devido ao rejeito.

Figura 54: Mapa batimétrico do Setor Norte.

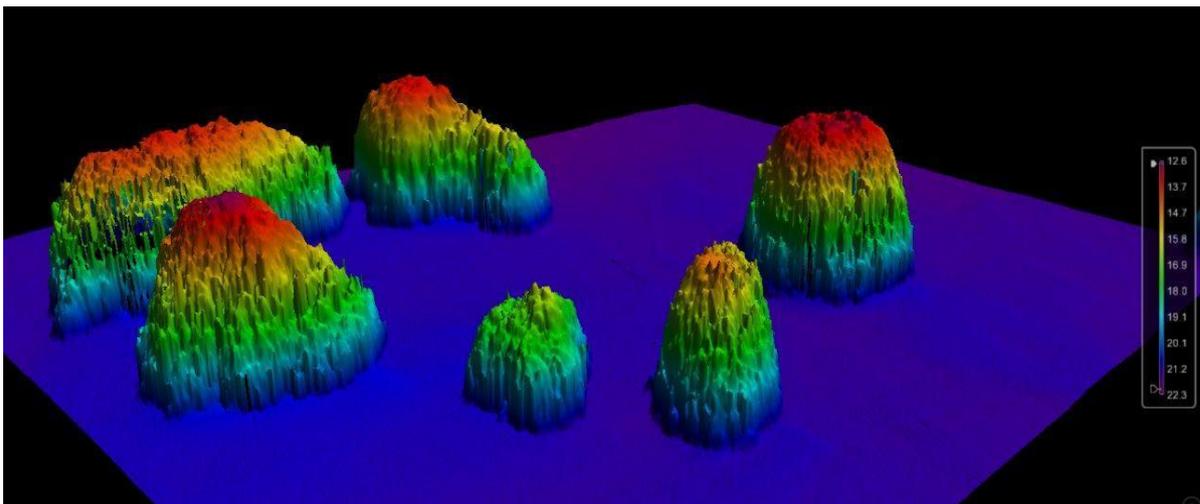


A alta biodiversidade que acompanha estas estruturas recifais fazem este tipo de habitat ser altamente sensível. Como encontram-se em profundidades mais rasas, estes sofrem com exposição a diversos

fatores, dentre os quais podemos citar: i) aporte sedimentar, que pode causar turbidez na coluna da água dificultando a filtração por organismos filtradores e a captação de luz por fotossintetizantes (McCulloch et al., 2003); ii) aporte de efluentes e poluentes, que incorporam nutrientes e contaminantes ao meio e prejudicam a saúde e funcionamento do sistema ecológico (Cesar et al., 2003); iii) anomalia nos padrões térmicos da coluna da água, podendo levar ao desenvolvimento de doenças nas espécies incrustantes (Hoegh-Guldberg, 1999; Cesar et al., 2003); iv) super exploração do estoque pesqueiro, causando desequilíbrio ecológico (Cesar et al., 2003; Wilson et al., 2008).

Os recifes apareceram de maneira concentrada em três regiões, com uma tendência a serem espaçados e isolados com o distanciamento destas áreas. O tamanho dos recifes é bem variado, e chega a 12 m de altura, sendo a região sul caracterizada por recifes mais proeminentes (Figura 55). Nas ocorrências isoladas, eles aparecem com formato mais arredondado. Já nas áreas de grande concentração, as estruturas recifais parecem coalescer, ficando mais alongadas. Além disso, nas regiões de maior concentração as estruturas parecem distribuídas em um alinhamento SE - NO.

Figura 55: Batimetria 3D em detalhe mostrando exemplos de recifes.

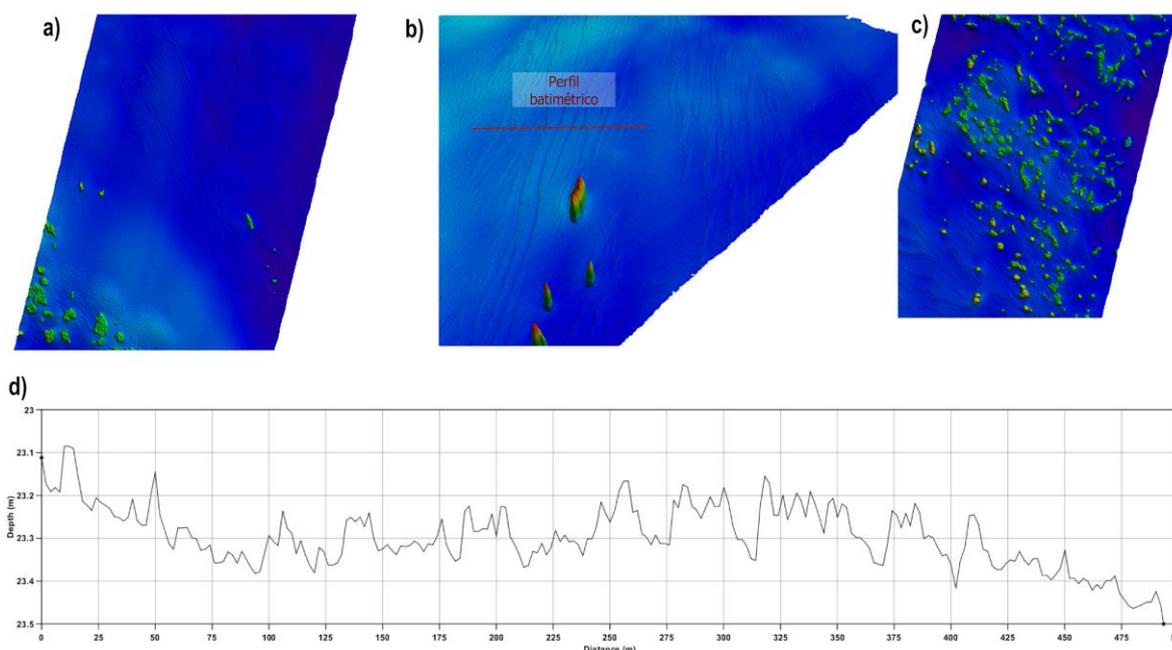


A ocorrência dos recifes nessa região já foi relatada em Vieira et al (2019) e Mazzei et al. (2016). É importante contextualizar que esse setor do levantamento faz parte da plataforma sul de Abrolhos. Em Abrolhos, estruturas recifais com algumas semelhanças (por exemplo, estruturas recifais coalescidas) são bem descritas na bibliografia (Leão et al, 1985; Moura et al, 2013; Ferreira, 2017).

Outra feição que foi bastante observada nos dados são as formas de fundo conhecidas como *furrows* (Figura 56). A identificação dessas feições pode ser importante para entender e associar as características hidrodinâmicas da região, já que são formas de fundo dispostas paralelamente à ação de correntes (Belderson, 1982; Davis and Darlymple, 2012). *Furrows* são feições erosivas, reconhecidas geralmente na forma de alinhamentos estreitos, podendo chegar a vários quilômetros de comprimento, metros ou dezenas de metros de largura, e de poucos centímetros a dezenas de centímetros de profundidade (Wynn e Masson, 2008).

Em geral, elas apresentaram largura variada (entre 3 e 24 m) e comprimento que ultrapassa 1 km. As marcas apareceram de maneira mais marcante na região mais ao norte da área de levantamento, mas também é possível observá-las em outros trechos com menor concentração de recifes.

Figura 56: Exemplo de *furrows* encontradas na batimetria do setor norte. (a) Superfície batimétrica na qual é possível identificar *furrows* e recifes; (b) Batimetria em perspectiva 3D evidenciando recifes e *ribbons*, e indicação de um perfil batimétrico (linha vermelha); (c) outro exemplo de superfície batimétrica na qual é possível identificar *furrows* e recifes; d) Perfil batimétrico.

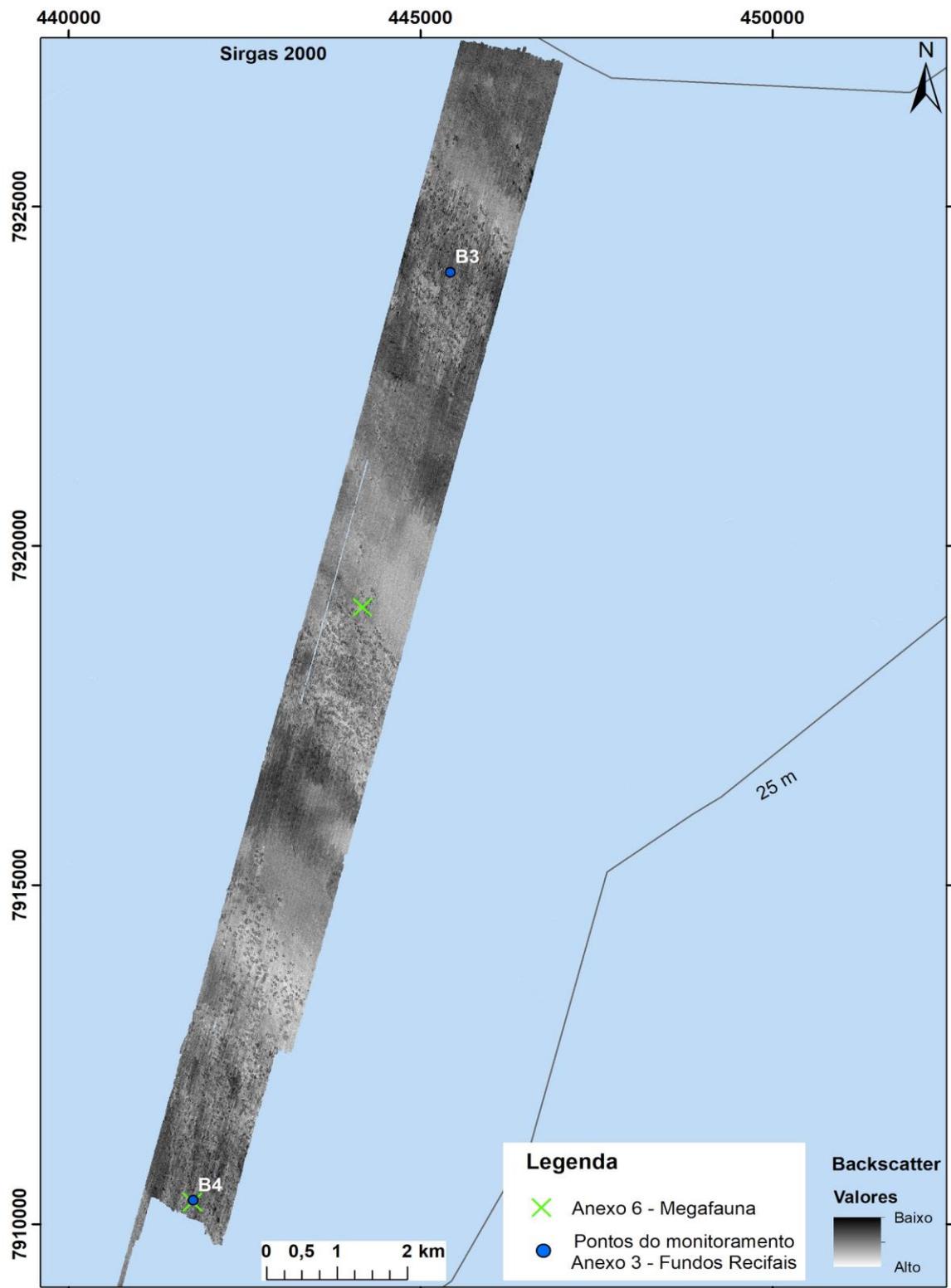


### 2.3.1.2 Backscatter

O mapa da Figura 57 apresenta os resultados de *backscatter* para a região dos recifes esquecidas, no setor norte. Os valores de *backscatter* observados na região dos recifes apresentaram heterogeneidade (variando de -14 dB a -29 dB).

As estruturas recifais, tanto coalescidas como pinaculares, estão caracterizadas por um valor de baixa reflexão. Vale mencionar que segundo Parnum and Gavrilov (2012) encontraram recifes de corais com intensidades de *backscatter* menores do que rodolitos, areia cascalhosa e cascalho. A região inter-recifal, assim como as regiões com ausência dessas estruturas, apresentaram valores heterogêneos. Outro aspecto importante, foi a identificação das feições *furrows*, em que o *backscatter* aparece alternado em relação a crista e cava dessas feições.

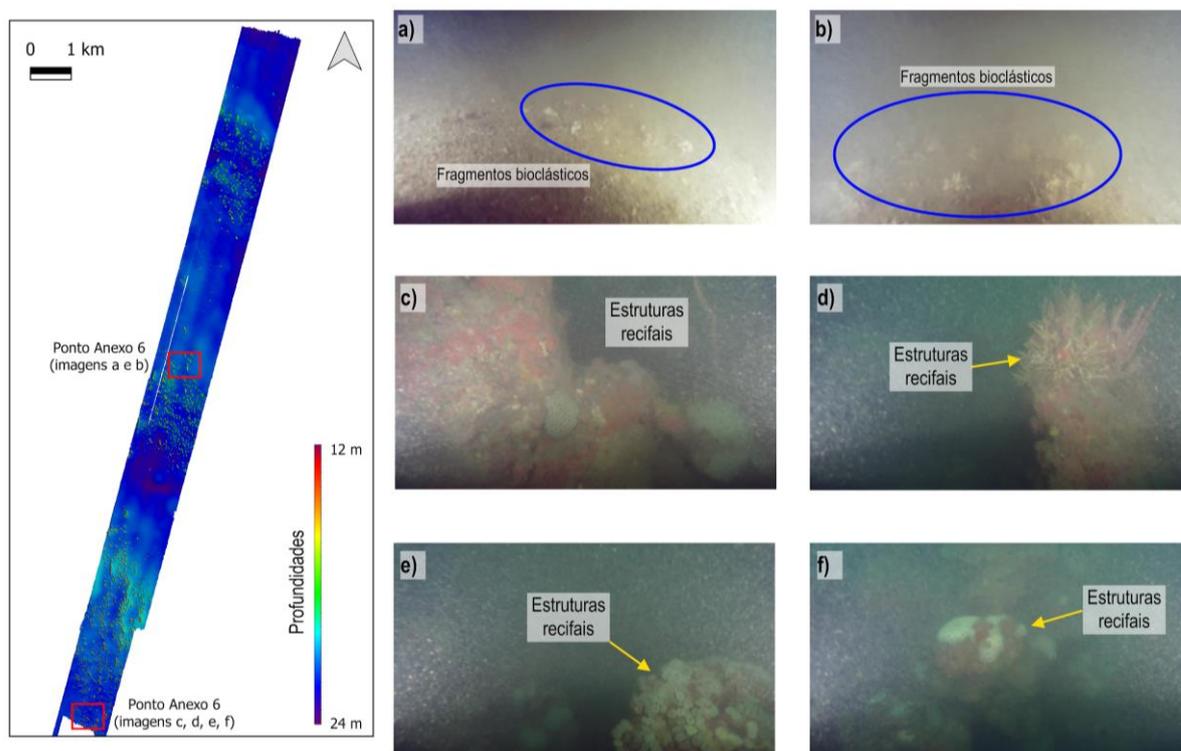
Figura 57: Mapa do Backscatter do setor Norte.



### 2.3.1.3 Imagens de ROV

As imagens obtidas pelo ROV detalham as formações recifais, assim como feições de fundo devido a dinâmica local. Na Figura 58 “c”, “e”, “f”, apresentam exemplares de *Mussismilia sp.*, já em “d”, possivelmente um exemplar de *Carijoa riisei*. O sedimento inter-recifal nos vídeos analisados, são caracterizados por sedimento arenoso com a presença de bioclastos provenientes da quebra esquelética dos organismos recifes que se concentram na região (Figura 58 a - b). Leão et al (2005) ao realizar coletas de sedimento em Abrolhos evidenciou essa tendência em seus dados, segundo os autores, a proximidade dos pontos amostrais aos recifes, justifica a presença elevada de sedimentos carbonáticos. Vale ressaltar que a turbidez da coluna d’água dificultou a amostragem e em alguns pontos, não possível visualizar o fundo marinho.

