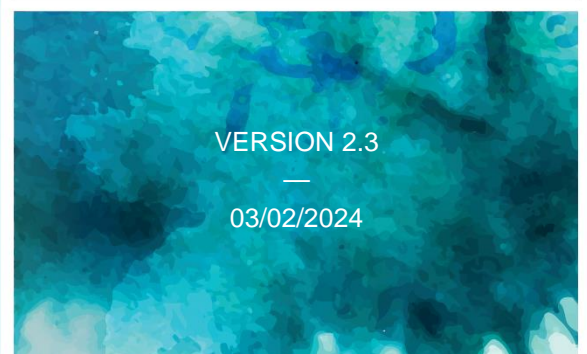
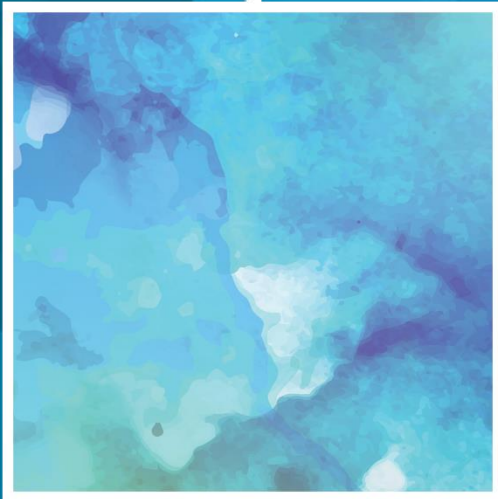


# ESTUDO SEDIMENTAR AMBIENTE MARINHO – FOZ DO RIO DOCE

BRISBANE | PERTH | SINGAPORE | BRAZIL

PLANO DE TRABALHO COMPLEMENTAR



© Hydrobiology Pty Ltd 2024


**Isenção de Responsabilidade:** Esse documento contém informações confidenciais destinadas somente para uso do Cliente da Hydrobiology. Essas informações não se destinam a circulação pública ou publicação, nem para o uso de quaisquer terceiros sem permissão expressa do Cliente ou de Hydrobiology Pty. Ltd. Os conceitos e informações incluídos neste documento são propriedade de Hydrobiology Pty. Ltd. O uso ou cópia deste documento, no todo ou em parte, sem permissão por escrito de Hydrobiology Pty Ltd constitui violação de direito autoral.

Embora as descobertas aqui apresentadas sejam baseadas em informações que a Hydrobiology considera confiáveis, exceto se disposto de outro modo, a precisão e integridade das informações das fontes não pode ser garantida. Além disso, as informações compiladas neste relatório abordam as necessidades específicas do cliente, podendo não abordar as necessidades de terceiros usando este relatório para seus próprios fins. Portanto, a Hydrobiology e seus empregados não se responsabilizam por quaisquer perdas ou danos de qualquer ação tomada ou não com base em qualquer parte do conteúdo deste relatório. Quaisquer pessoas agindo com base em informações fornecidas aqui assim o faz por sua conta e risco.



ESTA EMPRESA ESTÁ REGISTRADA PARA FINS DE GST.

 RUA  
1/71 Troy Terrace  
Jolimont 6014  
WESTERN AUSTRALIA

 REGISTRADO  
c/- de Blonk Smith and  
Young Accountants  
GPO 119, Brisbane 4001  
QUEENSLAND

 CÓDIGO POSTAL  
PO Box 1034  
West Leederville 6901  
WESTERN AUSTRALIA

 CONTATO  
+61 (0)8 6218 0900 P  
infowa@hydrobiology.com

ABN 68 120 964 650

[www.hydrobiology.com](http://www.hydrobiology.com)

## INFORMAÇÕES DE CONTROLE DE DOCUMENTOS

DATA DE IMPRESSÃO	NÚMERO DO TRABALHO	NÚMERO DE RELATÓRIO		
03/02/2024	P23046 (P20040)	V2.3 PT		
TÍTULO DO PROJETO	ESTUDO SEDIMENTAR AMBIENTE MARINHO – FOZ DO RIO DOCE			
SUBTÍTULO DO PROJETO	PLANO DE TRABALHO COMPLEMENTAR			
GERENTE DO PROJETO	James Keating			
DIRETOR DO PROJETO	Phil Whittle			
NOME DO ARQUIVO	P23046 - Marine Sediment Deposition Study - Sample Analysis Plan - v2.3 PT			
STATUS	CRIADOR(ES)	REVISÃO	AUTORIZAÇÃO	DATA
V1.0	AL, JC	JK	PW	15/12/2023
V1.1	AL, JC	JK	JK	16/12/2023
V2.0	PS, MG, JK	JK	PW	18/01/2024
V2.1	MG, JC, JK	JK	PW	02/02/2024
V2.2	MG, JC, JK	JK	PW	02/02/2024
V2.3	JK	JK	PW	03/02/2024

## DISTRIBUIÇÃO

NOME DO ARQUIVO	DESCRIÇÃO	EMITIDO PARA	EMITIDO POR
BHP P23046 – sample analysis plan – v 1.0.docx	Draft for internal review	Internal Review	JK
P23046 - Marine Sediment Deposition Study - Sample Analysis Plan - v1.1	Draft (English) for client review	Fundação Renova	JK
P23046 - Marine Sediment Deposition Study - Sample Analysis Plan - v2.0 PT	Portuguese translated version	Fundação Renova	JK
P23046 - Marine Sediment Deposition Study - Sample Analysis Plan – v2.1 PT	Portuguese translated version	Fundação Renova	JK
P23046 - Marine Sediment Deposition Study - Sample Analysis Plan – v2.2 PT	Portuguese translated version	Fundação Renova	JK
P23046 - Marine Sediment Deposition Study - Sample Analysis Plan – v2.3 PT	Portuguese translated version	Fundação Renova	JK

# SUMÁRIO EXECUTIVO

Esse plano de trabalho complementar descreverá como a Hydrobiology propõe realizar um conjunto de análises geoquímicas na fração de sedimentos de 63 a 125  $\mu\text{m}$  do estudo de deposição de sedimentos marinhos. Essas análises servirão para investigar a presença de rejeitos de Fundão no ambiente marinho nessa fração sedimentar da areia muito fina.

O plano de trabalho complementar descrito nesse documento foi estabelecido após a revisão da CT-GRSA da primeira parte do relatório do estudo de deposição de sedimentos marinhos. O CT-GRSA solicitou que a fração de areia muito fina do sedimento (63-125  $\mu\text{m}$ ) fosse investigada para complementar a análise original da fração <63  $\mu\text{m}$  dos sedimentos. Esse plano de análise descreverá como a Hydrobiology propõe realizar a análise, detalhando o histórico do estudo, os objetivos do estudo, o desenho amostral, os requisitos de processamento, os métodos laboratoriais, os métodos estatísticos e um cronograma preliminar do projeto.

## conteúdo

SUMÁRIO EXECUTIVO	4
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Objetivos do Estudo</b>	<b>8</b>
1.1.1 CONCEITO GEOQUÍMICO	9
1.1.2 CONCEITO ESTATÍSTICO	9
1.1.3 LIMITAÇÕES E PREMISSAS	10
<b>2. DELINEAMENTO DO ESTUDO</b>	<b>11</b>
<b>2.1 INFERÊNCIA DOS DADOS DE PENEIRA DO ESTUDO ORIGINAL</b>	<b>11</b>
<b>2.2 DESENHO AMOSTRAL</b>	<b>19</b>
<b>3. MÉTODOS</b>	<b>38</b>
<b>3.1 REQUISITOS DE PROCESSAMENTO</b>	<b>38</b>
<b>3.2 MÉTODOS LABORATORIAIS</b>	<b>40</b>
3.2.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - DIFRAÇÃO À LASER	40
3.2.2 SEM-EDS	40
3.2.3 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA – DIFRAÇÃO RAIOS-X (DRX)	40
3.2.4 ANÁLISES DE ELEMENTOS PRINCIPAIS – FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX)	41
3.2.5 ESPECTROMETRIA DE MASSA DE PLASMA ACOPLADA INDUTIVAMENTE (ICP-MS)	41
3.2.6 ANÁLISES DE TRAÇOS DE ISÓTOPOS (JAMES COOK UNIVERSITY, AUSTRALIA)	41
<b>3.3 FLUXOGRAMA ESTATÍSTICO</b>	<b>44</b>
<b>4. RELATÓRIOS E CRONOGRAMA</b>	<b>47</b>
<b>4.1 CRONOGRAMA DO PROJETO</b>	<b>47</b>
<b>5. REFERÊNCIAS</b>	<b>49</b>

## tabelas

Tabela 2-1 Peso médio da amostra (g) para cada classe de tamanho de peneira agrupada por região (FO = Barragem de Rejeitos de Fundão, DC = Rio do Carmo, UB = UHE Baguari, RD = Marinho Rio Doce e CS = Marinho Costeiro, GD = Rio Guandu).....	14
Tabela 2-2 Peso amostral médio proporcional (%) para cada classe de tamanho de peneira agrupada por região. ....	15
Tabela 2-3 Lista completa dos pontos amostrais com estimativa positiva sobre o quantitativo de massa para análise. ....	20
Tabela 3-1 Laboratórios utilizados para cada análise. ....	43
Tabela 4-1 Cronograma preliminar.....	48

## figuras

Figura 2-1 Visão geral da área de estudo e seus códigos (FO = Barragem de Rejeitos de Fundão, DC = Rio do Carmo, UB = UHE Baguari, RD = Marinho Rio Doce e CS = Marinho Costeiro, GD = Rio Guandu). ....	12
Figura 2-2 Gráfico de barras empilhadas do peso médio da amostra (g) para cada classe de tamanho de peneira em amostras agrupadas por região (FO = Barragem de Rejeitos de Fundão, DC = Rio do Carmo, UB = UHE Baguari, RD = Marinho Rio Doce e CS = Marinho Costeiro, GD = Rio Guandu). ....	13
Figura 2-3 Gráfico de barras empilhadas do peso proporcional (%) de cada classe de tamanho de peneira em amostras agrupadas por região (FO = Barragem de Rejeitos de Fundão, DC = Rio do Carmo, UB = UHE Baguari, RD = Marinho Rio Doce e CS = Marinho Costeiro, GD = Rio Guandu). ....	13
Figura 2-4 Peso proporcional médio de cada classe de tamanho de peneira por local na porção norte da grade marinha costeira. ....	16
Figura 2-5 Peso proporcional médio de cada classe de tamanho de peneira por local da grade marinha do Rio Doce. ....	17
Figura 2-6 Peso proporcional médio de cada classe de tamanho de peneira por local na porção sul da grade marinha costeira. ....	18
Figura 2-7 Estimativa (passível de confirmação posterior) dos pontos que possuem material suficiente na fração areia muito fina (63 – 125 $\mu\text{m}$ ) para Fundão, UHE Baguari e Rio Do Carmo. <b>Não houve amostras do Rio Guandu com material suficiente nessa fração.</b> .....	33
Figura 2-8 Estimativa (passível de confirmação posterior) dos pontos da grade marinha do Rio Doce (RD) com amostras de <b>superfície</b> que possuem material suficiente na fração de areia muito fina (63 – 125 $\mu\text{m}$ ). ....	34

Figura 2-9 Estimativa (passível de confirmação posterior) dos pontos da grade marinha do Rio Doce (RD) com amostras de <b>fundo</b> que possuem material suficiente na fração de areia muito fina (63 – 125 $\mu\text{m}$ ). .....	35
Figura 2-10 Estimativa (passível de confirmação posterior) dos pontos da grade marinha costeira (CS) com amostras de <b>superfície</b> que possuem material suficiente na fração de areia muito fina (63 – 125 $\mu\text{m}$ ). .....	36
Figura 2-11 Estimativa (passível de confirmação posterior) dos pontos da grade marinha costeira (CS) com amostras de <b>fundo</b> que possuem material suficiente na fração de areia muito fina (63 – 125 $\mu\text{m}$ ). .....	37
Figura 3-1 Fluxograma do processamento de amostras anteriormente às análises laboratoriais na Austrália. ....	39
Figura 3-2 Fluxograma estatístico para análise de areia muito fina. ...	46

# 1. INTRODUÇÃO

O ambiente marinho próximo à desembocadura do Rio Doce recebeu uma descarga de sedimentos finos e água turva, oriunda do rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão, que ocorreu em 5 de novembro de 2015. A Barragem de Fundão está localizada no Complexo de Germano, próxima à cidade de Mariana, no Estado de Minas Gerais. Estima-se que 39,2 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos de minério de ferro escoaram para o Rio Gualaxo do Norte quando a barragem se rompeu.

A pluma de rejeitos fluiu para o Rio do Carmo e eventualmente para o Rio Doce, um dos maiores rios da região sudeste do Brasil. Após se deslocar por aproximadamente 650 km, em 22 de novembro de 2015 a pluma desaguou no Oceano Atlântico.

No dia 20/06/2023, a Fundação Renova protocolou o estudo de deposição de sedimentos marinhos do Rio Doce, intitulado "RELATÓRIO FINAL: RIO DOCE - MARINE SEDIMENT DEPOSITION STUDY", que representa a Etapa 2 da elaboração do Plano de Manejo de Rejeitos do Trecho 17.

Em 27/10/2023, a CT-GRSA, conforme NT CT-GRSA nº 08/2023 e Deliberação CIF nº 739/2023, solicitou que a complementação do estudo por meio da inclusão da análise da fração granulométrica de tamanho entre 63 – 125 µm (Areia Muito Fina) das amostras coletadas. Conforme NT CT-GRSA nº 08/2023, foi solicitado que as amostras da fração areia muito fina (entre 63 – 125 µm) passassem por todas as análises que foram realizadas para as amostras das frações silte e argila (<63 µm). A CT-GRSA concordou que essas análises poderiam ser realizadas em laboratórios australianos, uma vez que a equipe da Hydrobiology explicou que isso melhoraria muito a eficiência do tempo e a qualidade dos resultados. A Fundação Renova emitiu uma carta ao CT-GRSA especificando o requisito de amostra de 63-125 µm (FR.2023.3196/Anexo I, 20/12/2023).

