

**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

RT-19C 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 memorian*

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

1	METODOLOGIA	13
1.1	ANÁLISE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)	13
1.2	ANÁLISE MINERALÓGICA	13
1.3	ANÁLISE DE SEDIMENTO SUPERFICIAL DE FUNDO	14
1.4	ANÁLISE DE DENSIDADE.....	15
2	RESULTADOS	15
2.1	DADOS PRÉ-MONITORAMENTO (2015/2017)	17
2.1.1	Matriz água	17
2.1.2	Matriz sedimento superficial.....	30
2.2	RESULTADOS 2018/2019	58
2.2.1	Matriz água	58
2.2.2	Interfaces e emulsões.....	101
2.2.3	Matriz sedimento superficial.....	107
2.2.4	Análise de dados.....	159
3	REFERÊNCIAS	173
4	APÊNDICES	174

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) em um transecto em frente à desembocadura do Rio Doce (Setor Foz Central). Note que a escala desta figura é única com máximo do eixo Y no valor de 600 mg/L.....	19
Figura 2: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor Foz Sul Note que o valor máximo do eixo Y é de 90 mg/L.	21
Figura 3: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor APA Costa das Algas. Note que o valor máximo do eixo Y é de 70 mg/L.....	23
Figura 4: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor Foz Norte. Note que o valor máximo do eixo Y é de 160 mg/L.	25
Figura 5: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor Norte para a região de Degredo. Note que o valor máximo do eixo Y é de 80 mg/L.	26
Figura 6: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor Norte para a região de Barra Nova.	27
Figura 7: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor Abrolhos.....	27
Figura 8: Média de ferro (%) no MPS de água do fundo da coluna d'água para o ano de 2016.	30
Figura 9: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Foz Central.	32
Figura 10: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial do Setor Foz Central.	34
Figura 11: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial no Setor Foz Sul.	36
Figura 12: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial da região Foz Central.	38
Figura 13: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas.	39
Figura 14: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas.....	41
Figura 15: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Foz Norte.....	43
Figura 16: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial do Setor Foz Norte.	44
Figura 17: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Norte na região de Degredo.	45

Figura 18: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial da região de Degredo.	45
Figura 19: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Norte da região de Barra Nova.	47
Figura 20: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial do Setor Norte na região de Barra Nova.	48
Figura 21: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Abrolhos.	49
Figura 22: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial do Setor Abrolhos.	50
Figura 23: Valores de densidade (kg/m^3) para o Setor Foz Norte.	51
Figura 24: Valores de densidade (kg/m^3) para o Setor Foz Central.	52
Figura 25: Valores de densidade (kg/m^3) para o Setor Foz Sul.	53
Figura 26: Valores de densidade (kg/m^3) para o Setor APA Costa das Algas.	54
Figura 27: Média de ferro (%) em sedimentos superficiais para o período de 2016.	57
Figura 28: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Abrolhos.	58
Figura 29: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Abrolhos.	59
Figura 30: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Abrolhos durante o monitoramento.	60
Figura 31: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST para o Setor Abrolhos.	61
Figura 32: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Norte.	62
Figura 33: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Norte.	63
Figura 34: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Norte durante o monitoramento.	64
Figura 35: Variabilidade do MPS para as estações do Setor Norte ao longo do monitoramento.	65
Figura 36: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST do Setor Norte.	66
Figura 37: Comparativo da variabilidade do MPS para as estações dos Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul ao longo do monitoramento.	67

Figura 38: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Foz Norte.	68
Figura 39: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Foz Norte.	70
Figura 40: Variabilidade do MPS para as estações do Setor Foz Norte ao longo do monitoramento. .	71
Figura 41: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Foz Norte durante o monitoramento	71
Figura 42: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST do Setor Foz Norte. Não houve perfilagem nas Campanhas 10 e 11.	72
Figura 43: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Foz Central. À direita: apresentação da estação SD 01 separadamente devido ao seu elevado valor de MPS em superfície. Note que o eixo Y teve que ser ajustado em seu valor máximo.	73
Figura 44: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Foz Central.	74
Figura 45: Comparação do MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água entre a Campanha 6 (março) e o após a passagem da tempestade tropical Iba para o Setor Foz Central.	75
Figura 46: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Foz Central durante o monitoramento.	76
Figura 47: Variabilidade do MPS para as estações do Setor Foz Central ao longo do monitoramento.	76
Figura 48: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST do Setor Foz Central. Não houve perfilagem nas Campanhas 10 e 11.	78
Figura 49: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água. O gráfico apresenta um comparativo entre os dias 6 e 14/11/2018 para as estações SD 01 e SD 02. Os números 1 e 2 após o nome da estação indicam a sequência de amostragem de acordo com a data.	79
Figura 50: Comparativo entre as CVS e granulometria do MPS registrado pelo LISST para os dias 06/11 (topo) e 14/11/2019 (base) na estação SD 01.....	80
Figura 51: Comparativo entre as CVS e granulometria do MPS registrado pelo LISST para os dias 06/11 (topo) e 14/11/2019 (base) na estação SD 02.....	81
Figura 52: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Foz Sul.....	83
Figura 53: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Foz Sul.....	84

Figura 54: Variabilidade do MPS para as estações do Setor Foz Sul ao longo do monitoramento.....	86
Figura 55: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Foz Sul durante o monitoramento.	86
Figura 56: Comparação do MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água entre a Campanha 6 (março) e o após a passagem do ciclone Iba para o Setor Foz Sul.	87
Figura 57: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST para o Setor Foz Sul. Não houve perfilagem nas Campanhas 10 e 11.....	88
Figura 58: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor APA Costa das Algas. As estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho.	90
Figura 59: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor APA Costa das Algas subdividido em estações rasas e profundas.	91
Figura 60: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor APA Costa das Algas.	92
Figura 61: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor APA Costa das Algas durante o monitoramento. Topo: estações rasas. Base: estações profundas.	93
Figura 62: Variabilidade do MPS para as estações do Setor APA Costa das Algas ao longo do monitoramento. Estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho.	94
Figura 63: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST para o Setor APA Costa das Algas. Dados de LISST para a Campanha deste setor são ausentes. Estações com valores abaixo do limite de detecção não foram apresentadas no gráfico para as Campanhas 4, 7 e 10.	96
Figura 64: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Sul. As estações GUA 01 e GUA 02 foram amostradas somente nas Campanhas 1 e 7 (Semestrais).....	98
Figura 65: Variabilidade do MPS para as estações do Setor Sul ao longo do monitoramento.	98
Figura 66: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Sul.	99
Figura 67: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Sul durante o monitoramento.	100
Figura 68: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST para o Setor Sul.	101
Figura 69: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água para as diferentes interfaces identificadas ao longo do monitoramento durante as coletas realizadas na	

foz do Rio Doce. A figura apresenta um gráfico comparativo entre os pontos amostrais posicionados dentro (SDPd) e fora (SDPf) da pluma alaranjada presente. Note que a interface SDPd 01 durante a Campanha 5 teve que ser apresentada em gráfico separado devido ao seu elevado valor de MPS. 102

Figura 70: Perfil comparativo entre os pontos amostrais SDPd (topo) e SDPf (base) da água de maior turbidez registrado pelo LISST ao longo da coluna d'água na Campanha 1. À esquerda: concentração por volume em suspensão (CVS; $\mu\text{l/L}$); À direita: Concentração de cada faixa de tamanho das partículas. O tamanho das partículas é apresentado em μm . 103

Figura 71: Perfil comparativo entre os pontos amostrais SDPd (topo) e SDPf (base) da água de maior turbidez registrado pelo LISST ao longo da coluna d'água na Campanha 2. À esquerda: concentração por volume em suspensão (CVS; $\mu\text{l/L}$); À direita: Concentração de cada faixa de tamanho das partículas. O tamanho das partículas é apresentado em μm . 104

Figura 72: Perfil comparativo entre os pontos amostrais SDPd (topo) e SDPf (base) da água de maior turbidez registrado pelo LISST ao longo da coluna d'água na Campanha 5. À esquerda: concentração por volume em suspensão (CVS; $\mu\text{l/L}$); À direita: Concentração de cada faixa de tamanho das partículas. O tamanho das partículas é apresentado em μm . 105

Figura 73: MPS e os respectivos teores de MO de emulsões de coloração alaranjada (espuma) no limiar ar/água na superfície da coluna d'água coletadas durante o monitoramento. 106

Figura 74: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Abrolhos. 108

Figura 75: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Abrolhos. 109

Figura 76: Valores de densidade (kg/m^3) do sedimento superficial do Setor Abrolhos. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem. 110

Figura 77: Teor de matéria orgânica do sedimento superficial do Setor Abrolhos. 111

Figura 78: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Abrolhos. 111

Figura 79: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Norte. 113

Figura 80: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Norte. 114

Figura 81: Valores de densidade (kg/m^3) superficial do Setor Norte. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem. 116

Figura 82: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Norte. 117

Figura 83: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor Norte. 117

Figura 84: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Foz Norte. 119

Figura 85: Valores de densidade (kg/m^3) superficial do Setor Foz Norte. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.....	120
Figura 86: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Foz Norte.	122
Figura 87: Diâmetro médio (D50) do sedimento superficial do Setor Foz Norte.	123
Figura 88: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Foz Norte.....	123
Figura 89: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor Foz Norte.	124
Figura 90: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Foz Central.	125
Figura 91: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Foz Central.	126
Figura 92: Diâmetro médio (D50) do sedimento superficial do Setor Foz Central.....	127
Figura 93: Valores de densidade (kg/m^3) superficial do Setor Foz Central. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.....	129
Figura 94: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Foz Central.....	131
Figura 95: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor Foz Central.....	131
Figura 96: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Foz Central após a passagem da tempestade tropical Iba.	134
Figura 97: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Foz Sul.	136
Figura 98: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Foz Sul.....	137
Figura 99: Diâmetro médio (D50) ao longo do monitoramento para o Setor Foz Sul.....	137
Figura 100: Valores de densidade (kg/m^3) superficial do Setor Foz Sul. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.	139
Figura 101: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor Foz Sul.	140
Figura 102: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Foz Sul.	141
Figura 103: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Foz Sul após a passagem do ciclone Iba.	143
Figura 104: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas. As estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho.....	145

Figura 105: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas, estações rasas.	146
Figura 106: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas, estações profundas.	149
Figura 107: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas. As estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho.	152
Figura 108: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas. As estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho. Não houve recuperação de sedimento na estação CA 09 durante as Campanhas 1, 4 e 7. A estação CA 04 apresentou 100% de rodolito na Campanha 10, assim como para a estação CA 15 na Campanha 1.	153
Figura 109: Valores de densidade (kg/m^3) superficial do Setor APA Costa das Algas. As estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.	154
Figura 110: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Sul.	156
Figura 111: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Sul.	157
Figura 112: Valores de densidade (kg/m^3) superficial do Setor Sul. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.	158
Figura 113: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Sul.	158
Figura 114: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor Sul.	159
Figura 115: Mapa de avistamento de emulsões em superfície durante os períodos de amostragem.	160
Figura 116: Série Temporal da Vazão (m^3/s) do Rio Doce. A linha azul representa dados da estação fluviométrica Colatina (ANA código: 56994500), que cobrem o período de 01/10/2018 a 30/06/2019, e a linha preta representa dados da estação P21 em Linhares (Anexo 3 Dulcícola/PMBA), que cobrem o período de 01/10/2018 a 31/07/2019. As faixas cinzas destacadas representam os períodos de coleta das Campanhas do PMBA nos Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul.	161
Figura 117: Variação mensal do percentual de mobilidade do sedimento superficial de fundo, considerando a mediana da tensão crítica de ressuspensão obtida para o Setor Foz Sul (0,92 Pa).	165
Figura 118: Variação mensal da tensão de cisalhamento de fundo calculada a partir dos dados hidrodinâmicos coletados no Fundeio 3 (Sub-Projeto Modelagem/Anexo 3 Marinho Integrado). Os	

pontos em vermelho na figura representam valores *ouliers* e a linha preta tracejada representa a mediana da tensão crítica de ressuspensão obtida para o Setor Foz Sul (0.92 Pa). 166

Figura 119: Série temporal de Vazão da Estação Fluviométrica em Linhares (Estação P21 - Anexo 3 - Dulcícola) (a). Séries temporais de dados do Fundeio 2 (latitude:--19,7152'; longitude:-39,8473') fornecidos pelo Sub-Projeto Modelagem/Anexo 3 Marinho Integrado: Altura Significativa da onda (m) (b), Período de Pico da onda (s) (c), Direção de Pico da onda (°) (d), Velocidade da corrente medida a 1,75 m acima do fundo (m/s) (e), Direção da corrente medida a 1,20 m acima do fundo (°) (f). Série temporal da Tensão de Reynolds calculada a partir das componentes de velocidade da corrente medida a 1,20 m acima do fundo (Pa) (g). Séries temporais de velocidade (m/s) e direção do vento (°) à 10 m da superfície (h). Os dados de vento foram extraídos da Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)-National Centers for Environmental Prediction (NCEP), para o ponto de latitude: - 19,72742 e longitude: -39,8864. 168

Figura 120: Aluminossilicatos (Al_2O_3) versus Fases de ferro (FeO_{Total}). A figura apresenta a distribuição das amostras do MPS (A) e sedimentos de fundo (B). 171

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais constituintes químicos presentes em porcentagem em peso adquiridos por análise elementar do sedimento superficial para amostras referências e para o período 2015/2016.	29
Tabela 2: Valores de susceptibilidade magnéticas de amostras de sedimento superficial.	55
Tabela 3: Teor de Matéria Orgânica (MO) em % apresentado como: Mediana \pm Desvio Absoluto Mediano; e Coeficiente de Correlação de Spearman entre Teor de MO e Concentração de Material Particulado em Suspensão. Todos os coeficientes de correlação foram significativos ao nível de 0,05.	162

ANEXO 3 – MARINHO

SUBPROJETO SEDIMENTOLOGIA

1 METODOLOGIA

1.1 ANÁLISE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

Previamente à amostragem, filtros de fibra de vidro (diâmetro 47 mm; porosidade 0,45µm) foram secos em estufa à 40°C por 24h para determinação dos respectivos pesos. Após o processo de filtração das amostras os filtros foram novamente levados à estufa à 40°C por 48h e pesados para a determinação do peso do MPS retido. A concentração do MPS foi calculada a partir do volume filtrado de cada amostra. Após a determinação do MPS, os filtros seguiram para queima da matéria orgânica por combustão em mufla à 450°C por 4h para a determinação do teor de matéria orgânica (MO) do MPS. Os gráficos foram apresentados em mg/L sob a forma de barra para o MPS e em % sob a forma de pontos para o teor de MO (como indicado nas legendas). O eixo Y do MPS foi padronizado ao máximo de 50 mg/L, salvo exceções que foram indicadas nas respectivas legendas. O eixo Y do teor de MO foi padronizado ao máximo de 100%. O mesmo foi feito para os gráficos em boxplot, onde foram apresentadas as variabilidades do MPS de cada setor. Os valores de MPS apresentados ao longo do texto entre parênteses são referentes a Mediana ± Desvio Absoluto Mediano.

1.2 ANÁLISE MINERALÓGICA

As análises mineralógicas foram realizadas apenas nas frações lamosas (tamanho do grão < 0,63 µm) dos sedimentos de fundo e em filtros de fibra de vidro que apresentaram MPS suficiente para a análise. O limite de detecção é relacionado ao sinal/ruído das amostras quando lidas pelo difratômetro. Dessa forma, o limite de detecção de medidas mais simples é de 2.5% e nas mais apuradas é de 0.5%. No protocolo de análises laboratoriais estabelecido, após 2 horas no difratômetro, 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, as amostras seguem para análise de susceptibilidade magnética. Aquelas que permaneceram duvidosas seguiram para análises posteriores no síncrotron.

O procedimento analítico interpretativo das fases minerais na difratometria de raios-x, têm como fontes principalmente fichas e bases minerais existentes na literatura e WEB, onde são listados parâmetros relativos aos distanciamentos dentro dos retículos cristalinos, além das relações angulares e axiais em diferentes espécies minerais. Neste sentido, o volume relativo de fases minerais percentualmente pode ser verificado através das áreas dos picos de intensidade do sinal por comparação entre picos de espécies diferentes. O erro máximo encontrado até o momento através desta técnica é de ±5% em

volume. A química por fluorescência de raios-x complementa as informações da difração, fornecendo os principais constituintes químicos presentes em porcentagem em peso e partes por milhão (ppm), além de parâmetros quantitativos ao longo do tempo. A montagem que realiza a medida da susceptibilidade magnética ac (χ_{ac}) foi totalmente construída na UFES, onde a precisão de configuração é de 1 ppm.

Os resultados foram ratificados pelas medições de susceptibilidade magnética nas fases minerais que contém ferro (principalmente óxidos e hidróxidos). Os dados adquiridos em amostras prévias ao rompimento da barragem (2012) foram utilizados como amostras controle para fins de comparação, nomeadas de valor de referência. Os mapas indicativos da distribuição espacial de fases minerais com ferro (FeO_{Total}) e susceptibilidade magnética, foram elaborados no software livre QGIS 2.18.

A verificação 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 anteriores ao rompimento da barragem. Da mesma forma, verificou-se aumentos nas susceptibilidades magnéticas totais e nas quantidades totais de ferro (FeO_{Total}). Para caracterização da química mineral foram considerados como parâmetro o ferro total (FeO_{total}), a alumina (Al_2O_3), a sílica (SiO_2) e o cálcio (CaO) por representarem os principais componentes presentes nas fases minerais encontradas nas amostras identificadas.

1.3 ANÁLISE DE SEDIMENTO SUPERFICIAL DE FUNDO

Após coleta, as amostras foram lavadas até a completa remoção de sal e depois foram secas em estufa à 40°C para aquisição do peso seco da amostra. A separação das frações grossas e finas foi realizada através do método de separação via úmida em uma peneira de malha com abertura de 63 μm .

A determinação da granulometria das frações grossas (> 63 μm) foi realizada pelo método de peneiramento via seca com peneiras intercaladas por malhas com abertura de 0,5 em 0,5 phi. Para as frações finas (< 63 μm) a granulometria foi determinada por um analisador de partículas a laser (Malvern Mastersizer 2000), também de 0,5 em 0,5 phi. A apresentação gráfica dos dados granulométricos foi feita com intervalo de 1 em 1 phi, onde as classes foram apresentadas em frequência (%) conforme a seguir: >2000 μm = cascalho; 2000-1000 μm = areia muito grossa; 1000-500 μm = areia grossa; 500-250 μm = areia média; 250-125 μm = areia fina; 125-62,50 μm = areia muito fina; 62,50-31,25 μm = silte grosso; 31,25-15,63 μm = silte médio; 15,60-7,81 μm = silte fino; 7,81-3,91 μm = silte muito fino; 3,91-1,95 μm = argila grossa; 1,95-0,98 μm = argila média; 0,98-0,49 μm = argila fina; 0,49-0,24 μm = argila muito fina; 0,24-0,120 μm = coloide. Os parâmetros granulométricos diâmetro médio do grão (D50), assimetria, selecionamento dos grãos e curtose foram calculados pelo software Gradistat 8.0 (Blott e Pye, 2001) versão para Excel 2007-2010.