Figura 58: Frames obtidos a partir das filmagens de ROV. a) e b) Fragmentos bioclásticos; c) d) e) f) Estruturas recifais. Filmagens cedidas pelo Anexo 6.

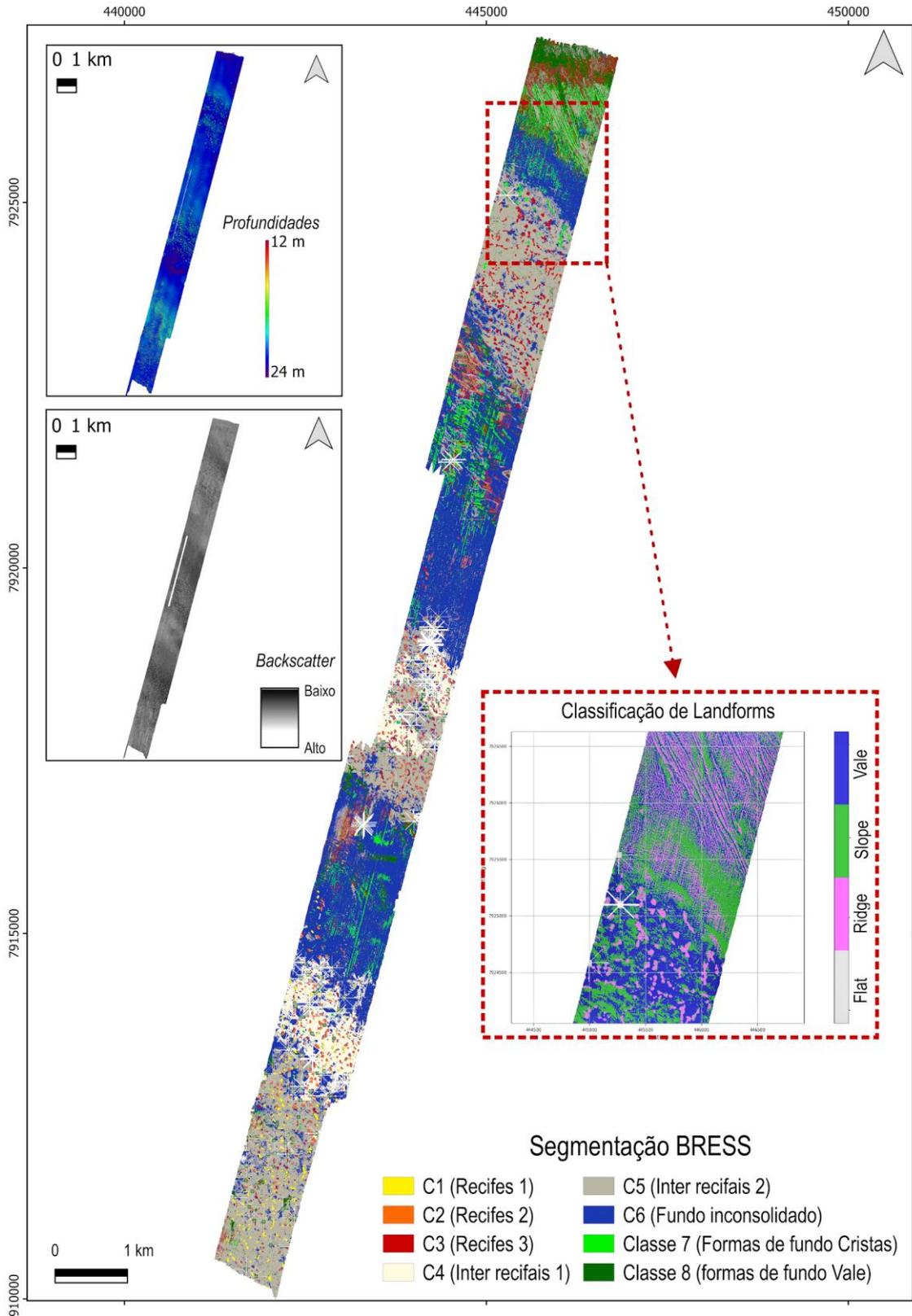


### 2.3.1.4 Segmentação/Classificação Acústica

A partir dos dados de batimetria e de backscatter, foram realizadas segmentação e classificação dos dados acústicos utilizando dois diferentes softwares: i) BRESS (Bathymetric and reflectivity-based segments), que é uma ferramenta livre disponibilizada pela Universidade de New Hampshire); ii) RSobria, que é uma ferramenta licenciada do ArcGIS, desenvolvida em parceria com a Universidade de Southampton.

Os resultados da segmentação executada no BRESS (Figura 59) conseguiram diferenciar 8 classes.

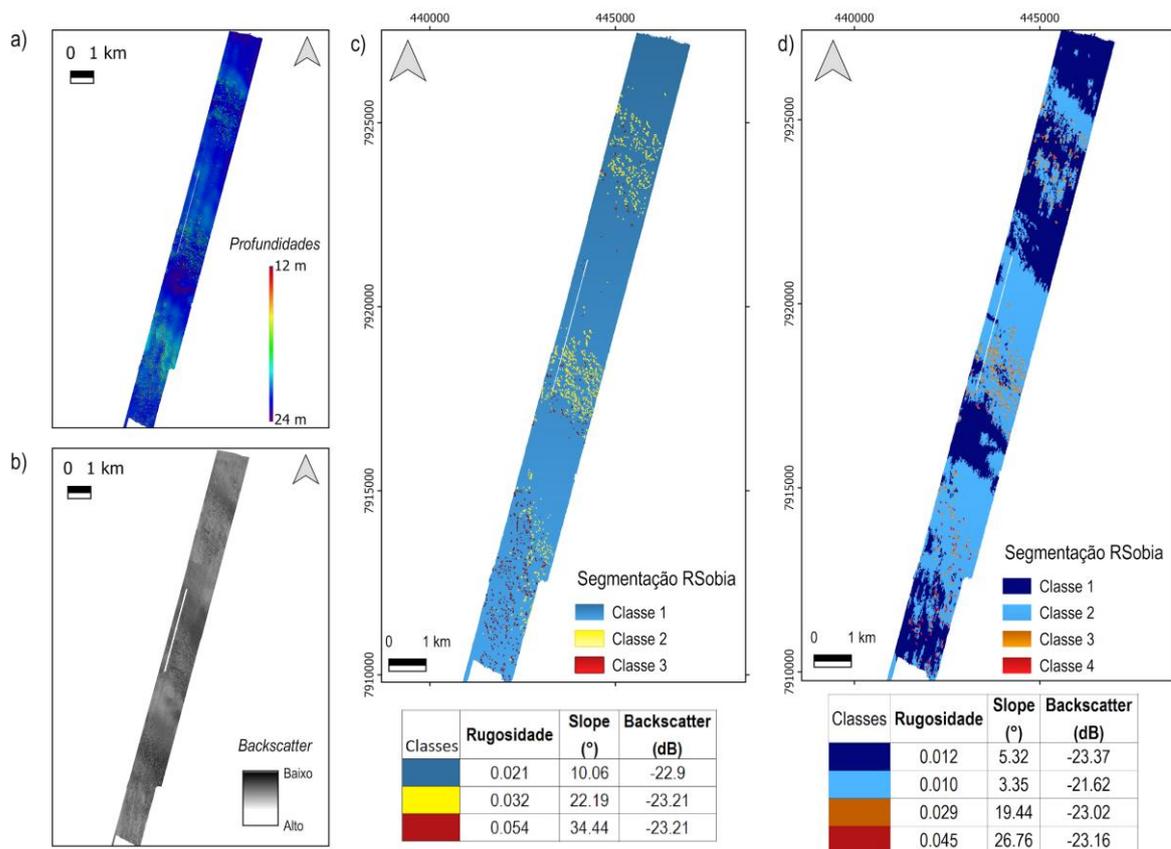
Figura 59: Segmentação executada no software BRESS para o Setor Norte, com um quadro detalhando a classificação de Landforms na região norte da área.



Interessante ressaltar que, visualmente, é possível verificar 3 grupos principais de classes: estruturas recifais (Classes 1, 2 e 3), fundos inter recifais (Classe 4 e 5) e fundo com formas de fundo no restante da região (Classes 6, 7 e 8). A classe 1 aparece sobretudo no núcleo de recifes ao sul da região, enquanto as classes 2 e 3 estão em maior quantidade, principalmente nas regiões de maior concentração de recifes. As classes 4 e 5 são claramente distinguidas entre elas pelos valores de backscatter, sendo a classe 4 a representante de intensidades maiores (conforme também observado no mapa de backscatter desse setor). As classes 7 e 8 parecem estar associadas com formas de fundo, isto é, estão relacionadas com a classificação de *Landforms* obtida.

Já os resultados da segmentação gerados pela ferramenta RSobria (Figura 60), apesar de não terem conseguido classificar o detalhe de feições como as *furrows*, mostrou resultados muito interessantes. Buscando a melhor configuração dos parâmetros de segmentação (parâmetros relacionados ao nível de detalhe que se deseja identificar), foram testadas duas formas: uma com a segmentação utilizando melhor resolução e outra com uma resolução mais abrangente.

Figura 60: a) Batimetria; b) Backscatter; c) Segmentação do Rsobria configurada para uma melhor resolução; d) Segmentação do Rsobria configurada para uma resolução mais abrangente.



A Figura 60 C apresenta a segmentação com parâmetros configurados de modo a se identificar maior nível de detalhe. Nessa escala, foram reconhecidas e delimitadas 962 estruturas recifais. Foram observadas 3 classes, que podem ser interpretadas como:

i) Classe 1 - representa as áreas de fundo marinho/plataforma continental e inter recifal, consistindo na maior parte da área. Os valores relativamente baixos de slope e rugosidade deixam clara a diferença de morfologia, mas os altos valores de backscatter indicam que são sedimentos grossos;

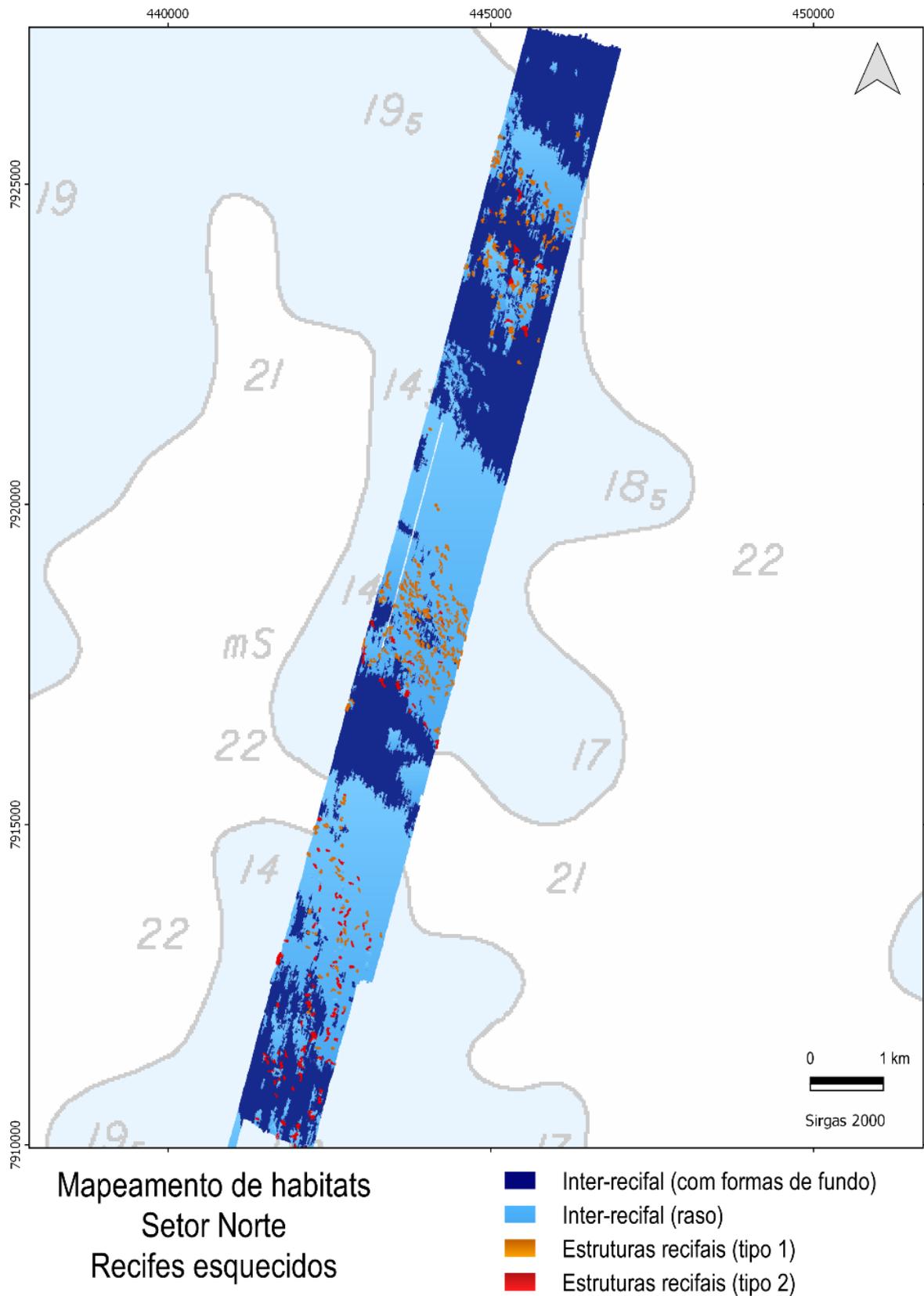
ii) Classe 2 - demarcou a maior parte dos recifes, principalmente nas regiões mais central e ao norte da região.

iii) Classe 3 - identificada principalmente na região ao sul do levantamento. Esses recifes, conforme já mencionados na descrição dos resultados batimétricos, apresentaram tamanhos maiores. Isso pode ser corroborado ao observarmos os valores ainda mais altos de slope e rugosidade.

Já a Figura 60 D mostra os resultados com a segmentação com parâmetros voltados para uma análise um pouco mais abrangente, que mostrou um resultado mais interessante para um mapeamento de habitats, visto que consegue reconhecer as regiões com maiores concentrações de estruturas recifais (Classes 3 e 4), além de diferenciar o fundo do restante da área (Classes 1 e 2).

A classificação qualitativa de habitats deste setor foi realizada com os mesmos tipos de resultados dos outros dois setores (Figura 61). A morfologia de estruturas recifais é facilmente reconhecida em dados geofísicos, e algumas estruturas imageadas corroboraram com tal interpretação. A distribuição de habitats desse setor destacou três núcleos principais de fundos com estruturas recifais, destacando a diferenciação geomorfométrica (slope e rugosidade) de um grupo de recifes do tipo 2 mais ao sul da área. Os fundos com estruturas recifais ocorrem preferencialmente nas regiões rasas da área mapeada. O restante da área foi classificado como inter-recifal e a diferenciação destes tipos de fundo foi possível devido ao reconhecimento de marcantes formas de fundo (na batimetria e na segmentação realizada pelo software BRESS). Além disso, na região inter-recifal também foi possível identificar em algumas imagens fundos com sedimentos inconsolidados (fragmentos carbonáticos e areia).

Figura 61: Classificação de habitats para o setor Norte mapeado.