## 1.1 OBJETIVOS DO ESTUDO

O objetivo do estudo de Deposição de Sedimentos Marinhos do Rio Doce (ETAPA 2) - RELATÓRIO FINAL: RIO DOCE - MARINE SEDIMENT DEPOSITION STUDY - foi investigar, por meio da aplicação de um conjunto de análises geoquímicas e geofísicas, a existência potencial de materiais de rejeitos em

sedimentos marinhos e, com isso, complementar os resultados do “Estudo sobre os Sedimentos Depositados na Zona Adjacente à Foz do Rio Doce após a Ruptura da Barragem de Fundão, em 05/11/2015”, COPPETEC, 2020 (ETAPA 1). O estudo de Deposição de Sedimentos Marinhos do Rio Doce (ETAPA 2) - RELATÓRIO FINAL: RIO DOCE - MARINE SEDIMENT DEPOSITION STUDY - investigou os processos sedimentares através de avaliação de parâmetros abióticos em uma malha amostral proposta com base nos resultados da ETAPA 1.

Os resultados do presente estudo irão integrar o conjunto de dados da Fase 1A de Caracterização Ambiental do Plano de Manejo de Rejeitos do Trecho 17.

Uma análise adicional da fração granulométrica de areia muito fina (entre 63 – 125 µm) das amostras coletadas previamente e que possuem massa suficiente da referida fração será realizada para atender a NT CT-GRSA nº 08/2023. O mesmo conjunto de análises geoquímicas será realizado nessa fração como foi realizado para a fração menor que 63 µm e uma assinatura geoquímica será construída a partir disso, utilizando o mesmo fluxograma estatístico do estudo de Deposição de Sedimentos Marinhos do Rio Doce, que inclui o uso do modelo aleatório *Random Forest* para testar a presença de rejeitos de Fundão no ambiente marinho. Vale ressaltar que todos os dados brutos (resultados) serão disponibilizados, juntamente com o relatório final.

### 1.1.1 CONCEITO GEOQUÍMICO

Para a extensão do estudo de deposição de sedimentos marinhos, a Hydrobiology irá isolar a fração de areia muito fina das amostras (63 – 125 µm) e concentrar todas as análises geoquímicas nessa fração. Testemunhos de sedimentos marinhos foram coletados da zona costeira de modo que uma amostra de superfície (~0 a 5 cm) e uma amostra de fundo (~30 a 35 cm) pudessem ser obtidas. O estudo de Deposição de Sedimentos Marinhos do Rio Doce pressupõe que as amostras de superfície devem ser testadas quanto à presença de rejeitos de Fundão, enquanto as amostras de fundo marinho representam sedimentos marinhos naturais não afetados pelo evento de rompimento da barragem.

O conjunto principal de análises geoquímicas incluirá:

- Distribuição Granulométrica por peneiramento por via úmida, objetivando obter amostras na fração 63 µm – 125 µm
- Determinação da granulometria por difração a laser (Laser Malvern)
- Difração de Raios-X (DRX)
- Fluorescência de Raios-X (FRX)
- Varredura de multi-elementos para elementos principais, metais traço e classificação de elementos de terra-rara (REEs) (ICP OES / ICP MS - ICM40B).
- Análise de isótopos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  (fase carbonática),  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  (silicatos/óxidos),  $^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$  e  $^{57}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$
- Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com análise elementar por Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).

### 1.1.2 CONCEITO ESTATÍSTICO

A Hydrobiology investigará o conjunto completo de análises geoquímicas para qualquer assinatura de rejeitos claramente definível na fração granulométrica de areia muito fina (entre 63-125 µm) das amostras de sedimentos. Isso ocorrerá em duas etapas. O primeiro passo será distinguir padrões geoquímicos exclusivos da fração de areia muito fina, comparando os resultados com resultados do material coletado na Barragem de Rejeitos de Fundão e com as amostras de sedimentos marinhos de fundo (entre 30 e 50 cm abaixo da superfície dos sedimentos marinhos) dos testemunhos coletados. A

Etapa 1 identificará os possíveis parâmetros de assinatura geoquímica. A Etapa 2 integrará esses parâmetros em um modelo aleatório *Random Forest* multivariado, aplicado às amostras de superfície (5 cm superiores) para identificar a presença de rejeitos na fração de areia muito fina.

### 1.1.3 LIMITAÇÕES E PREMISSAS

A principal limitação metodológica desta análise adicional é a confirmação da disponibilidade de massa suficiente, na fração 63-125  $\mu\text{m}$  das amostras, para realização das análises pretendidas.

# 2. DELINEAMENTO DO ESTUDO

## 2.1 INFERÊNCIA DOS DADOS DE PENEIRA DO ESTUDO ORIGINAL

A análise dos dados de peneiramento úmido do estudo “RELATÓRIO FINAL: RIO DOCE - MARINE SEDIMENT DEPOSITION STUDY” forneceu informações sobre o peso proporcional de cada classe de tamanho de peneira, incluindo a fração fina (<63  $\mu\text{m}$ ) e areia muito fina (63 – 125  $\mu\text{m}$ ) em amostras de sedimentos. A classe de tamanho que teve maior peso proporcional médio nas amostras da barragem de Fundão foi a fração de 63 – 125  $\mu\text{m}$  ou areia muito fina (315,1 g ou 28,8% da amostra), seguida da fração 125 – 250  $\mu\text{m}$  ou areia fina (233,9 g ou 21,4% da amostra), seguida da fração fina < 63  $\mu\text{m}$  (194,1 g ou 17,75% da amostra). Para a malha amostral da porção marinha da foz do Rio Doce, a classe de tamanho que teve maior peso proporcional médio foi 250 – 500  $\mu\text{m}$  ou areia média (98,6 g ou 20,96%), seguida pela fração de 125 – 250  $\mu\text{m}$  ou areia muito fina (87,2 g ou 18,54%), seguida pela fração de 500 – 1000  $\mu\text{m}$  ou areia grossa (86,5 g ou 18,38%). Os pesos amostrais médios divididos por classe de tamanho e agrupados por região podem ser vistos na Figura 2-2, enquanto a Figura 2-3 mostra esses pesos de classe de tamanho como uma proporção do peso total da amostra agrupado por região. Esses dados também são mostrados em formato tabular na Tabela 2-1 e na Tabela 2-2 para maior clareza.

Mapas espaciais dos dados de peneiramento revelaram padrões nas classes granulométricas dominantes em cada região (Figura 2-1, Figura 2-4, Figura 2-5 e Figura 2-6). Os locais da porção norte da grade marinha costeira são dominados por classes de tamanho maiores, semelhantes à porção sul da grade marinha costeira, com uma diferença fundamental; os locais mais próximos da costa, na porção norte da grade amostral marinha costeira, têm uma porcentagem muito elevada de areia muito fina (63 – 125  $\mu\text{m}$ ) e uma porcentagem relativamente elevada da fração fina (< 63  $\mu\text{m}$ ). A % de areia muito fina e a % da fração fina diminuem nestes locais e diminuem gradativamente de sul para norte nessa seção. Essa tendência não é observada na segunda coluna de locais mais afastados da costa (Figura 2-4). Dentro da grade marinha do Rio Doce, parece haver três sub-regiões com diferentes composições de classes de tamanho de peneira (Figura 2-5). Cada uma das sub-regiões compreende aproximadamente 1/3 dos locais dentro da grade marinha do Rio Doce. A primeira sub-

região são aqueles locais na sessão mais meridional da grade amostral marinha do Rio Doce, que são dominadas por areia média (250 – 500  $\mu\text{m}$ ) e areia grossa (500 – 1000  $\mu\text{m}$ ). A sessão central dos locais é mais equilibrada em termos de composição da classe de tamanho da peneira, sem nenhuma classe de tamanho dominante clara e, em contrapartida, uma mudança para classes de tamanho intermediário e menor em comparação com a sessão sul dos locais dentro da grade marinha do Rio Doce. A sessão mais ao norte dos locais dentro da grade marinha do Rio Doce é novamente dominada por classes de tamanho menores, especialmente por fração de areia muito fina (63 – 125  $\mu\text{m}$ ). Há também uma proporção maior da fração fina (< 63  $\mu\text{m}$ ) nesses locais em comparação aos outros da grade marinha do Rio Doce. Na porção sul da rede marinha costeira, a maioria dos locais é dominada pelas classes de tamanhos maiores, desde areia média (250 – 500  $\mu\text{m}$ ) até cascalho (> 2000  $\mu\text{m}$ ; Figura 2-6).



Figura 2-1 Visão geral da área de estudo e seus códigos (FO = Barragem de Rejeitos de Fundão, DC = Rio do Carmo, UB = UHE Baguari, RD = Marinho Rio Doce e CS = Marinho Costeiro, GD = Rio Guandu).

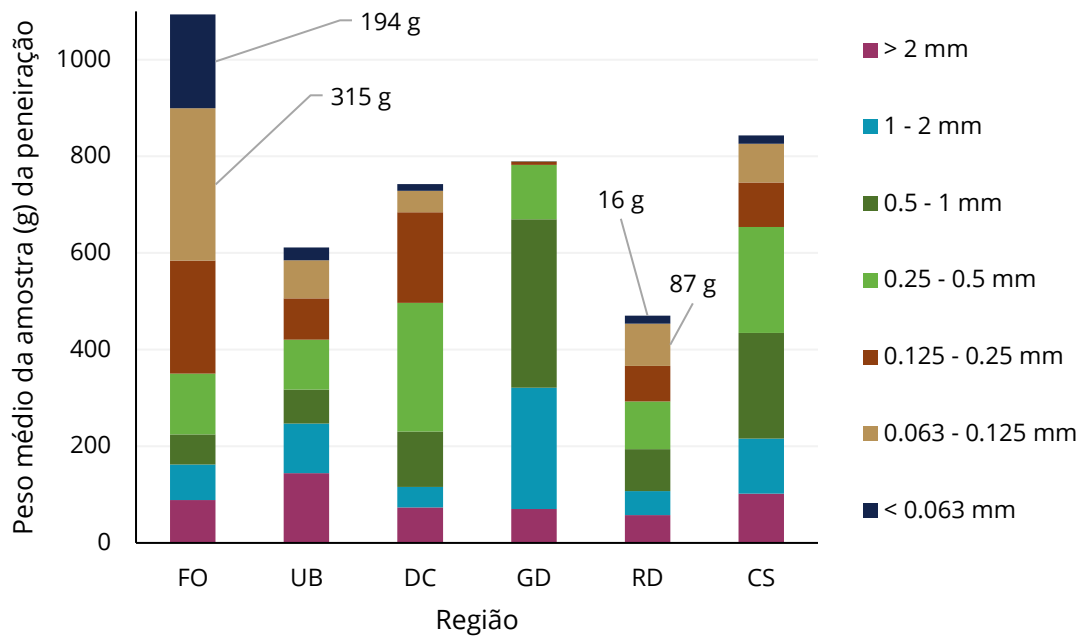


Figura 2-2 Gráfico de barras empilhadas do peso médio da amostra (g) para cada classe de tamanho de peneira em amostras agrupadas por região (FO = Barragem de Rejeitos de Fundão, DC = Rio do Carmo, UB = UHE Baguari, RD = Marinho Rio Doce e CS = Marinho Costeiro, GD = Rio Guandu).

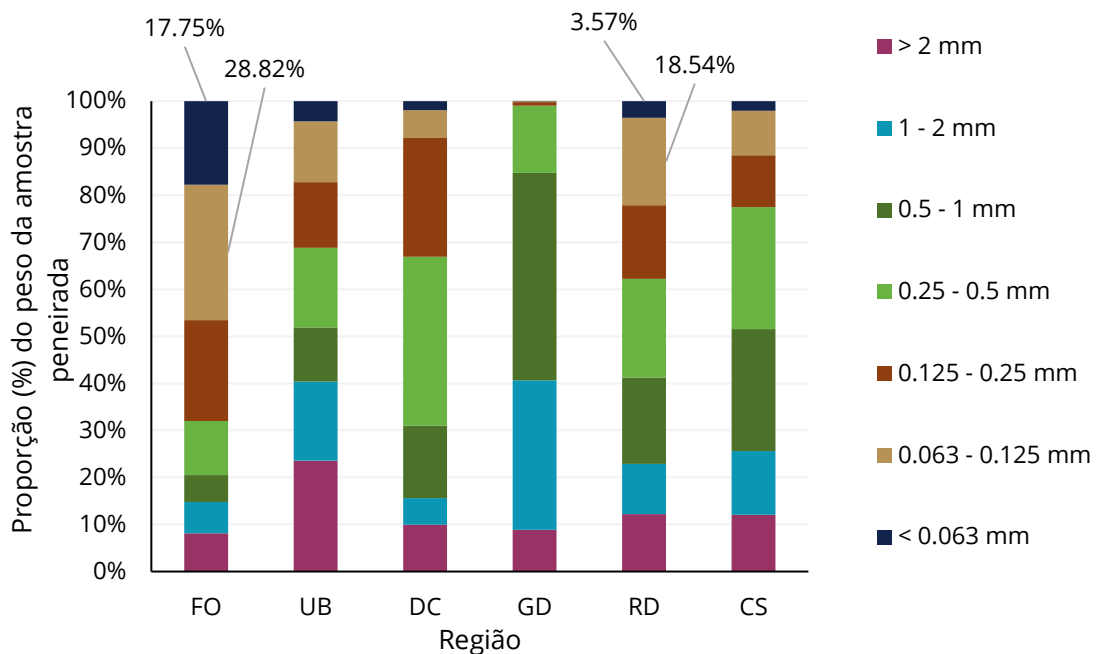


Figura 2-3 Gráfico de barras empilhadas do peso proporcional (%) de cada classe de tamanho de peneira em amostras agrupadas por região (FO = Barragem de Rejeitos de Fundão, DC = Rio do Carmo, UB = UHE Baguari, RD = Marinho Rio Doce e CS = Marinho Costeiro, GD = Rio Guandu).

Tabela 2-1 Peso médio da amostra (g) para cada classe de tamanho de peneira agrupada por região(FO = Barragem de Rejeitos de Fundão, DC = Rio do Carmo, UB = UHE Baguari, RD = Marinho Rio Doce e CS = Marinho Costeiro, GD = Rio Guandu).