O teor de matéria orgânica do sedimento foi determinado pelo método de combustão em mufla à 450°C por 4h (Mook e Hoskin, 1982) e a apresentação gráfica foi feita em % com o eixo Y padronizado ao limite de 50%. O teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) foi determinado a partir da queima com ácido clorídrico (30%) e a apresentação gráfica foi feita em % com o eixo Y padronizado ao limite de 100%. Para a descrição ao longo do texto foram utilizadas as médias com os respectivos desvios padrão para dados de teores de cascalho, área, lama, CaCO_3 e MO do sedimento superficial.

1.4 ANÁLISE DE DENSIDADE

Antes da amostragem, potes de 5mL foram previamente limpos e pesados em balança de precisão (4 casas decimais). A amostragem foi feita de forma a coletar apenas a fina camada superficial de lama do pacote sedimentar, já que esta metodologia é aplicada apenas para sedimento lamoso. Quando o sedimento coletado pelas dragas se apresentava arenoso, a amostragem para esta análise não era realizada. Após coleta, as amostras foram mantidas resfriadas até chegada ao laboratório. Em laboratório os potes contendo as amostras foram pesados para obtenção do peso úmido e, então, foram levados à estufa à 40°C por 48h ou até que a amostra estivesse completamente seca. Após, os potes contendo as amostras já secas foram novamente pesados. Para a determinação da densidade do sedimento superficial de fundo foi utilizado o método descrito por Amos e Sutherland (1994), onde a densidade é igual a massa úmida pelo volume da mesma. Os dados foram apresentados sob a forma de densidade e em kg/m^3 . Para a apresentação gráfica, uma linha vermelha foi inserida onde delimita valores abaixo de 1200 kg/m^3 , os quais indicam a presença de lama fluida. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem. Para a descrição ao longo do texto foram utilizadas as médias com os respectivos desvios padrão.

2 RESULTADOS

Os resultados referentes aos dados coletados logo após o rompimento da barragem de Fundão (Nov. 2015) até 2017 foram apresentados de forma comparativa considerando somente as estações coincidentes amostradas nas diferentes expedições. A análise dos dados após o rompimento da barragem pré-PMBA e PMBA foi realizada baseada na variabilidade dos dados ao longo das campanhas. Dentro de cada setor, os parâmetros foram organizados por matriz (sedimento, água e emulsões) e foram apresentados como tal. Assim, na matriz Água estão apresentados o Material Particulado em Suspensão (MPS), dados mineralógicos bem como os dados adquiridos pelo equipamento LISST (Laser In-Situ Scattering and Transmissometry; concentração e diâmetro das partículas em suspensão). Dentro da matriz Sedimento Superficial estão apresentados os parâmetros Frações Sedimentares (teores de cascalho, areia e lama), Teores de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e de Matéria Orgânica (MO), Granulometria (classes granulométricas em micrômetro), Densidade do

sedimento superficial e dados mineralógicos. Como as emulsões foram amostras na interface ar/água e apresentaram características diferentes do MPS e MO, elas foram consideradas uma matriz à parte. Foram coletadas 759 amostras de 1L de água para análise de MPS e MO, 759 amostras de 1L de água para análise mineralógica, 197 amostras de sedimento superficial para análise de parâmetros sedimentares e mineralógicos, 197 amostras de sedimento total para análise de parâmetros sedimentares, 103 amostras de sedimento para análise de densidade e 11 amostras de 1L de emulsão para análise de MPS e MO.

Maiores concentrações de MPS em superfície da coluna d'água foram geralmente associadas à produtividade primária (quando o teor de MO foi elevado) ou a um novo aporte de pluma sedimentar. Maiores concentrações de MPS no meio da coluna d'água foram associadas à comunidade zooplancônica, colônias filamentosas fitoplanctônicas ou agregados inorgânicos (dependendo do teor de MO). Concentrações maiores no fundo da coluna d'água foram geralmente associadas à ressuspensão do sedimento superficial, com suporte dos dados adquiridos pelo Subprojeto de Oceanografia Física. A variabilidade do sedimento superficial foi avaliada principalmente através da densidade, dos teores de lama e da assimetria das classes granulométricas, em que indicativo de lama fluida, maiores teores de lama e uma assimetria fortemente positiva (maior abundância de partículas finas) foram associadas ao aporte do rejeito, principalmente nos Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul.

Para os dados adquiridos pelo LISST, algumas limitações do leitor ótico do equipamento devem ser consideradas na análise, já que a difração a laser depende da medição do padrão de dispersão de luz proveniente das partículas suspensas. Dessa forma, quando a coluna d'água está muito limpa (valores abaixo de 20 $\mu\text{L/L}$) a detecção do equipamento fica comprometida. Cabe ressaltar que os valores de concentração são dados em concentração por volume ($\mu\text{L/L}$), e não em massa por volume (mg/L), como é adquirido após filtração do material particulado em suspensão por membranas porosas. Além disso, partículas muito alongadas possuem um maior erro associado. Dessa forma, os dados adquiridos pelo LISST serão utilizados paralelamente à análise gravimétrica do MPS afim de se determinar a presença de partículas porosas e/ou de baixa densidade que possam estar dispersas na coluna d'água bem como o seu tamanho e variação ao longo da profundidade. Dados de granulometria do MPS foram apresentados somente quando a concentração por volume adquirida foi acima de 30 $\mu\text{L/L}$ devido à limitação do equipamento em águas mais claras. Os dados de LISST apresentados no texto foram aqueles mais representativos para cada setor. Valores de mediana da concentração por volume em suspensão (CVS) para superfície (0 a 1m de profundidade), meio (faixa de 1 m no meio da coluna d'água) e fundo (50 cm mais profundos dos dados coletados) foram apresentados afim de facilitar a descrição dos dados. As medianas das CVS foram representadas em gráficos de barra de forma similar ao MPS. Os gráficos contendo a perfilagem da CVS e o tamanho das partículas para cada estação ao longo do monitoramento podem ser visualizados do Apêndice 1 ao Apêndice 11.

Os resultados de MPS (concentração e mineralogia) e sedimento superficial (granulometria, densidade, CaCO_3 , MO e mineralogia) adquiridos pelo Labogeo nos anos de 2015 a 2017 bem como aqueles

adquiridos durante o monitoramento do PMBA foram comparados com os resultados de análises feitas em ano anterior ao rompimento da barragem de Fundão (2012). Os mapas referentes ao MPS, granulometria, densidade, CaCO_3 e MO em cada campanha e para cada estação podem ser respectivamente visualizados no Apêndice 14, Apêndice 15, Apêndice 16, Apêndice 17 e Apêndice 18 para uma visualização mais abrangente.

As análises mineralógicas sedimentares e do MPS visaram uma correlação entre o material sedimentar encontrado na região da Foz do Rio Doce e plataforma continental (ao norte e ao sul) com o rejeito oriundo do rompimento da barragem de Fundão e sua distinção das composições mineralógicas naturais Apêndice 13. Adicionalmente, se buscou entender e monitorar a dispersão do material sedimentar oriundo do rompimento da barragem no habitat marinho. Para tanto, os dados do monitoramento foram comparados aos resultados de mineralogia e química de 5 amostras do resíduo coletado em 2015 em terraços formados às margens do Rio Doce pela passagem da lama de rejeito imediatamente após o rompimento da barragem de Fundão, na região de Paracatu de Baixo (Mariana-MG) pelo próprio grupo deste subprojeto. Amostras coletadas por meio de um trado por helicóptero pela Polícia Federal dentro da Barragem de Fundão em 2016 e nos enviadas para análise mineralógica foram utilizadas como sinal referência do rejeito de minério de ferro. As fases minerais e o sinal da susceptibilidade magnética de amostras da plataforma continental anteriores ao rompimento da barragem de Fundão foram considerados como amostras controle, i.e. sem o sinal do rejeito. As fases minerais bem como a susceptibilidade magnética comparativa a um valor de referência anterior ao aporte do rejeito no ambiente marinho do sedimento superficial para cada estação ao longo do monitoramento podem ser observadas no Apêndice 12 e Apêndice 13, respectivamente.

2.1 DADOS PRÉ-MONITORAMENTO (2015/2017)

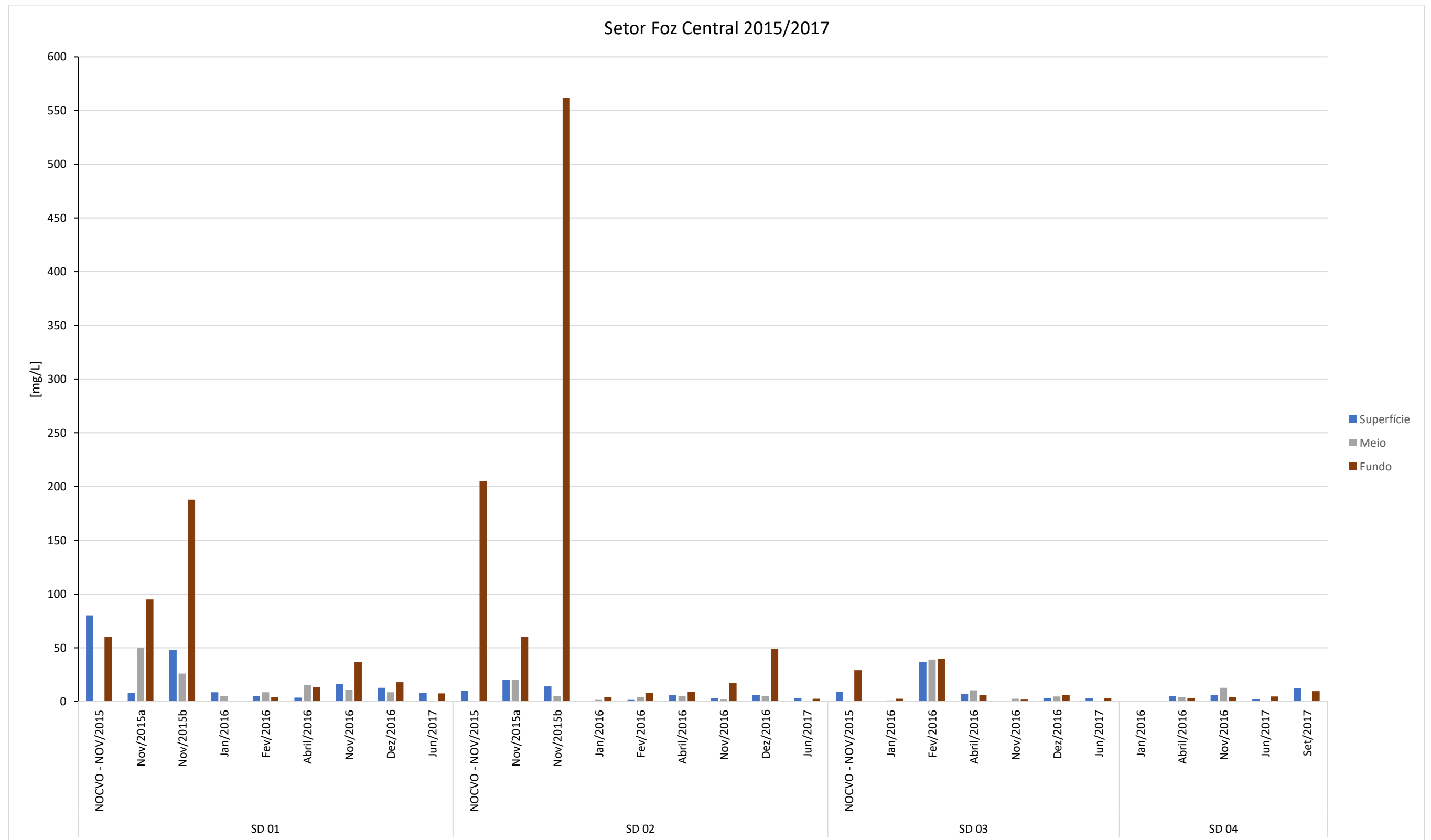
2.1.1 Matriz água

As estações no Setor Foz Central da foz do Rio Doce apresentaram os maiores valores de MPS durante o período inicial de aporte da lama de rejeito no ambiente marinho em Nov/2015, atingindo valores próximos de 600 mg/L em algumas estações (Figura 1). Vale destacar que o maior valor de concentração de MPS medido na foz do Rio Doce correspondeu a estações amostradas em 22 e 24 de Novembro de 2015 e que não foram amostradas nas expedições seguintes (Quaresma et al., submetido), sendo portanto não apresentadas neste relatório. Estes valores chegaram a 9000 mg/L.

As estações amostradas em Nov/2015 para a região Central da Foz do Rio Doce apresentaram os maiores valores de concentração de MPS nas amostras junto ao fundo, sendo este padrão mantido para as estações rasas (até 20 m de profundidade) mesmo com a diminuição dos valores de MPS após o momento crítico e inicial de aporte do rejeito. A estação SD 03 (30 m de profundidade) foi a única estação no Setor Central que apresentou uma elevação dos valores (40 mg/L) de MPS em Fev/2016. Em Nov/2016 e Dez/2016 os valores de MPS para as estações rasas (principalmente na SD 01) voltaram a ter uma suave elevação (máximo de 50 mg/L; SD 02 em Dez/2016) principalmente junto

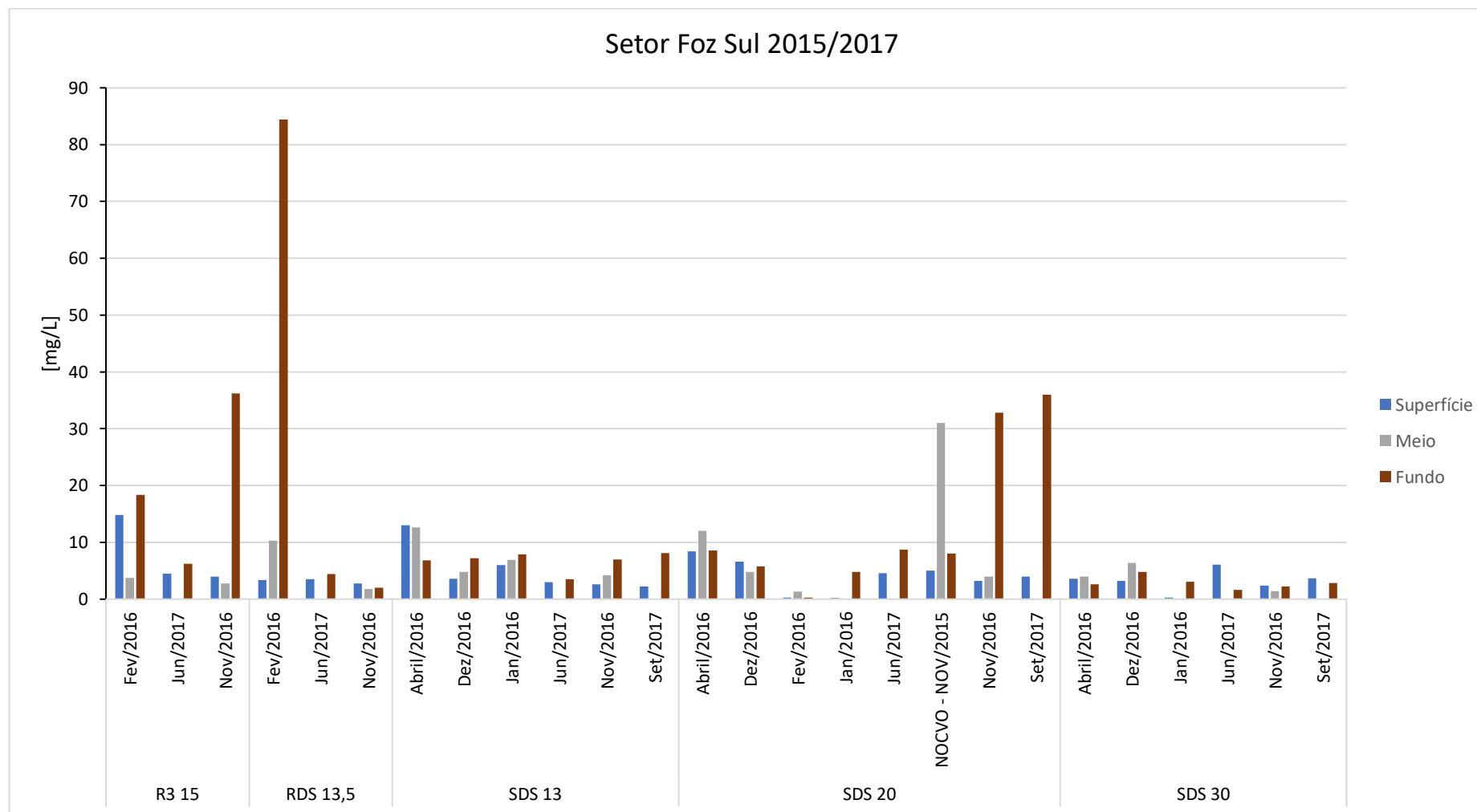
ao fundo, enquanto que os valores obtidos em Junho/2017 se apresentaram baixos e não ultrapassaram 10 mg/L.

Figura 1: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) em um transecto em frente à desembocadura do Rio Doce (Setor Foz Central). Note que a escala desta figura é única com máximo do eixo Y no valor de 600 mg/L.