Por fim, com o conjunto inédito de resultados de alta resolução (batimetria, *backscatter*, dropcâmeras, segmentações e classificação) apresentados para esse Setor Norte conclui-se que a principal característica dessa região em termos de mapeamento do fundo marinho é a heterogeneidade de morfologias e habitats desta região. As estruturas recifais apresentaram forma, relevo e alturas diversas ao longo da área mapeada, enquanto as formas de fundo erosivas (*Furrows*) encontradas remetem a padrões hidrodinâmicos distintos para essa região.

## 2.3.2 Mapeamento da potencial ocorrência de rejeitos

### 2.3.2.1 Testemunhagem

Os testemunhos RRDM\_SCRD\_T09, RRDM\_SCRD\_T10 foram coletados nesta região conforme Figura 62. A Tabela 22 mostra os testemunhos coletados com as suas respectivas coordenadas.

Figura 62: Mapa amostral dos testemunhos coletados ao longo da área de estudo.

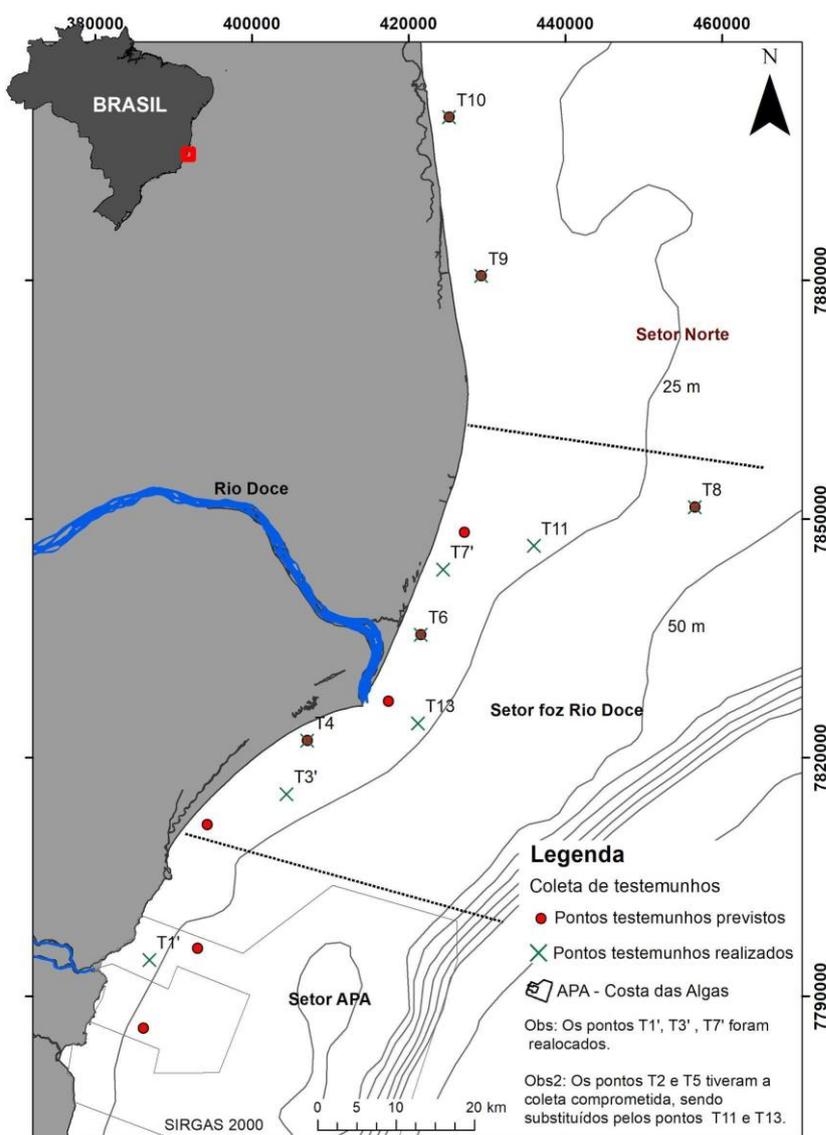


Tabela 22: Coordenada dos pontos de testemunho coletados, em UTM Sirgas 2000.

SUBPROJETO	NOME DA ESTAÇÃO AMOSTRAL	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE
Mapeamento de Habitats	RRDM-SCRD-T09	T9	7880574	429282
Mapeamento de Habitats	RRDM-SCRD-T10	T10	7900546	425220

#### 2.3.2.1.1 Descrição Granulométrica, Composicional e Mineralógica dos Testemunhos

A seguir são destacadas as características sedimentares de cada testemunho, que auxiliam na compreensão dos processos atuantes na plataforma continental. Vale destacar que a descrição granulométrica foi realizada apenas nos primeiros 30 cm para cada testemunhos, visto que o objetivo é apenas destacar a sedimentação recente.

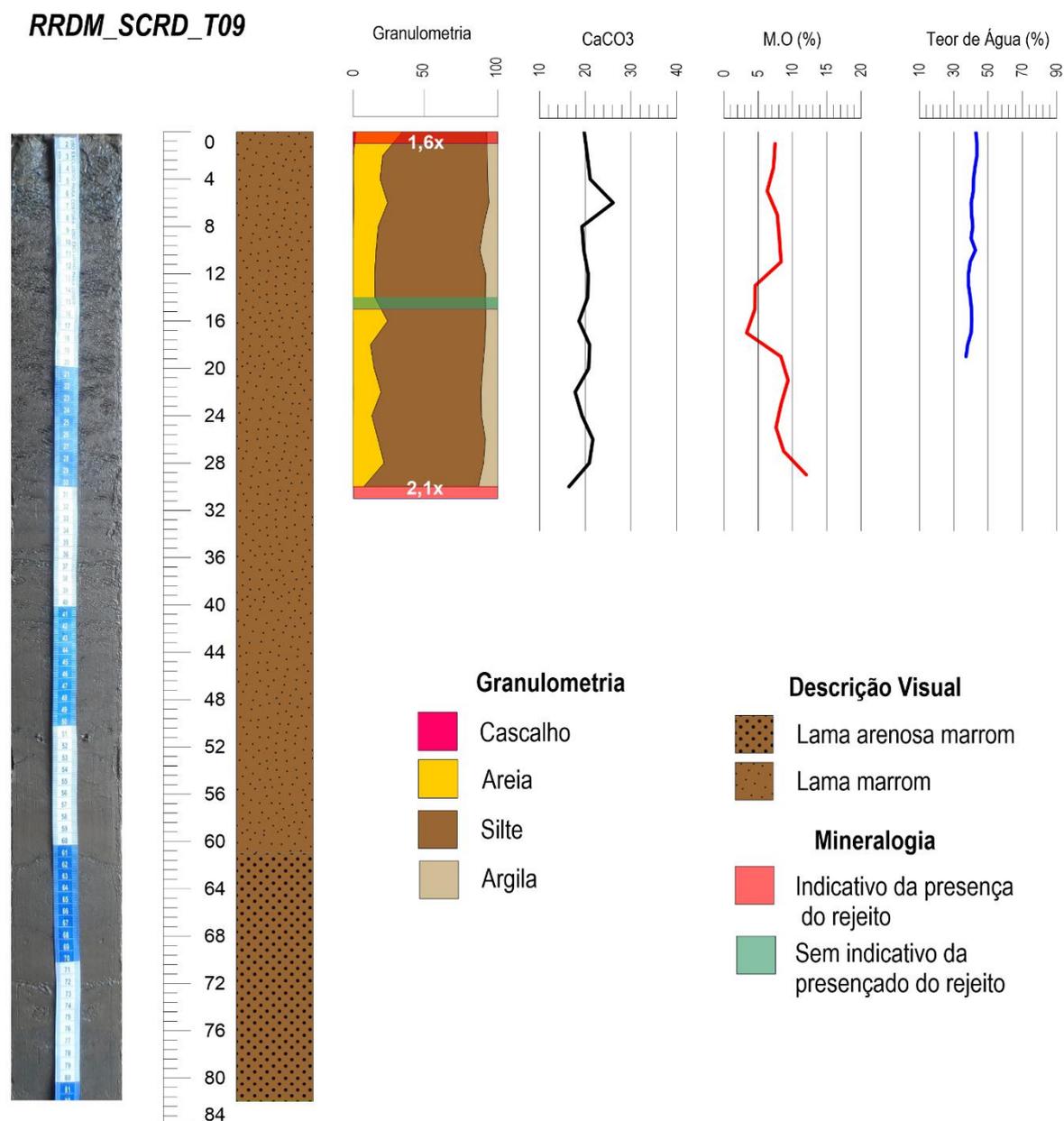
- Testemunho RRDM\_SCRD\_T09

O Testemunho RRDM\_SCRD\_T09 foi coletado ao norte da desembocadura do rio Doce, próximo a Degredo, a 15 metros de profundidade (Figura 62) e obteve 82 cm de recuperação (Figura 63). A descrição visual mostrou a presença de uma lama arenosa marrom de sua base até 61 cm, seguido de lama marrom até o topo.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T09, apresentou uma variação ao longo dos extratos, com um decréscimo entre base e topo. Os valores máximos são observados entre 30-29 cm (12%), seguido de um decréscimo até a profundidade de 18-17 cm com os menores valores percentuais (3,3%). Entre 16-15 até o topo, foi observado um aumento dos valores percentuais de M.O, em sua base, temos 7,4%. Já o percentual de água do RRDM\_SCRD\_T09 se manteve constante ao longo dos extratos, média de 40%.

A descrição da composição granulométrica até os primeiros 30 cm, mostrou um predomínio lamoso ao longo dos extratos, média de 80%. Contudo foi observado um aumento na porcentagem de areia em direção ao topo, com os maiores valores observados de areia e cascalho para o primeiro estrato (1-0 cm) com 32,3 e 1,8% respectivamente. O percentual de carbonato ao longo dos extratos se manteve constante com valores médios de 20%, com exceção do centímetro 6-7 (26%).

Figura 63: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM\_SCRD\_T09 coletado na plataforma continental ES.



Os resultados de susceptibilidade magnética obtidos a partir das amostras do testemunho T9 mostrou, para o estrato 30 - 31 cm, um valor 2.1 vezes maior que a referência. Para o estrato de 14 a 15 cm, o valor foi próximo ao da referência. Para o primeiro centímetro do topo, o resultado foi 1.6 vezes maior que a referência.

Os teores das fases minerais associadas ao rejeito (H+Mh+M+G+Gt), bem as fases associadas aos alumino-silicatos (CaSiO+ H<sub>2</sub>O, Gibbsite e SiO<sub>2</sub>+ Alumino-Silicatos), aos carbonáticos (Aragonita, CaCO<sub>3</sub>) e outros (Ca,Fe)(OH)Br estão apresentados na Tabela 8 para os estratos analisados no testemunho T9.

Tabela 23 : Fases mineralógicas para o testemunho 09

Testemunho	Estratos Analisados	Fases mineralógicas						
		H+Mh+M+G+Gt	Aragonita (Ar)	CaCO <sub>3</sub> (CaC)	Gibbsite (Gb)	CaSiO+ H <sub>2</sub> O	(Ca,Fe)(OH)Br	SiO <sub>2</sub> + Aluminio-Silicatos
T9	0 - 1 cm	< 5%	43%	6%	< 5%	< limite de detecção	< limite de detecção	43%
	14 - 15 cm	< limite de detecção	< 5%	7%	9%	< limite de detecção	< limite de detecção	84%
	30 - 31 cm	< 5%	40%	12%	10%	< limite de detecção	< limite de detecção	31%

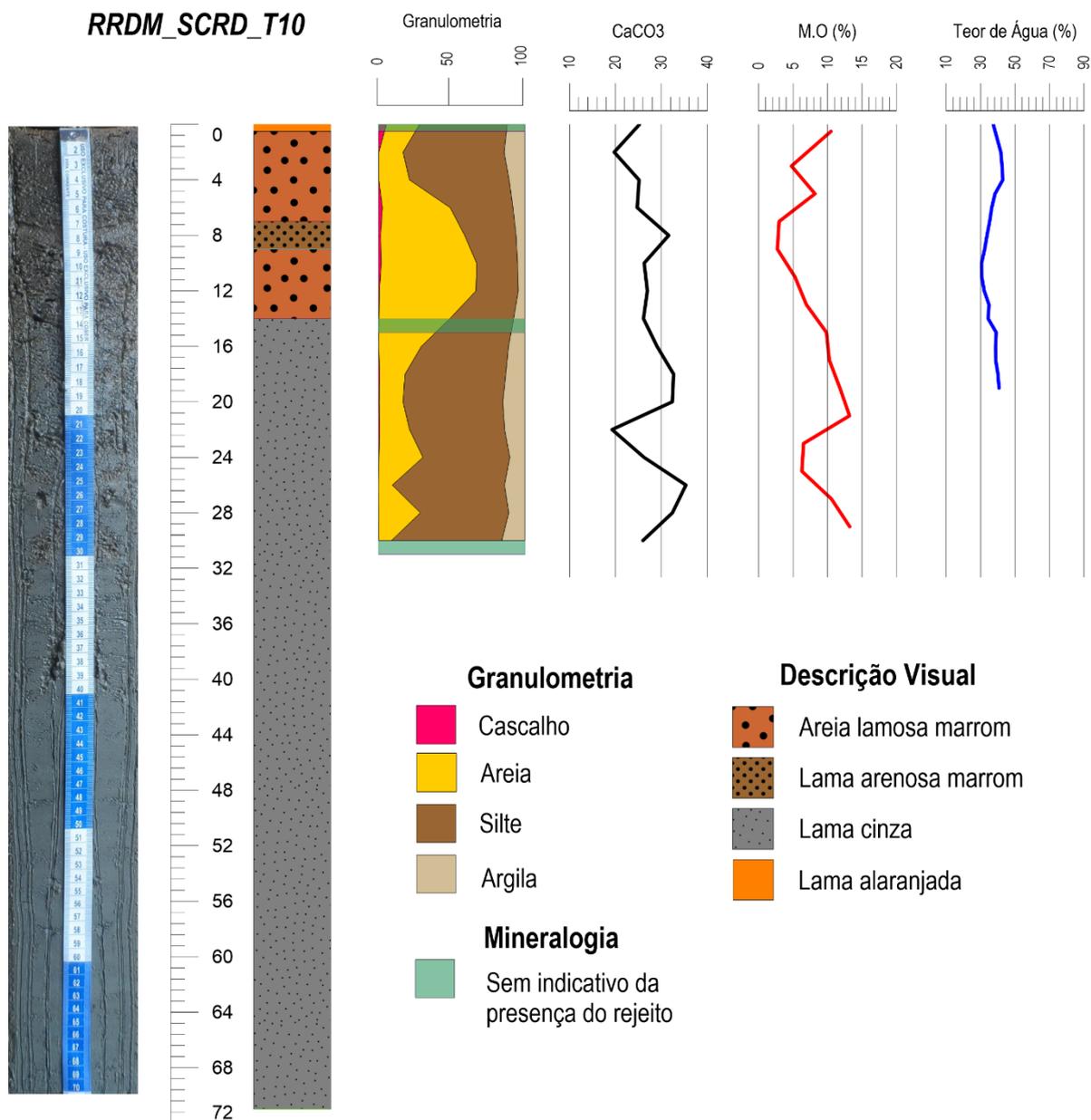
- Testemunho RRDM\_SCRD\_T10

O Testemunho RRDM\_SCRD\_T10 foi coletado ao norte da desembocadura do rio Doce, próximo a Degredo, sendo o testemunho mais ao norte, a 15 metros de profundidade (Figura 62) e obteve 71 cm de recuperação (Figura 64). A descrição visual mostrou a presença de lama cinza entre a sua base e 13cm de profundidade. Entre 13 e 8 cm foi observado areia lamosa marrom. Já entre 8 e 6 cm uma lama arenosa marrom seguido por uma areia lamosa marrom entre 6 e 0,5 cm. Por fim, é importante ressaltar a presença de uma lama laranja entre 0,5 e 0 cm.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T10, apresentou uma variação ao longo dos extratos, com uma tendência de redução em direção ao topo. Sua base apresenta valores de 13,2%, com uma redução até o estrato de 24-23 cm (6,5%), seguido de um incremento no estrato entre 22-21 (13,2%). Entre 20-19 e 8-7, foi observado um decréscimo nos valores percentuais, de até 2,7%. Por fim, nos primeiros centímetros, entre 6 e 0,5 cm, valores médios de 7,8%, apresentando a base valores de 10,50% (2-0,5 cm). Já o percentual de água do RRDM\_SCRD\_T10 se manteve constante ao longo dos extratos, média de 37%.