Intervalo granulométrico	Classificação	FO	UB	DC	GD	RD	CS
<b>&gt; 2 mm</b>	Cascalho	88,61	144,02	73,77	69,93	57,50	101,73
<b>1 - 2 mm</b>	Areia muito grossa	73,38	102,72	41,99	251,00	50,04	114,22
<b>0,5 - 1 mm</b>	Areia grossa	62,57	70,25	114,56	348,74	86,50	218,51
<b>0,25 - 0,5 mm</b>	Areia média	125,64	103,82	266,61	112,67	98,61	219,18
<b>0,125 - 0,25 mm</b>	Areia fina	233,98	85,07	187,64	6,08	73,80	92,52
<b>0,063 - 0,125 mm</b>	Areia muito fina	315,12	79,29	44,10	1,27	87,24	80,14
<b>&lt; 0,063 mm</b>	Lama (silte e argila)	194,09	26,19	14,22	0,16	16,80	17,19

Tabela 2-2 Peso amostral médio proporcional (%) para cada classe de tamanho de peneira agrupada por região.

Intervalo granulométrico	Classificação	FO	UB	DC	GD	RD	CS
<b>&gt; 2 mm</b>	Cascalho	8,10%	23,56%	9,93%	8,85%	12,22%	12,06%
<b>1 - 2 mm</b>	Areia muito grossa	6,71%	16,80%	5,65%	31,78%	10,63%	13,54%
<b>0,5 - 1 mm</b>	Areia grossa	5,72%	11,49%	15,42%	44,15%	18,38%	25,90%
<b>0,25 - 0,5 mm</b>	Areia média	11,49%	16,98%	35,89%	14,26%	20,96%	25,99%
<b>0,125 - 0,25 mm</b>	Areia fina	21,40%	13,91%	25,26%	0,77%	15,69%	10,97%
<b>0,063 - 0,125 mm</b>	Areia muito fina	28,82%	12,97%	5,94%	0,16%	18,54%	9,50%
<b>&lt; 0,063 mm</b>	Lama (silte e argila)	17,75%	4,28%	1,91%	0,02%	3,57%	2,04%

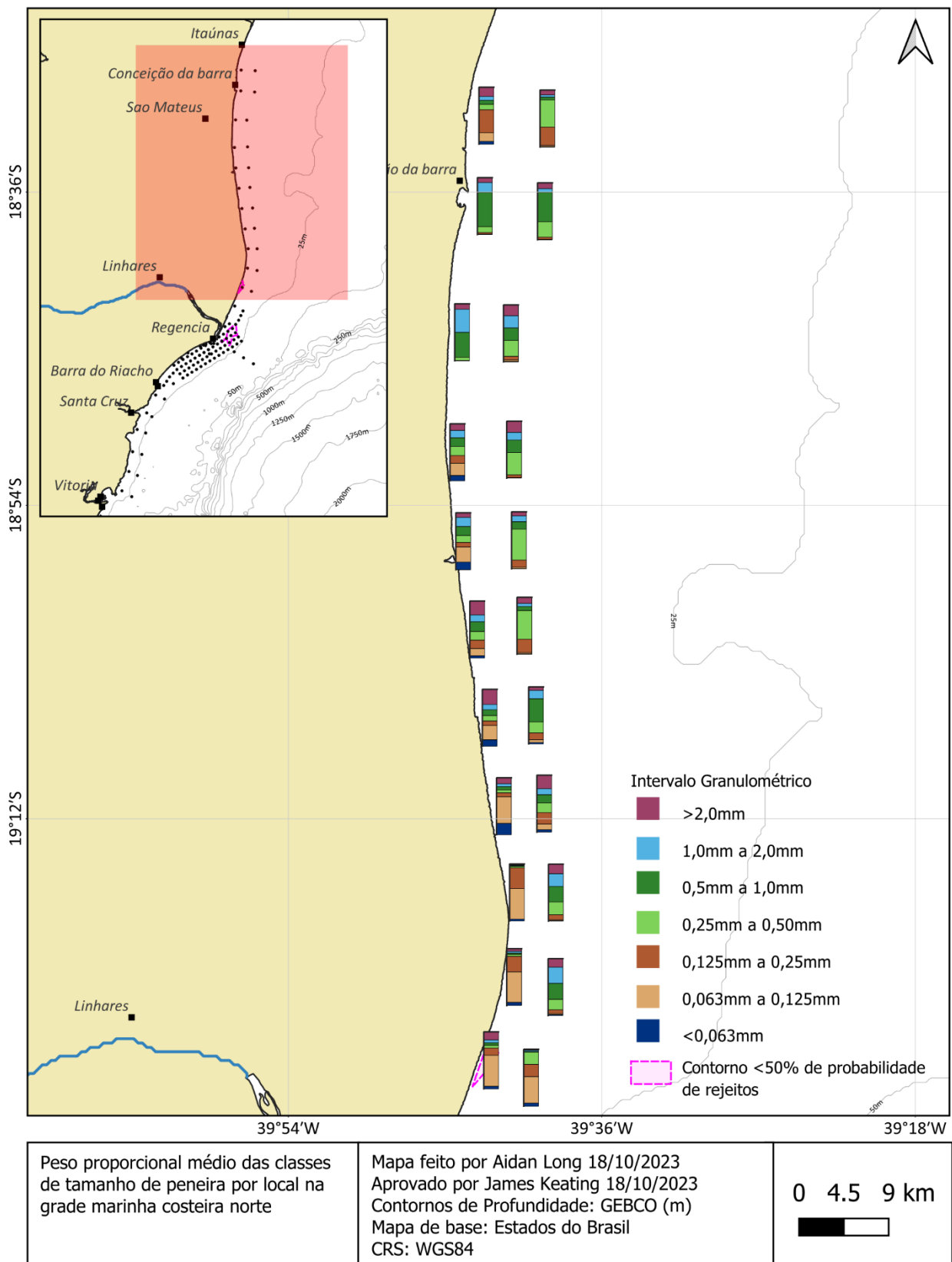


Figura 2-4 Peso proporcional médio de cada classe de tamanho de peneira por local na porção norte da grade marinha costeira.

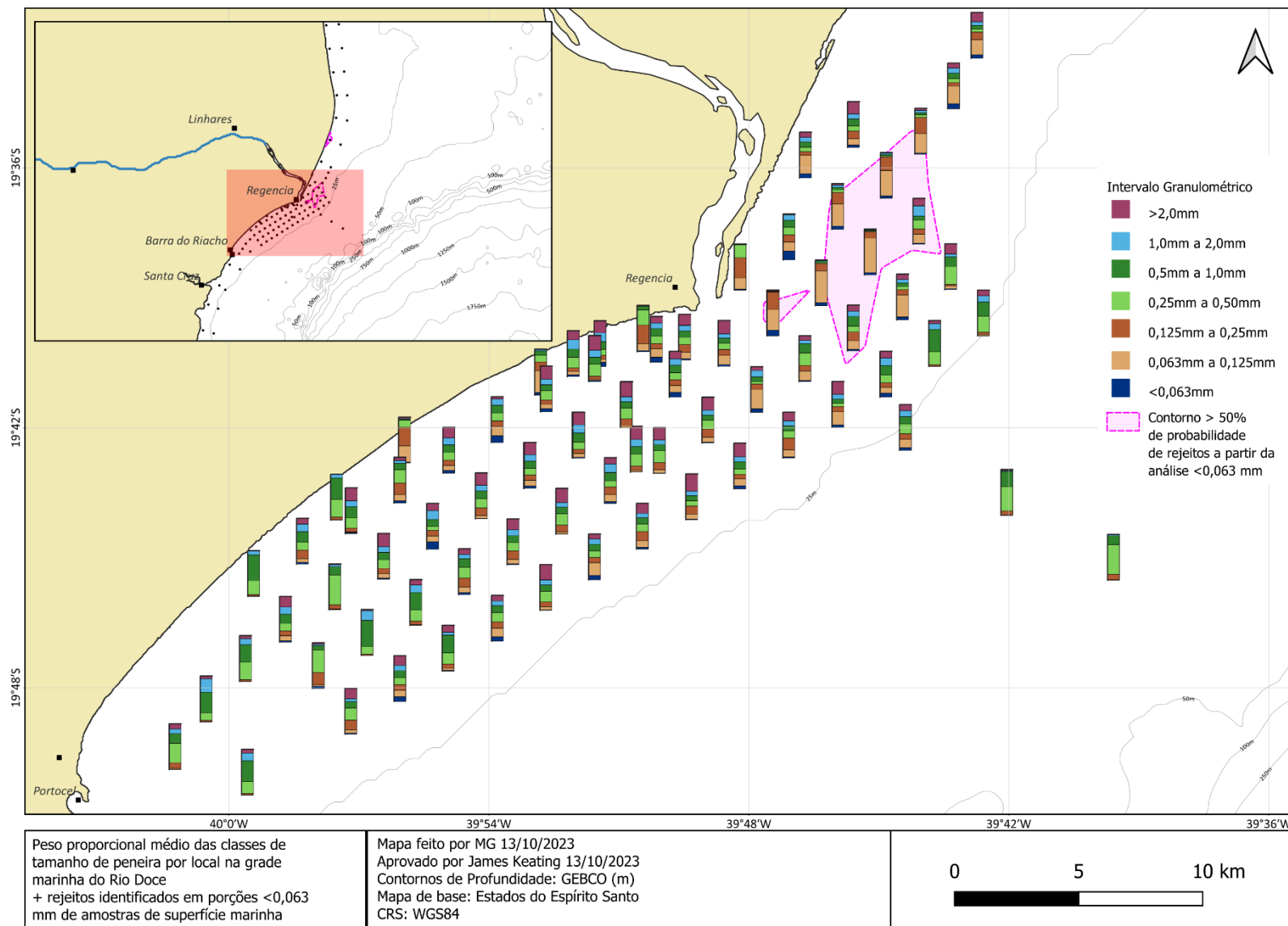


Figura 2-5 Peso proporcional médio de cada classe de tamanho de peneira por local da grade marinha do Rio Doce.

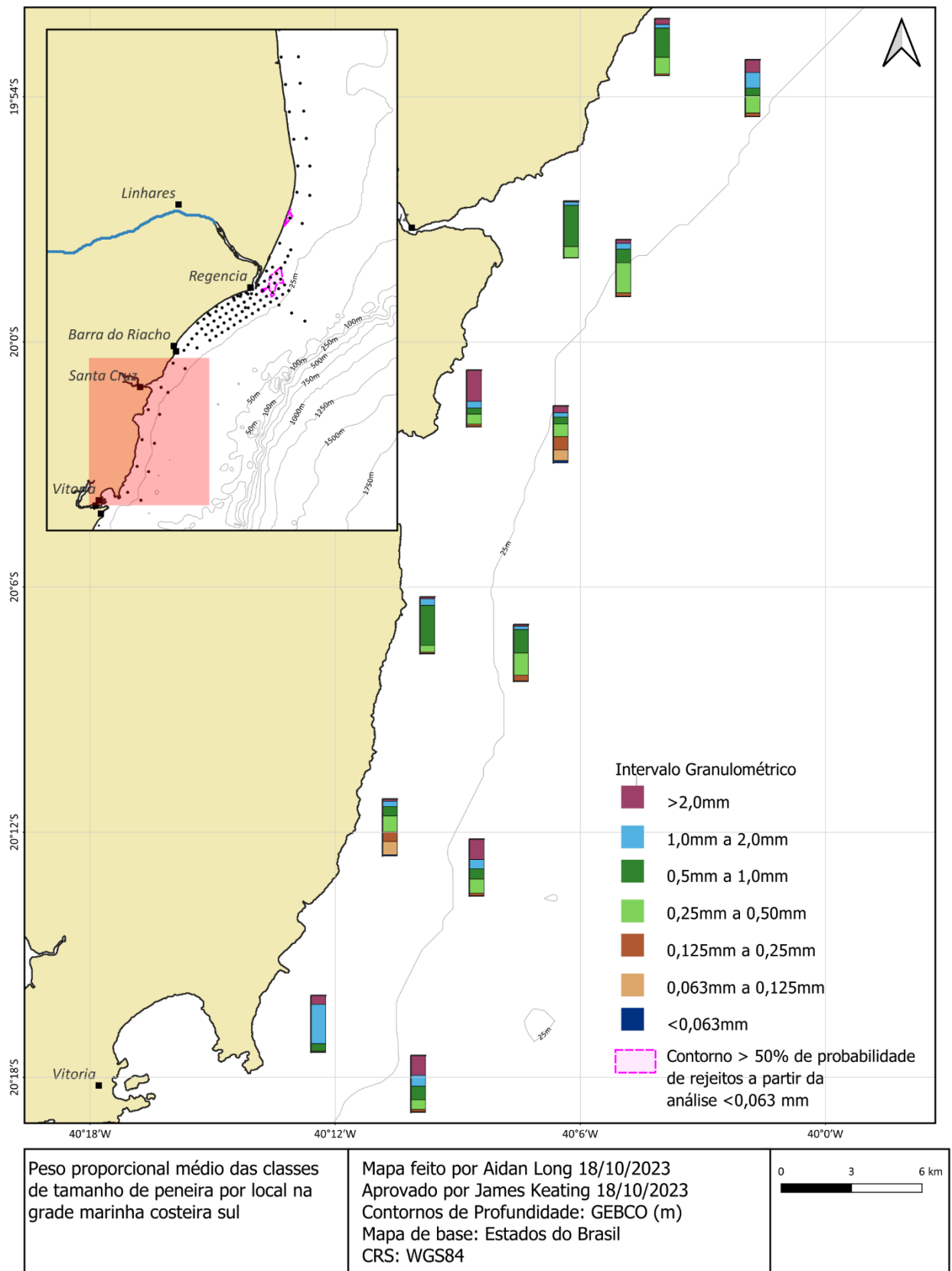


Figura 2-6 Peso proporcional médio de cada classe de tamanho de peneira por local na porção sul da grade marinha costeira.

## 2.2 DESENHO AMOSTRAL

O desenho amostral para a análise da fração areia muito fina (63-125  $\mu\text{m}$ ) será o mais semelhante possível à análise original da fração < 63  $\mu\text{m}$  de cada amostra de sedimento. Isso incluirá a análise de todos os locais (na parte continental e marinha) onde a quantidade de material de amostra for suficiente para tal, ainda a ser confirmado após peneiramento. Desta forma, o detalhamento final das amostras de areia muito fina a serem avaliadas será fornecido quando a etapa de confirmação via peneiramento, das amostras remanescentes for concluída. A estimativa preliminar é de que existam 201 amostras com massa suficiente para a fração de areia muito fina (Tabela 2-3). e essas amostras estão mapeadas na Figura 2-7, Figura 2-8, Figura 2-9, Figura 2-10 e Figura 2-11.