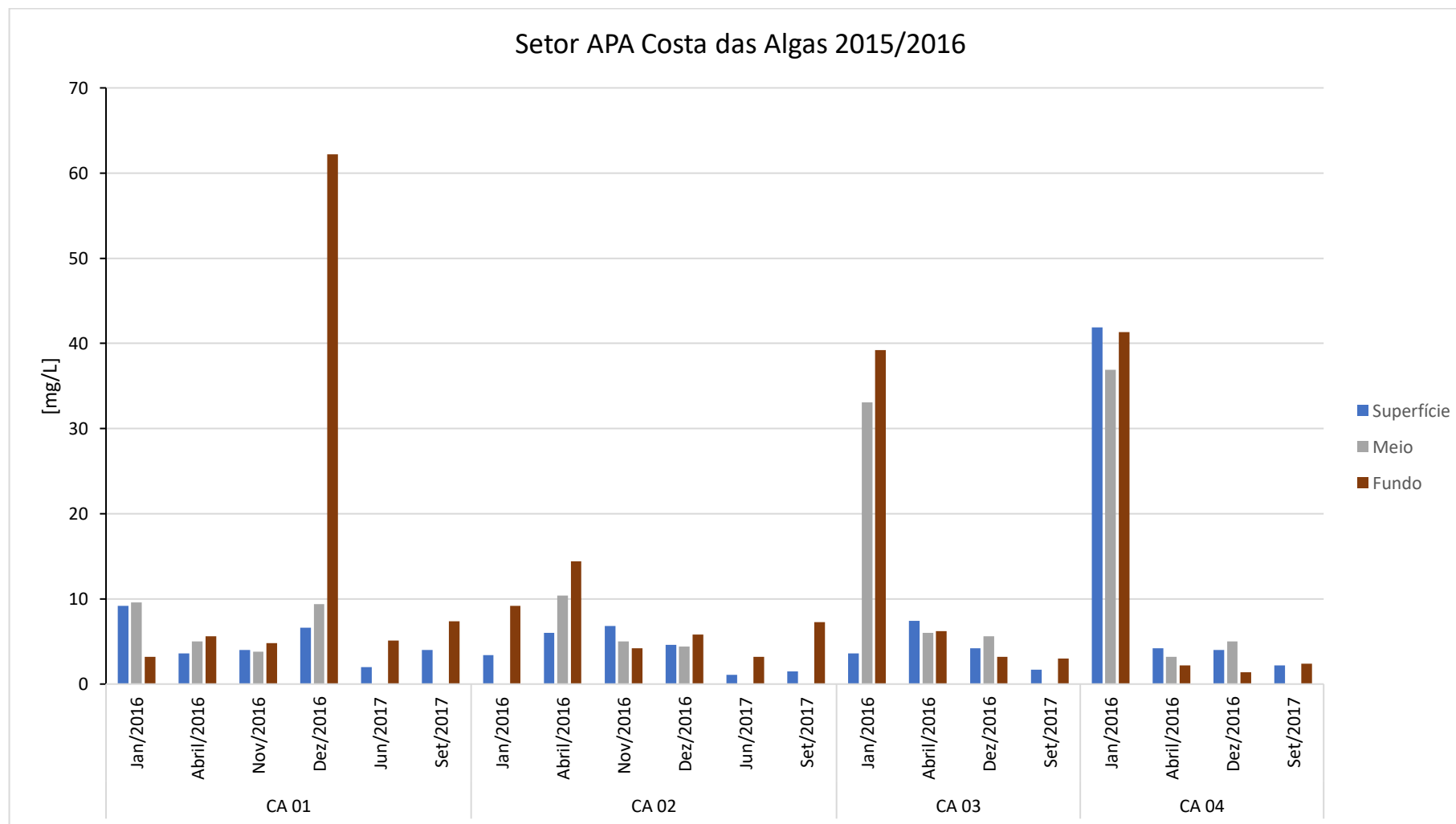
Elevados valores de MPS foram observados para as expedições de Nov/2015 (NOC Vital de Oliveira), Fev/2016, Nov/2016 e Set/2017 no Setor Sul (Figura 2), principalmente nas estações RDS 13,5, R 15 e SDS 20. Novamente se observou a predominância de maiores valores próximo ao fundo para a maioria das estações e em todas as expedições. O maior valor de MPS para o Setor Foz Sul foi encontrado na estação RDS-13,5 junto ao fundo em Fev/2016 (84 mg/L).

Figura 2: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor Foz Sul Note que o valor máximo do eixo Y é de 90 mg/L.



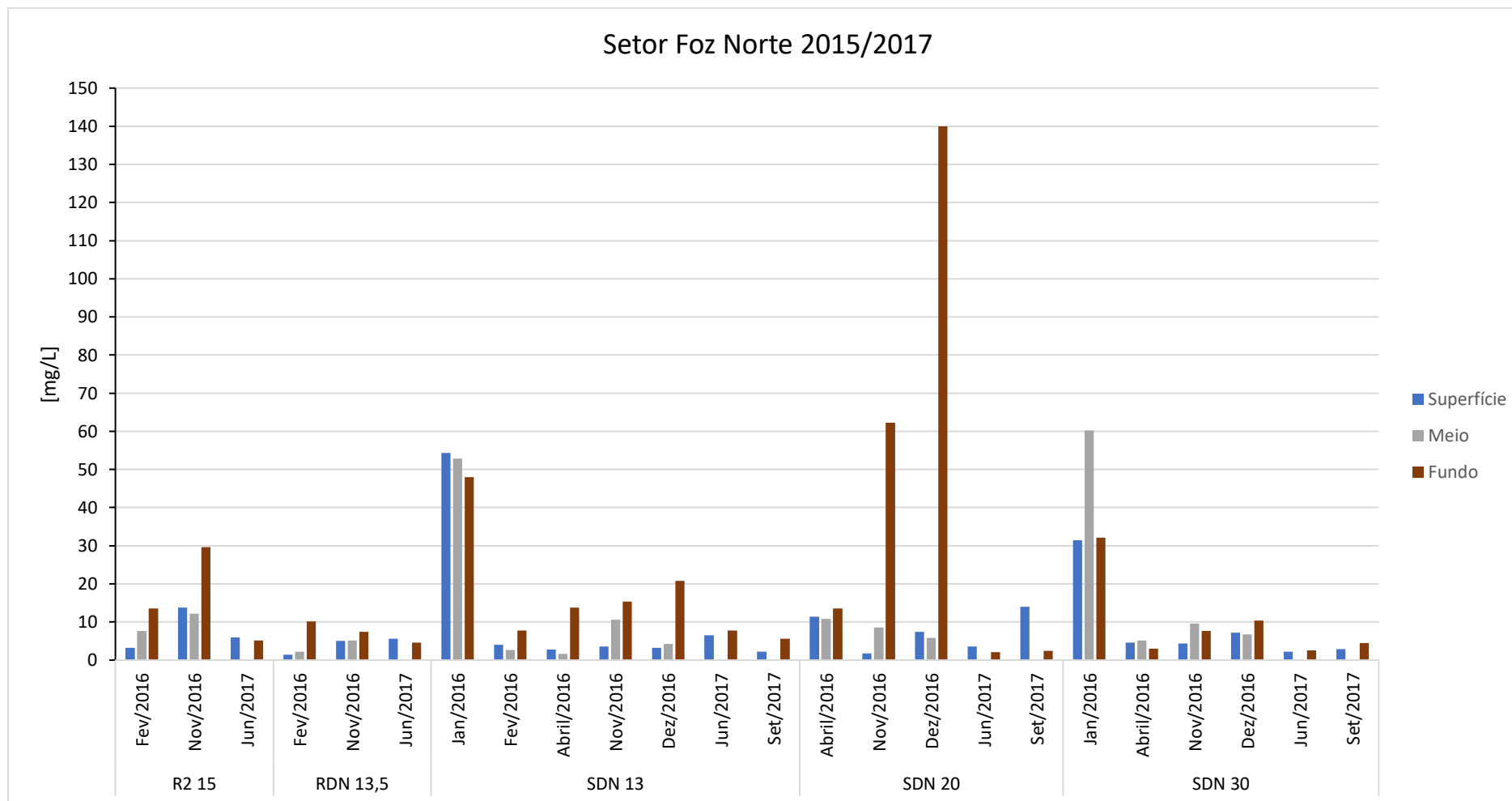
A área que abrange a APA Costa das Algas, cerca de 35 km ao sul da foz do Rio Doce, também foi amostrada afim de se verificar a presença e influência da lama de rejeito de minério de ferro. No Setor APA Costa das Algas, valores de MPS próximos de 40 mg/L foram encontrados em Jan/2016 para as estações mais profundas (CA 03 e CA 04; profundidades de 30 e 40 m, respectivamente) e um valor de MPS de 62 mg/L foi encontrado em Dez/2016 na estação mais rasa (CA 01) (Figura 3). Nos meses de pico de MPS a estação CA 04, particularmente, se apresentou homogênea ao longo da coluna d'água enquanto que nas outras estações os maiores valores foram junto ao fundo. Neste setor se observou uma homogeneidade do MPS da coluna d'água ao longo das campanhas, onde não foi encontrado predomínio de concentração do MPS junto ao fundo como foi observado para os Setores Foz Central e Foz Sul.

Figura 3: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor APA Costa das Algas. Note que o valor máximo do eixo Y é de 70 mg/L.



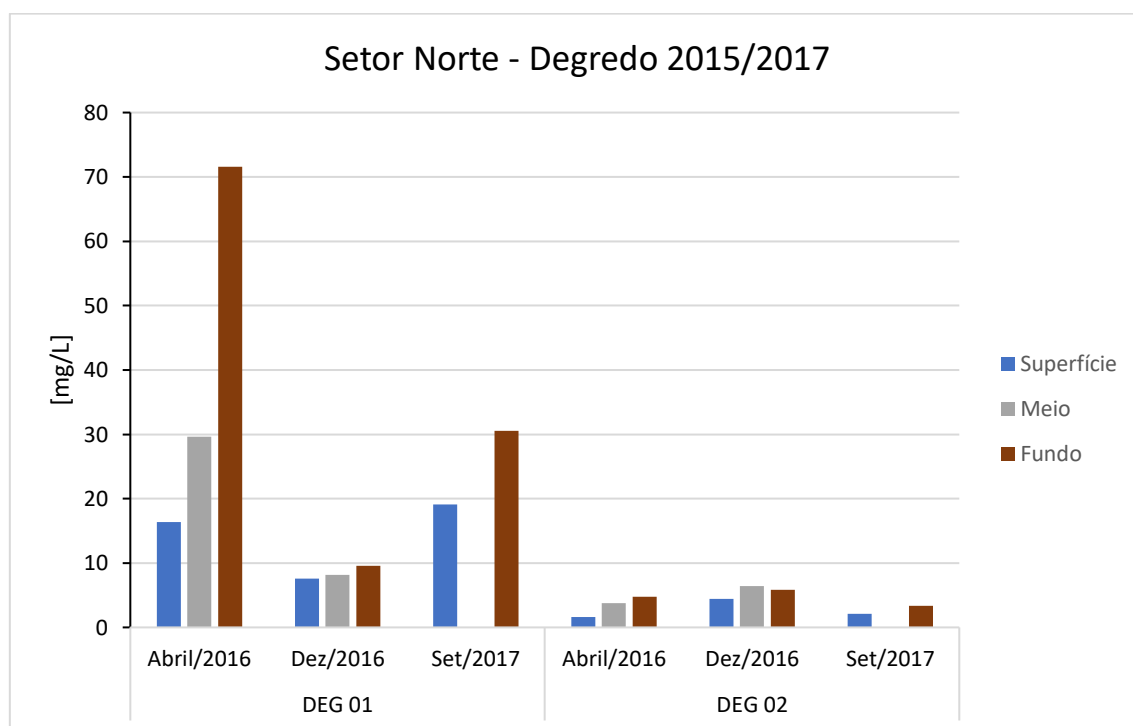
No Setor Foz Norte, os maiores valores de MPS foram observados em Jan/2016 para as estações SDN 13 e SDN 30, em Nov/2016 para R2-15 e SDN 20 e Dez/2016 apenas para a estação SDN 20 (Figura 4). A estação RDN-13,5 não apresentou valores de MPS acima de 10 mg/L durante o período amostrado. Assim como no Setor Foz Central, as estações do Setor Foz Norte apresentaram maiores concentrações junto ao fundo mesmo quando os valores de MPS se encontraram próximo a 10 mg/L, exceto para as campanhas de Jan/2016 para as estações SDN 13 e SDN 30 (quando foram os máximos das estações).

Figura 4: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor Foz Norte. Note que o valor máximo do eixo Y é de 160 mg/L.



No Setor Norte, se encontram as estações DEG 01 e DEG 02, região conhecida como Degredo, e se localiza a cerca de 45 Km ao norte da foz do Rio Doce. Cabe ressaltar que essas estações só foram amostradas em Abril/2016, Dezembro/2016 e Set/2017 (Figura 5). Os maiores valores de MPS ficaram restritos à estação mais rasa (DEG 01; profundidade de 12 m) e próximo ao fundo, onde se deu o máximo de concentração em Abril/2016 (72 mg/L).

Figura 5: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor Norte para a região de Degredo. Note que o valor máximo do eixo Y é de 80 mg/L.



Ainda no Setor Norte, a 78 km ao Norte da foz do Rio Doce se encontra a região de Barra Nova (Figura 6). É importante ressaltar que as estações nesta região foram amostradas apenas em Jan/2016 e Abril/2016, dificultando uma análise temporal. Os valores mais altos de MPS foram em superfície e junto ao fundo, principalmente em Abril/2016 e para as duas estações, com o máximo na estação mais rasa (BN 01; 11 mg/L).

O Setor mais ao norte amostrado foi o de Abrolhos (Figura 7). As estações amostradas se encontram na Plataforma Continental de Abrolhos, onde se dá o maior alargamento da plataforma continental estudada. Os resultados para este setor abrangeram apenas as expedições Jan/2016, Abril/2016 e Set/2017. As outras expedições não se estenderam até a região dos parcéis e do arquipélago de Abrolhos. Assim como para a região de Barra Nova (Setor Norte), o Setor Abrolhos apresentou valores de MPS bem inferiores aos encontrados na plataforma continental adjacente à foz do Rio Doce (Figura 1, Figura 2 e Figura 4). As estações ABR 02 e ABR 04 em Janeiro/2016 apresentaram o mesmo padrão de distribuição de MPS que na região de Barra Nova (apesar de em períodos diferentes): maiores concentrações em superfície e fundo. De qualquer forma os maiores valores não ultrapassaram 14 mg/L.

Figura 6: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor Norte para a região de Barra Nova.

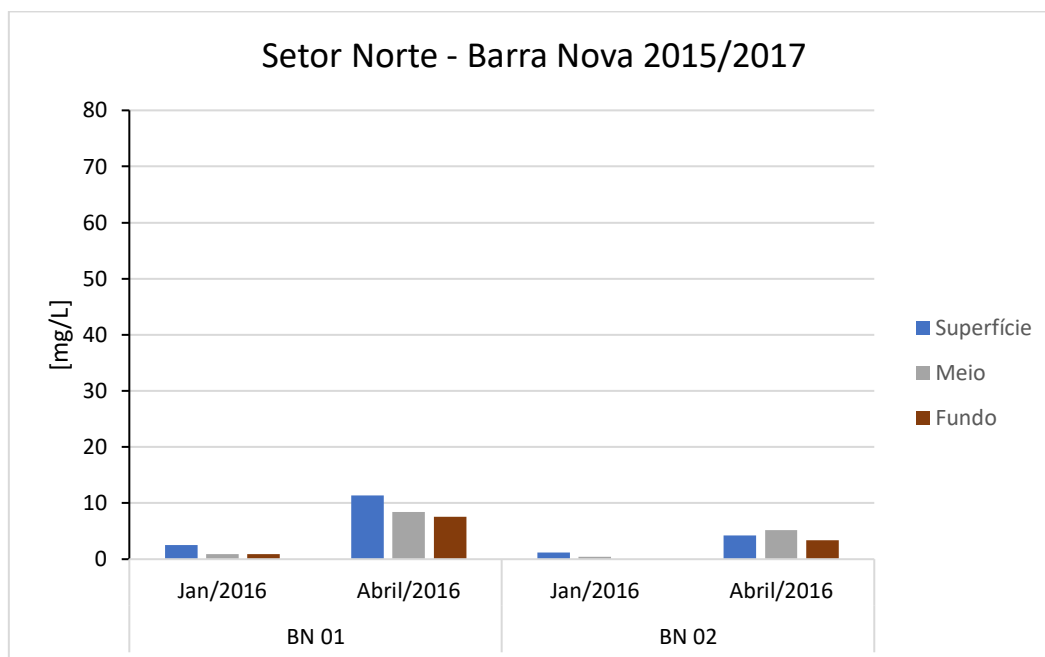
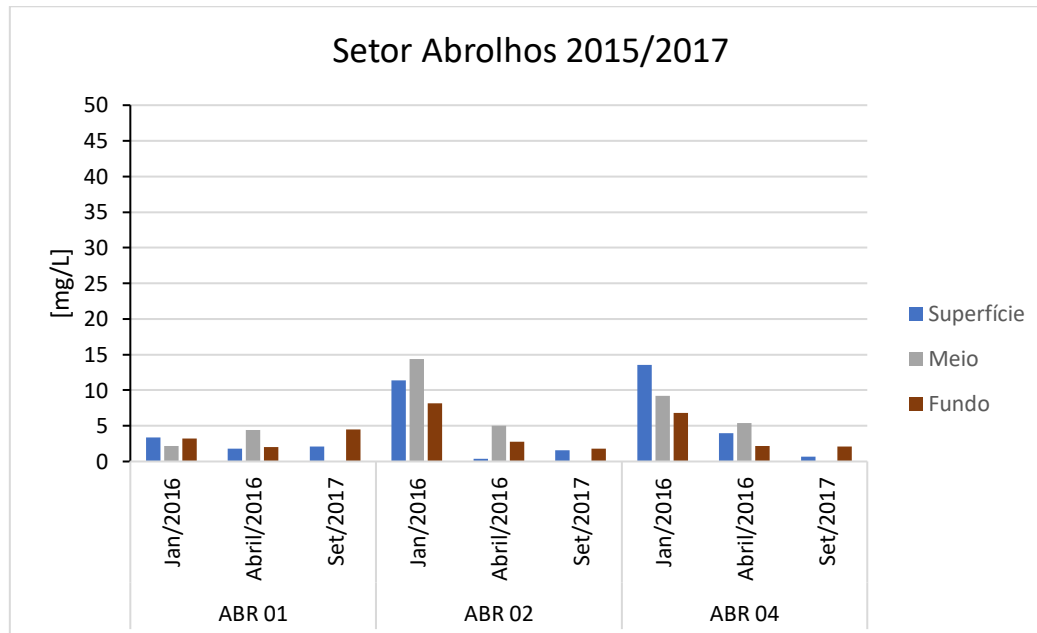


Figura 7: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) no Setor Abrolhos.