A descrição da composição granulométrica até os primeiros 30 cm, mostrou um predomínio lamoso. Entre a base e 15-14 cm uma média de 76% de lama. Entre os centímetros 15-14 até 9-8 ocorreu uma mudança no padrão de sedimentação, ou seja, predomínio arenoso, média de 59% de areia. Por fim, no topo do testemunho é observado novamente o padrão lamoso, com média de 71%. O percentual de carbonato ao longo dos extratos apresentara uma média de 26%. Em alguns extratos (29-28 cm, 27-26 cm, 21-20 cm e 19-18 cm) o percentual esteve acima dos 30%, mostrando um incremento de uma sedimentação carbonática.

Figura 64: Descrição visual, composição granulométrica, conteúdo de carbonato, teores de matéria orgânica e água para o testemunho RRDM\_SCRD\_T10 coletado na plataforma continental ES.



Os resultados de susceptibilidade magnética obtidos a partir das amostras do testemunho T10 mostraram valores próximos ao valor de referência ao longo de todos os estratos analisados (30 - 31 cm, 14 - 15 cm e 0 - 0.5 cm).

Os teores das fases minerais associadas ao rejeito (H+Mh+M+G+Gt), bem as fases associadas aos alumino-silicatos (CaSiO+ H<sub>2</sub>O, Gibbsite e SiO<sub>2</sub>+ Alumino-Silicatos), aos carbonáticos (Aragonita, CaCO<sub>3</sub>) e outros (Ca,Fe)(OH)Br estão apresentados na Tabela 24 para os estratos analisados no testemunho T10.

Tabela 24 : Fases mineralógicas para o testemunho 10

Testemunho	Estratos Analisados	Fases mineralógicas						
		H+Mh+M+G+Gt	Aragonita (Ar)	CaCO <sub>3</sub> (CaC)	Gibbsite (Gb)	CaSiO+ H <sub>2</sub> O	(Ca,Fe)(OH)Br	SiO <sub>2</sub> + Aluminio-Silicatos
T10	0 - 0.5 cm	< limite de detecção	7%	14%	23%	< limite de detecção	< limite de detecção	56%
	14 - 15 cm	< limite de detecção	24%	7%	10%	< limite de detecção	< limite de detecção	59%
	30 - 31 cm	< limite de detecção	14%	< 5%	6%	< limite de detecção	< limite de detecção	78%

### 2.3.2.1.2 Descrição Geoquímica

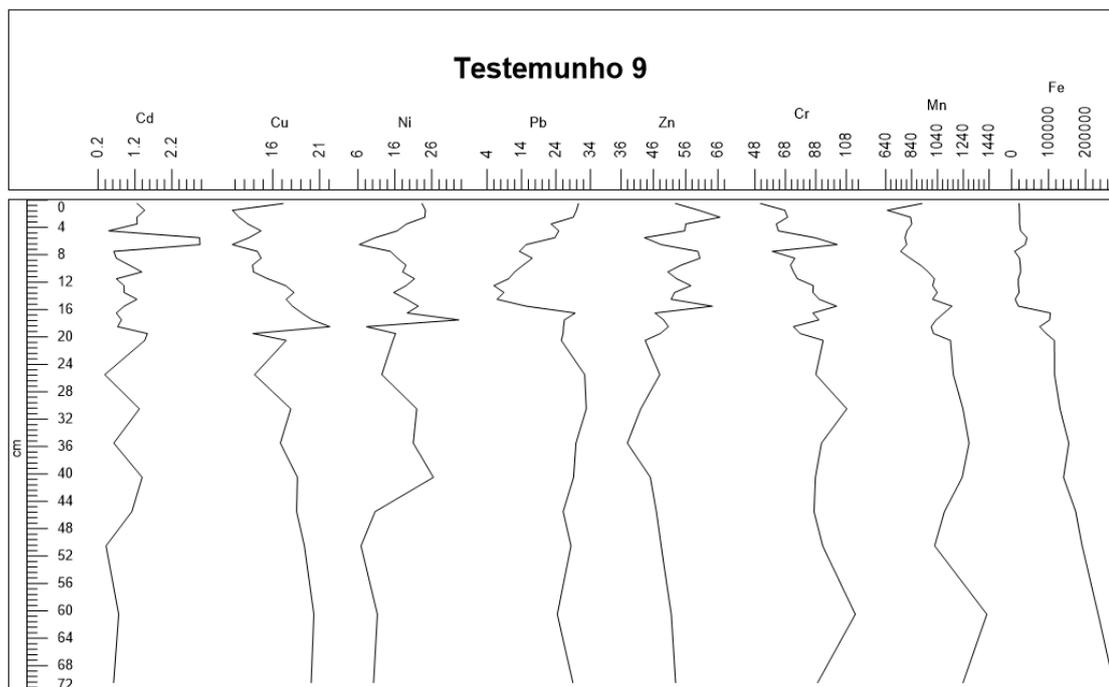
#### Testemunho 9

O testemunho 9 (T9) possui 71 cm de comprimento e foi subdividido de 1 em 1 cm até 21 cm e depois disso de 5 em 5 até a base. A concentração de Cd no topo se mostrou 2x superior à da base (Figura 65). A maior concentração foi registrada em 6-7 cm, 2,96  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , e a maioria das concentrações de Cd ao longo do T9 foram superiores ao limite TEL.

O Cu apresentou valor de base ligeiramente ao de topo, com a razão entre esses dois valores igual a 0,9. O maior valor de Cu ocorreu em 18-18cm (22,09  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), e algumas concentrações encontradas abaixo da profundidade de 15-16 cm ultrapassaram o limite TEL.

O Ni apresentou razão entre as concentrações de topo e base igual a 2 e a maior concentração observada em 17-18 cm, e a maioria dos valores ao longo do T9 ultrapassaram o limite TEL.

Figura 65: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) e ferro (Fe) em  $\mu\text{g/g}$  ao longo do testemunho 9 com 71 cm de profundidade.



A concentração de Pb no topo foi ligeiramente superior à de base, com a razão entre os dois valores igual a 1,1. O pico máximo de Pb ocorreu em 30-31 cm, com valor de  $32,79 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , valor que ultrapassou o limite TEL. Ao longo do T9 poucos valores extrapolaram o limite TEL, a amostra no topo e as amostras entre 25 e 31 cm.

O Zn apresentou concentração máxima (Tabela 25) em 2-3 cm, e não foram observadas diferenças expressivas entre as concentrações de topo e base que apresentaram razão igual a 1, no entanto há uma ligeira tendência de aumento das concentrações em direção ao topo (Figura 65).

Para o Cr observou-se, de modo geral, a diminuição das concentrações em direção à superfície (Figura 65), e razão entre as concentrações de topo e base igual a 0,6. À exceção do valor de topo, todas as concentrações de Cr ao longo do T9 ultrapassaram o limite TEL., e o valor máximo foi registrado em 60-61 cm.

O Mn e o Fe também apresentaram tendência de diminuição dos valores em direção à superfície (Figura 65), com valores máximos (Tabela 25) próximos à base do testemunho. As menores concentrações de Fe no topo do testemunho podem ser associadas à menor concentração de lama (65,89%) nesta profundidade, enquanto em maior profundidade, esses teores aumentam (85,44% em 20-21 cm).

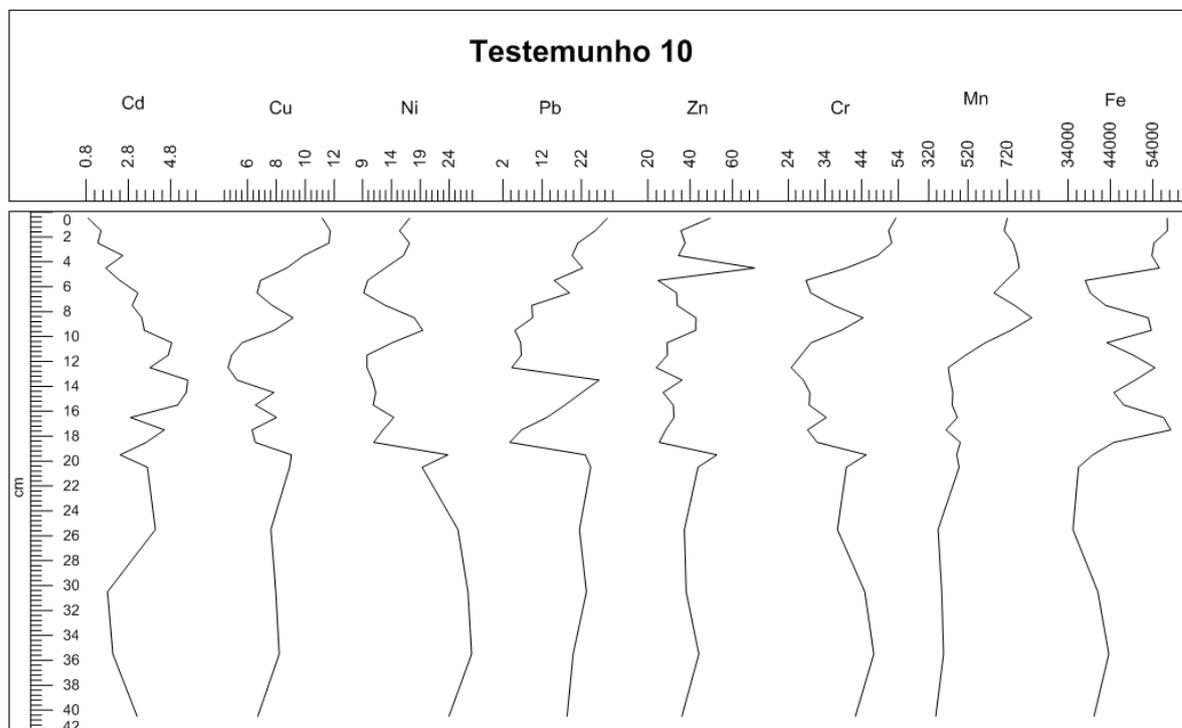
Tabela 25: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T9.

Elemento	Média±EP	Mínimo	Máximo
Zn	51,67±1,24	37,959	66,64
Cu	16,44±0,53	11,706	22,09
Pb	22,28±1,53	5,979	32,79
Cr	82,75±2,74	51,577	113,93
Ni	17,40±1,16	6,404	33,36
Cd	1,10±0,11	0,383	2,96
Mn	1.008,99±33,55	652,840	1.421,8
Fe	77.788,71±13769,36	7886,341	275.689,1

### Testemunho 10

O testemunho T10 tem 41 cm de comprimento e foi sub amostrado de 1 em 1 cm até 21 cm e depois disso de 5 em 5 cm até a base (Figura 66). Zinco, chumbo e cobre apresentaram concentrações abaixo do valor TEL para cada elemento. O cromo apresentou concentração ligeiramente superior ao valor de TEL apenas no topo do testemunho (53,33 mg.kg<sup>-1</sup>). Níquel ultrapassou o valor de TEL ao longo de boa parte do testemunho, próximo ao topo (16,09-17,16 mg.kg<sup>-1</sup>), entre 8 e 10 cm (17,97-19,40 mg.kg<sup>-1</sup>) e de 19 cm até a base (19,30-27,85 mg.kg<sup>-1</sup>). Ao longo de todo o testemunho T10 Cd ultrapassou os limites de TEL ou PEL. O valor de PEL foi ultrapassado principalmente entre as profundidades de 10 e 18 cm (4,50-5,61 mg.kg<sup>-1</sup>).

Figura 66: Concentrações de cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), manganês (Mn) em ferro (Fe) em  $\mu\text{g/g}$  ao longo do testemunho 10 com 42 cm de profundidade.



Considerando-se as diferenças de concentrações entre topo e base do testemunho, Cu, Pb e Mn apresentaram concentrações até 2x maiores no topo. Zn, Cr e Fe apresentaram concentrações de topo ligeiramente superiores às da base, e o Cd foi o único elemento que apresentou concentrações mais elevadas na base em relação ao topo, aproximadamente 4x (Figura 66). A Tabela 26 apresenta os resultados de estatística básica para o testemunho T10.

Tabela 26: Média, erro padrão, mínimo e máximo para os metais no testemunho T10.

Elemento	Média $\pm$ EP	Mínimo	Máximo
Zn	36,82 $\pm$ 2,05	23,92	70,59
Cu	8,22 $\pm$ 0,39	5,06	12,12
Pb	16,51 $\pm$ 1,57	3,71	28,59
Cr	37,83 $\pm$ 1,75	24,75	53,33
Ni	16,01 $\pm$ 1,16	9,21	27,85
Cd	3,26 $\pm$ 0,26	0,90	5,61
Mn	562,63 $\pm$ 32,19	355,40	844,58
Fe	47.591,06 $\pm$ 1.490,97	35.117,47	58.264,05

O teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,0500$ ) revelou diferenças significativas entre os testemunhos para todos os elementos analisados (Tabela 27), o que provavelmente é reflexo dos diferentes padrões de sedimentação e aporte de sedimentos em suspensão para cada região onde foram amostrados os testemunhos.