Tabela 2-3 Lista completa dos pontos amostrais com estimativa positiva sobre o quantitativo de massa para análise.

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	detecção positiva para rejeitos em estudo anterior?
CS_02	CS_02_R3_Sur	Marinha	Superfície	-20.303	-40.167	11.18	Não
<b>CS_03</b>	CS_03_R3_Sur	Marinha	Superfície	-20.198	-40.177	475.28	Não
<b>CS_05</b>	CS_05_R1_Sur	Marinha	Superfície	-20.116	-40.163	10.17	Não
<b>CS_08</b>	CS_08_R3_Sur	Marinha	Superfície	-20.038	-40.108	161.18	Não
<b>CS_08</b>	CS_08_R1_Bot	Marinha	Fundo	-20.038	-40.108	180.08	Não
<b>CS_21</b>	CS_21_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.700	-39.740	93.88	Não
<b>CS_23</b>	CS_23_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.750	-39.660	10.36	Não
<b>CS_26</b>	CS_26_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.510	-39.738	187.51	Não
<b>CS_26</b>	CS_26_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.510	-39.738	76.52	Não
<b>CS_28</b>	CS_28_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.432	-39.707	684.58	Sim
<b>CS_28</b>	CS_28_R2_Bot	Marinha	Fundo	-19.432	-39.707	346.64	Não
<b>CS_29</b>	CS_29_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.448	-39.668	490.94	Não
<b>CS_30</b>	CS_30_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.352	-39.684	559.42	Não
<b>CS_31</b>	CS_31_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.362	-39.645	25.67	Não
<b>CS_32</b>	CS_32_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.271	-39.682	429.08	Não

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>CS_33</b>	CS_33_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.271	-39.645	29.46	Não
<b>CS_34</b>	CS_34_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.189	-39.694	326.69	Não
<b>CS_34</b>	CS_34_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.189	-39.694	248.93	Não
<b>CS_35</b>	CS_35_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.186	-39.656	115.66	Não
<b>CS_36</b>	CS_36_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.104	-39.708	90.07	Não
<b>CS_36</b>	CS_36_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.104	-39.708	268.43	Não
<b>CS_37</b>	CS_37_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.102	-39.664	63.57	Não
<b>CS_38</b>	CS_38_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.019	-39.720	60.62	Não
<b>CS_38</b>	CS_38_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.019	-39.720	96.24	Não
<b>CS_39</b>	CS_39_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.016	-39.675	30.50	Não
<b>CS_40</b>	CS_40_R3_Sur	Marinha	Superfície	-18.935	-39.733	118.35	Não
<b>CS_40</b>	CS_40_R1_Bot	Marinha	Fundo	-18.935	-39.733	225.30	Não
<b>CS_41</b>	CS_41_R3_Sur	Marinha	Superfície	-18.934	-39.680	24.02	Não
<b>CS_42</b>	CS_42_R2_Sur	Marinha	Superfície	-18.850	-39.739	87.29	Não
<b>CS_42</b>	CS_42_R1_Bot	Marinha	Fundo	-18.850	-39.739	105.46	Não
<b>CS_43</b>	CS_43_R3_Sur	Marinha	Superfície	-18.847	-39.685	13.95	Não

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>CS_45</b>	CS_45_R2_Sur	Marinha	Superfície	-18.736	-39.688	40.21	Não
<b>CS_47</b>	CS_47_R1_Sur	Marinha	Superfície	-18.619	-39.655	11.28	Não
<b>CS_48</b>	CS_48_R1_Sur	Marinha	Superfície	-18.527	-39.711	102.28	Não
<b>CS_48</b>	CS_48_R1_Bot	Marinha	Fundo	-18.528	-39.711	97.56	Não
<b>CS_49</b>	CS_49_R3_Sur	Marinha	Superfície	-18.530	-39.653	37.38	Não
<b>DC_02</b>	DC_02_R1	Rio do Carmo	Superfície	-20.346	-43.112	17.19	Não
<b>DC_03</b>	DC_03_R2	Rio do Carmo	Superfície	-20.346	-43.112	45.77	Não
<b>DC_05</b>	DC_05_R1	Rio do Carmo	Superfície	-20.347	-43.112	87.88	Não
<b>DVA_02</b>	DVA_02_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.705	-39.933	70.36	Não
<b>DVA_02</b>	DVA_02_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.705	-39.933	264.94	Não
<b>DVA_03</b>	DVA_03_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.679	-39.880	29.74	Não
<b>DVA_03</b>	DVA_03_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.679	-39.880	198.65	Não
<b>DVA_04</b>	DVA_04_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.672	-39.868	43.08	Não
<b>DVA_04</b>	DVA_04_R2_Bot	Marinha	Fundo	-19.672	-39.868	48.20	Não
<b>DVA_05</b>	DVA_05_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.668	-39.858	14.72	Não
<b>DVA_06</b>	DVA_06_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.666	-39.836	40.06	Não

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>DVA_06</b>	DVA_06_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.666	-39.836	25.90	Não
<b>DVA_07</b>	DVA_07_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.665	-39.825	33.54	Não
<b>DVA_07</b>	DVA_07_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.665	-39.825	109.16	Não
<b>DVA_08</b>	DVA_08_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.708	-39.844	12.11	Não
<b>DVA_08</b>	DVA_08_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.708	-39.844	19.99	Não
<b>DVB_02</b>	DVB_02_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.715	-39.885	32.20	Não
<b>DVB_04</b>	DVB_04_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.703	-39.866	50.48	Não
<b>DVB_05</b>	DVB_05_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.673	-39.860	25.40	Não
<b>DVB_06</b>	DVB_06_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.691	-39.847	20.06	Não
<b>DVB_07</b>	DVB_07_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.662	-39.841	107.00	Não
<b>DVB_07</b>	DVB_07_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.662	-39.841	141.43	Não
<b>DVB_10</b>	DVB_10_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.638	-39.804	117.19	Não
<b>DVB_10</b>	DVB_10_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.638	-39.804	72.99	Não
<b>DVB_11</b>	DVB_11_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.656	-39.791	141.24	Não
<b>DVB_11</b>	DVB_11_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.656	-39.791	228.86	Não
<b>DVC_04</b>	DVC_04_R1_5cm	Marinha	Superfície	-19.656	-39.791	96.99	Sim

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>DVC_05</b>	DVC_05_R1_2cm	Marinha	Superfície	-19.638	-39.804	81.47	Não
<b>FO_01</b>	FO_01	Fundão	Superfície	-20.206	-43.463	180.50	Não
<b>FO_02</b>	FO_02	Fundão	Superfície	-20.206	-43.463	124.56	Não
<b>FO_03</b>	FO_03	Fundão	Superfície	-20.206	-43.463	620.69	Não
<b>FO_04</b>	FO_04	Fundão	Superfície	-20.205	-43.463	200.65	Não
<b>FO_05</b>	FO_05	Fundão	Superfície	-20.205	-43.463	161.87	Não
<b>FO_06</b>	FO_06	Fundão	Superfície	-20.205	-43.463	276.35	Não
<b>FO_07</b>	FO_07	Fundão	Superfície	-20.205	-43.462	351.82	Não
<b>FO_08</b>	FO_08	Fundão	Superfície	-20.205	-43.462	372.49	Não
<b>FO_09</b>	FO_09	Fundão	Superfície	-20.205	-43.462	115.82	Não
<b>FO_10</b>	FO_10	Fundão	Superfície	-20.206	-43.463	68.50	Não
<b>FO_11</b>	FO_11	Fundão	Superfície	-20.206	-43.463	975.85	Não
<b>FO_12</b>	FO_12	Fundão	Superfície	-20.206	-43.463	109.45	Não
<b>FO_13</b>	FO_13	Fundão	Superfície	-20.207	-43.462	338.67	Não
<b>FO_14</b>	FO_14	Fundão	Superfície	-20.207	-43.462	436.98	Não
<b>FO_15</b>	FO_15	Fundão	Superfície	-20.207	-43.462	420.16	Não

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>FO_16</b>	FO_16	Fundão	Superfície	-20.208	-43.469	140.52	Não
<b>FO_17</b>	FO_17	Fundão	Superfície	-20.208	-43.469	379.97	Não
<b>FO_18</b>	FO_18	Fundão	Superfície	-20.208	-43.469	356.04	Não
<b>FO_19</b>	FO_19	Fundão	Superfície	-20.206	-43.469	305.69	Não
<b>FO_20</b>	FO_20	Fundão	Superfície	-20.206	-43.469	335.40	Não
<b>FO_21</b>	FO_21	Fundão	Superfície	-20.206	-43.469	345.55	Não
<b>RD_01</b>	RD_01_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.595	-39.778	232.02	Não
<b>RD_01</b>	RD_01_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.595	-39.779	45.08	Não
<b>RD_02</b>	RD_02_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.584	-39.760	86.53	Não
<b>RD_02</b>	RD_02_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.584	-39.760	384.17	Não
<b>RD_03</b>	RD_03_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.756	-39.991	11.39	Não
<b>RD_04</b>	RD_04_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.744	-39.972	34.74	Não
<b>RD_04</b>	RD_04_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.744	-39.972	55.99	Não
<b>RD_05</b>	RD_05_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.732	-39.953	17.74	Não
<b>RD_06</b>	RD_06_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.720	-39.934	148.98	Não
<b>RD_06</b>	RD_06_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.720	-39.935	15.53	Não

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>RD_07</b>	RD_07_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.709	-39.916	46.78	Não
<b>RD_07</b>	RD_07_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.709	-39.916	25.75	Não
<b>RD_08</b>	RD_08_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.697	-39.897	98.35	Não
<b>RD_08</b>	RD_08_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.697	-39.897	23.41	Não
<b>RD_09</b>	RD_09_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.685	-39.878	65.24	Não
<b>RD_10</b>	RD_10_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.674	-39.860	20.44	Não
<b>RD_10</b>	RD_10_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.673	-39.859	10.95	Não
<b>RD_11</b>	RD_11_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.662	-39.841	300.12	Não
<b>RD_12</b>	RD_12_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.638	-39.804	237.31	Não
<b>RD_13</b>	RD_13_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.627	-39.785	134.08	Não
<b>RD_13</b>	RD_13_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.627	-39.785	225.98	Não
<b>RD_14</b>	RD_14_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.615	-39.766	453.43	Sim
<b>RD_15</b>	RD_15_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.603	-39.747	720.02	Sim
<b>RD_16</b>	RD_16_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.586	-39.734	607.68	Sim
<b>RD_17</b>	RD_17_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.569	-39.721	186.89	Não
<b>RD_17</b>	RD_17_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.569	-39.722	354.98	Não

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>RD_18</b>	RD_18_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.549	-39.712	152.29	Não
<b>RD_18</b>	RD_18_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.549	-39.713	206.39	Não
<b>RD_19</b>	RD_19_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.530	-39.704	95.09	Não
<b>RD_19</b>	RD_19_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.530	-39.704	13.66	Não
<b>RD_21</b>	RD_21_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.823	-40.021	30.83	Não
<b>RD_21</b>	RD_21_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.823	-40.021	26.58	Não
<b>RD_24</b>	RD_24_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.774	-39.978	41.35	Não
<b>RD_24</b>	RD_24_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.774	-39.978	37.60	Não
<b>RD_25</b>	RD_25_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.761	-39.960	34.77	Não
<b>RD_26</b>	RD_26_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.750	-39.941	22.53	Não
<b>RD_26</b>	RD_26_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.750	-39.941	49.92	Não
<b>RD_27</b>	RD_27_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.738	-39.922	55.56	Não
<b>RD_28</b>	RD_28_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.726	-39.903	20.30	Não
<b>RD_28</b>	RD_28_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.726	-39.903	27.51	Não
<b>RD_29</b>	RD_29_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.714	-39.884	41.99	Não
<b>RD_30</b>	RD_30_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.703	-39.866	52.94	Não