Dados de mineralogia para o MPS referentes ao ano de 2016 para a região da Foz do Rio Doce apresentaram baixos percentuais de $\text{FeO}_{\text{total}}$, com uma variação de 4% a 15%, enquanto que os percentuais de aluminossilicatos e silicatos variaram de 4% a 49% e de 23% a 81%, respectivamente (Tabela 1). Os teores

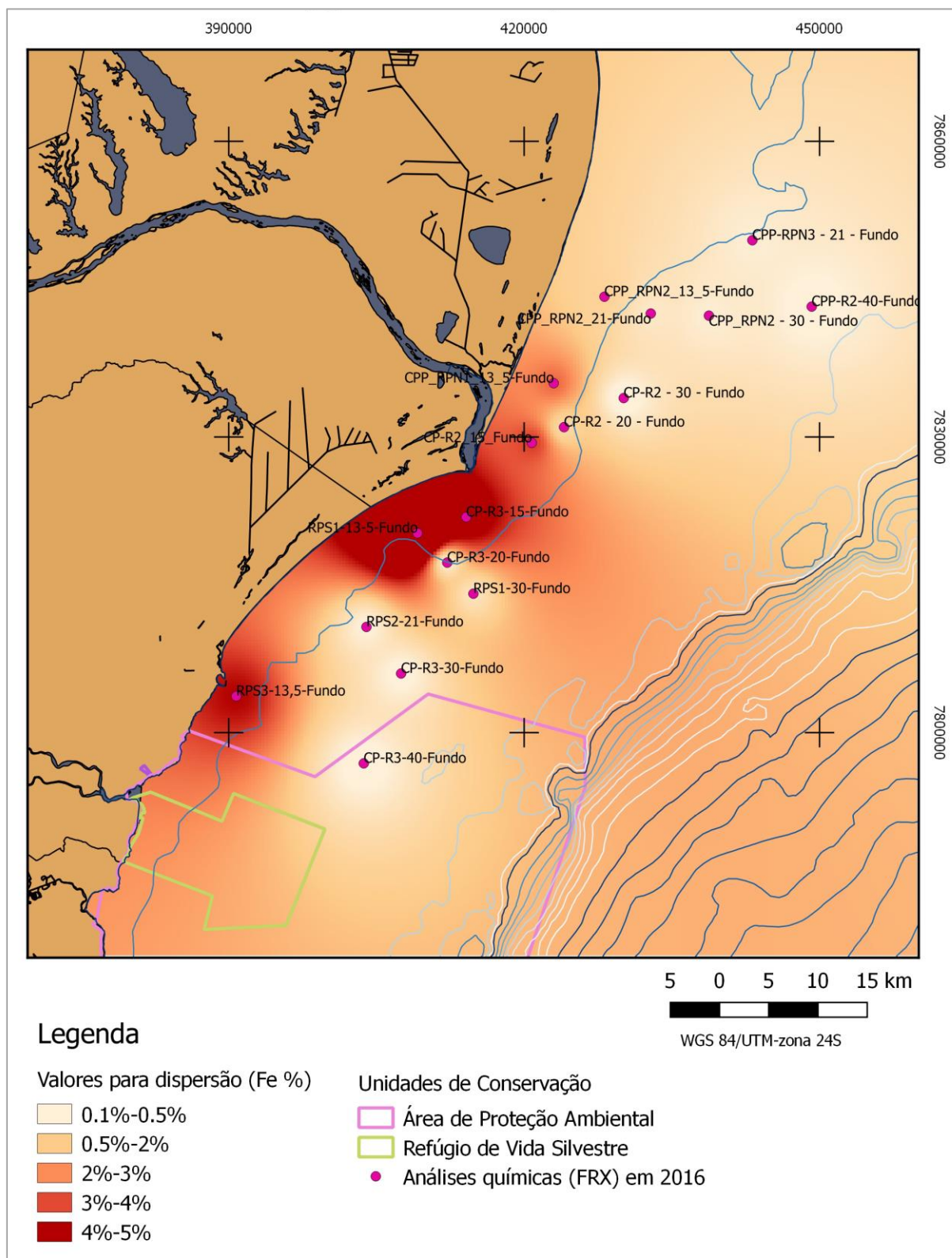
de $\text{FeO}_{\text{total}}$ observados no período 2015/2016 apresentaram maiores concentrações na região da Foz do Rio Doce e dispersão predominante para Sul (Figura 8)

Tabela 1: Principais constituintes químicos presentes em porcentagem em peso adquiridos por análise elementar do sedimento superficial para amostras referências e para o período 2015/2016.

Estação	Campanha	Profundidade	Matriz	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Ca (%)	K (%)	Ti(%)	Mn(%)
Mariana 01 (2015)	nov/15		Sedimento Superficial	4,58	19,07	75,54	< 1	< 1	n/c	< 1
Mariana 02 (2015)	nov/15		Sedimento Superficial	6,13	20,72	72,26	< 1	< 1	n/c	< 1
Vital 01 (2015)	Vital de Oliveira I: 26 a 29/11/2015		Sedimento Superficial	23,26	23,59	40,69	6,06	1,54	2,01	<1
Vital 02 (2015)	Vital de Oliveira II: 02/11/2015		Sedimento Superficial	36,99	32,75	21,77	2,64	2,93	1,87	<1
RF (2016)	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	31,58	17,28	42,49	5,44	n/c	n/c	<1
R1 15 (2016)	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	45,91	19,18	26,67	7,53	n/c	n/c	<1
R3 15	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	30,19	n/c	29,22	22,53	n/c	n/c	n/c
R3 20	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	37,57	n/c	34,08	16,02	n/c	n/c	n/c
R3 30	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	30,84	n/c	36,75	18,16	n/c	n/c	n/c
R3 40	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	24,21	n/c	29,49	14,24	n/c	n/c	n/c
RPS1 13,5	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	29,04	n/c	31,42	22,13	n/c	n/c	n/c
RPS1 30	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	32,07	n/c	36,93	17,77	n/c	n/c	n/c
RPS2 13,5	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	33,21	n/c	38,08	15,30	n/c	n/c	n/c
RPS2 21	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	30,19	n/c	32,66	24,30	n/c	n/c	n/c
RPS3 13,5	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	34,27	n/c	35,65	17,30	n/c	n/c	n/c
RPS3 21	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	28,18	n/c	33,94	28,66	n/c	n/c	n/c
R1-20	Fevereiro de 2016		Sedimento Superficial	8,09	n/c	55,80	33,51	n/c	n/c	n/c

*n/c: abaixo do limite de detecção

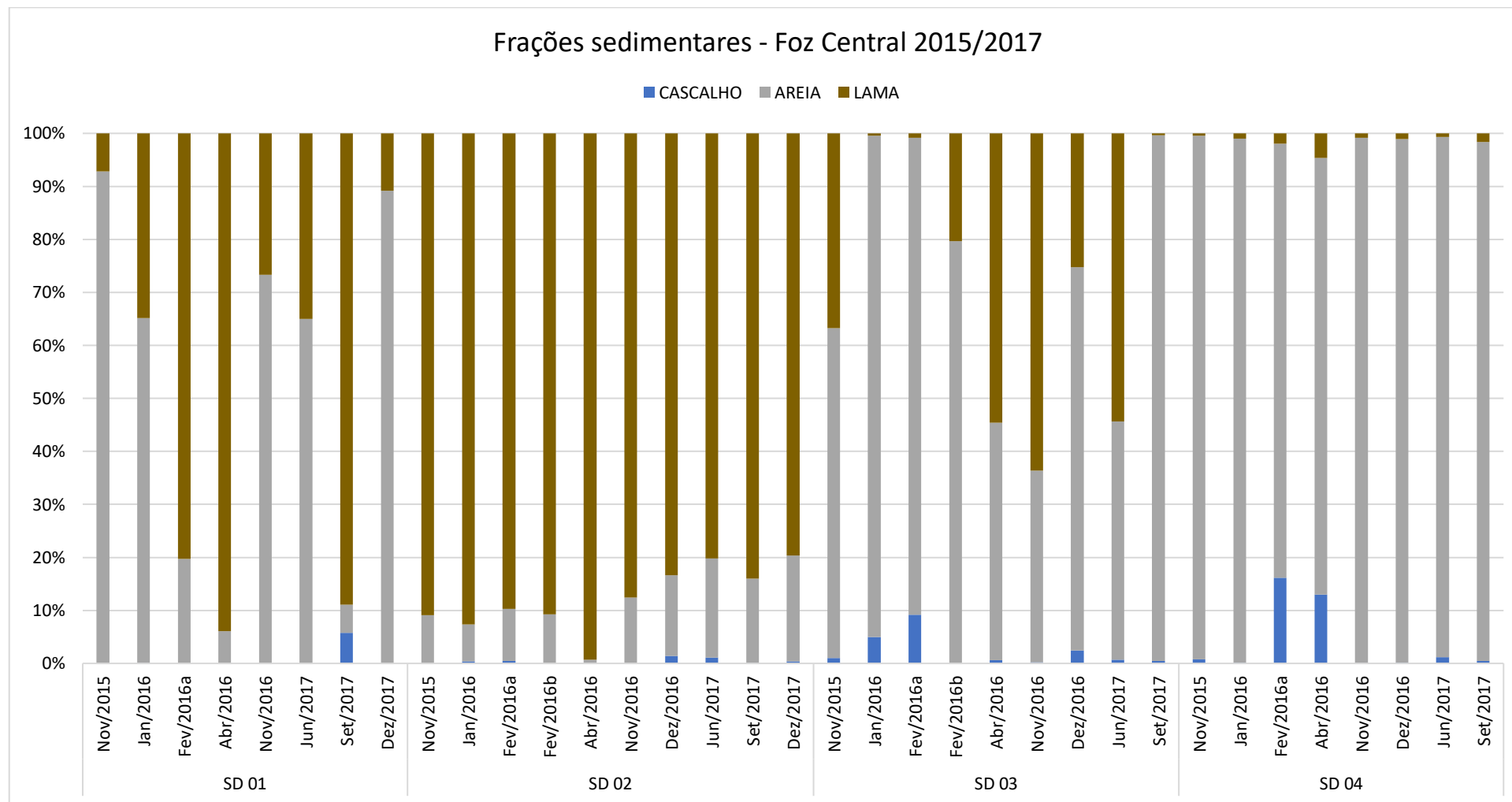
Figura 8: Média de ferro (%) no MPS de água do fundo da coluna d'água para o ano de 2016.



2.1.2 Matriz sedimento superficial

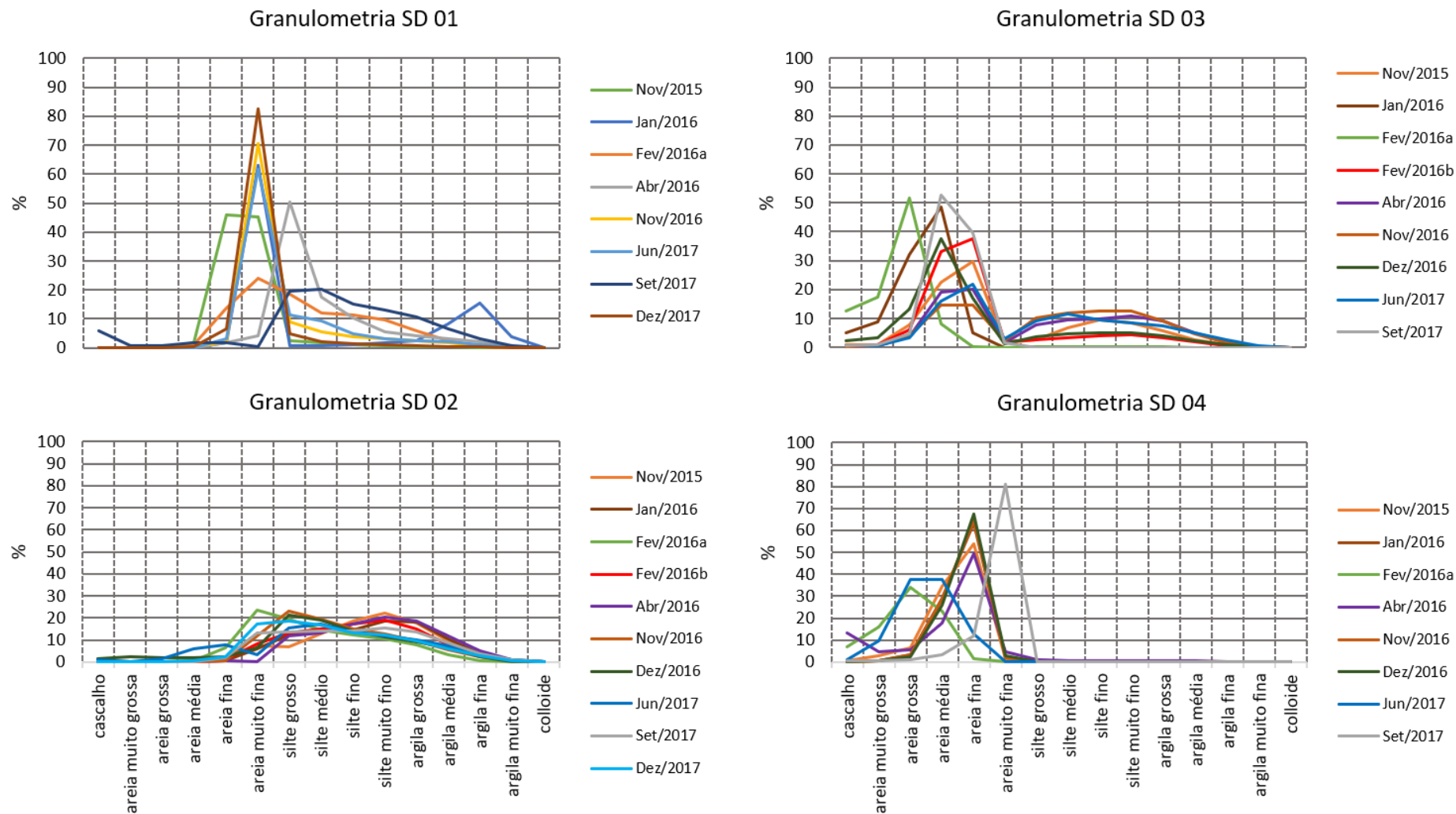
Uma variação temporal nos teores de areia e lama nas estações SD 01 e SD 03 do perfil transversal à linha de costa e em frente à foz do Rio Doce (Foz Central) foi observada. Já as estações SD 02 e SD 04 mantiveram baixa variabilidade nos teores de areia e lama (Figura 9). Na estação SD 01 se observou um aumento considerável no teor de lama a partir de Jan/2016 até Nov/2016, quando ocorreu uma redução desses teores, exceto para a campanha de Set/2017 (teor de lama próximo de 90%). Um teor de lama > 30% foi encontrado na estação SD 03 em Nov/2015, porém em Jan/2016 e Fev/2016a o teor de lama reduziu para valores próximos de zero. Um subsequente aumento crescente da fração lamosa ocorreu entre Fev/2016a a Nov/2016 para esta mesma estação. O máximo do teor de lama ocorreu em Jun/2017 (54%) com uma subsequente redução em Set/2017 (< 1%). Essa variabilidade dos teores de areia e lama indicam uma sazonalidade entre a deposição de areia e lama para a estação SD 03. Já a estação SD 04 foi a que apresentou menor variabilidade e apresentou teores de areia acima de 80% para todas as campanhas.

Figura 9: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Foz Central.



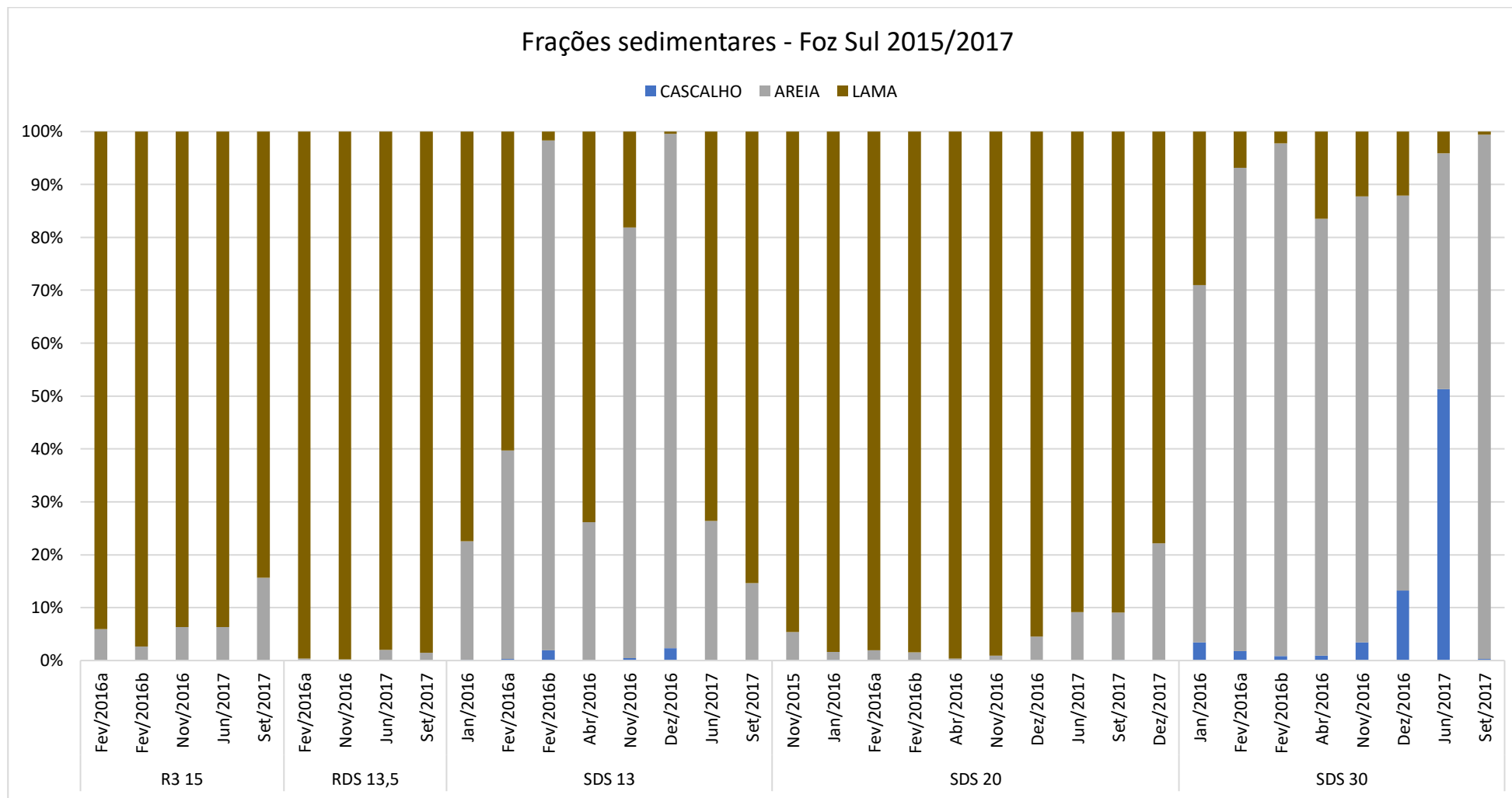
Assim com indicado pela Figura 9, a distribuição de classes granulométricas da Foz Central (Figura 10) confirmou uma deposição preferencial de areia fina e muito fina na estação SD 01 logo após o rompimento da barragem (campanha Nov/2015). Após, nota-se uma deposição predominante de areia muito fina em Jan/2016, Nov/2016, Jun/ 2017 e Dez/2017 e um predomínio de silte grosso em Abril/2016. A estação SD 02 não apresentou preferência de deposição de uma classe granulométrica específica, demonstrando uma curva platicúrtica entre as classes de areia fina e argila fina. Já a estação SD 03 apresentou um comportamento bimodal com predominância de deposição de classes arenosas. O padrão deposicional da estação SD 04 corroborou com a predominância arenosa da estação e apresentou maiores frequências das classes arenosas.

Figura 10: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial do Setor Foz Central.