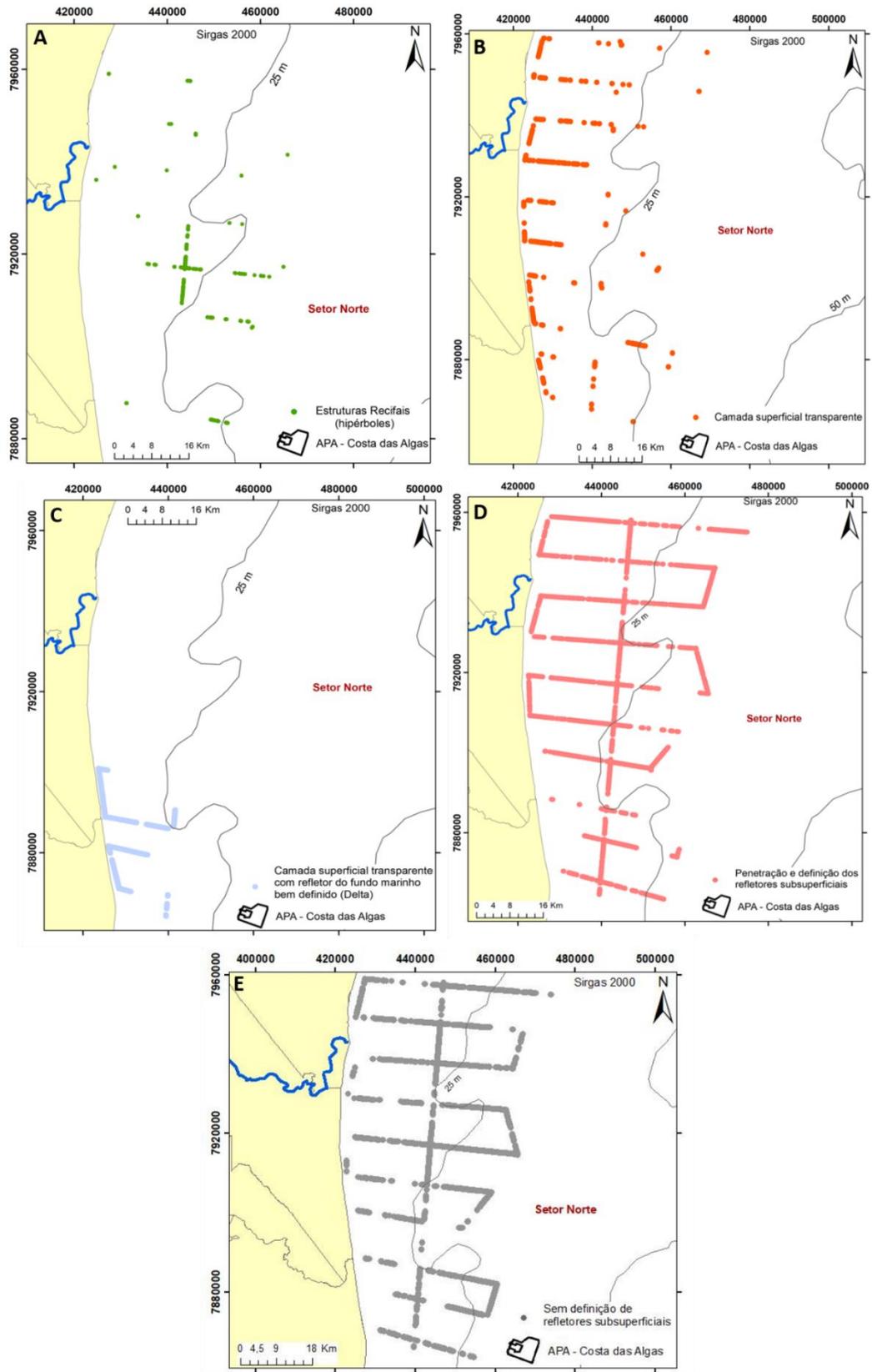
Tabela 27: Resultados do teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,0500$ ) para Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Cd, Fe e Mn entre os testemunhos T3, T6, T7, T8 e T10.

<b>Metal</b>	<b><i>p</i></b>
Zn	0,0000
Cu	0,0000
Pb	0,0032
Cr	0,0000
Cd	0,0000
Ni	0,0000
Mn	0,0000
Fe	0,0000

### 2.3.2.2 Sísmica

Na Figura 67 a seguir é possível observar a distribuição espacial dos ecocaráteres ao longo do setor Norte.

Figura 67: Localização do padrão de Ecocaráter do tipo Estruturas Recifais (A), Camada superficial transparente (B), ; Camada superficial transparente com refletor do fundo marinho bem definido (Delta) (C) Penetração e definição dos refletores subsuperficiais (D) e Sem definição de refletores subsuperficiais (E) com foco no setor Norte.



Para o Setor Norte, a presença de estruturas recifais indicam a presença de estruturas proeminentes, apresentando formas como pináculos ou bancos recifais coalescidos, podendo atingir alturas de até 12 metros e largura de até 250 metros. Registros sísmicos similares, porém, obtidos por uma fonte boomer foram apresentados por Bastos et al. (2015) na plataforma interna de Abrolhos.

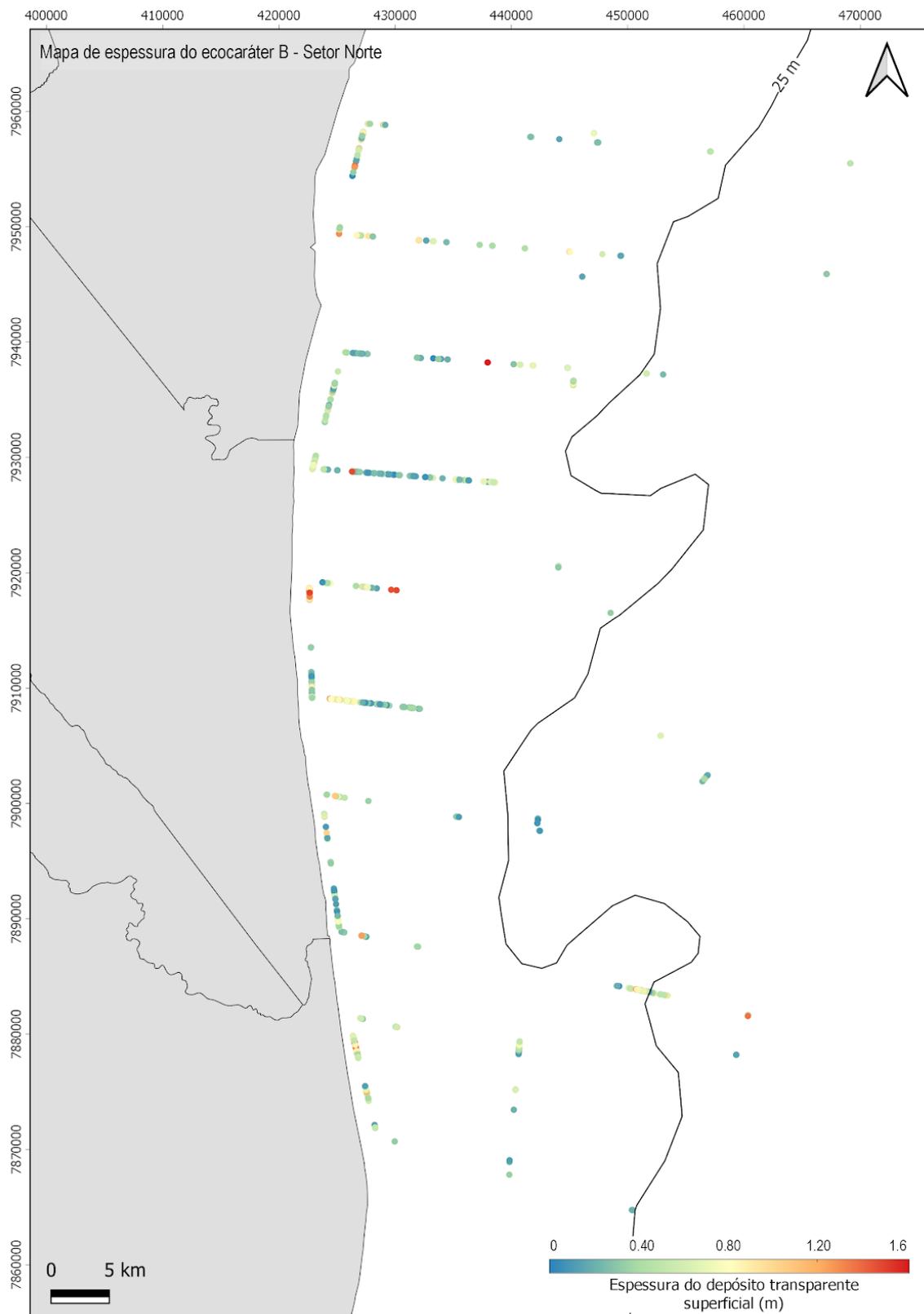
Neste setor, as estruturas recifais demarcadas pelo ecocaráter A (Figura 67, A) voltam a apresentar uma distribuição espacial significativa, a exemplo do que ocorreu no o setor APA. Contudo, nesta região, as estruturas recifais são majoritariamente pontuais e com relevo significativamente variável, porém bem inclinado, corroborando com os resultados de Vieira et al. (2019). A região central do setor é a que apresenta a maior densidade destas estruturas. Ao norte desta região as estruturas passam a se apresentar de maneira mais esparsa, assim como ao sul do setor, porém em maior quantidade de observações.

De uma maneira geral, os ecocaráteres D e E (Figura 67, D e E) são os mais abrangentes neste setor, enquanto o ecocaráter C apresentou uma distribuição essencialmente costeira e ao longo do extremo sul da área (Figura 67, C). O eco E apresenta uma distribuição mais contínua a direita dos transectos de verificação do que à esquerda, o que pode ser um indicativo da transição entre um regime sedimentar costeiro dominado pelo aporte terrígeno de finos para um domínio carbonático característico da plataforma sedimentar rasa de Abrolhos. Esses padrões de distribuição espacial dos ecos, bem como a distribuição do delta do rio Doce no extremo norte de sua foz corroboram com todos os relatos de Vieira et al. (2019) para o setor.

Neste setor o ecocaráter B apresentou novamente uma distribuição espacial bastante abrangente, estando essencialmente restrito aos transectos costeiros (Figura 67, B). Aparentemente, não foi observada sua sobreposição espacial com o Eco A da região central, onde foi observado o maior adensamento destas estruturas recifais. Como citado anteriormente, o relevo relativamente mais inclinado das estruturas desta região pode ser considerado como um fator dificultador no processo de trapeamento dos sedimentos finos. Contudo, há de se ressaltar que a grande abrangência do ecocaráter B neste setor também indica elevada possibilidade de ocorrência do rejeito uma vez que estamos falando do maior setor dentre todos os que foram descritos.

A partir da Figura 68 foi possível analisar como a espessura do depósito transparente relativo ao ecocaráter B se distribuiu espacialmente ao longo do setor Norte. Em geral, as maiores espessuras também seguiram a tendência de distribuição costeira do ecocaráter, mas também foram observadas espessuras significativas em profundidades intermediárias e nos limites offshore deste setor. Portanto, apesar deste ecocaráter se distribuir de maneira esparsa ao longo deste setor, observa-se a maior ocorrência de depósitos espessos dentre os três setores analisados.

Figura 68: Espessura do ecocaráter B no Setor Norte.



## 2.4 ANÁLISE DE RESULTADOS (MAPEAMENTO DE HABITATS)

### 2.4.1 Dados batimétricos e sísmico

Os trabalhos de Quaresma et al. (2015), Bastos et al. (2015), Moura et al. (2013), Amado Filho et al. (2012), Bourguignon et al. (2018), Brasileiro et al. (2018) e Vieira et al. (2019) apresentam a base conceitual do conhecimento sobre a plataforma continental do Espírito Santo e de Abrolhos, em seu contexto morfológico, faciológico e de distribuição de habitats (Figura 69 e Figura 70). Esse trecho da margem leste brasileira é marcado por uma tendência de estreitamento da plataforma continental até a foz do Rio Doce, seguido por um amplo alargamento da plataforma, que passa a ser conhecida como Plataforma de Abrolhos. Além disso, os processos sedimentares e físicos ao longo do tempo também imprimiram características morfo-sedimentares que levam a setorização da plataforma em: Plataforma de Abrolhos (Setor NORTE), Plataforma do Rio Doce (Setor RIO DOCE) e Plataforma de Paleovales (Setor APA), segundo Bastos et al. (2015). Moura et al. (2013) apresentaram um primeiro panorama geral sobre a distribuição de recifes e fundos de rodolitos na plataforma de Abrolhos e, mais recentemente, Vieira et al. (2019) apresentam uma discussão ampla sobre a variação do regime de sedimentação terrígena e carbonática ao longo dos diferentes compartimentos. Esse contexto regional foi e é fundamental para a definição dos pontos de monitoramento, bem como para definição das áreas a serem mapeadas.

Figura 69: Mapa batimétrico para a plataforma continental do Espírito Santo, juntamente com os dados do Anexo 3 Marinho Integrado.

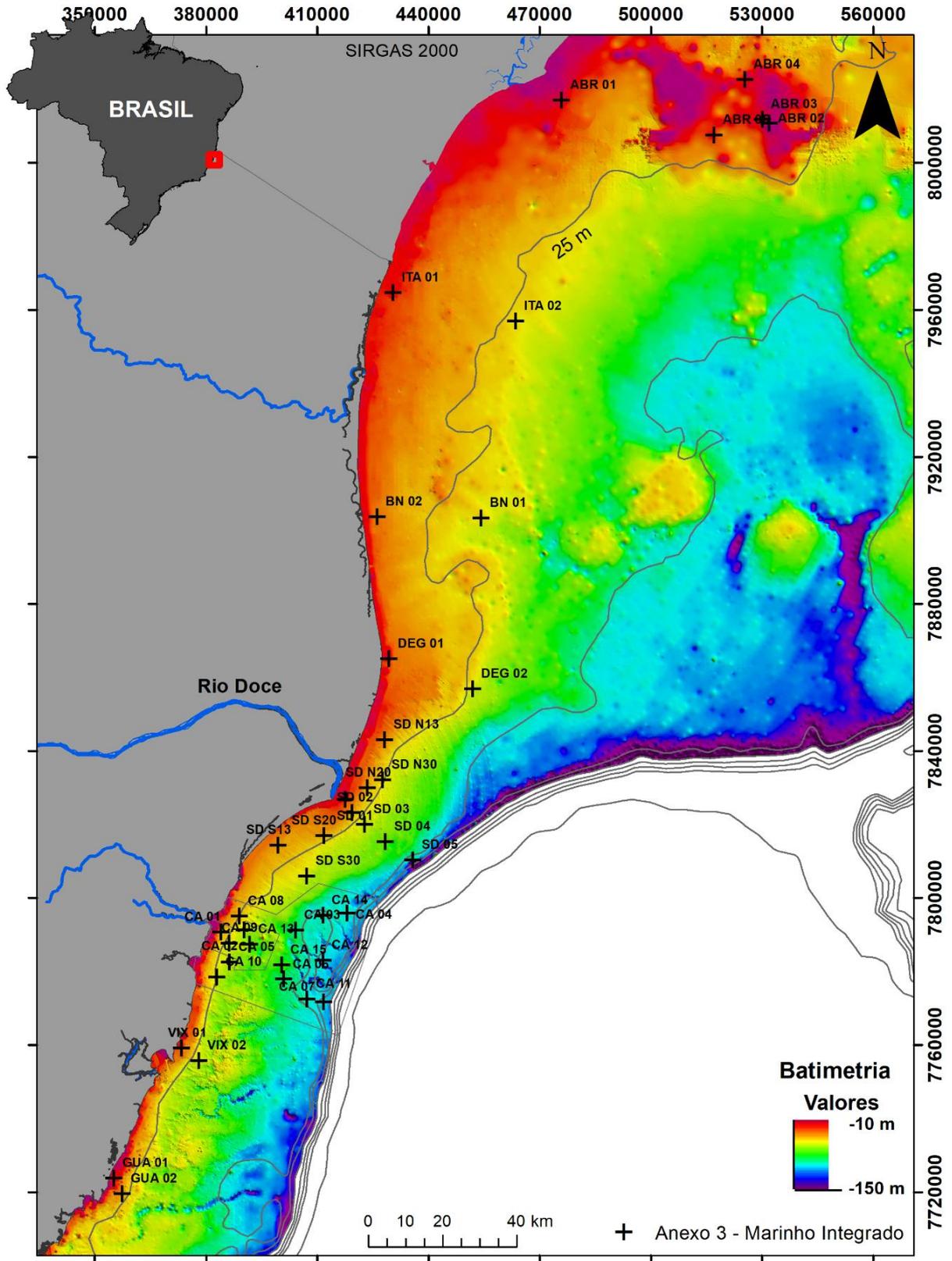
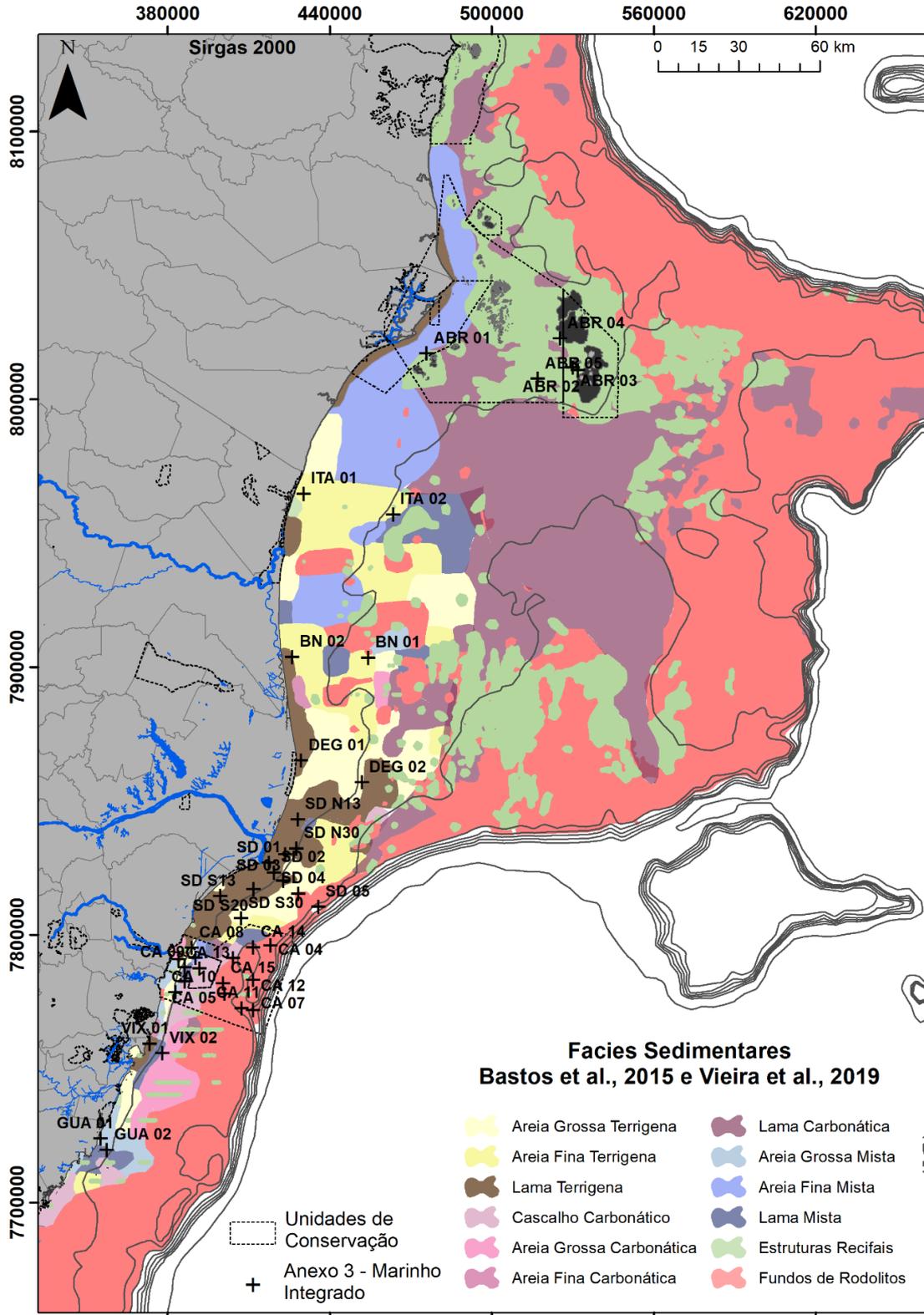