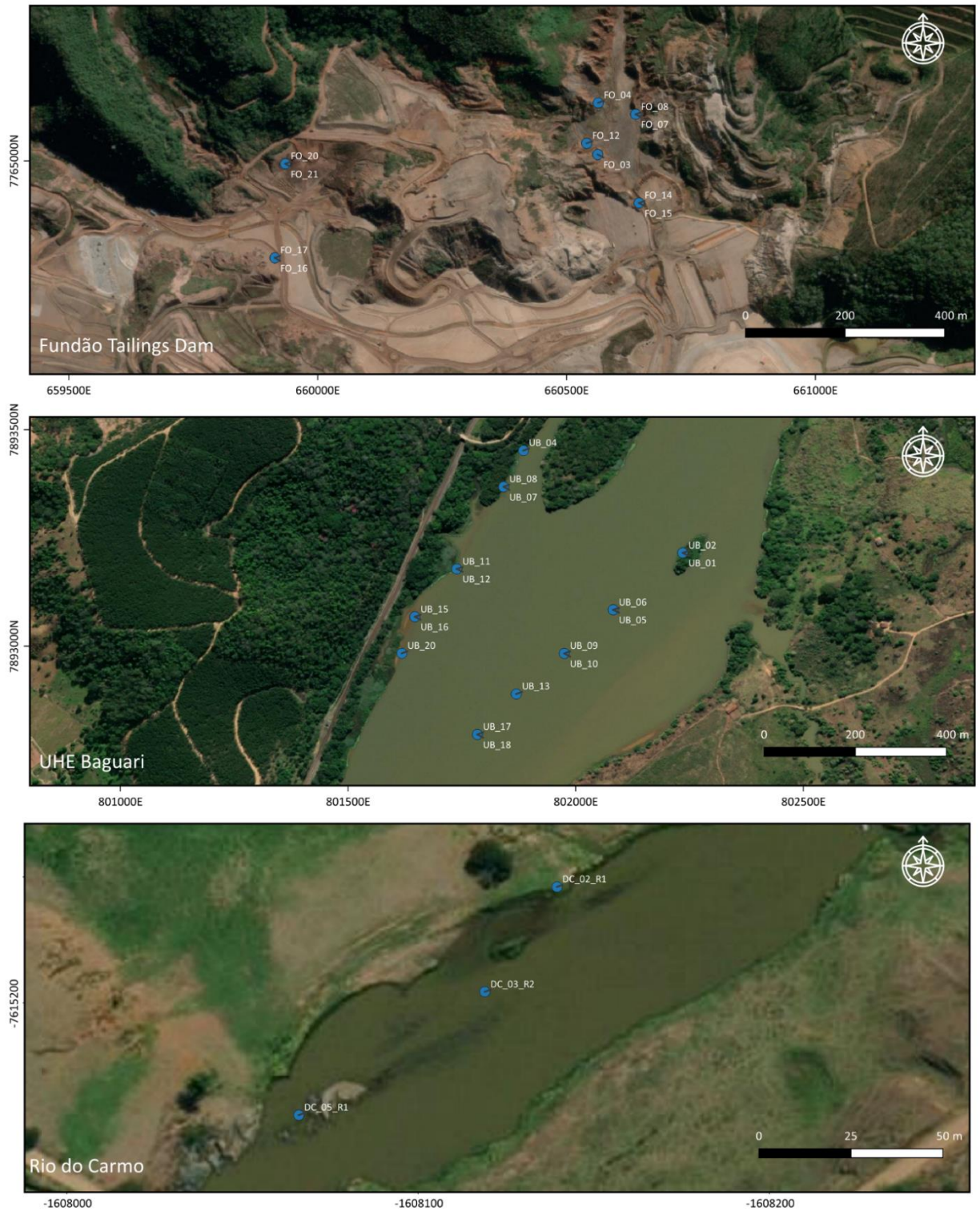
Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>RD_30</b>	RD_30_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.703	-39.866	34.47	Não
<b>RD_31</b>	RD_31_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.691	-39.847	20.53	Não
<b>RD_31</b>	RD_31_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.691	-39.848	16.68	Não
<b>RD_32</b>	RD_32_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.680	-39.829	80.94	Não
<b>RD_32</b>	RD_32_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.680	-39.829	26.27	Não
<b>RD_33</b>	RD_33_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.668	-39.810	149.52	Não
<b>RD_33</b>	RD_33_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.668	-39.810	177.47	Não
<b>RD_34</b>	RD_34_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.656	-39.791	366.90	Sim
<b>RD_35</b>	RD_35_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.644	-39.772	678.41	Não
<b>RD_36</b>	RD_36_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.632	-39.753	794.00	Sim
<b>RD_37</b>	RD_37_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.621	-39.735	436.30	Sim
<b>RD_37</b>	RD_37_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.621	-39.735	104.02	Não
<b>RD_38</b>	RD_38_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.792	-39.966	23.11	Não
<b>RD_38</b>	RD_38_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.792	-39.966	12.32	Não
<b>RD_40</b>	RD_40_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.767	-39.928	15.62	Não
<b>RD_41</b>	RD_41_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.755	-39.910	45.39	Não

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>RD_41</b>	RD_41_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.756	-39.910	71.15	Não
<b>RD_42</b>	RD_42_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.744	-39.891	50.90	Não
<b>RD_43</b>	RD_43_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.732	-39.872	16.69	Não
<b>RD_43</b>	RD_43_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.732	-39.872	115.49	Não
<b>RD_44</b>	RD_44_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.720	-39.853	92.83	Não
<b>RD_45</b>	RD_45_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.709	-39.835	31.53	Não
<b>RD_46</b>	RD_46_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.697	-39.816	66.85	Não
<b>RD_47</b>	RD_47_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.685	-39.797	206.22	Não
<b>RD_47</b>	RD_47_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.685	-39.797	97.28	Não
<b>RD_48</b>	RD_48_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.673	-39.779	243.46	Não
<b>RD_49</b>	RD_49_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.662	-39.760	194.07	Sim
<b>RD_49</b>	RD_49_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.662	-39.760	116.09	Não
<b>RD_50</b>	RD_50_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.650	-39.741	283.27	Não
<b>RD_50</b>	RD_50_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.650	-39.741	37.92	Não
<b>RD_51</b>	RD_51_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.638	-39.723	69.14	Não
<b>RD_51</b>	RD_51_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.638	-39.723	15.45	Não

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>RD_52</b>	RD_52_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.809	-39.953	35.57	Não
<b>RD_52</b>	RD_52_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.809	-39.953	21.77	Não
<b>RD_53</b>	RD_53_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.797	-39.935	49.18	Não
<b>RD_53</b>	RD_53_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.797	-39.935	61.49	Não
<b>RD_54</b>	RD_54_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.785	-39.916	45.23	Não
<b>RD_54</b>	RD_54_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.785	-39.916	56.62	Não
<b>RD_55</b>	RD_55_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.773	-39.897	100.05	Não
<b>RD_55</b>	RD_55_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.773	-39.897	72.33	Não
<b>RD_56</b>	RD_56_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.762	-39.878	49.82	Não
<b>RD_57</b>	RD_57_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.750	-39.860	136.47	Não
<b>RD_57</b>	RD_57_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.750	-39.860	67.74	Não
<b>RD_58</b>	RD_58_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.738	-39.841	95.01	Não
<b>RD_58</b>	RD_58_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.738	-39.841	13.20	Não
<b>RD_59</b>	RD_59_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.727	-39.822	49.99	Não
<b>RD_59</b>	RD_59_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.727	-39.822	31.40	Não
<b>RD_60</b>	RD_60_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.715	-39.803	55.20	Não

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>RD_60</b>	RD_60_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.715	-39.803	49.79	Não
<b>RD_61</b>	RD_61_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.703	-39.785	56.54	Não
<b>RD_61</b>	RD_61_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.703	-39.785	80.63	Não
<b>RD_62</b>	RD_62_R2_Sur	Marinha	Superfície	-19.691	-39.766	232.10	Não
<b>RD_63</b>	RD_63_R1_Sur	Marinha	Superfície	-19.680	-39.747	41.44	Não
<b>RD_63</b>	RD_63_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.680	-39.747	134.71	Não
<b>RD_64</b>	RD_64_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.668	-39.729	49.16	Não
<b>RD_65</b>	RD_65_R3_Sur	Marinha	Superfície	-19.656	-39.710	53.64	Não
<b>RD_65</b>	RD_65_R1_Bot	Marinha	Fundo	-19.656	-39.710	41.65	Não
<b>UB_01</b>	UB_01	UHE Baguari	Superfície	-19.032	-42.129	40.29	Não
<b>UB_02</b>	UB_02	UHE Baguari	Superfície	-19.032	-42.129	75.61	Não
<b>UB_04</b>	UB_04	UHE Baguari	Superfície	-19.030	-42.132	187.97	Não
<b>UB_05</b>	UB_05	UHE Baguari	Superfície	-19.033	-42.130	73.69	Não
<b>UB_06</b>	UB_06	UHE Baguari	Superfície	-19.033	-42.130	81.65	Não
<b>UB_07</b>	UB_07	UHE Baguari	Superfície	-19.030	-42.133	128.84	Não
<b>UB_08</b>	UB_08	UHE Baguari	Superfície	-19.030	-42.133	122.84	Não

Local	ID_Amostral	Tipo de amostra	Profundidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Estimativa de Peso (g) da amostra de 0.063 - 0.125 mm	deteção positiva para rejeitos em estudo anterior?
<b>UB_09</b>	UB_09	UHE Baguari	Superfície	-19.034	-42.131	143.09	Não
<b>UB_10</b>	UB_10	UHE Baguari	Superfície	-19.034	-42.131	210.05	Não
<b>UB_11</b>	UB_11	UHE Baguari	Superfície	-19.032	-42.133	123.03	Não
<b>UB_12</b>	UB_12	UHE Baguari	Superfície	-19.032	-42.133	160.83	Não
<b>UB_13</b>	UB_13	UHE Baguari	Superfície	-19.035	-42.132	17.51	Não
<b>UB_15</b>	UB_15	UHE Baguari	Superfície	-19.033	-42.134	17.35	Não
<b>UB_16</b>	UB_16	UHE Baguari	Superfície	-19.033	-42.134	53.24	Não
<b>UB_17</b>	UB_17	UHE Baguari	Superfície	-19.036	-42.133	70.38	Não
<b>UB_18</b>	UB_18	UHE Baguari	Superfície	-19.036	-42.133	58.03	Não
<b>UB_20</b>	UB_20	UHE Baguari	Superfície	-19.034	-42.135	18.03	Não




<p>Locais de amostragem em Fundão e UHE Baguari e Rio do Carmo</p>	<p>Notas          Mapa elaborado por Jorja Claybrook 14/12/2023          Aprovado por James Keating 14/12/2023          Contornos de Profundidade: GEBCO (m)          Mapa base: Bing Satellite          CRS: WGS84</p>	 <p>Hydrobiology www.hydrobiology.com</p>
--	---	--

Figura 2-7 Estimativa (passível de confirmação posterior) dos pontos que possuem material suficiente na fração areia muito fina (63 – 125 µm) para Fundão, UHE Baguari e Rio Do Carmo. **Não houve amostras do Rio Guandu com material suficiente nessa fração.**

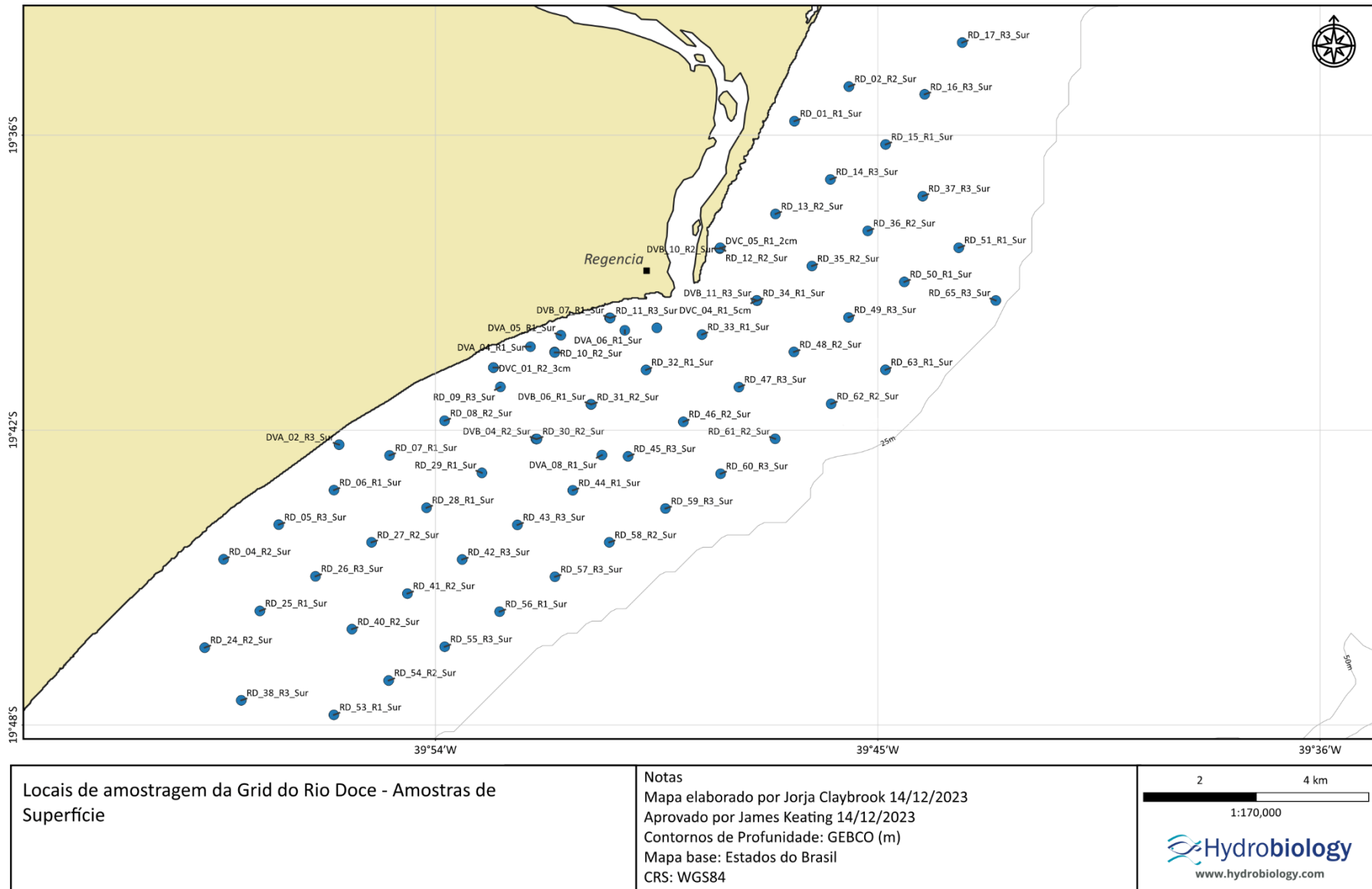


Figura 2-8 Estimativa (passível de confirmação posterior) dos pontos da grade marinha do Rio Doce (RD) com amostras de **superfície** que possuem material suficiente na fração de areia muito fina (63 – 125 µm).