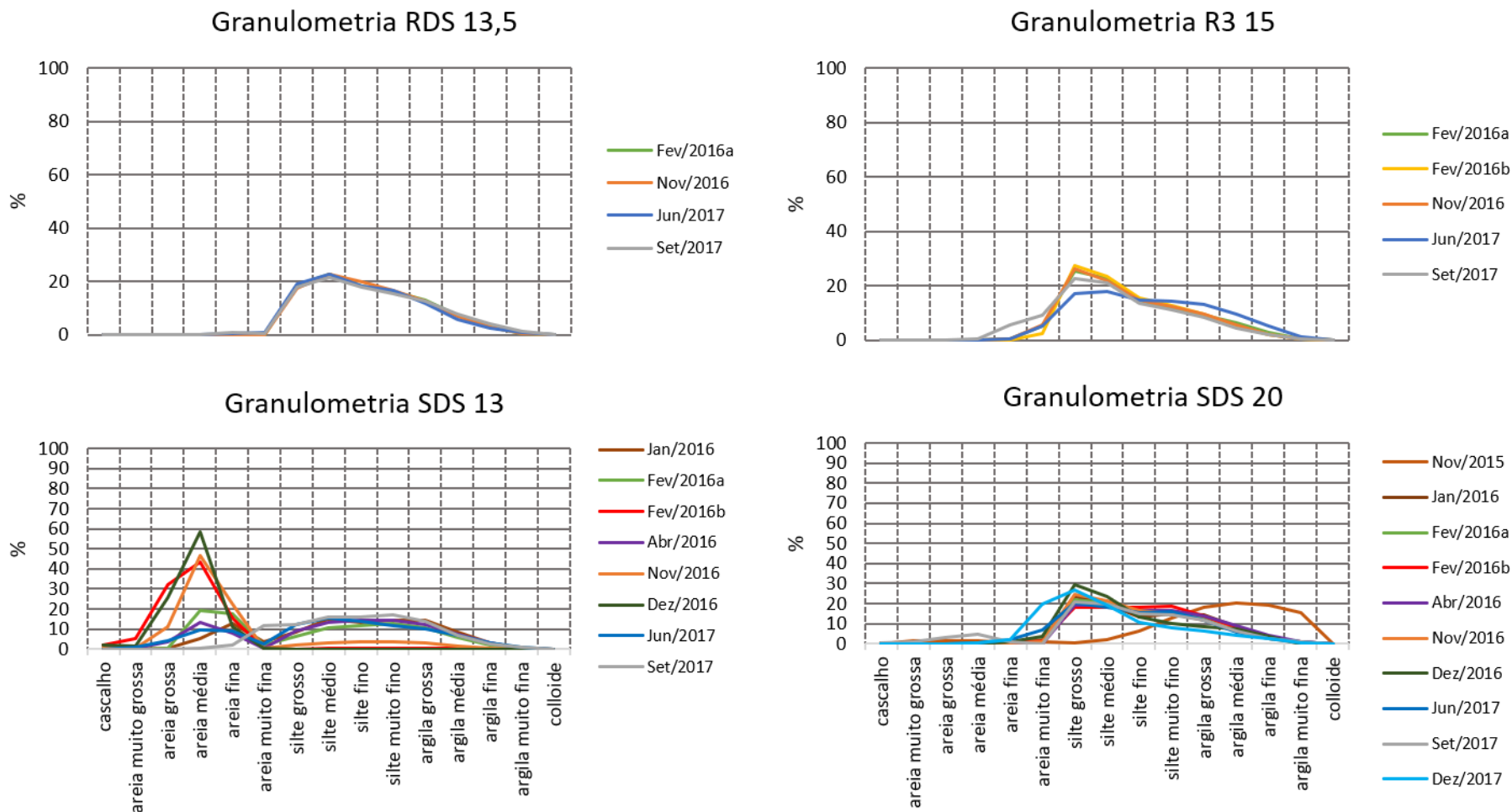
No Setor Foz Sul se observou um comportamento de menor variabilidade quanto à distribuição dos teores de areia e lama, com exceção da estação SDS 13 (Figura 11). De forma geral, os teores de lama observados para 3 estações (R3 15, RDS 13,5 e SDS 20) se mantiveram próximos de 100%. A estação SDS 13 apresentou um comportamento mais variável, com variações nos teores de areia e lama em mais de 50% (ex.: 2% de lama em Fev/2016b e 85% de lama em Set/2017). A estação SDS 30 foi majoritariamente arenosa, com aumento nos teores de lama nos meses de Jan/2015 (30%) e entre Abril/ e Dez/2016 (< 30%). Um ponto a destacar nessa estação é a presença da fração cascalhosa, com sua maior contribuição em Jun/2017 (51%)

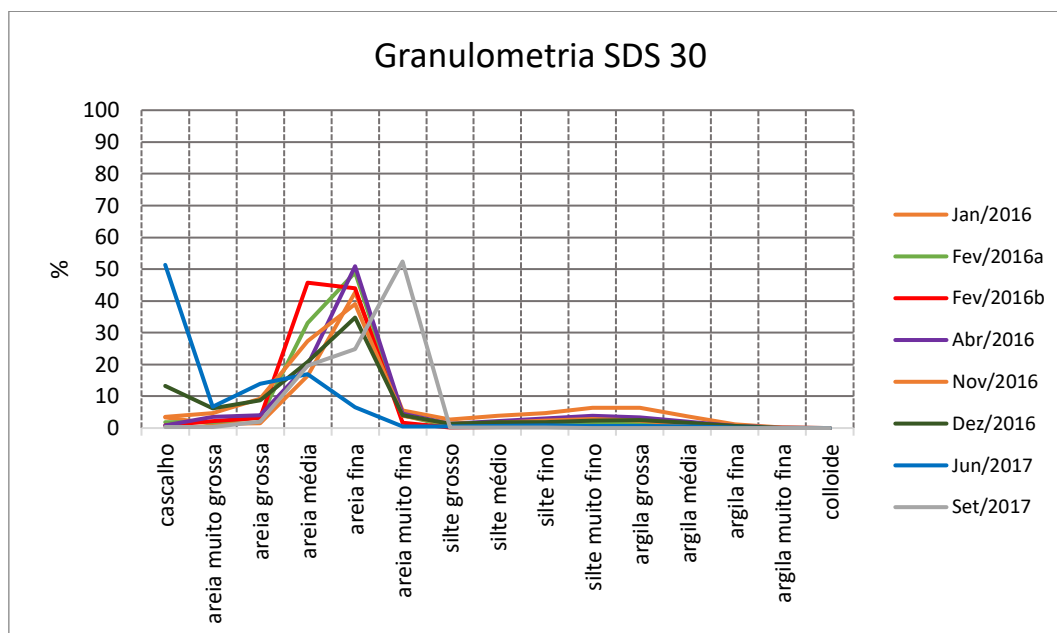
Figura 11: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial no Setor Foz Sul.



A partir da Figura 12 nota-se uma clara distribuição bimodal para a estação SDS 13, enquanto que as estações R3-15 e RDS-13,5 apresentaram uma distribuição unimodal com uma cauda que se estende principalmente para as classes do silte até argila média. A estação SDS 20 apresentou uma distribuição bimodal, ora com pico no silte muito fino, ora com pico na argila grossa. Destacou-se para essa estação a mudança da granulometria para uma distribuição unimodal nas classes argila grossa e argila muito fina durante a campanha de Nov/2015. Este padrão de distribuição unimodal também foi observado no mesmo período para a estação SD 01, entretanto essa última apresentou um domínio nas classes de areia fina e muito fina. Mesmo que a estação SDS 30 tenha apresentado uma distribuição bimodal, o predomínio da moda na areia fina foi evidente, enquanto que a moda nas classes lamosas apresentou frequência abaixo de 10%.

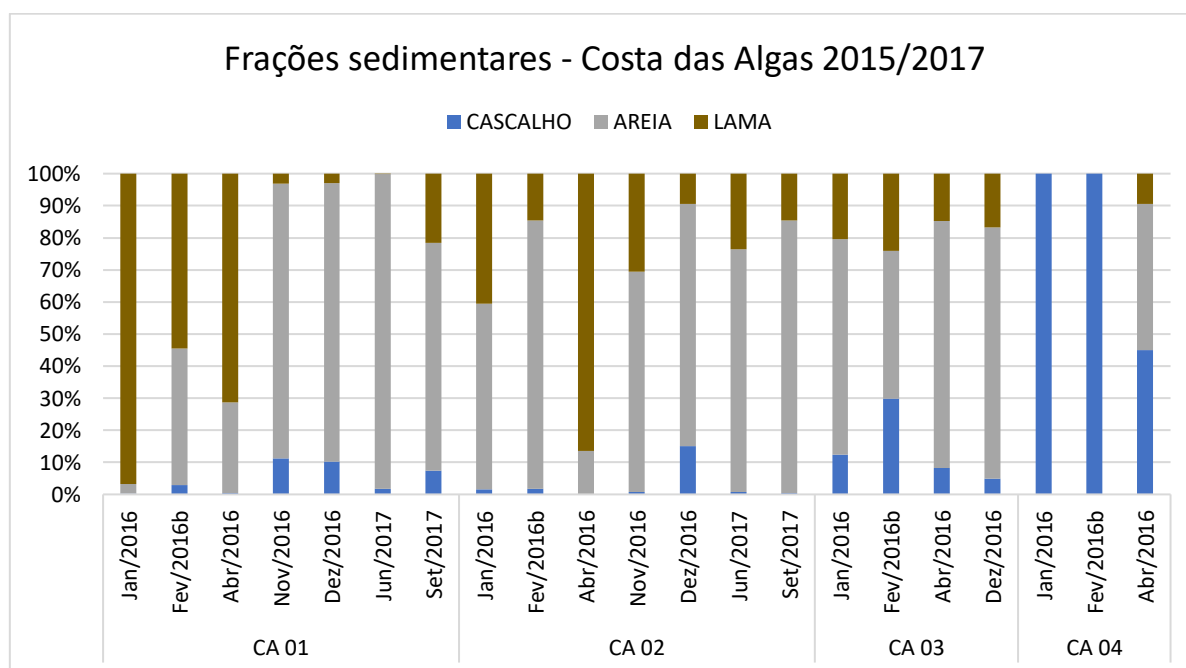
Figura 12: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial da região Foz Central





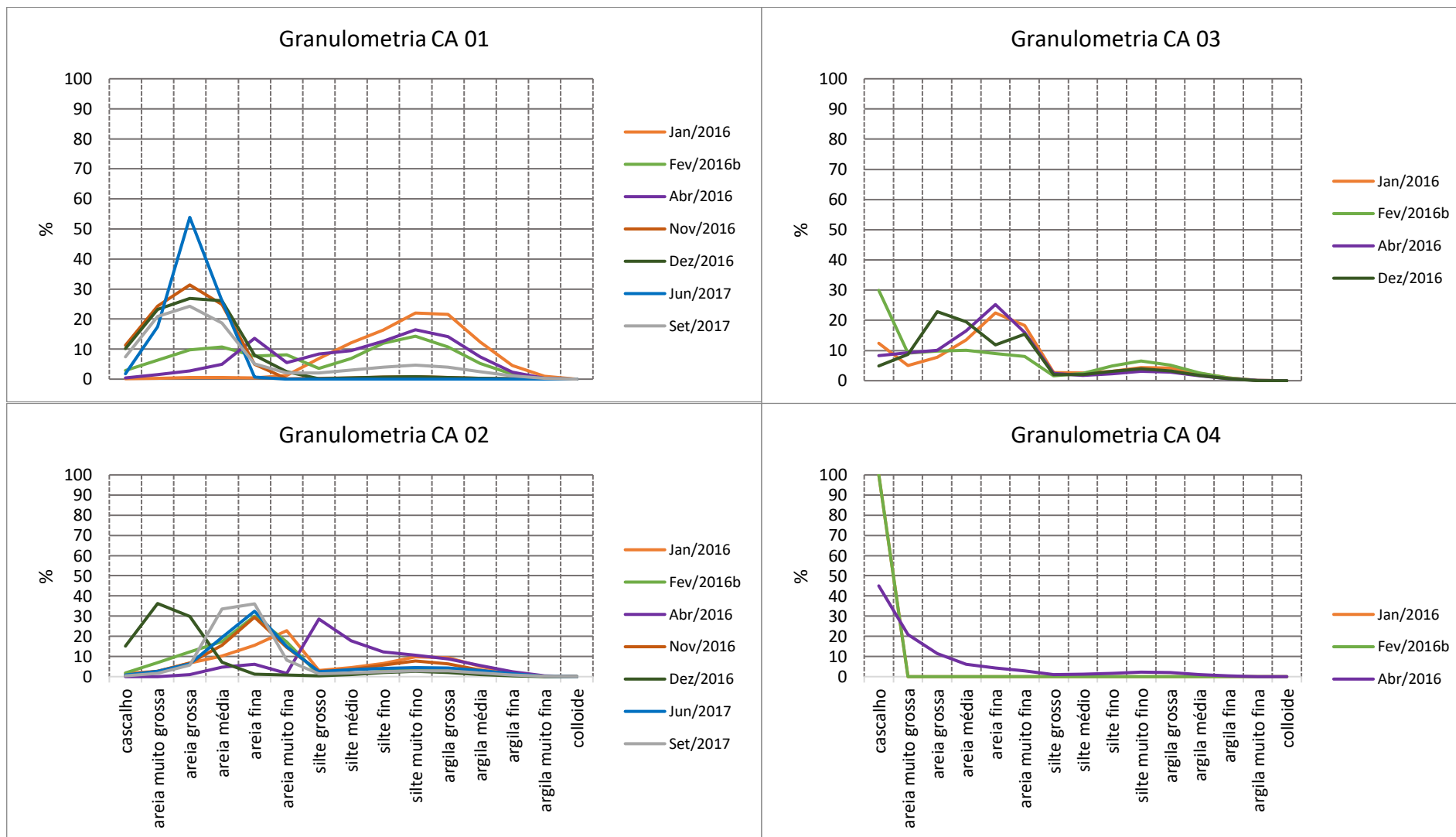
Mais ao sul, no Setor APA Costa das Algas, foi observado que nas duas estações mais rasas (CA 01 e CA 02) ocorreu uma variação dos teores de areia e lama durante o período amostrado (Figura 13). Pode-se observar a presença de dois domínios na estação CA 01: um lamoso entre Jan/2016 e Abril/2016, e um arenoso em Nov/2016 e Jun/2017. Em Set/2017 o teor de lama voltou a aumentar. Nesta estação se observou uma distribuição bimodal das classes granulométrica com uma moda na areia grossa e outra no silte muito fino (Figura 14).

Figura 13: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas.



Na estação CA 02 o domínio lamoso foi encontrado apenas em Abril/2016 (86%), quando a classe do silte grosso foi a mais abundante (Figura 13 e Figura 14). Nas outras campanhas as classes mais abundantes variaram entre si, mas com um predomínio das mais arenosas sobre as lamosas. As estações mais profundas apresentaram menor variabilidade e um predomínio da fração areia na CA 03 e da fração cascalho na CA 04 (exceto em Abril/2016 na CA 04: presença de areia e lama; Figura 13).

Figura 14: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas.



No Setor Foz Norte se observou grande domínio lamoso durante todo o período amostrado (Figura 15). Também se observou um predomínio do teor lamoso nas estações até a profundidade de 13 m quando comparadas com estações mais profundas. Na profundidade de 20 m (estação SDN 20) um afinamento do sedimento entre Fev/2016a e Dez/2016 pôde ser observado. Um pico no teor de areia (58%) juntamente com a presença de um sedimento cascalhoso (6%) foi observado em Abril/2016 na estação SDN 30, quando a granulometria mais grossa foi encontrada para o Setor Foz Norte (Figura 16).

Figura 15: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Foz Norte.