Figura 70: Mapa faciologico da plataforma continental do Espírito Santo, juntamente com os pontos do Anexo 3 – Marinho Integrado.



De uma maneira resumida, a plataforma continental que está sendo estudada possui um regime de sedimentação misto, que combina uma área de grande aporte sedimentar (Rio Doce) e áreas conhecidas como plataformas famintas, mas que conceitualmente são plataformas carbonáticas formadas por fundos de rodolitos e fundos recifais. Essa característica sedimentar distinta é ainda representada pela morfologia de fundo da plataforma, que mostra a ocorrência de um lobo deltaico na foz do Rio Doce, com areias em lençol. Ao sul da foz, fundos irregulares com paleovales e estruturas rígidas são marcados pelo baixo aporte sedimentar, pela influência de eventos de ressurgência e domínio de sedimentação carbonática. Ao norte da foz do Rio Doce, o alargamento da plataforma altera o padrão de sedimentação, mostrando um mosaico de sedimentação mista na plataforma interna e o total domínio carbonático na plataforma externa.

Essa descrição regional controla, definitivamente, o padrão de distribuição de habitats bentônicos. No caso das três áreas acusticamente imageadas neste estudo, é importante ressaltar que essas áreas podem ser definidas como representantes dos 3 compartimentos definidos por Bastos et al. (2015) e usados e corroborados em Vieira et al. (2019). Como esperado, se compararmos as 3 áreas, veremos que os setores APA e NORTE, apresentam uma maior heterogeneidade de classes estruturantes de habitats recifais, se mostrando efetivamente como áreas de potencial importância para a biodiversidade bentônica. Essa análise não é desconhecida para o caso da Unidade de Conservação Apa Costa das Algas, uma vez que é justamente uma região reconhecidamente importante na biodiversidade de algas calcáreas vermelhas, formadoras de rodolitos, além das macroalgas (Villas-Boas et al., 2009 e Horta et al., 2016), bem como na sua complexidade morfológica (Bastos et al., 2015 e Bourguignon et al., 2018). Já a área mapeada do Setor NORTE, embora descrita em Vieira et al. (2019), ainda é pouco conhecida e este estudo está mostrando a extensa área de ocorrência de fundos recifais e apontando para registros de uma dinâmica sedimentar até então desconhecida na região. As formas de fundo mapeadas como furrows são indicativos de intensas correntes unidirecionais (não oscilatórias) que são ainda influenciadas pela morfologia dos recifes.

O mapeamento da foz do Rio Doce também está mostrando um padrão morfológico desconhecido e de significativa importância para o entendimento do padrão de sedimentação e redistribuição dos sedimentos na região. Escarpas erosivas e sulcos transversais mapeados podem ser indicativos de processos erosivos de alta energia, produzindo depósitos ou formas de fundo do tipo *ripple scour depressions*, *megaripples* e *hummockies*. Estas formas de fundo estão relacionadas a eventos de tempestade e podem indicar um mecanismo de transporte de sedimento para regiões de maior profundidade na plataforma interna e média. Do ponto de vista do impacto na biodiversidade, o levantamento na foz do Rio Doce mostrou o potencial de uma alta frequência de material em ressuspensão junto ao fundo, o que pode impactar diretamente na macrofauna bentônica. Os resultados apontam para fundos com lamas fluidas e constante ressuspensão. A coincidência de termos mapeado a área antes e depois de uma tempestade tropical, seguida de uma frente fria, indicou o potencial de ressuspensão do fundo, onde as medidas de profundidades mostraram uma variação

que não teve um padrão, mas que eventualmente alcançou até 25 cm de diferença antes e depois dos eventos.

Ao integrarmos os mapeamentos acústicos de batimetria multifeixe e ecocarater com perfilador de subfundo, podemos visualizar que existe uma tendência de constante ressuspensão em boa parte da plataforma interna na área de estudo. Porém, é importante ressaltar que as análises acústicas de mapeamento refletem sempre uma imagem congelada do fundo marinho, ou seja, os dados representam o fundo naquele momento do levantamento. Considerando uma região dinâmica como a foz do Rio Doce, não seria absurdo pensar em um possível monitoramento acústico mensal do fundo marinho, visando sempre caracterizar a variabilidade do padrão de fundo durante as coletas. Uma das principais questões associadas às análises temporais e espaciais é justamente a falta de conhecimento do fundo no momento das coletas, ou melhor dizendo, o que está sendo efetivamente coletado.

No que diz respeito às análises associadas ao impacto nos habitats, há que se fazer a integração de todos os dados de imagens e coletas de sedimento de fundo do anexo para termos uma resposta mais adequada, porém, no que diz respeito aos resultados acústicos e de imagens de fundo obtidos neste subprojeto, podemos afirmar que:

A plataforma externa no Setor APA COSTAS DAS ALGAS é um ambiente de grande heterogeneidade de habitats, extensivamente dominado por fundos de rodolitos e com áreas onde há formação de crostas e fundos recifais dominados por algas calcáreas vermelhas. As imagens obtidas não indicam soterramento ou acúmulo de lama, porém isso não retira a potencialidade de impacto ambiental. As análises de verdades de campo e de parâmetros químicos e bióticos é que poderão apontar o impacto direto ou não. Além disso, o fato da morfologia ser bastante irregular, pode ainda criar áreas preferenciais de acúmulo, por exemplo, no fundo dos canais. No que tange o conhecimento regional dos habitats, o mapeamento acústico por perfilador de subfundo apresenta a presença de estruturas recifais na região mais rasa (possivelmente formadas por lateritas), sendo que as mesmas podem estar sendo recobertas por sedimento fino, conforme indica o padrão de reflexão transparente.

A FOZ DO RIO DOCE apresenta evidências acústicas de grande mobilização do fundo marinho e a análise morfológica de detalhe indica que processos sedimentares podem transportar sedimento de fundo para regiões de maior profundidade. A ocorrência de bancos ou megaripples arenosas na faixa de profundidade acima de 22 m precisam ser melhor compreendidas. Isso mostra uma mudança de habitat de fundo, mas também indica uma dinâmica até então desconhecida.

A área de mapeamento no Setor NORTE ainda é pequena, mas já permitiu o mapeamento de mais de 900 estruturas recifais em forma de pináculos ou “cabeços recifais” com relevo significativo. Essas feições ocorrem em áreas que potencialmente estão em um regimento de intensa dinâmica sedimentar em função das formas de fundo observadas. Interessante avaliar o possível impacto nos recifes, sendo que a classificação semi-automática indicou que morfologicamente temos 3 grupos de recifes, um grupo mais ao sul que está em profundidade mais rasa em relação ao topo, e outros dois grupos que possuem forma de relevo distintas. A distribuição desse fundo recifal, até então desconhecida em área, indica

que esta área precisa ser melhor estudada e até mesmo amostrada, para que o impacto na biodiversidade seja melhor avaliado. Da mesma maneira, seria importante termos um estudo mais detalhado do sedimento que existe em torno dos recifes e de seus indicadores geoquímicos.

## **2.4.2 Análise Geoquímica dos testemunhos**

### 2.4.2.1 Discussões

Segundo Quaresma et al. (2015), O padrão de sedimentação no setor sul da plataforma continental interna do rio Doce é dominado por lamas fluviais, sendo que durante eventos de tempestade, esses depósitos podem ser remobilizados e transportados em direção ao norte. O setor centro-norte ainda pode ser considerado uma área sob influência fluvial, mas com processos deposicionais menos intensos, sendo então uma região de passagem para sedimentos em suspensão durante eventos de tempestades, quando a deriva é revertida por ventos SSE. Já o setor norte é caracterizado pela presença de sedimentos com elevado teor de carbonato, sendo considerado um depósito mais estável. Cagnin (2018) também afirma que a pluma de sedimentos do rio Doce tende a se dispersar na direção sul da foz, contudo esse fluxo pode se inverter para a direção norte na presença de ventos SSE constantes, com alta velocidade e longa duração, cenário típico de inverno nessa região. Segundo Oliveira and Quaresma (2018) durante momentos de grande vazão do Rio Doce ventos de sul, sudeste e sudoeste são predominantemente observados na região da costa do Espírito Santo.

A partir dos resultados apresentados no presente estudo observou-se que quanto maior a proximidade com a foz do rio Doce, maiores as concentrações de metais. Essa hipótese é corroborada pelos resultados obtidos no testemunho T3, localizado ao sul da desembocadura do rio Doce que apresentou maior número de amostras com concentrações acima do nível limite de efeito (TEL) e também do nível provável de efeito (PEL) para a maior parte dos elementos estudados. Esse resultado é justificado pelo fluxo da pluma de sedimentos do rio Doce preferencialmente na direção sul da foz. Além da proximidade com a foz e fluxo da pluma preferencial na direção sul, o T3 também apresentou teores elevado de lama (>90%) e de matéria orgânica, atingindo valores de até 12,97% no topo do testemunho, o que favorece a adsorção de elementos metálicos. Dentre os testemunhos analisados até o momento o T6 também se localiza próximo à foz e assim como o T3, apresentou diversas amostras com concentrações acima de TEL e PEL, o que sugere o fluxo em direção ao norte durante condições meteorológicas específicas, causando acúmulo de metais na coluna sedimentar. O T6 também apresentou concentrações elevadas de lama (>90%) ao longo de boa parte do testemunho, assim como teores elevados de matéria orgânica, acima de 10%. Para os testemunhos mais afastados da foz do rio Doce, T7, T8 e T10, o impacto em termos de concentrações de metais acima de valores TEL e PEL, foi bem menor. O T8 foi o que apresentou menores concentrações de lama (<50%) e matéria orgânica, o que corrobora os resultados mais baixos de metais em relação aos demais testemunhos.

De forma geral, o cromo, o níquel e o cádmio se mostraram presentes em concentrações deletérias para a biota em todos os testemunhos, acima do valor limite TEL. À exceção do cádmio, os resultados do índice de geoacumulação (Figura 71, Figura 72, Figura 73) mostraram resultados classificados como

Classe 6 para todos os testemunhos e elementos. A variação de  $I_{geo}$  ao longo dos testemunhos foi insignificante para todos os elementos. Embora as concentrações brutas de cádmio tenham ultrapassado os níveis limite e provável de efeito em todos os testemunhos, o  $I_{geo}$  não classifica essas concentrações como contaminação em relação ao *background*, o que não significa que o cádmio não ofereça risco à biota.

Figura 71: Medianas, quartis, mínimos e máximos dos Índices de Geoacumulação ( $I_{geo}$ ) para Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Mn e Fe no testemunho T1 no setor APA.