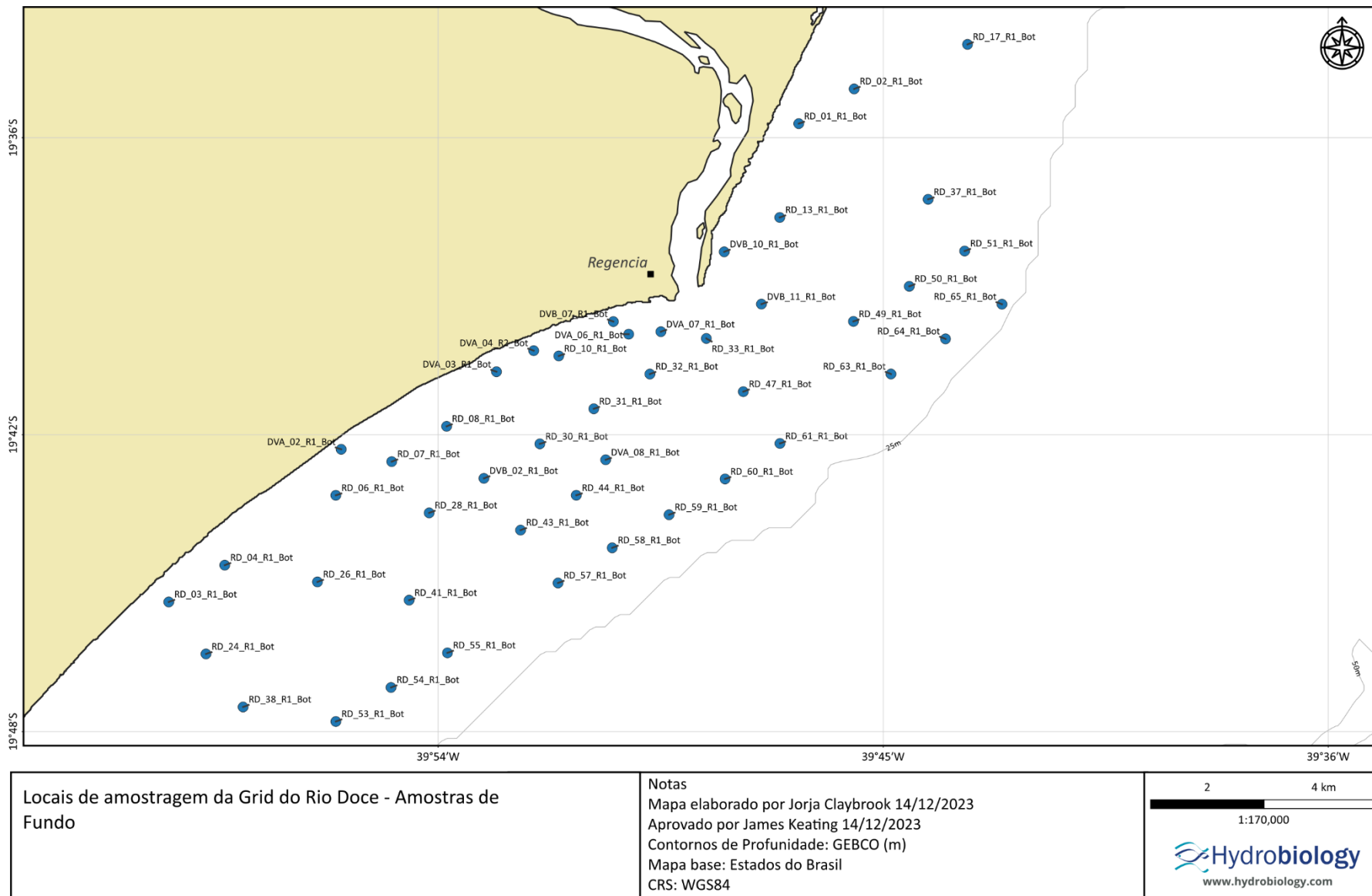


Figura 2-9 Estimativa (passível de confirmação posterior) dos pontos da grade marinha do Rio Doce (RD) com amostras de **fundo** que possuem material suficiente na fração de areia muito fina (63 – 125 µm).

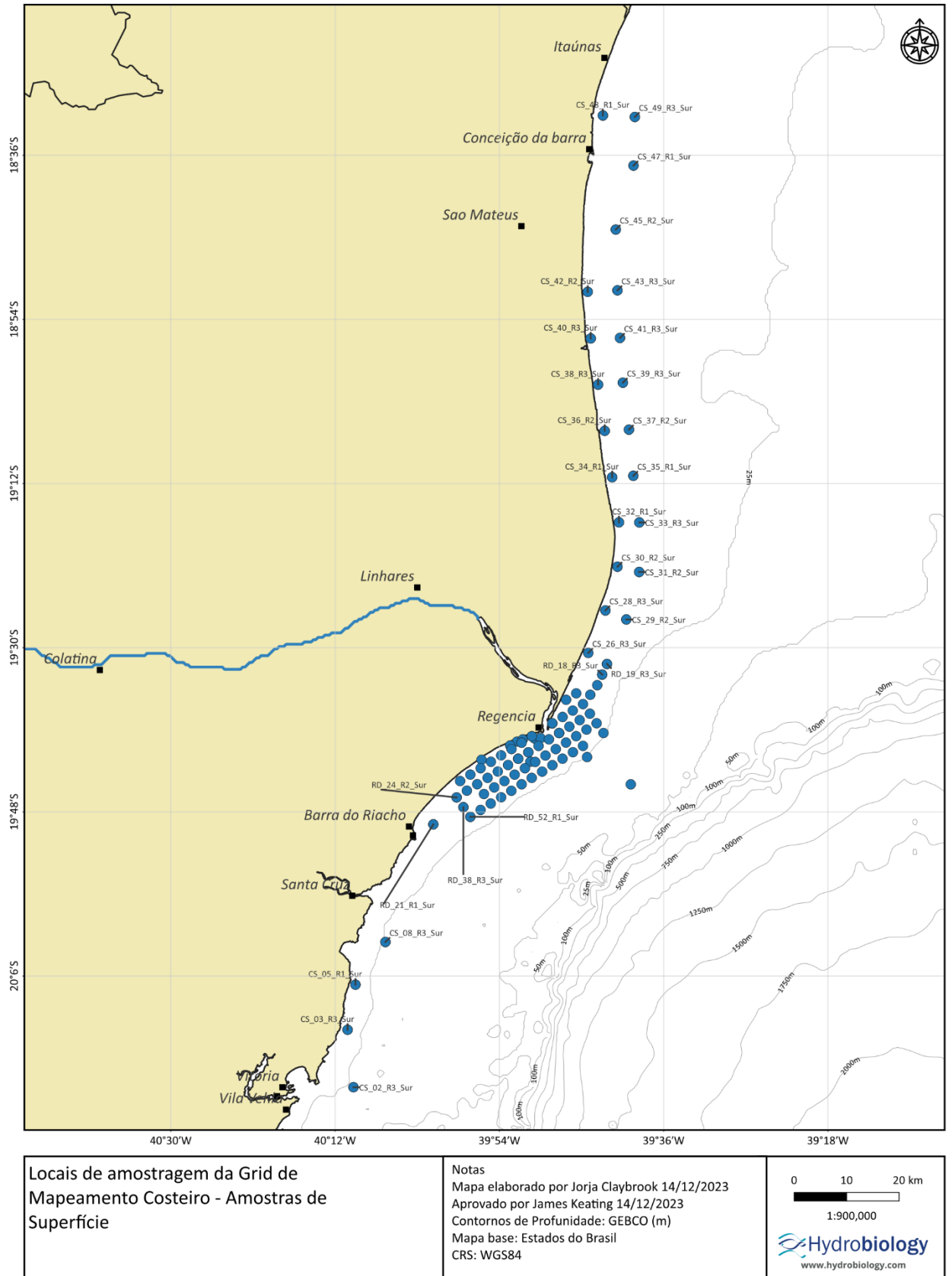


Figura 2-10 Estimativa (passível de confirmação posterior) dos pontos da grade marinha costeira (CS) com amostras de **superfície** que possuem material suficiente na fração de areia muito fina (63 – 125 µm).

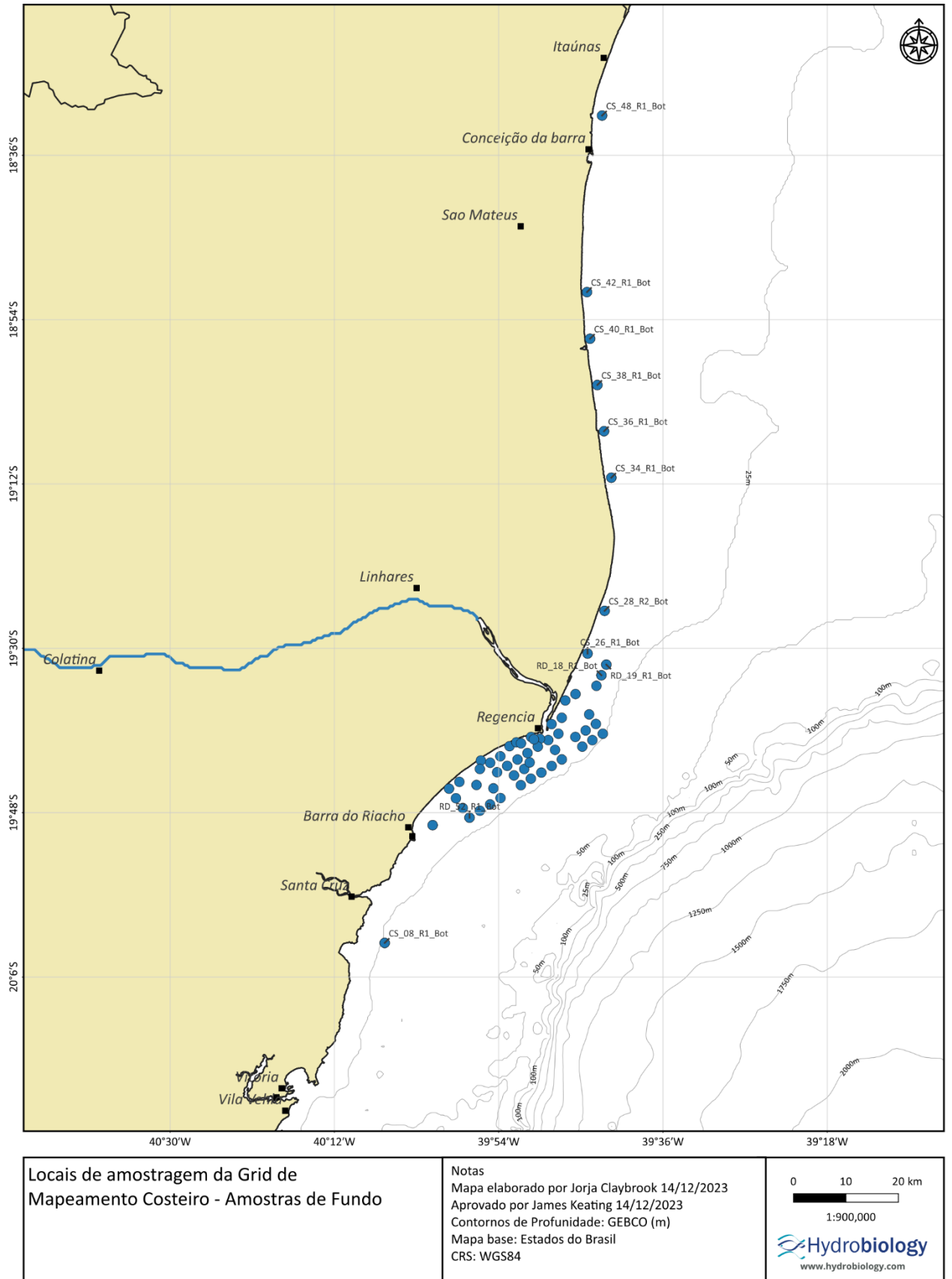


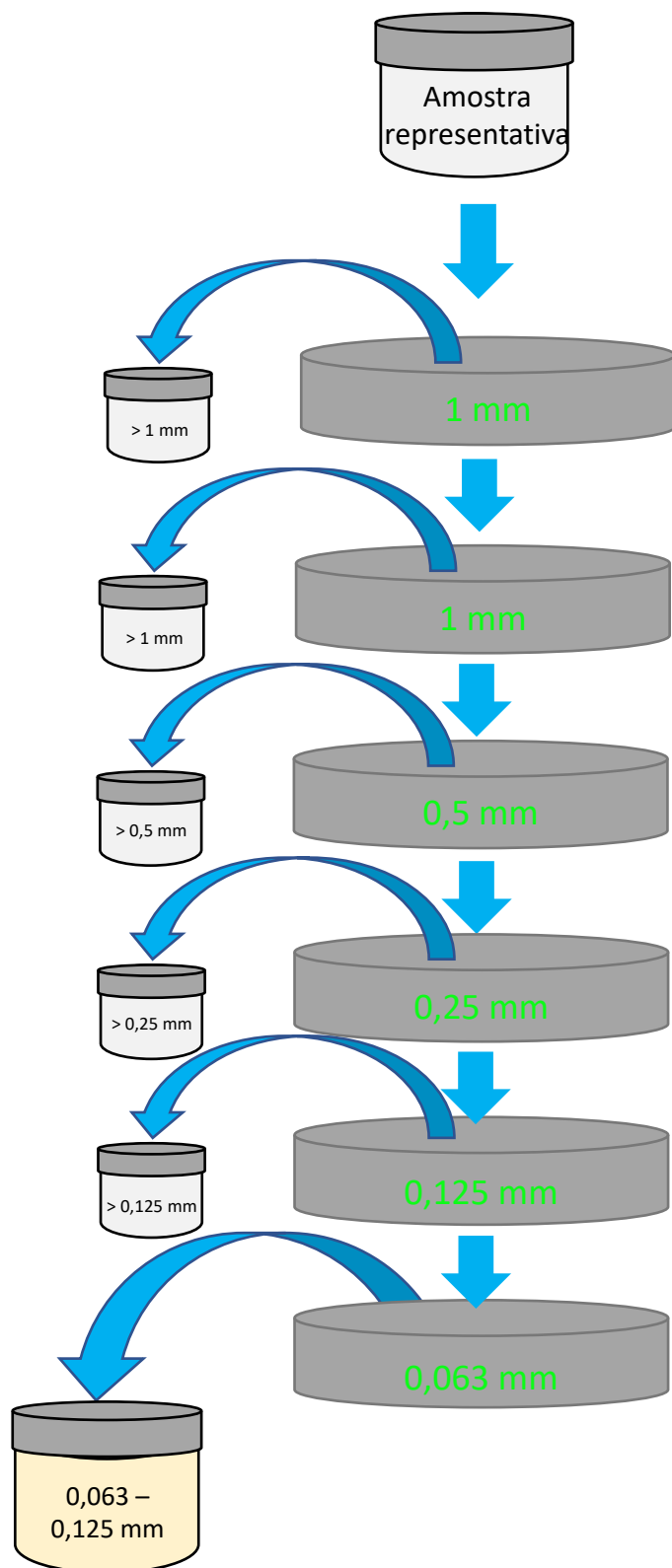
Figura 2-11 Estimativa (passível de confirmação posterior) dos pontos da grade marinha costeira (CS) com amostras de **fundo** que possuem material suficiente na fração de areia muito fina (63 – 125  $\mu$ m).