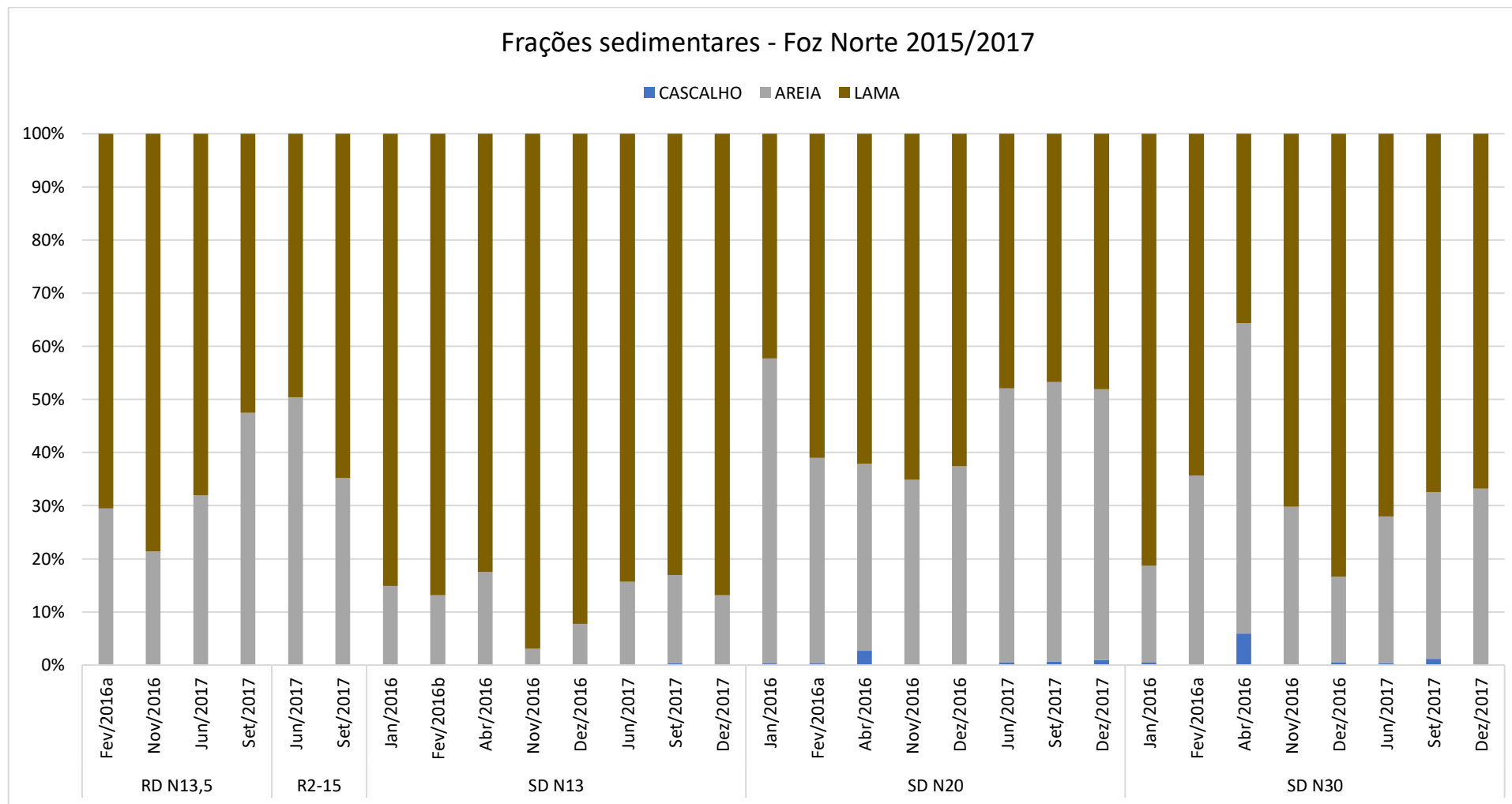
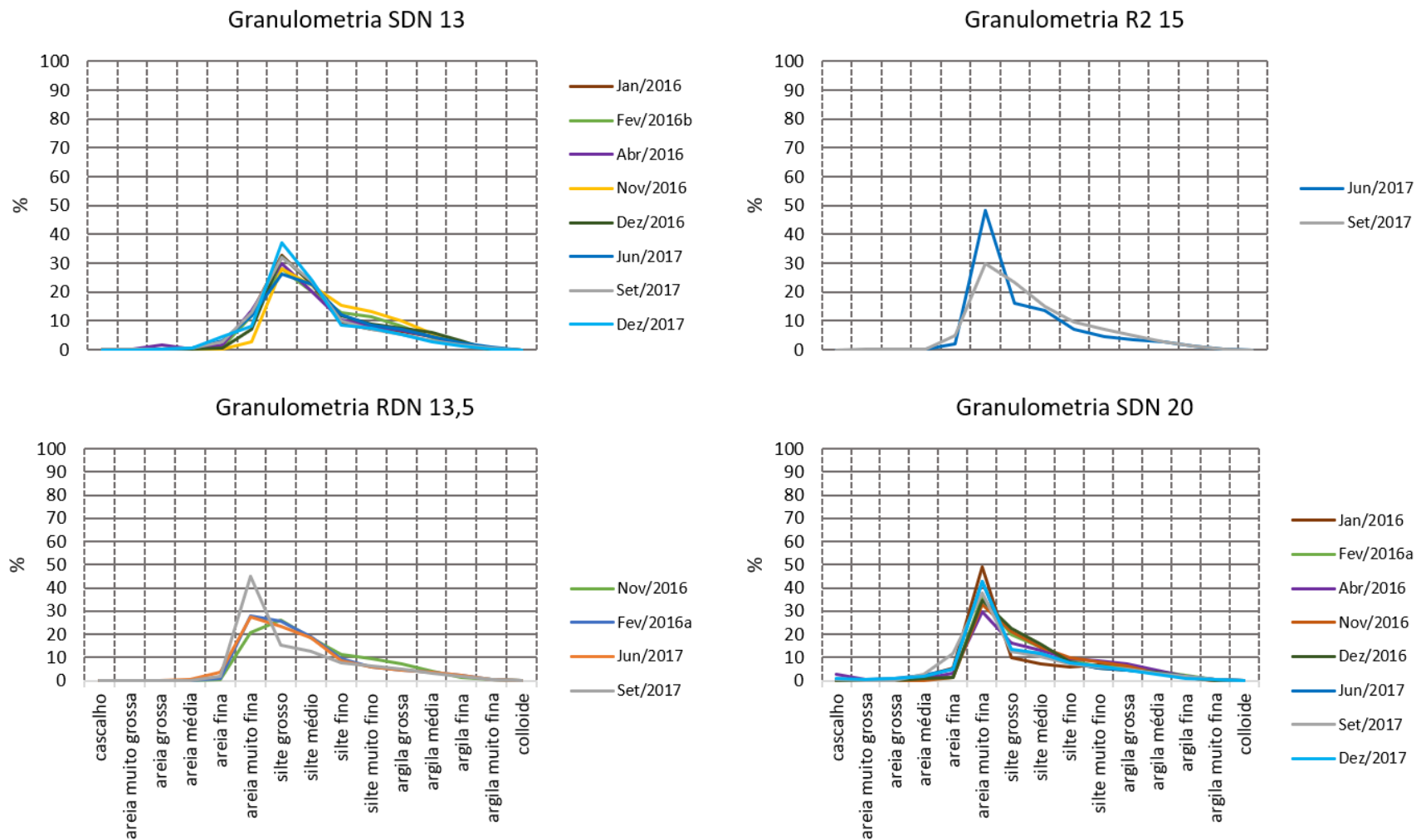
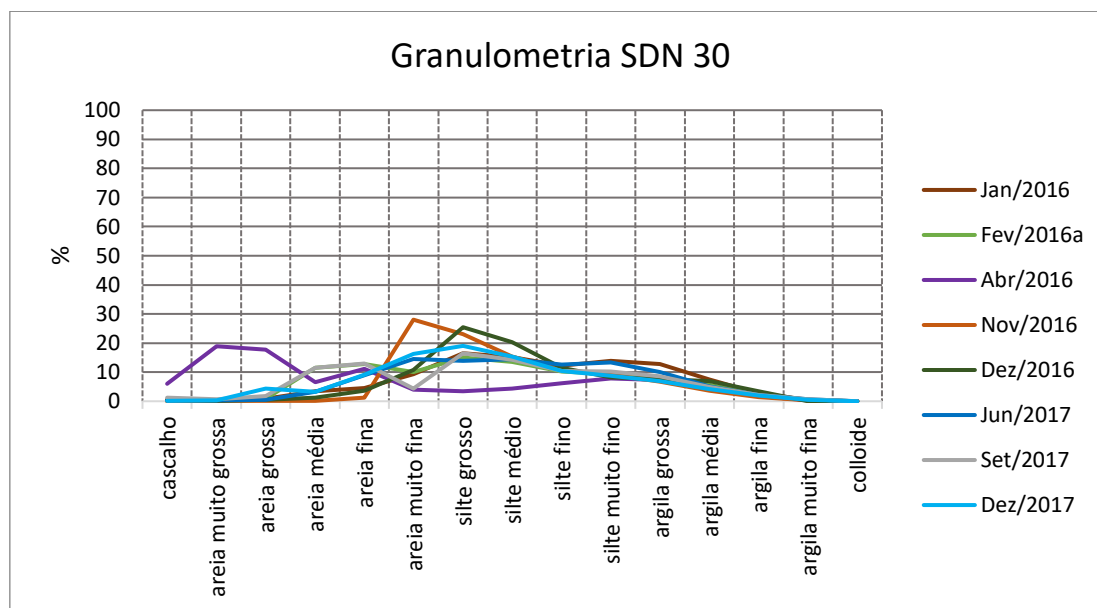


Figura 16: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial do Setor Foz Norte.





A partir da análise da distribuição das classes granulométricas para o Setor Foz Norte (Figura 16) se nota que as frequências se mantiveram sem variação e unimodais ao longo das campanhas até a profundidade de 20 m, exceto na campanha de Jan/2016 para a estação RDN 13,5, quando ocorreu um aumento da frequência de areia muito fina e diminuição de todas as outras classes.

Para o Setor Norte, na região de Degredo (estações DEG 01 e DEG 02), houve coleta de amostras sedimentares apenas em Abril/2016 e Dez/2016. Durante o período amostrado a região apresentou um predomínio da fração lamosa nas duas estações (Figura 17). A distribuição das classes granulométricas (Figura 18) se mostrou unimodal nas duas estações, ora com moda na areia muito fina, ora com moda no silte grosso.

Figura 17: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Norte na região de Degredo.

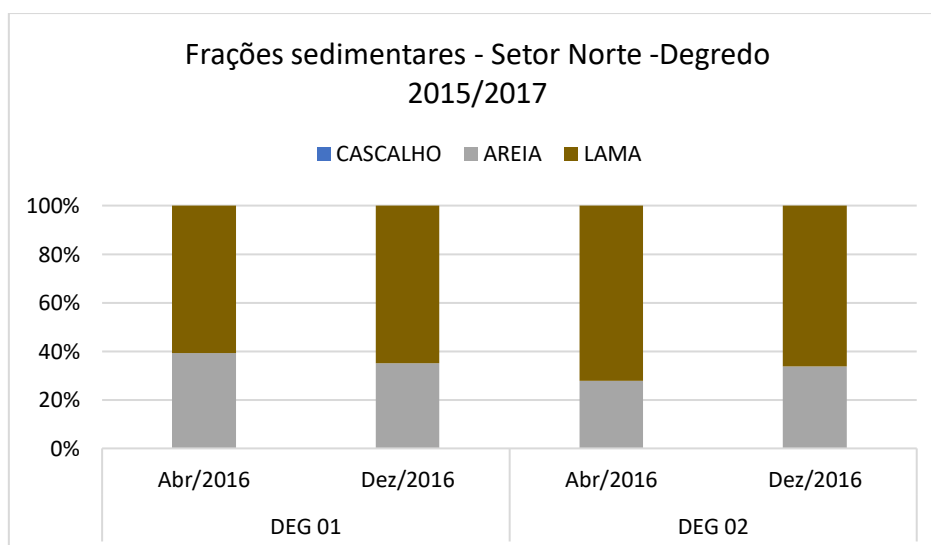
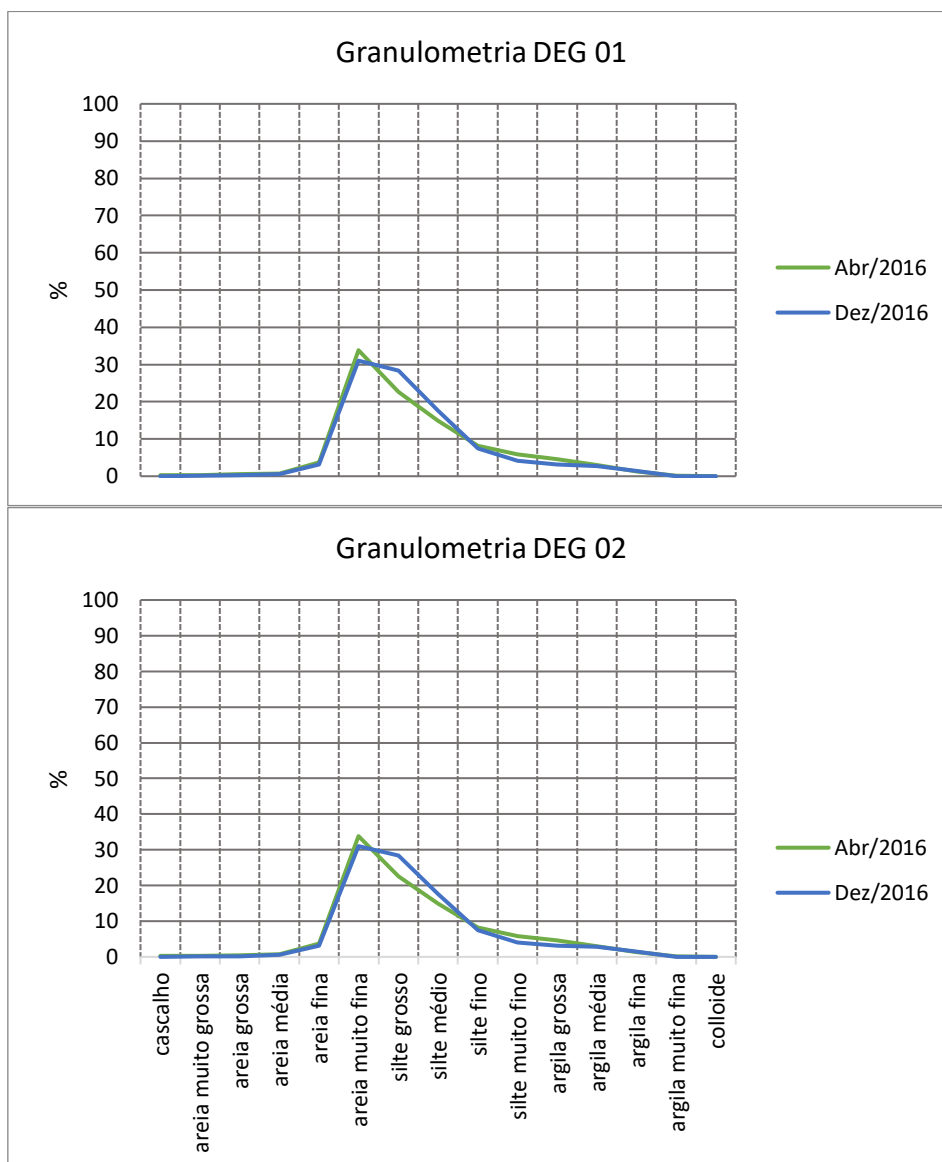


Figura 18: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial da região de Degredo.



Diferente de Degredo, a região de Barra Nova apresentou um sedimento arenoso onde todas as estações apresentam teores de areia acima de 70% (Figura 19). A maior abundância do teor de lama foi encontrada em Jan/2016 na estação BN 02. A distribuição das classes granulométricas (Figura 20) indicou um predomínio de areia fina (BN 01) e muito fina (BN 02) em Jan/2016, enquanto que em Abr/2016 ocorreu um predomínio areia média (BN 01) e fina (BN 02).

Figura 19: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Norte da região de Barra Nova.

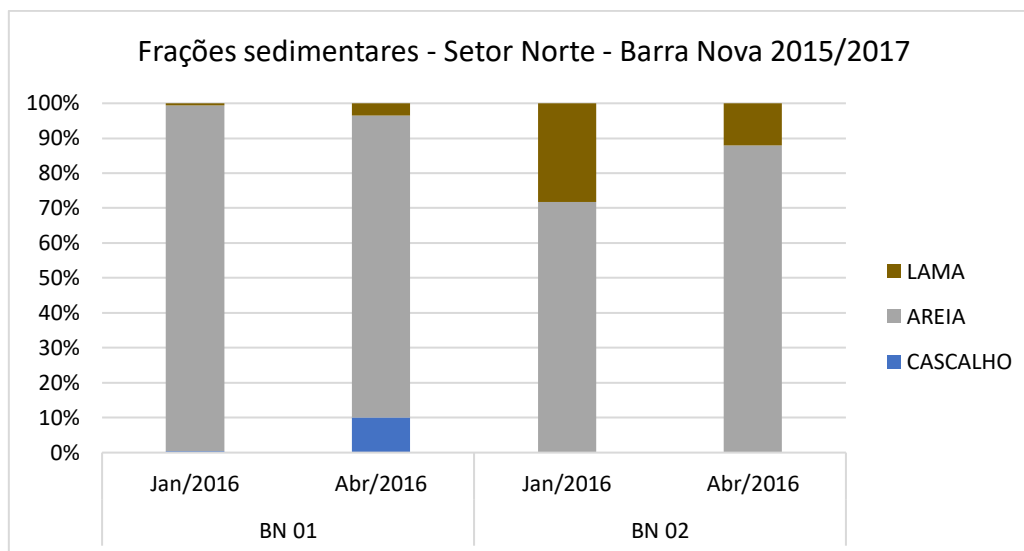
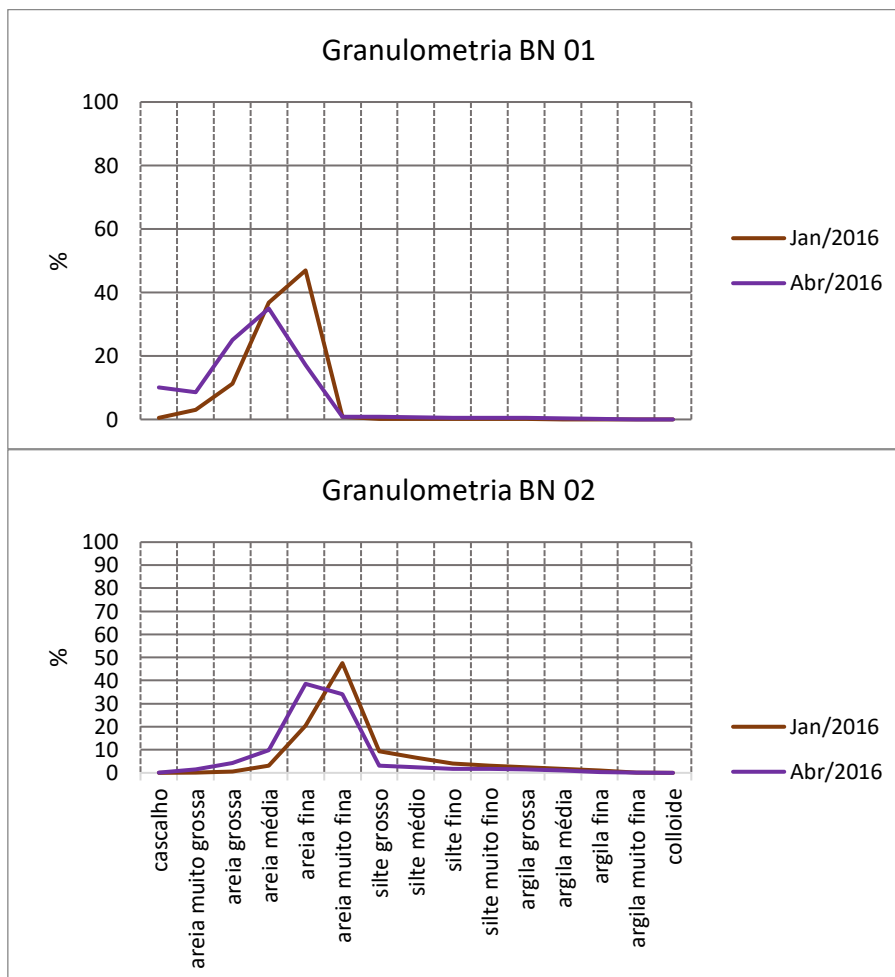
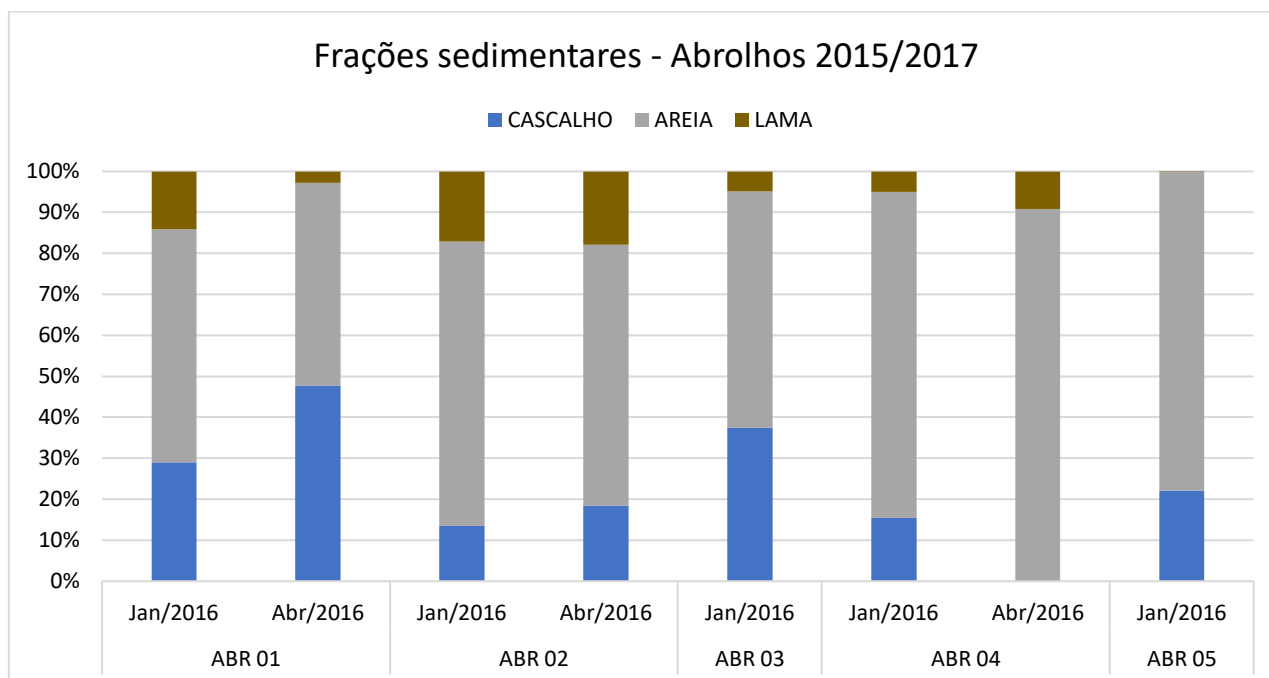


Figura 20: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial do Setor Norte na região de Barra Nova.