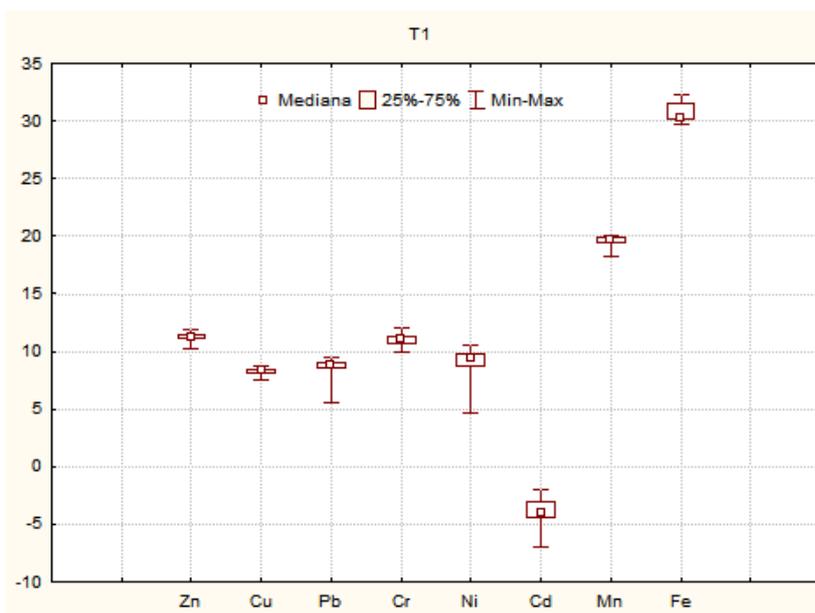
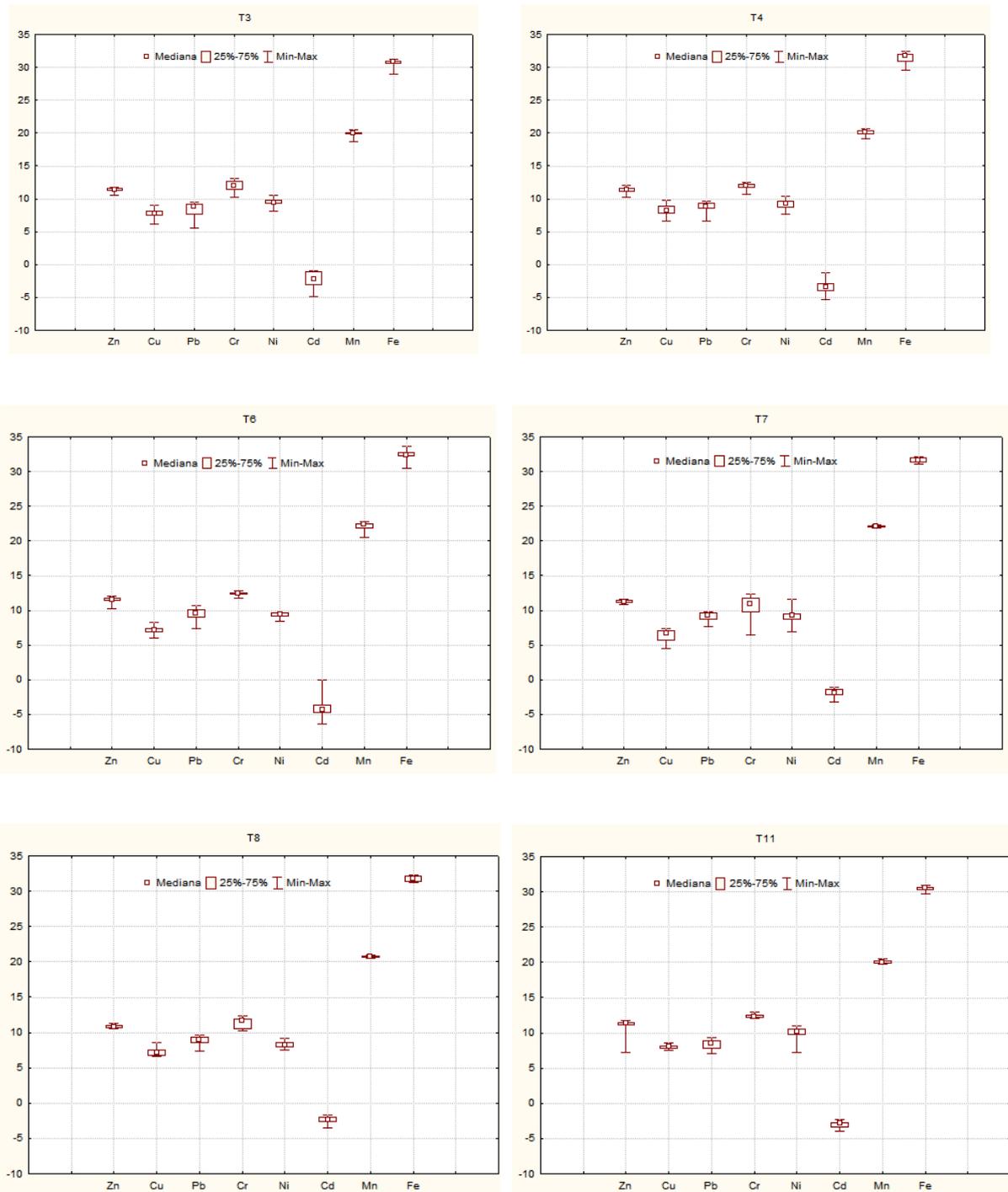


Figura 72: Medianas, quartis, mínimos e máximos dos Índices de Geoacumulação ( $I_{geo}$ ) para Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Mn e Fe nos testemunhos T3, T4, T6, T7, T8, T11 e T13 no setor foz do Rio Doce.



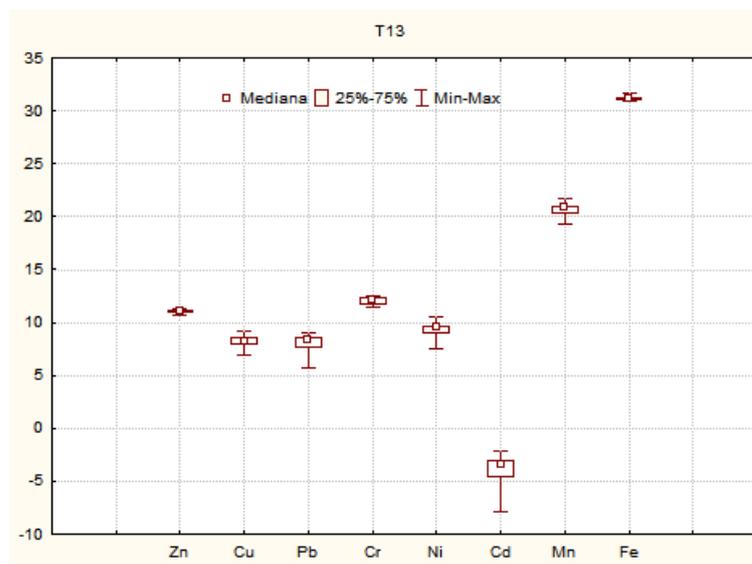
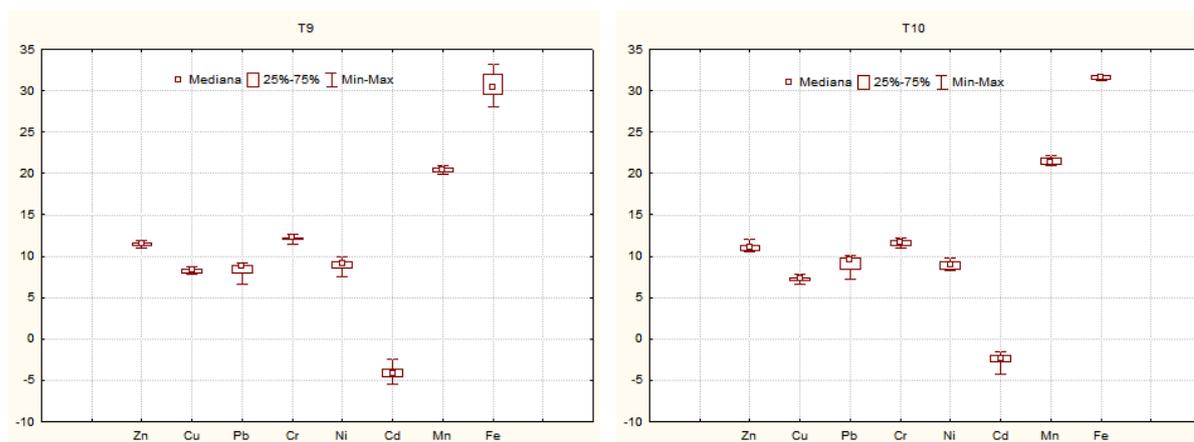


Figura 73: Medianas, quartis, mínimos e máximos dos Índices de Geoacumulação (Igeo) para Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Mn e Fe nos testemunhos T9, T10 no setor norte.



A maior contaminação foi observada para o ferro, com  $N_{Igeo} > 30$  em todos os testemunhos, à exceção do T3 que apresentou valores de  $I_{geo} > 20$ , resultado que pode ser justificado pelo aporte massivo deste elemento para a PCRD através do rio Doce, em função do rompimento da barragem de Fundão. Os maiores índices de geoacumulação para Fe foram observados no T6 na região da foz do rio Doce (Figura 72), testemunho com elevada concentração de lama (>90%) e matéria orgânica (>14%), principalmente nas profundidades onde foram observados os picos de máximo de concentração de metais em torno de 20 cm. A proximidade do T6 com a foz do rio Doce é um dos fatores que favorecem a geoacumulação de Fe nesse ponto ao longo de décadas de mineração na região estudada.

Rejeitos de mineração geralmente são ácidos devido à oxidação de compostos de enxofre. A exposição de pirita ( $FeS_2$ ) e outros minerais de enxofre ao oxigênio atmosférico resulta em uma reação intempérica extremamente ácida. O enxofre da pirita é oxidado à sulfato e íons  $Fe^{2+}$  são liberados. Uma vez iniciada essa reação pela oxidação atmosférica, estabelece-se um ciclo onde o Fe (II) é oxidado a

Fe (III) e este último é capaz de oxidar a pirita, substituindo o oxigênio e gerando novamente Fe (II) e produzindo mais acidez. Em águas acidificadas por rejeitos de mineração ( $2,6 < \text{pH} < 2,8$ ), as concentrações de manganês, níquel e cobalto pode aumentar em até 10.000x em relação aos valores de *background*. Já as concentrações de ferro, cobre e chumbo podem aumentar em até 2000, 1000 e 500x, respectivamente (Förster and Wittman, 1981).

Deve-se considerar que no trajeto ao longo do rio Doce até a foz os metais em suspensão podem sofrer transformações devido a alterações físico-químicas na porção estuarina. Existem diferenças específicas no comportamento de vários elementos metálicos em águas oceânicas e continentais, e elementos como alumínio, ferro, manganês, chumbo, zinco, cobre, titânio e cromo são efetivamente removidos da fração dissolvida ao adentrar o ambiente marinho. Elementos como ferro e cromo, por exemplo, formam rapidamente hidróxidos insolúveis, depositando-se nos sedimentos de fundo (Förster and Wittman, 1981). No entanto, um metal imobilizado no sedimento de fundo não necessariamente permanece nessa forma, mas pode ser liberado para a coluna d'água adjacente em função de mudanças físico-químicas no ambiente aquático.

Os dados do presente estudo se mostraram superiores às concentrações encontradas por Gomes et al. (2017) em sedimentos superficiais na foz do rio Doce apenas 2 dias após a chegada dos rejeitos de mineração provenientes do rompimento da barragem, que foram inferiores a  $50.000 \text{ mg.kg}^{-1}$  para ferro. No T6, por exemplo, as concentrações de Fe ultrapassaram  $50.000 \text{ mg.kg}^{-1}$  ao longo de quase todo o testemunho, ultrapassando  $110.000 \text{ mg.kg}^{-1}$  no topo (0-1 cm), sendo consideravelmente menor na profundidade imediatamente abaixo (1-2 cm), sugerindo uma deposição recente. No T3 as concentrações de ferro também ultrapassaram os valores encontrados por Gomes et al. (2017) entre as profundidades de 10 a 17 cm, atingindo valores tão elevados quanto  $70.236,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Nos demais testemunhos concentrações de Fe acima de  $50.000 \text{ mg.kg}^{-1}$  também foram observadas, no T7 com maior frequência na parte inferior do testemunho, a partir de 19 cm. No T10 as concentrações acima de  $50.000 \text{ mg.kg}^{-1}$  foram registradas na porção superior do testemunho, do topo até 5 cm. Gomes et al. (2017) encontraram concentrações de Zn após o acidente  $< 6,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ , ao passo que no presente estudo, essa concentração foi facilmente ultrapassada ao longo de todos os testemunhos, sugerindo forte aporte deste elemento para a área de estudo. Para o cromo, os referidos autores registraram concentrações  $< 30,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  dois dias após a chegada dos rejeitos na foz. No presente estudo as concentrações de Cr ultrapassaram facilmente esse valor, principalmente nos testemunhos T3 e T6, localizados perto da foz. Para os demais testemunhos observou-se concentrações de Cr  $> 30 \text{ mg.kg}^{-1}$  principalmente na porção superior dos mesmos.

### 3 REFERÊNCIAS

- Abreu, J. G. N. D., & Calliari, L. J. Paleocanais na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul: evidências de uma drenagem fluvial pretérita. **Revista Brasileira de Geofísica**, 23(2), 2005. p. 123-132 .
- Ângulo, R.J., Lessa, G.C., and Souza, M.C. A critical review of mid- to late- Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline: **Quaternary Science Reviews**, v. 25, 2006. p. 486–506.
- Appleby, P. G. & Oldfield, F. The calculation of Lead-210 dates assuming constant rate of supply of unsupported 210Pb to the sediment. **Catena** 5, (1978). p. 1–8
- Appleby, P. G. & Oldfield, F. In: **Uranium-series disequilibrium** (Orgs. Ivanovich, M. & Harmon, R. S.) (Oxford Science, 1992). p 731–778.
- Banks, K.W., Riegl, B.M., Richards, V.P., Walker, B.K., Helme, K.P., Jordan, L.K.B., Phipps, J., Shivji, M.S., Speiler, R.E., Dodge, R.E. In: **Riegl, B.M., Dodge, R.E.** (Eds.), The reef tract of continental southeast Florida (Miami-Dade, Broward and Palm Beach counties, USA), in **Coral Reefs of the USA**. Springer, Dordrecht, Netherlands. 2008. p. 175–220. [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6847-8\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6847-8_5).
- Bastos A.C., Quaresma V.S., Marangoni M.B., D'Agostini D.P., Bourguignon S.N, Cetto P.H., Silva A.E., Amado-Filho G.M., Moura R.L., Collins M. Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic carbonate shelf on the eastern Brazilian margin. **Journal of South American Earth Sciences**, 63: 2015. p 125-136.
- Bastos, A.C., Amado-Filho,G.M., Moura,R.L., Sampaio,F.M., Bassi, D., Braga .J.C. Origin and sedimentary evolution of sinkholes (buracas) in the Abrolhos Continental Shelf, **Brazil Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**. 2016.
- Belderson RH, Johnson MA, Kenyon NH (1982) Bedforms. In: **Stride AH** (ed) Offshore tidal sands: processes and deposits. Chapman & Hall, London.
- Boni, G.C. 2014. **Ecocaráteres e Processos Sedimentares na Plataforma Continental Adjacente À Desembocadura do Rio Doce (ES)**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil
- Bosence D. W. J. The occurrence and ecology of Recent rhodoliths – a review. In peryt T.M. (ed.), Coated Grains. **Springer-Verlag**, Berlin, 1983. p. 225-241.
- Bourguignon S.N., Bastos A.C., Quaresma V.S., Vieira F.V., Pinheiro H., Amado-Filho G.M., De Moura R.L., Teixeira J.B. 2018. Seabed Morphology and Sedimentary Regimes defining Fishing Grounds along the Eastern Brazilian Shelf. **Geosciences**, 8, 91.
- Brasileiro, P.S., Braga, J.C., Amado-Filho, G.M., Leal, R.N., Bassi, D., Franco, T., Bastos, A.C., 646 Moura, R.L. Burial Rate Determines Holocene Rhodolith Development On The Brazilian

647 Shelf. **PALAIOS** 33. 2018. p. 464-477.

Brooke B. P., Nichol S. L., Huang Z., Beaman R. J. Palaeoshorelines on the Australian continental shelf: Morphology, sea-level relationship and applications to environmental management and archaeology. **Continental Shelf Research**. 134. 2017. p.26.

Brown C.J., Beaudoin J., Brissette M., Gazzola V. Multispectral multibeam echo sounder backscatter as a tool for improved seafloor characterization. **Geosciences**. 9. 2019. p. 126.

Cagnin, R.C. 2018. **Geoquímica do Arsênio, dos elementos Terras Raras e dos metais pesados Cr, Zn, Ni e Pb nas plataformas continentais do Rio Doce (ES) e de Abrolhos (BA)**. Universidade Federal do Espírito Santo.

Callaway, R. Tube worms promote community change. **Mar. Ecol.-Prog. Ser.** 308. 2006. p. 49–60.

Campos, P. C., Weigert, S. C., Madureira, L. S. P. Mapeamento hidroacústico de fundo na região do Paleocanal do Albardão, RS - Brasil. In: **Anais em CD do XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar**. Florianópolis, SC. 2007.

Cesar, H., Burke, L. & Pet-Soede, L. The economics of worldwide coral reef degradation. Technical report - **Cesar environmental economics consulting** (CEEC). 2003. p. 24.