# 3. MÉTODOS

## 3.1 REQUISITOS DE PROCESSAMENTO

A fração granulométrica entre 63-125  $\mu\text{m}$  será isolada por peneiramento para todos os testemunhos de sedimentos existentes. As amostras resultantes que possuírem massa suficiente para as análises descritas na Seção 3.2 para a fração granulométrica de 63-125  $\mu\text{m}$ , serão enviadas para a Austrália e passará pelo processo de quarentena de biossegurança. Considera-se como massa suficiente para as análises previstas no presente plano de trabalho a quantidade de 10 g. Na Austrália, as amostras serão submetidas à irradiação gama e, após a quarentena de biossegurança, as amostras serão maceradas e aliquotadas. A maceração de amostras é um processo adicional obrigatório para a faixa entre 63-125  $\mu\text{m}$ , para as análises de FRX e, especialmente de DRX, as quais requerem pós de rocha finos para obter análises ideais. Essa etapa não foi requerida nas análises anteriores da fração < 63  $\mu\text{m}$ , as quais já atendiam aos critérios ideais. Um resumo do fluxograma do processamento de amostras, anteriormente às análises laboratoriais na Austrália, é fornecido na Figura 3-1 (próxima página).

# Etapas para o Pré-Processamento de amostras (Ambipar, Brasil para Microanálise, Austrália)



Amostras representativas secas entregues pela SGS (contendo amostras de estudo anterior) para a Ambipar Ambiental

### Distribuição do Tamanho de Partículas:

As amostras passam por amostragem úmida conforme Ambipar Ambiental.

As frações de tamanho de partícula mostradas aqui são apenas para referência. A fração final utilizada será a de 0,063 mm – 0,125 mm. Pese o material antes e depois de cada etapa.

### Etapas de Controle de Qualidade:

As peneiras são lavadas com água deionizada e esfregadas com uma escova entre cada amostra.

Retenha todo o material entre peneiras. A amostra pode ser homogeneizado novamente em 1 amostra, caso necessário.

Após a peneiração úmida. A amostra deve ser seca por 16 horas a 105° C antes de ser exportada para a Austrália.

### Controle de Qualidade:

Como o solo seco pode absorver umidade das amostras úmidas e da atmosfera, as amostras secas devem ser removidas antes de serem colocadas no forno ou embaladas e seladas antes do transporte.

Dependendo do volume final de cada amostra após a secagem final: cada amostra pode ser dividida em 2 frascos Thermo-Fisher e exportada para a Austrália.

Exportar todas as amostras para a Austrália.

Frascos Thermo-Fisher para exportar para a Austrália

Opção 1: Produto CSE332757S1 - Frasco Cintilação Transparente 20ml 100psc com tampa PP forrada com folha  
Opção 2: Produto SAMT102/V3Vial - Flaconete de vidro 28.25ml Tampa não inclusa, veja abaixo

Produto SAMT002/C3 – Tampa de vidro que caiba em T102/V3



## 3.2 MÉTODOS LABORATORIAIS

Os métodos laboratoriais abaixo serão aplicados em todas as amostras selecionadas que possuírem material de amostra suficiente na fração de areia muito fina (63 – 125  $\mu\text{m}$ ) (Tabela 3-1). Os métodos utilizados para análise laboratorial de areias finas (63 – 125  $\mu\text{m}$ ) são idênticos aos utilizados anteriormente para as demais classes de tamanho. Isso permitirá uma comparação direta com resultados anteriores.

### 3.2.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - DIFRAÇÃO À LASER

#### Laboratório Microanalysis Australia

A empresa Microanálise conduzirá as análises de granulometria através do uso de um difratômetro a laser (Malvern Instruments Mastersizer MS2000, ISSO 13320-1:2020). Uma subamostra representativa do material (0,25 – 200 g por *Riffler* rotativo) será dispersada em aproximadamente 75 ml de 1000 ppm hexametáfosfato de sódio (Calgon), utilizando um banho ultrassônico de Cole-Palmer 8851 (ou equivalente) por 20 minutos. Essa subamostra “dispersada” será então homogeneizada antes de ser colocada na câmara de análise de amostras do Malvern Mastersizer. As propriedades óticas (índice refrativo, coeficiente de absorção) do material particulado será estipulado em um valor apropriado para a amostra fornecida, que será analisada no sistema de difração utilizando uma lente ótica simples com duas fontes de luz a laser, uma a 632 nm e outra a 405 nm. Isso vai gerar dois limites de dados que serão combinados no software para se obter uma distribuição de tamanhos de 20 nm a 2 mm.

### 3.2.2 SEM-EDS

#### Laboratório Microanalysis Australia

Uma subamostra representativa será submetida a sonicação (agitação) em etanol por 5 minutos e cuidadosamente colocada (gota a gota) em uma aba de carbono de dupla face antes de ser revestida com carbono. Amostras não condutoras requerem revestimento antes da análise no Microscópio Eletrônico de Varredura (*Scanning Electron Microscope* – SEM) para evitar que acumulem carga enquanto são analisadas pelo feixe de elétrons.

A amostra será analisada utilizando um SEM Carl Zeiss EVO 50, equipado com um Espectrômetro de Dispersão de Energia (*Energy Dispersive Spectrometer* - EDS) Oxford INCA X-Max. O software automatizado utilizado para aquisição/processamento de imagens e análise de composição será o Oxford Instruments Feature (<https://nano.oxinst.com/products/aztec/aztecfeature>). Um mínimo de 3000 partículas será identificado em pelo menos 1 mm<sup>2</sup> na subamostra. A interpretação da fase mineral se baseará exclusivamente na composição elementar, e não em outra técnica complementar, como a DRX. Minerais com propriedades químicas e físicas diferentes podem ter composições elementares semelhantes e para a classificação mineral definitiva, serão utilizados os dados DRX.

### 3.2.3 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA – DIFRAÇÃO RAIOS-X (DRX)

#### James Cook University (JCU) Australia

A caracterização mineralógica será avaliada por um Difratômetro de Raios-X (DRX) Bruker (Siemens) D5000, equipado com um detector do tipo contador de cintilação e um monocromador de grafite. Nele, as amostras serão alocadas em um suporte apropriado sendo, em seguida, escaneadas. Esse equipamento possui um tubo de cobre (Cu K- $\alpha$  = 1.54178 Å), operado a 40 kV e 30 mA. As amostras serão escaneadas de 3 a 65°, em passos de 0,02°, com  $\mu\text{m}$  tempo de permanência de 2,4 segundos por passo, obtendo-se um tempo total de análise de um pouco mais que 2 horas por amostra. Interpretações quantitativas serão conduzidas utilizando o software Siroquant.

### 3.2.4 ANÁLISES DE ELEMENTOS PRINCIPAIS – FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX)

#### James Cook University (JCU) Australia

As amostras secas e maceradas (fração entre 63 - 125 µm) serão inicialmente aquecidas em uma mufla, a 1000°C, por 4 horas, para produzir o material inflamado necessário para o processo de fabricação de grânulos. Duas alíquotas de 2 g de cada amostra serão pesadas antes e depois do processo na mufla, sendo que a média da perda de massa será utilizada para calcular a Perda por Ignição (*Loss on Ignition* - LOI). Discos de vidro serão produzidos adicionando 1 g de amostra e 8 g de fundente (pesos exatos registrados). O fundente utilizado será do tipo 12:22 (Tetraborato de lítio: Metaborato de lítio), disponibilizado pela FRX Chemicals Ltda, WA. Os discos serão fundidos a 1050 °C em um forno oscilante em 95%-5% Pt-Au moldáveis (cadinhos). A solução de iodeto de amônio será utilizada como agente de liberação no processo de fusão para impedir que as amostras grudem nos cadinhos. Os dados dos elementos principais serão gerados analisando-se os discos de vidro fundido em um instrumento Bruker S2 Puma X-Ray Fluorescence (XRF), usando as calibrações diárias incorporadas e o método Smart Oxides.

### 3.2.5 ESPECTROMETRIA DE MASSA DE PLASMA ACOPLADA INDUTIVAMENTE (ICP-MS)

#### James Cook University (JCU) Australia

As amostras dissolvidas serão gravimetricamente diluídas para produzir soluções de 0,2 mg/ml em 2% de HNO<sub>3</sub>, que serão então medidas usando uma espectrometria de massa com plasma triplo quadrupolo acoplado indutivamente (Thermo Fisher® iCAP™ TQ-ICP-MS; amostrador automático Cetac™ ASX-560). Durante as análises, as amostras serão colocadas em um filtro-HEPA personalizado para o amostrador automático Cetac™ ASX-560, projetado na JCU, e construído localmente (Northern Plastics, Townsville). O espectrômetro Thermo Fisher® iCAP™ TQ-ICP-MS, através do pacote Qtegra, seleciona automaticamente o modo analítico necessário para determinar as concentrações absolutas dos elementos com mais precisão em soluções de meios mistos, de forma que interferentes comuns são quase quantitativamente removidos (por exemplo, via discriminação por energia cinética ou tecnologia de colisão de células, que desloca íons em massa produzindo espécies moleculares para evitar sobreposições de interferência de massa atômica). Um total de 50 elementos serão mensurados simultaneamente para as concentrações e cada análise consistirá em 3 réplicas de 5 varreduras, processadas com 60 segundos de washout;

- (vestígios de metais + Sr, Nd): Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Zr, Nd, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U
- (Elementos Terras raras + Fe, Sr): Fe, Sr, Nb, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.

As concentrações serão calibradas usando faixas de diluições (0,5, 1, 5, 10 e 20 ppb) da solução referência, com intensidades corrigidas por dopagem de Ru ao longo da sessão analítica, para corrigir a supressão de sinal induzida pela matriz.

### 3.2.6 ANÁLISES DE TRAÇOS DE ISÓTOPOS (JAMES COOK UNIVERSITY, AUSTRALIA)

#### Isótopos de Fe

A separação do Fe será conduzida no Laboratório de Geoquímica IsoTropics, na JCU, seguindo protocolos de separação pré-estabelecidos (Dauphas *et al.*, 2009; McCoy-West *et al.*, 2018; Whitworth *et al.*, 2019).

Alíquotas contendo 300 µg de Fe (determinadas baseando-se no FRX) serão secas e colocadas em solução 6 M HCl. O Fe será então purificado da amostra matriz usando colunas Bio-Rad Polyprep preenchidas com 1,0 ml de resina Bio-Rad AG1-X8 (malha de 100–200) de troca aniônica. Composições

de isótopos de ferro serão medidas com espectrômetro Thermo Fisher® Neptune™ MC-ICP-MS no Centro de Análises Avançadas (AAC, JCU Townsville), utilizando uma câmara de pulverização ciclônica de passagem dupla e um nebulizador Elemental Scientific® PFA ST-100. Posteriormente, as medições serão realizadas em resolução média de massa. Interferências isobáricas de  $^{40}\text{Ar}^{14}\text{N}$ ,  $^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}^1\text{H}$ , e  $^{40}\text{Ar}^{18}\text{O}$  em  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{57}\text{Fe}$  e  $^{58}\text{Fe}$  serão resolvidas medindo-se os isótopos de ferro como picos de topo reto.

### **Isótopos de Sr**

A separação de estrôncio será conduzida no Laboratório de Geoquímica IsoTropics, da JCU, seguindo protocolos de separação pré-estabelecidos (Charlier *et al.*, 2006).

Seguindo as colunas de cátions conforme descrito acima, a alíquota de Sr será purificada por uma passagem única através de uma pequena coluna preenchida com um leito de resina de 4 mm (resina Eichrom específica para Sr). As composições de isótopos de estrôncio serão medidas com um Thermo Fisher® Neptune™ MC-ICP-MS no Centro de Análises Avançadas (AAC, JCU Townsville) através de uma câmara de pulverização ciclônica de passagem dupla e um nebulizador Elemental Scientific® PFA ST-100. Cada análise será precedida por uma lavagem de 90 segundos, constituindo 50 ciclos de integrações, de 4 segundos, com coletores estáticos de faraday. As razões de isótopos de Sr serão corrigidas pelo viés de massa através da razão de  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  de 0,1194, que é amplamente utilizada.

### **Isótopos de Nd**

A separação de neodímio será conduzida no Laboratório de Geoquímica IsoTropic seguindo protocolos de separação pré-estabelecidos (McCoy-West *et al.*, 2016, 2020).

Alíquotas contendo 1000 ng de Nd (determinado por TQ-ICP-MS) serão secas e colocadas em solução de HCl 1,5 M. Uma fração de Sr e de elementos de terras raras (REE) serão então purificadas da matriz da amostra, através do uso de colunas Bio-Rad Polyprep (capacidade de resina de 2,0 ml), preenchidas com 2 ml de resina de troca catiônica Bio-Rad AG50W-X8 (malha 100–200). Posterior ao carregamento da amostra, os elementos da matriz serão eluidos com uma mistura de soluções diluídas de HCl e HCl-HF. Um corte de Sr será então coletado usando 2,5 M HCl, seguido da eluição de elementos adicionais da matriz usando 2 M  $\text{HNO}_3$  (isso marca o Ba, que interfere durante as análises).

Finalmente, a fração REE será coletada usando 13 ml de HCl 6M. Antes da espectrometria de massa, as amostras serão colocadas em solução de 2 ml de  $\text{HNO}_3$  a 2%. As composições de isótopos de Nd serão mensuradas através de um multicoletor Thermo Fisher® Neptune™ (MC)-ICP-MS no Centro de Análises Avançadas (AAC, JCU Townsville), usando uma câmara de pulverização ciclônica de passagem dupla e o nebulizador Elemental Scientific® PFA ST-50. Cada análise será precedida por uma lavagem de 90 segundos e consistirá 50 ciclos de integrações de 4 segundos, com coletores estáticos de Faraday. A correção on-line para a presença de interferências isobáricas diretas de Sm (em  $^{144}\text{Nd}$ ,  $^{148}\text{Nd}$  e  $^{150}\text{Nd}$ ) será realizada usando intensidades de Sm corrigidas por viés de massa com base na razão  $^{149}\text{Sm}/^{147}\text{Sm}$  e uma razão de normalização de 0,9216 (Wasserburg *et al.*, 1981). As razões de isótopos de Nd serão então corrigidas pelo viés de massa, usando o livre de interferência  $^{146}\text{Nd}/^{145}\text{Nd}$ , com uma razão de 2,071943 (equivalente à razão amplamente usada de  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  de 0,7219).