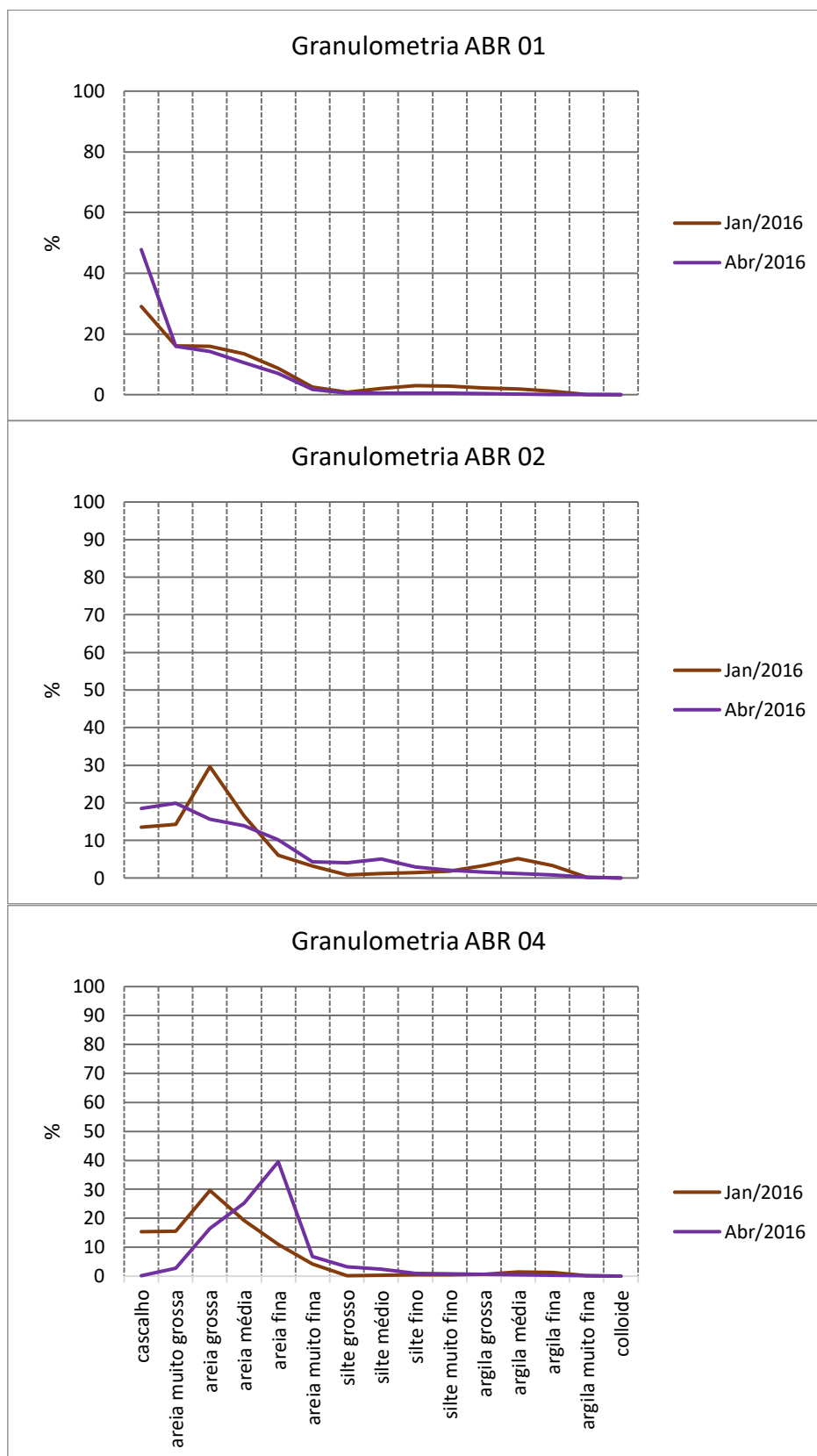
O Setor Abrolhos também se restringiu a duas campanhas: Jan/2016 e Abril/2016. Neste setor todas as estações apresentaram domínio arenoso e presença de cascalho acima de 10% (exceto ABR 04 em Abr/2016; cascalho ausente; Figura 21).

Figura 21: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Abrolhos.



A estação com maior teor de lama foi a ABR 02 com quase 20% de lama e sem variação entre as duas campanhas. As classes granulométricas (Figura 22) se apresentaram de forma unimodal apenas na estação ABR 04, com predomínio de areia grossa em Jan/2016 e de areia fina em Abr/2016. A estação ABR 01 apresentou predomínio de cascalho enquanto que a ABR 02 apresentou predomínio de areia grossa em Jan/2016 e areia fina em Abr/2016. Dentro da fração lamosa o predomínio se deu nas classes de argila.

Figura 22: Classes granulométricas em micrômetro para o sedimento superficial do Setor Abrolhos.



Os resultados de densidade do sedimento superficial estão apresentados nas Figura 23, Figura 24, Figura 25 e Figura 26, onde as estações no gráfico estão dispostas no eixo X da mais próxima da desembocadura (à esquerda) para a mais distante (à direita) para cada período e de acordo com cada setor. Os menores valores e indicadores de lama fluida (1200 kg/m^3) foram obtidos nas estações amostradas em Nov/2015, principalmente nos Setores Foz Norte e Foz Sul. Nas estações próximas da isóbata de 13 m, tanto para a estação ao norte quanto ao sul da foz do Rio Doce (SDN 13 e SDS 13, respectivamente), os maiores valores de densidade ocorreram em Nov/2016. No perfil transversal à costa em frente à foz do Rio Doce (Setor Central), a densidade do sedimento superficial se apresentou, de forma geral, menor na expedição de Nov/2016, principalmente nas estações mais rasas (SD 01 e SD 02). No Setor APA Costa das Algas só foram analisadas duas estações devido às características das amostras: arenosas e/ou cascalhosas. A menor densidade foi observada em Jan/2016 na estação CA 01.

Figura 23: Valores de densidade (kg/m^3) para o Setor Foz Norte.

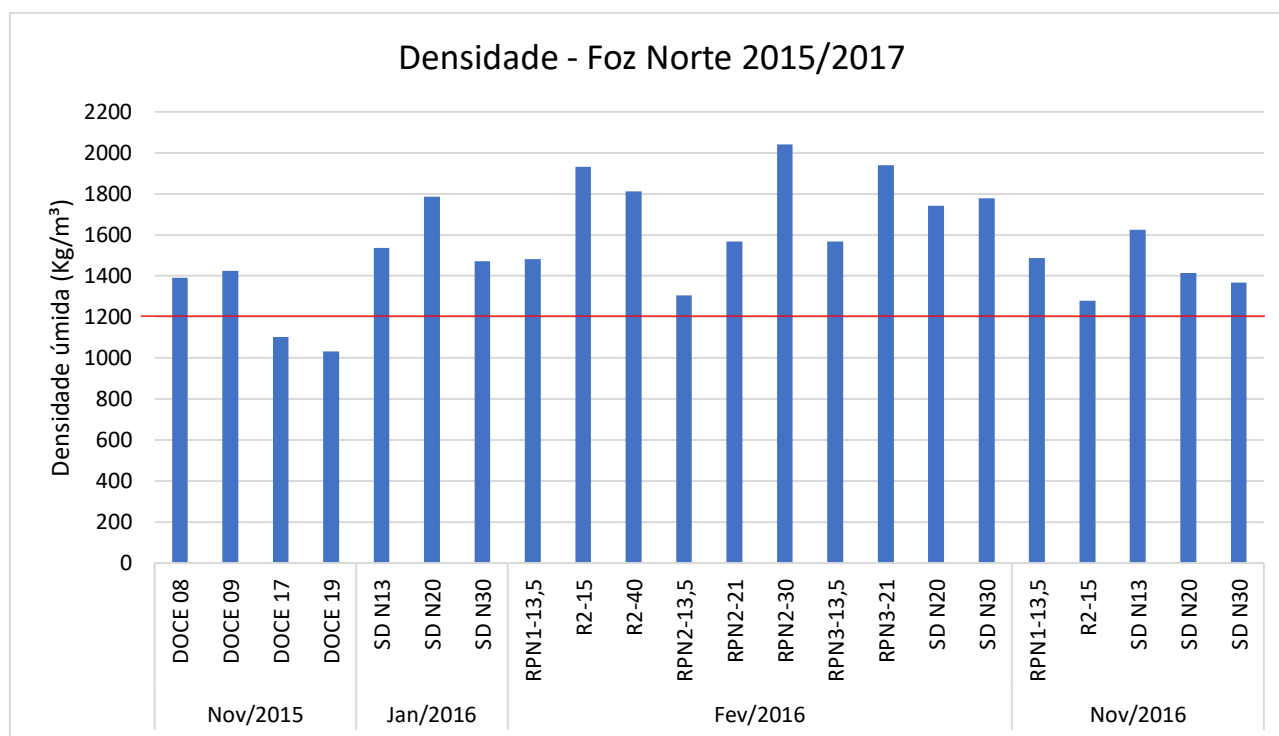


Figura 24: Valores de densidade (kg/m^3) para o Setor Foz Central.

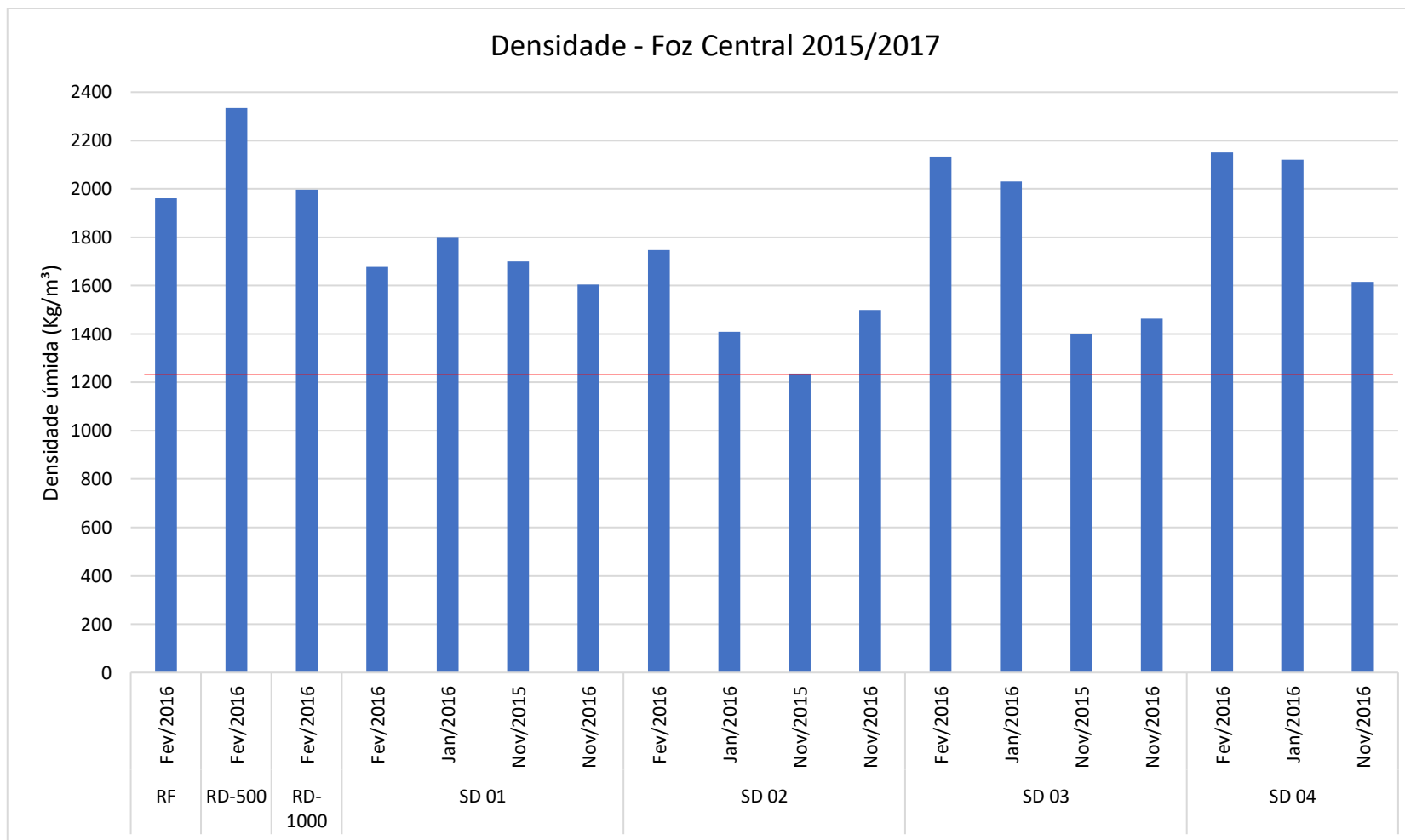


Figura 25: Valores de densidade (kg/m^3) para o Setor Foz Sul.

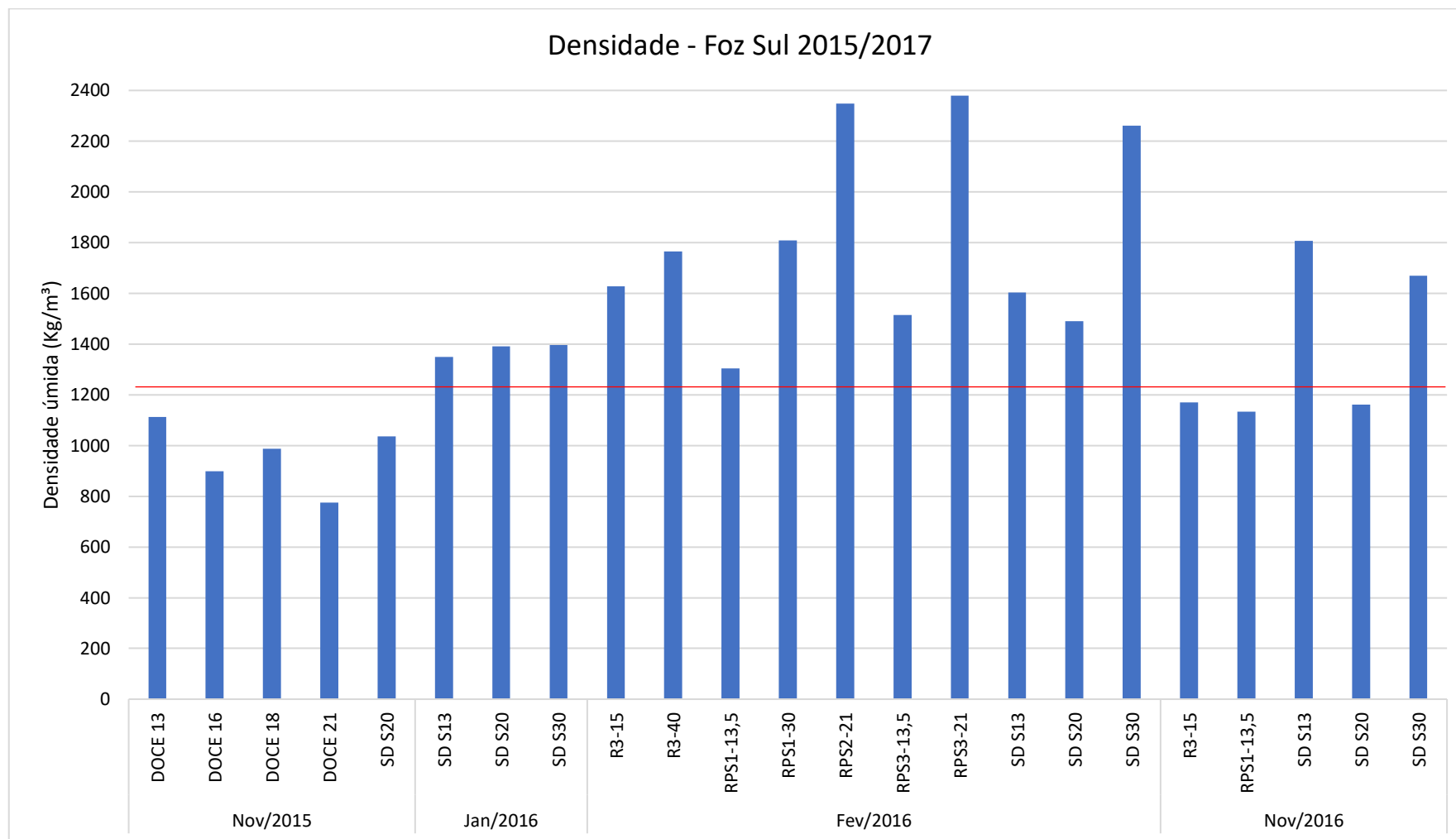
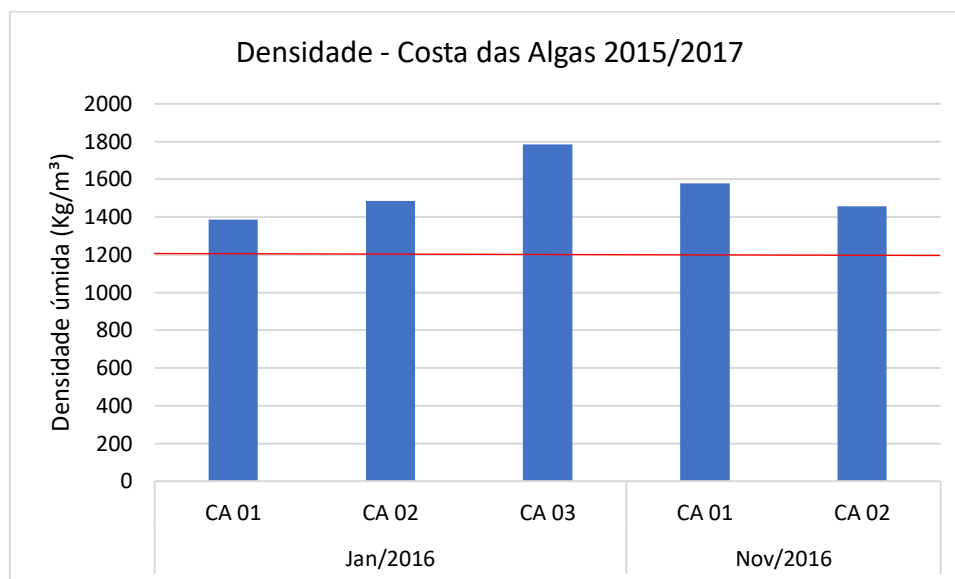


Figura 26: Valores de densidade (kg/m^3) para o Setor APA Costa das Algas.