Da Silva, Gilmar S., Côrrea, L.B., Marques, A.L.B., Marques, E.P., De Nunes, M.L.F., De Sousa, E.R., Da Silva, Gilberto S. The role of metals and their fractions in the Bacanga River estuary: An example of the anthropogenic interference in a tropical ecosystem. **Rev. Virtual Quim.** 7. 2015. p. 1130–1144. doi:10.5935/1984-6835.20150063.

Davis, R.A.Jr; Dalrymple, R.W. Principles of Tidal Sedimentology, DOI 10.1007/978-94-007-0123-6\_13, © **Springer Science+Business Media B.V.** 2012. p. 20.

Dominguez, J. M. L. Sediment transfer mechanisms from the coastal zone/shelf to the slope/basin during the 400,000 yrs: a case study for the north-central shelf of Bahia state. In: **Anais em CD do 10º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica (SBGF)**. Rio de Janeiro, RJ. 2007.

Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S.P., Martin, L. Esquema evolutivo da sedimentação Quaternária nas feições deltaicas dos Rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES), e Paraíba do Sul (RJ). **Rev. Brasileira Geociências**, v. 11. 1981. p. 227-237.

Dominguez, J.M.L., Silva, R.P., Nunes, A.S., Freire, A.F.M. The narrow, shallow, low-accomodation shelf of central Brazil: Sedimentology, evolution, and human uses. **Geomorphology** 203. 2013. p. 46 e 59.

Falco, G., Tonielli, R., Martino, Di G; Innangi, S., Simeone, S., Parnumd, M.I Relationships between multibeam backscatter, sediment grain size and Posidonia oceanica seagrass distribution. **Continental Shelf Research**, 30(18). 2010. p.1941–1950. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.006>.

Ferreira, P. A. L., Siegle, E., Schettini, C. A. F., Mahiques, M. M. & Figueira, R. C. L. Statistical validation of the model of diffusion-convection (MDC) of  $^{137}\text{Cs}$  for the assessment of recent sedimentation rates in coastal systems. **J. Radioanal. Nucl. Chem.** 303. 2014. p. 2059–2071.

Ferreira, L.C.L. 2017. **Geomorfologia dos recifes submersos de Abrolhos e sua relação com as variações do nível relativo do mar**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental - UFES. Disponível em: <<http://www.oceanografia.ufes.br/pt-br/pos-graduacao/PPGOAM/detalhes-da-tese?id=13131>>

Förster, U., Wittman, G.T.W. Metal Pollution in the Aquatic **Environment**, 2nd ed. Berlim. 1981.

Foster, M.S. Rhodoliths: Between rocks and soft places. **J. Phycol.** 37. 2001. p. 659–667.

Grall, J.; Le Loc'h F; Guyonnet, B. & Riera, P. Community structure and food web based on stable isotopes ( $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) analysis of a north-eastern Atlantic maerl bed. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 338. 2006. p. 1-15.

Greene, H.G., O'Connell, V.M., Wakefield, W.W., Byrlinsky, C.K. The offshore Edgecumbe lava field, southeast Alaska: geologic and habitat characterization of a commercial fishing ground. (St Johns) In: Todd, B.J., Greene, H.G. (Eds.), Mapping the Seafloor for Habitat Characterization. 47. **Geological Association of Canada**, Canada. 2007a. p. 277–295.

Green, Andrew N.; Cooper, Andrew; Salzmann, Leslee, Geomorphic and stratigraphic signals of postglacial meltwater pulses on continental shelves. **Geology**. 42. 2014. p. 151-154. 10.1130/G35052.1.

Gomes, L.E. de O., Correa, L.B., Sá, F., Neto, R.R., Bernardino, A.F. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. **Mar. Pollut. Bull.** 120. 2017. p. 28–36. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.04.056.

Hall-Spencer, J.M. Conservation issues relating to maerl beds as habitats for molluscs. **Journal of Conchocology** Special Publ. 2. 1998. p. 271-286.

Hoegh-Guldberg, O. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. **Mar. Freshw. Res.**, 50(8). 1999. p. 839-866.

Horta, Paulo Antunes, Riul, Pablo, Amado Filho, Gilberto M., Gurgel, Carlos Frederico D., Berchez, Flávio, Nunes, José Marcos de Castro, Scherner, Fernando, Pereira, Sonia, Lotufo, Tito, Peres, Letícia, Sissini, Marina, Bastos, Eduardo de Oliveira, Rosa, João, Munoz, Pamela, Martins, Cintia, Gouvêa, Lidiane, Carvalho, Vanessa, Bergstrom, Ellie, Schubert, Nadine, Bahia, Ricardo G., Rodrigues, Ana Claudia, Rörig, Leonardo, Barufi, José Bonomi, & Figueiredo, Marcia. Rhodoliths in Brazil: Current knowledge and potential impacts of climate change. **Brazilian Journal of Oceanography**, 64(spe2). 2016. p. 117-136. <https://dx.doi.org/10.1590/S1679-875920160870064sp2>

Innangi S., Tonielli R., Romagnoli C., Budillon F., DiMartino G., Innangi M., Laterza R., Le Bas T., Lolacono C. Seabed mapping in the Pelagie Islands marine protected area (Sicily Channel, southern Mediterranean) using Remote Sensing Object Based Image Analysis (RSOBIA). **Marine Geophysical Research**. 2018. <https://doi.org/10.1007/s11001-018-9371-6>

Innangi S., Di Martino G., Romagnoli C., Tonielli R. Seabed classification around Lampione islet, Pelagie Islands Marine Protected area, Sicily Channel, Mediterranean Sea. **Journal of Maps**, 15:2. 2019. p. 153-164, DOI:10.1080/17445647.2019.156740

ISO, 1995. Soil quality, extraction of trace elements soluble in aqua regia -**ISO 11466**.

Kathren, R. L. Radioactivity in the environment: Sources, distribution and surveillance. (Harvard Academic Publishers, 1984).

Kowsmann, R.O., Costa, M.P.A. Sedimentação quaternária da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes: relatório final. Rio de Janeiro: Petrobras. Cenpes. Dintep. **Série Projeto Remac 8**. 1979

Leão Z.M.A.N., Bittencourt A.C.S.P., Dominguez J.M.L., Nolasco M.C., Martin L. The effects of holocene sea-level fluctuations on the morphology of Brazilian coral reefs. **Revista Brasileira de Geociências**. 15(2): 1985. p. 154-157.

Leão, Z. M. A. N., Dutra, L. X. C., Spanó, S. 2005. The characteristics of bottom sediments. In: Dutra, G. F.; G.R. Allen, T. Werner, and S. A. McKenna (Eds.). 2005. A Rapid Marine Biodiversity Assessment of the Abrolhos Bank, Bahia, Brazil. **RAP Bulletin of Biological Assessment 38**. Conservation International, Washington, DC, USA.

Lobban C.S. and Harrison P.J. Seaweed ecology and physiology 2nd edn. Cambridge: Cambridge University Press. 1997.

Lurton X. and Lamarche G. (Eds) (2015) Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars. **Guidelines and Recommendations**. 2015. p. 200. Disponível em: <<http://geohab.org/wp-content/uploads/2014/05/BSWGREPORT-MAY2015.pdf>>

MacDonald, D.D., Carr, S., Clader, F.D., Long, E.D., Ingersoll, C.G. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. **Ecotoxicology 5**. 1996. p. 253–278.

Martin, L.; Suguio, K. & Flexor, M.J. As flutuações de nível do mar durante o quaternário superior e a evolução geológica de "Deltas" brasileiros. In: **Boletim de Geociências-USP**, São Paulo, 1986. Publicação Especial, v. 15. 1993. p 1-186.

Moura, R.L., Secchin, N.A., Amado-Filho, G.M., Francini-Filho, R.B., Freitas, M.O., Mente-Vera, C.V., Teixeira, J.B., Thompson, F.L., Dutra, G.F., Sumida, P.Y.G., Guth, A.Z., Lopes, R.M., AND Bastos, A.C. Spatial patterns of benthic megahabitats and conservation planning in the Abrolhos Bank: **Continental Shelf Research**. 2013. p. 109–117.

- McArthur, M.A., Brooke, B., Przeslawski, R., Ryan, D.A., Lucieer, V.L., Nichol, S., McCallum, A.W., Mellin, C., Cresswell, I.D., Radke, L.C. A review of abiotic surrogates for marine benthic biodiversity. *Geoscience Australia*, Canberra, 61, **Geoscience Australia Record** 2009/42.
- McCulloch, M., Fallon, S., Wyndham, T., Hendy, E., Lough, J., & Barnes, D. Coral record of increased sediment flux to the inner Great Barrier Reef since European settlement. **Nature**, 421(6924), 727. 2003.
- Nakamura, Y., Sano, M. Comparison of invertebrate abundance in a seagrass bed and adjacent coral and sand areas at Amitori Bay, Iriomote Island, Japan. **Fish. Sci.** 71 (3). 2005. p. 543–550.
- Nelson, W.A. Calcified macroalgae – critical to coastal ecosystems and vulnerable to change: a review. **Marine and Freshwater Research**, 60: 2009. p. 787–801.
- Oliveira, K.S.S., Quaresma, V.S. Condições típicas de vento sobre a região marinha adjacente à costa do Espírito Santo. **Rev. Bras. Climatol.** 22. 2018. p. 501–523.
- Parnum I., Gavrilov A. High-frequency seafloor acoustic backscatter from coastal marine habitats of Australia. *Proceedings of Acoustic*. **Australian Acoustical Society**. 2012.
- Peña, V., & Barbara, I. Biological importance of an Atlantic European maerl bed off Benencia Island (northwest Iberian Peninsula). **Botanica Marina**. 51(6): 2008. p. 493-505.
- Quaresma, V.S., Catabriga, G., Bourguignon, S.N., Godinho, E., Bastos, A.C. Modern sedimentary processes along the Doce river adjacent continental shelf. **Brazilian J. Geol.** 45 (4). 2015. p 635–644. doi:DOI: 10.1590/2317-488920150030274.
- Rauret, G., López-Sánchez, J.F., Sahuquillo, A., Rubio, R., Davidson, C., Ure, A., Quevauviller, P. Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials. **J. Environ. Monit.** 1. 1999. p 57–61. doi:10.1039/a807854h
- Riosmena-Rodriguez, R.; Steller, D.L.; Hinojosa-Arango, G. & Foster, M.S. Reefs that rock and roll: Biology and conservation of rhodolith beds in the Gulf of California. In: Brusca, R.C. ed. **The Gulf of California: Biodiversity and Conservation**. University of Arizona and Arizona-Sonora Desert Museum Press. 2010. p. 49-71.
- Riul, P., Targino, C.H., Farias, J.D.N., Visscher, P.T., & Horta, P.A. Decrease in Lithothamnion sp.(Rhodophyta) primary production due to the deposition of a thin sediment layer. **Journal of the marine biological association of the United Kingdom**, 88(1): 2008. p 17-19.
- Rocha, G.A. 2019. **Heterogeneidade de fundos de rodolitos expressa em dados de backscatter**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental - UFES. Disponível em: <http://www.oceanografia.ufes.br/pt-br/pos-graduacao/PPGOAM/detalhes-da-tese?id=13131>
- Robbins, J. A. & Edgington, D. N. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137. **Geochim. Cosmochim. Acta** 39, p. 285–304 (1975).

Rudnick, R.L., Gao, S. Composition of the Continental Crust, in: **Treatise on Geochemistry**: Second Edition. Elsevier. 2003. p. 1–64. doi:10.1016/B0-08-043751-6/03016-4.

Ruiz, F. Trace Metals in Estuarine Sediments from the Southwestern Spanish Coast. **Mar. Pollut. Bull.** 42, 2001. p. 482–490.

Rudnick, R.L., Gao, S. Composition of the Continental Crust, in: **Treatise on Geochemistry**: Second Edition. Elsevier. 2003 p. 1–64. doi:10.1016/B0-08-043751-6/03016-4.

Ruiz, F. Trace Metals in Estuarine Sediments from the Southwestern Spanish Coast. **Mar. Pollut. Bull.** 42. 2001. p. 482–490.

Schimmel, A.C.G.; Beaudoin, J.; Parnum, I.M.; Le Bas, T.; Schmidt V.; Keith G.; Ierodionou D. Multibeam sonar backscatter data processing. **Mar Geophys Res** 2018 39. p.121. <https://doi.org/10.1007/s11001-018-9341-z>

Schrottke, Kerstin & Becker, Marius & Bartholomä, Alexander & Flemming, Burghard & Hebbeln, Dierk. Fluid mud dynamics in the Weser estuary turbidity zone tracked by high-resolution side-scan sonar and parametric sub-bottom profiler. **Geo-Mar. Lett.** 26. 2006. p. 185-198. 10.1007/s00367-006-0027-1.

Silva, A. E. 2017. **Evolução Sedimentar Recente ao Longo de uma Plataforma Continental com Estilo Contrastante de Sedimentação**. Tese (Doutorado em Oceanografia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil.

Steller, D.L.; Foster, M.S. & Riosmena-Rodríguez, R. Living rhodolith bed ecosystems in the Gulf of California. In: Jhonson, M.E. & Ledesma-Vázquez, J. (Eds) **Atlas of Coastal ecosystems in the Gulf of California: Past and Present**. University of Arizona Press. 2009. chapter 6.

Suguio, K., Martin I., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.M. & Azevedo, A.E.G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Rev BrasilGeoc** 15: 1985. p. 273-286.

Torres-Medina, Gavrilov ,M; Parnum , A. N. I .‘Theoretical and Experimental Studies of Seafloor Backscatter’, **ECUA 2010** Conference, Istanbul, 2010, p. 5-9.

Tsuchiya, M., Nishihira, M. Islands of *Mytilus edulis* as a habitat for small intertidal animals - effect of *Mytilus* age structure on the species composition of the associated fauna and community organization. **Mar. Ecol.-Prog. Ser.** 31 (2). 1986. p. 171–178.

USEPA (US Environmental Protection Agency). Requirements for quality assurance project plans. (2001).

Vieira, F. V., Bastos, A. , Quaresma, V., Leite, M. D., Costa Jr, A., Oliveira, K. S., Dalvi, C., Moura, R., Bahia, R., Holz, V., Amado-Filho, G. Along-Shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. **Continental Shelf Research**. 2019.

Villas-Boas A.B., Riosmena-Rodriguez R., Amado-Filho G.M., Maneveldt G.W. and de O. Figueiredo M.A. Rhodolith-forming species of *Lithophyllum* (Corallinales; Rhodophyta) from Espírito Santo State, Brazil, including the description of *L. depressum* sp. nov. **Phycologia** 48: 2009. p. 237–248. DOI: 10.2216/08-35.1.

Wedding, L.M., Friedlander, A.M., McGranaghan, M., Yost, R.S., Monaco, M.E. Using bathymetric lidar to define nearshore benthic habitat complexity: implications for management of reef fish assemblages in Hawaii. **Remote Sens. Environ.** 112. 2008. p. 4159–4165.

Wilson S., Blake C., Berges J.A. and Maggs C.A. Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European Marine conservation. **Biological Conservation** 120: 2004 p. 279–289.

Wilson, S.K., Fisher, R., Pratchett, M.S., Graham, N.A.J., Dulvy, N.K., Turner, R.A., Cakacaka, A., Polunin, N. V. C., Rushton, S. Exploitation and habitat degradation as agents of change within coral reef fish communities. **Glob. Chang. Biol.**, 14(12): 2008. p. 2796-2809.

Winn, R.B.; Masson, D.G. Sediment waves and bedforms. **Developments in Sedimentology** 60. 2008 DOI: 10.1016/S0070-4571(08)10015-2

Weschenfelder, J., Corrêa, I. C. S., Aliotta, S., & Baitelli, R. Paleochannels related to late Quaternary sea-level changes in Southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, 58(SPE2), 2010. p. 35-44.