### **Isótopos de O**

As amostras pulverizadas serão tratadas com HCl a 20% à temperatura ambiente até que não reste nenhuma reação para remoção do material carbonático e colocadas em descanso. Posteriormente, as amostras serão lavadas 3 vezes com água deionizada (18,2 MW) e colocadas em overnight a 100°C. O oxigênio será então extraído de 5mg de amostra a 550-600°C de acordo com o procedimento convencional  $\text{BrF}_5$ , descrito por Clayton e Mayeda (1963). As amostras serão então analisadas em um espectrômetro de massa para razões isotópicas, de dupla entrada - IRMS (modelo Thermo Scientific Mat 253), onde as relações ruído-sinal são inferiores a 0,05%. Os valores serão reportados em  $\delta^{18}\text{O}$ ,

usando a notação delta ( $\delta$ ) em unidades de permille (‰) em relação ao padrão internacional Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW), com uma precisão de 0,4‰, onde:

$$\delta^{18}\text{O} \text{ ‰} = (R \text{ amostra} / R \text{ VSMOW} - 1) \times 1000$$

sendo  $R \text{ VSMOW} = 0.0020052 \pm 0.00000043$ .

Os critérios internos de aceitação para validação de controle de qualidade (QA/QC) serão: menores que 0,15‰ em cada medida de amostra ( $n = 8$  ciclos de medição), e os valores de NBS28 ( $n = 2$ ) dentro do erro relatado (1 sigma) a cada grupo de 8 amostras executadas.

Tabela 3-1 Laboratórios utilizados para cada análise.

Método	Laboratório
<b>Peneiramento</b>	Ambipar Ambiental (CETESB L6.160/1995)
<b>Irradiação Gama</b>	Microanalysis Australia (ISO/IEC 17025)
<b>Difração de Raios-X (DRX)</b>	Advanced Analytical Centre, JCU, Austrália University of Tasmania, Austrália (alto teor de Fe)
<b>Fluorescência de Raios-X (FRX)</b>	Advanced Analytical Centre, JCU, Austrália University of Tasmania, Austrália (alto teor de Fe)
<b>Varredura de vários elementos ICP-MS</b>	IsoTropics Geochemistry Laboratory, JCU
<b>Determinação da granulometria por difração a laser (Laser Malvern)</b>	Microanalysis Australia (NATA 20283)
<b>Microscopia Eletrônica de Varredura</b>	Microanalysis Australia
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ $^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$ e $^{57}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$	IsoTropics Geochemistry Laboratory, JCU
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (carbonatos/silicatos/óxidos)	Queens University, Canadá

### 3.3 FLUXOGRAMA ESTATÍSTICO

O principal objetivo do fluxograma estatístico será identificar variáveis-chave de cada método laboratorial que sejam exclusivas das amostras da Barragem de Rejeitos de Fundão, em comparação com amostras de fundo marinho. A hipótese deste projeto é que as amostras de fundo (aproximadamente 30 - 35 cm de profundidade de sedimento) de cada testemunho de sedimento marinho serão representativas de sedimentos que foram depositados antes de qualquer influência potencial de rejeitos do rompimento da barragem de Fundão, atuando como amostras de referência. Um diagrama do fluxograma estatístico completo é apresentado na Figura 3-2.

Devido ao grande número de variáveis que serão utilizadas a partir do método laboratorial, serão identificadas as cinco variáveis mais dissimilares para cada método laboratorial entre amostras de fundo marinho e amostras de Fundão; análises exploratórias e estatísticas serão focadas nesses parâmetros. As amostras serão agrupadas como amostras de fundo marinho e amostras de Fundão, e testes de mediana serão realizados em cada variável por método laboratorial. Amostras de outras regiões/profundidades de sedimentos não serão consideradas nesta etapa. Testes U de Mann-Whitney serão realizados para cada variável pois a maioria das variáveis são não paramétricas. As variáveis serão classificadas por estatística de teste (estatística U) e cinco variáveis com a estatística de teste mais alta, com um valor  $p < 0,05$ , serão escolhidas como variáveis de “impressão digital” para cada método de laboratório. Essas variáveis de impressão digital serão focadas em futuras análises exploratórias e testes estatísticos. Observe que será possível ter menos de cinco variáveis como variáveis de impressão digital para cada método de laboratório, caso menos de cinco variáveis tiverem resultados de teste significativos. Boxplots de variáveis de impressão digital serão produzidos para cada região, de acordo com cada método laboratorial.

Mapas serão confeccionados para as variáveis de impressão digital a partir de cada método laboratorial para comparar a variabilidade espacial dentro e entre cada região; Barragem de rejeitos de Fundão, Rio do Carmo, UHE Baguari, Grade Marinha Rio Doce e Grade Marinha Costeira.

Os dados de cada método laboratorial serão transformados em uma matriz de dissimilaridade ‘Bray-Curtis’ (BC) e serão analisados utilizando um escalonamento multidimensional não métrico (NMDS). O NMDS pode destacar grupos potencialmente significativos em conjuntos de dados multivariados e é aplicado para visualizar agrupamentos naturais em dados multivariados. Esse método plota amostras com base no nível de similaridade entre si; amostras com assinaturas multivariadas semelhantes são agrupadas próximas umas das outras, enquanto amostras com assinaturas multivariadas divergentes são plotadas mais distantes umas das outras. A análise NMDS será executada utilizando dados de todas as variáveis e profundidades de sedimentos por método laboratorial. Nesse NMDS, uma função chamada ENVFIT será utilizada para realizar uma regressão múltipla de todas as variáveis dentro de um método para calcular o tamanho do efeito de cada variável na ordenação dos pontos amostrais. Esses tamanhos de efeito serão classificados e os 5 efeitos mais significativos ( $p < 0,05$ ) serão plotados na ordenação para a visualização de quais variáveis estão causando a maior variabilidade na ordenação da amostra. Um segundo procedimento NMDS será executado exclusivamente nas variáveis de impressão digital de cada método laboratorial para remover a variabilidade adicional que não está associada aos rejeitos de Fundão. O ENVFIT será aplicado utilizando as variáveis de impressão digital para visualizar a força de seus efeitos na ordenação das amostras na segunda aplicação do teste de NMDS.

Os testes de ANOSIM (Análise de similaridade) serão realizados nas variáveis de impressão digital de cada método para testar se elas são significativamente diferentes entre amostras de superfície marinha versus amostras de Fundão, já que a ANOSIM é um teste não paramétrico multivariado apropriado do tipo ANOVA (CLARKE, 1993).

Antes de integrar as variáveis de impressão digital candidatas, elas serão analisadas quanto à correlação usando o teste de Correlação de Classificação de Spearman. A estatística p de Spearman será aplicada para estimar uma medida de associação baseada em classificação, que é mais adequada para dados contínuos, com distribuição não-normal. Modelos aleatórios de *Random Forest* serão utilizados como abordagem integrativa para estimar a probabilidade de cada amostra de sedimento marinho ser ou não classificada como rejeito da barragem de Fundão. As 5 principais variáveis dissimilares (mais significativas) de cada método laboratorial, entre amostras de fundo marinho e amostras de rejeito de Fundão, serão utilizadas como variáveis de impressão digital para o modelo *Random Forest*. Estudos geoquímicos que utilizam o modelo *Random Forest* são comuns (por exemplo, Wang, Zou e Dong, 2019; Cao et al., 2023; Harris e Grunsky, 2015).

Quaisquer variáveis adicionais que tenham uma forte associação com as amostras de Fundão das parcelas NMDS, mapas espaciais, bem como a matriz de correlação, também poderão ser inclusas. O modelo classificará as amostras marinhas como rejeitos ou sedimentos marinhos com base numa estimativa de probabilidade de a amostra ser mais semelhante a amostras de fundo marinho (estimativa de probabilidade de 0 – 0,5) ou mais semelhante aos rejeitos (estimativa de probabilidade de 0,5 – 1). Esse é o processo de decisão padrão de modelos aleatórios de *Random Forest* onde existem dois resultados de classificação possíveis. Os hiperparâmetros do modelo, como o número de árvores usadas para cada *Random Forest* e o número de variáveis testadas em cada divisão, serão refinados para garantir que o erro fora da curva (OOB) seja minimizado em cada um. O número ideal de árvores também será refinado por testes repetidos com número variável de árvores de decisão para minimizar OOB. Os modelos serão validados por meio de 99 interações de testes de permutação para estimar a taxa de produção de falsos positivos e falsos negativos, bem como erro OOB de validação cruzada.

# Gerenciamento de Dados

Adicione dados passados de CQ para acessar bando de dados



Resultados de laboratório em formato Excel



Resultados de laboratório em formato PDF



Importação de PDF



**CQ de Dados**

- Cadeia de Custódia correta?
- Htempo de espera?
- Erros de entrada de dados
- Laboratório responsável
- Assinatura do técnico
- Dados discrepantes
- O número de amostras analisadas corresponde ao número de amostras esperadas
- IDs de amostra de codificação interna SGS alterados para codificação da Hydrobiology
- Atribua valores abaixo do Limite de Quantificação no limite especificado.

Mesclagem necessária?

Sim

Não

**Mesclando resultados de vários laboratórios**

- Cadeia de Custódia correta?
- Verifique se as unidades de medida são iguais nas variáveis compartilhadas entre laboratórios
- Mescle variáveis compartilhadas
- Mantenha variáveis não compartilhadas em conjuntos de dados mesclados, mas não use esses dados em análises.



**Mapeie as 5 principais variáveis para cada método laboratorial**

- Barragem de Rejeitos de Fundão e UHE Baguari
- Rio do Carmo e Rio Guandu
- Grade Marinha do Rio Doce
- Grade Marinha Costeira

# Análise Exploratória

**Testes de mediana para escolher as 5 variáveis mais dissimilares entre amostras marinhas (de fundo) e amostras da Barragem de Rejeitos de Fundão.**

- Testes não paramétricos aplicados em todo o fluxograma estatístico
- Testes U de Mann-Whitney
- Classifique todas as variáveis para cada método com base na força da estatística de teste com valores de p significativos (<0,05)
- Seleção (até) as 5 principais variáveis de classificação conforme acima
- Use essas 5 variáveis para análises exploratórias adicionais.



# Análise Estatística

**NMDS**

Visualize agrupamentos naturais em dados multivariados onde os dados atendem às premissas do NMDS

1. Em todas as variáveis por método, aplique a função ENVFIT para escolher as 5 variáveis com maior efeito na ordenação das amostras
2. Somente use as 5 principais variáveis dos testes U de Mann-Whitney; aplicar ENVFIT para representar graficamente as 5 principais e visualizar a força desses efeitos na ordenação das amostras. Verifique se a tensão do ajuste do modelo é <0,2.



**Teste Não-paramétrico ANOSIM**

Teste estatisticamente as 5 principais variáveis de cada método para comparar os efeitos entre os rejeitos de Fundão e os sedimentos superficiais marinhos.

# Modelo Integrativo

**Modelo aleatório *Random Forest***

- As 5 variáveis mais dissimilares dos testes Mann Whitney U das amostras de Fundão vs amostras de fundo marinho para cada método de laboratório
- Remova qualquer variável altamente correlacionada antes da seleção do modelo
- Adicione qualquer variável que não está entre as 5 primeiras, mas que mostraram fortes tendências espaciais em mapas com Fundão, agrupamento com Fundão do NMDS etc.

# 4.RELATÓRIOS E CRONOGRAMA

## 4.1 CRONOGRAMA DO PROJETO

O estudo deverá levar 14 meses para ser concluído. Um cronograma preliminar é apresentado na Tabela 4-1.



# 5. REFERÊNCIAS

Cao, M., Yin, D., Zhong, Y., Lv, Y., Lu, L. (2023). Detection of geochemical anomalies related to mineralization using the Random Forest model optimized by the Competitive Mechanism and Beetle Antennae Search. *Journal of Geotechnical Exploration* 249. 107195.

<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107195>

Charlier, B. L. A., Ginibre, C., Morgan, D., Nowell, G. M., Pearson, D. G., Davidson, J. P. and Ottley, C. J. (2006) "Methods for the microsampling and high-precision analysis of strontium and rubidium isotopes at single crystal scale for petrological and geochronological applications," *Chemical Geology*, 232(3), pp. 114–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.02.015>.

Clarke, K.. (1993). Nonparametric Multivariate Analyses of Changes in Community Structure. *Austral Ecology*. 18. 117-143. 10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x.

Dauphas, N., Pourmand, A. and Teng, F.-Z. (2009) "Routine isotopic analysis of iron by HR-MC-ICPMS: How precise and how accurate?," *Chemical Geology*, 267(3), pp. 175–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.12.011>.

Harris, J.R., Grunsky, E.C. (2015). Predictive lithological mapping of Canada's North using Random Forest classification applied to geophysical and geochemical data. *Computers and Geosciences* 80. 9-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2015.03.013>

McCoy-West, A., Fitton, J., Pons, M.-L., Inglis, E. and Williams, H. (2018) "The Fe and Zn isotope composition of deep mantle source regions: Insights from Baffin Island picrites," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 238. doi: 10.1016/j.gca.2018.07.021.

McCoy-West, A., Millet, M.-A., Nowell, G., Nebel, O. and Burton, K. (2020) "Simultaneous measurement of neodymium stable and radiogenic isotopes from a single aliquot using a double spike," *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 35. doi: 10.1039/C9JA00308H.

McCoy-West, A. J., Bennett, V. C. and Amelin, Y. (2016) "Rapid Cenozoic ingrowth of isotopic signatures simulating 'HIMU' in ancient lithospheric mantle: Distinguishing source from process," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 187, pp. 79–101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.05.013>.

Wang, z., Zuo, R., Dong, Y. (2019). Mapping Geochemical Anomalies Through Integrating Random Forest and Metric Learning Methods. *Natural Resources Research* 28(4). 1285-1298.  
<https://doi.org/10.1007/s11053-019-09471-y>

Whitworth, A., Brand, H., Wilson, S. and Frierdich, A. (2019) "Iron Isotope Geochemistry and Mineralogy of Jarosite in Sulfur-Rich Sediments," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 270. doi: 10.1016/j.gca.2019.11.029.



STREET

1/71 Troy Terrace  
Jolimont 6014  
WESTERN AUSTRALIA



POSTAL

PO Box 1034  
West Leederville 6901  
WESTERN AUSTRALIA



CONTACT

+61 (0)8 6218 0900 P  
infowa@hydrobiology.com

ABN 68 120 964 650

[www.hydrobiology.com](http://www.hydrobiology.com)