Para os dados mineralógicos sedimentares, o material associado ao rejeito da barragem de Fundão exibiu mineralogia composta principalmente por minerais compatíveis com a composição do minério de ferro, dos quais se destacaram em volumes consideráveis a hematita e a magnetita, com 18%-43% e 5%-6%, respectivamente. Silicatos como o quartzo, muscovita e caulinita/haloisita compuseram outros 50% a 69%. Parcela inferior a 10% neste material foi composta por minerais como goethita, grenalita e maghemita e pseudomorfo de magnetita em transição para a hematita (Apêndice 12). Também para este material, os dados de fluorescência de raios-x mostraram teores de $\text{FeO}_{\text{total}}$ acima de 70% em massa. Em geral os percentuais em massa para silicatos ficaram entre 19% e 20%, enquanto que para aluminossilicatos não atingiu 7% (Tabela 1). Essa relação reflete a composição do minério de ferro, em sua maioria com óxidos de ferro (principalmente hematita, magnetita, maghemita, goethita) e quartzo, com pequena parcela de aluminossilicatos como sericita, clorita entre outros (Dorr, 1960; Rosière e Chemale, 2000; Spier et al, 2007).

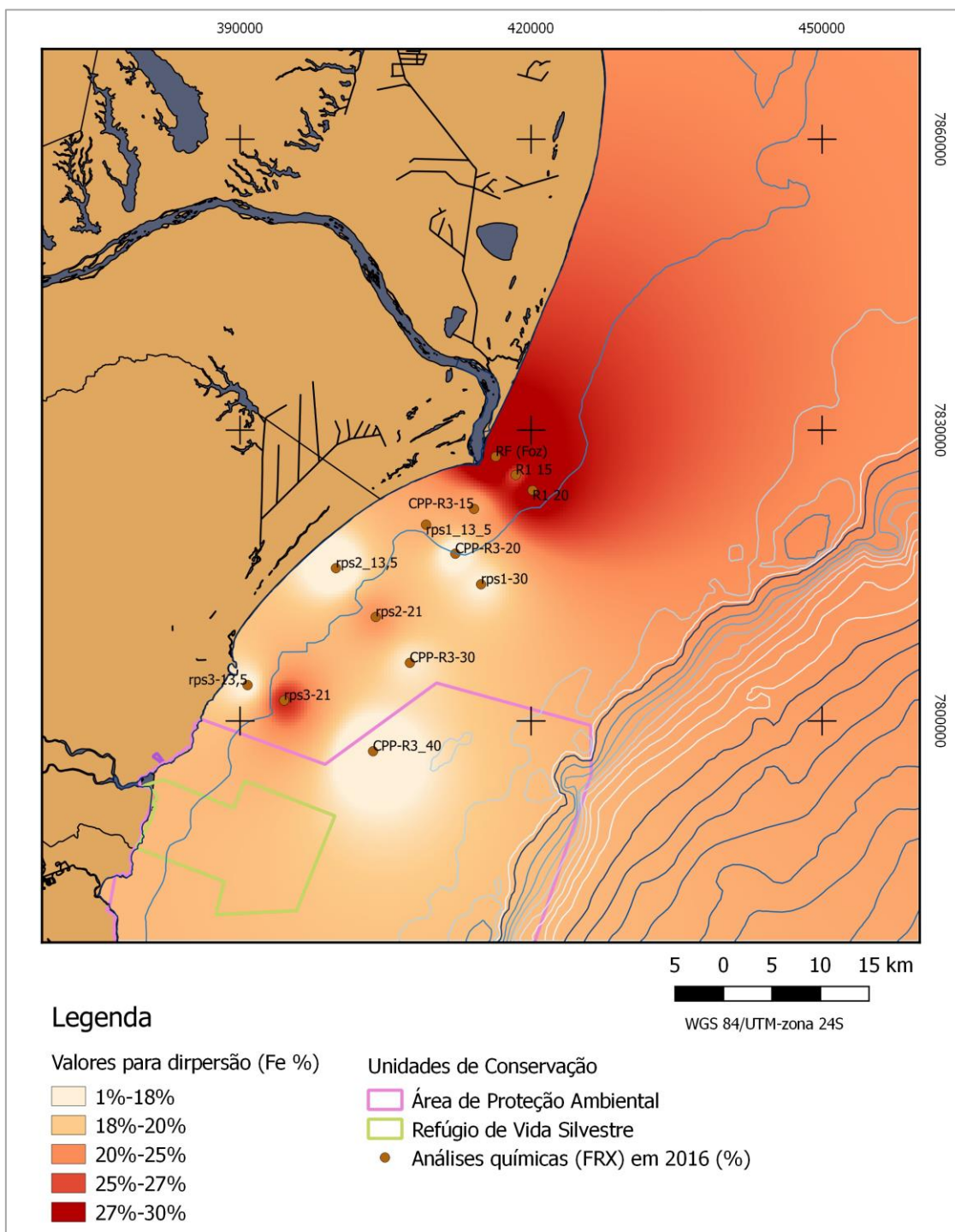
A análise das amostras anteriores ao rompimento da barragem de Fundão (amostras controle; ano de 2012) identificou a presença de minerais essenciais como muscovita, quartzo e caulinita/haloisita em volumes superiores a 10%. Já os minerais hematita, goethita, maghemita, magnetita, grenalita, gibssita e carbonatos apareceram como minerais acessórios, com volumes inferiores à 9%. (Tabela 1). As amostras dos anos de 2015 a 2017 apresentaram similaridades mineralógicas com as amostras controle: presença de muscovita, quartzo e caulinita/haloisita, hematita, goethita, maghemita, magnetita, grenalita e gibssita. No entanto um aumento significativo nos volumes totais de hematita, goethita, maghemita e magnetita foram encontrados (variação de 10% a 57%; Tabela 1). Nos Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul foram observadas variações de 14,2% a 42,4% de $\text{FeO}_{\text{total}}$ em massa para os anos de 2015 e 2016 com fases minerais com susceptibilidade magnética de 1,8 a 8,4 vezes maiores do que os valores de referência adquiridos no ano de 2012 (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de susceptibilidade magnéticas de amostras de sedimento superficial.

Estação	Campanha	Matriz	Xac(04) (m ³ /kg)	Comparação com valor de referência
1DS64	Valor de referência pretérito (2012)	Sedimento Superficial	1,79E-06	
1DS65	Valor de referência pretérito (2012)	Sedimento Superficial	1,28E-06	
2DS63	Valor de referência pretérito (2012)	Sedimento Superficial	1,87E-06	
2DS66	Valor de referência pretérito (2012)	Sedimento Superficial	1,75E-06	
4DS74	Valor de referência pretérito (2012)	Sedimento Superficial	1,76E-06	
AB-166	Valor de referência pretérito (2012)	Sedimento Superficial	1,34E-07	
Mariana 01	Valor de referência do rejeito (Nov/2015)	Sedimento Superficial	2,11E-05	Valor 12,4 vezes maior
Mariana 02	Valor de referência do rejeito (Nov/2015)	Sedimento Superficial	1,29E-05	Valor 7,6 vezes maior
Vital 01 (2015)	Vital de Oliveira I: 26 a 29/11/2015	Sedimento Superficial	4,58E-06	Valor 2,7 vezes maior
RF (2016)	Fevereiro de 2016	Sedimento Superficial	1,46E-05	Valor 8,6 vezes maior
R1 15 (2016)	Fevereiro de 2016	Sedimento Superficial	4,55E-06	Valor 2,7 vezes maior
SD 01	Novembro de 2016	Sedimento Superficial	4,97E-06	Valor 2,8 vezes maior
SD 02	Novembro de 2016	Sedimento Superficial	3,43E-06	Valor 2.0 vezes maior
SD 01	Junho de 2016	Sedimento Superficial	9,93E-06	Valor 5,8 vezes maior
SD 02	Junho de 2016	Sedimento Superficial	3,12E-06	Valor 1,8 vezes maior

Os valores de aluminossilicatos oscilaram entre 29% e 55% enquanto os silicatos, de 8% a 37% (Tabela 1). Uma diminuição do teor de $\text{FeO}_{\text{total}}$ nas amostras sedimentares dos Setores da Foz do Rio Doce quando comparadas com os percentuais do material representativo do rejeito de minério de ferro (amostrado na barragem de Fundão) foi observada para o período inicial. Essa diminuição é decorrente da retenção das fases minerais com ferro ao longo do rio em virtude da maior densidade da hematita e magnetita, por exemplo (minerais pesados), bem como consequência do efeito diluidor do oceano. Já os minerais mais enriquecidos nos sedimentos da plataforma continental adjacente à Foz do Rio Doce (argilominerais e micas; caulinita, muscovita, sericita, por exemplo) apresentam menor densidade e maior propensão a se manterem suspensos ao longo do transporte fluvial, o que pode explicar o enriquecimento relativo de SiO_2 e Al_2O_3 quando comparados ao rejeito de minério de ferro. A distribuição espacial do $\text{FeO}_{\text{total}}$ nos sedimentos dos Setores da Foz do Rio Doce para o período 2015/2016 evidenciou maiores concentrações na região da foz e dispersões para N e NE, com valores comparativamente menores para Sul (em direção à APA Costa das Algas; Figura 27).

Figura 27: Média de ferro (%) em sedimentos superficiais para o período de 2016.



2.2 RESULTADOS 2018/2019

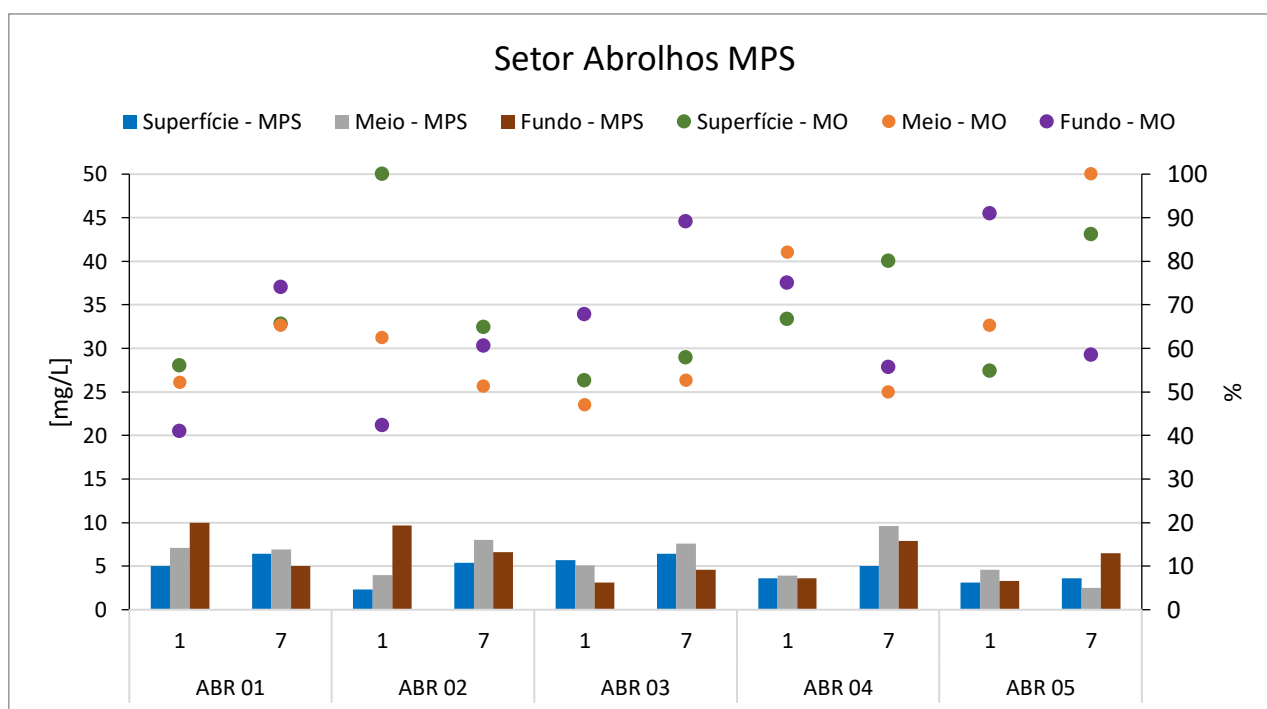
2.2.1 Matriz água

2.2.1.1 Setor Abrolhos

O setor de Abrolhos foi monitorado nas Campanhas 1 e 7. As concentrações de MPS se mantiveram abaixo de 10 mg/L durante as duas campanhas monitoradas ($5,05 \pm 2,14$ mg/L; Figura 28), onde os menores valores foram encontrados na Campanha 1 ($4 \pm 1,73$ mg/L e $6,40 \pm 1,43$ mg/L para as Campanhas 1 e 7, respectivamente), exceto para a estação ABR 01 ($7,10 \pm 2,51$ mg/L), a qual apresentou menores valores na Campanha 7 ($6,40 \pm 0,98$ mg/L). Também é possível observar que a Campanha 7 foi a mais uniforme (

Figura 29), quando um máximo no meio da coluna d'água foi observado para todas as estações (máximo de 9,6 mg/L em ABR 04; Figura 28), exceto em ABR 05, onde o máximo ocorreu no fundo (6,5 mg/L). Na Campanha 1, apenas ABR 01 e ABR 02 apresentaram padrões da concentração de MPS e dos teores de MO similares (Figura 28): aumento gradual da concentração do MPS ao longo da coluna d'água com maiores valores próximo ao fundo (≈ 10 mg/L) e maiores teores de MO em superfície (56 e 100%, respectivamente) com mínimo no fundo ($\approx 40\%$).

Figura 28: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Abrolhos.



Uma análise da variabilidade das concentrações de MPS ao longo do monitoramento (Figura 30) mostrou que a estação mais uniforme foi a ABR 03 ($5,40 \pm 1,55$ mg/L) enquanto que a mais oscilante foi a ABR 02 ($6 \pm 2,69$ mg/L). Os maiores valores de MPS em superfície foram encontrados na estação ABR 03 ($6,05 \pm 0,49$ mg/L), já os menores estiveram na estação ABR 05 ($3,35 \pm 0,35$ mg/L), em que a mais oscilante para essa

profundidade foi a estação ABR 02 ($3,85 \pm 2,19$ mg/L). As estações apresentaram medianas de MPS similares para o meio da coluna d'água ($7 \pm 0,14$, $6 \pm 2,83$, $6,35 \pm 1,77$ e $6,75 \pm 4,03$ mg/L para as estações ABR 01, ABR 02, ABR 03 e ABR 04, respectivamente), exceto pelo menor valor na estação ABR 05 ($3,55 \pm 1,48$). Ainda para o MPS do meio da coluna d'água, a estação que mais oscilou foi a ABR 04 ($6,75 \pm 4,03$ mg/L). As concentrações de MPS para o fundo foram maiores na estação ABR 02 ($8,15 \pm 2,19$ mg/L), no entanto a maior oscilação para essa profundidade da coluna d'água foi encontrada na estação ABR 01 ($7,50 \pm 3,54$ mg/L). Os menores valores de MPS encontrados para o fundo da coluna d'água estiveram na estação ABR 03 ($3,85 \pm 1,06$). Teores de MO para o setor estiveram todos acima de 40% para as duas campanhas e reforçaram a contribuição orgânica para o MPS (Figura 28).

Figura 29: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Abrolhos.

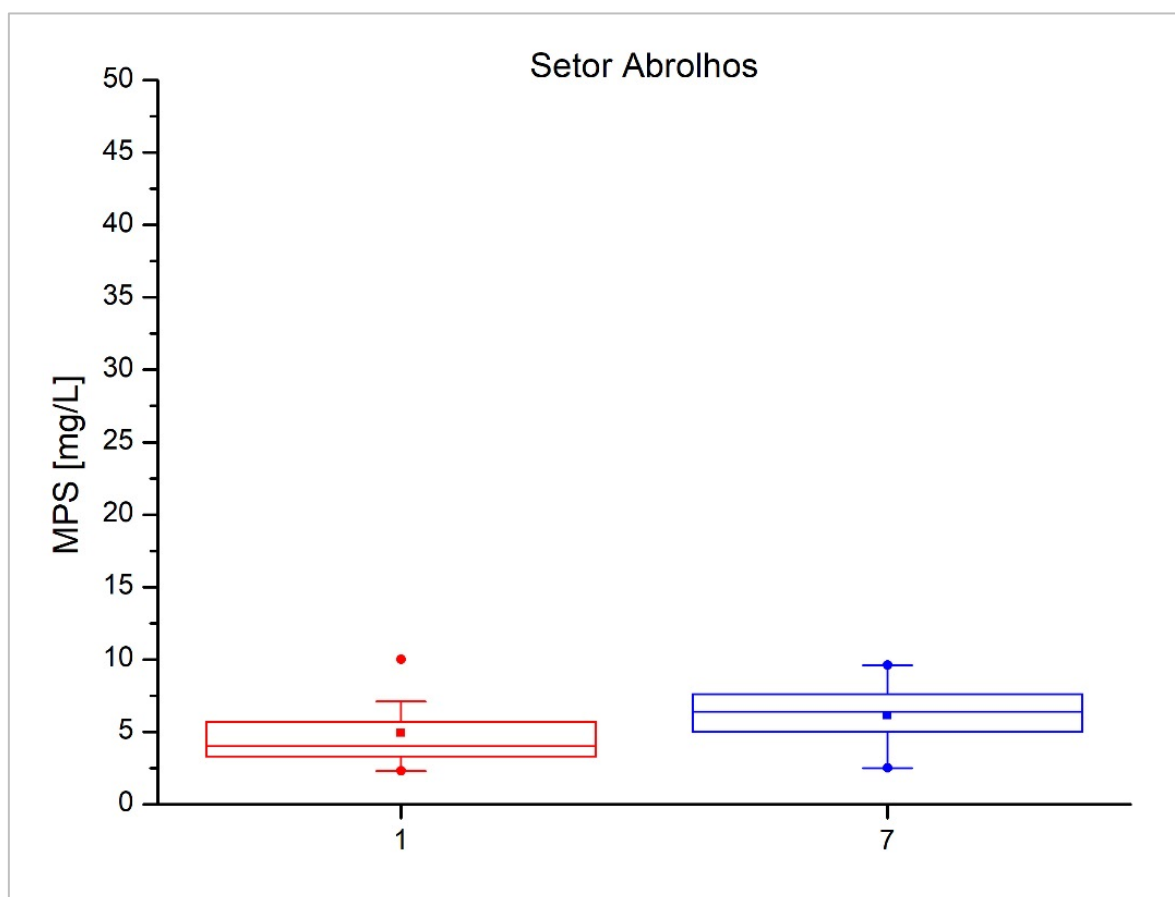
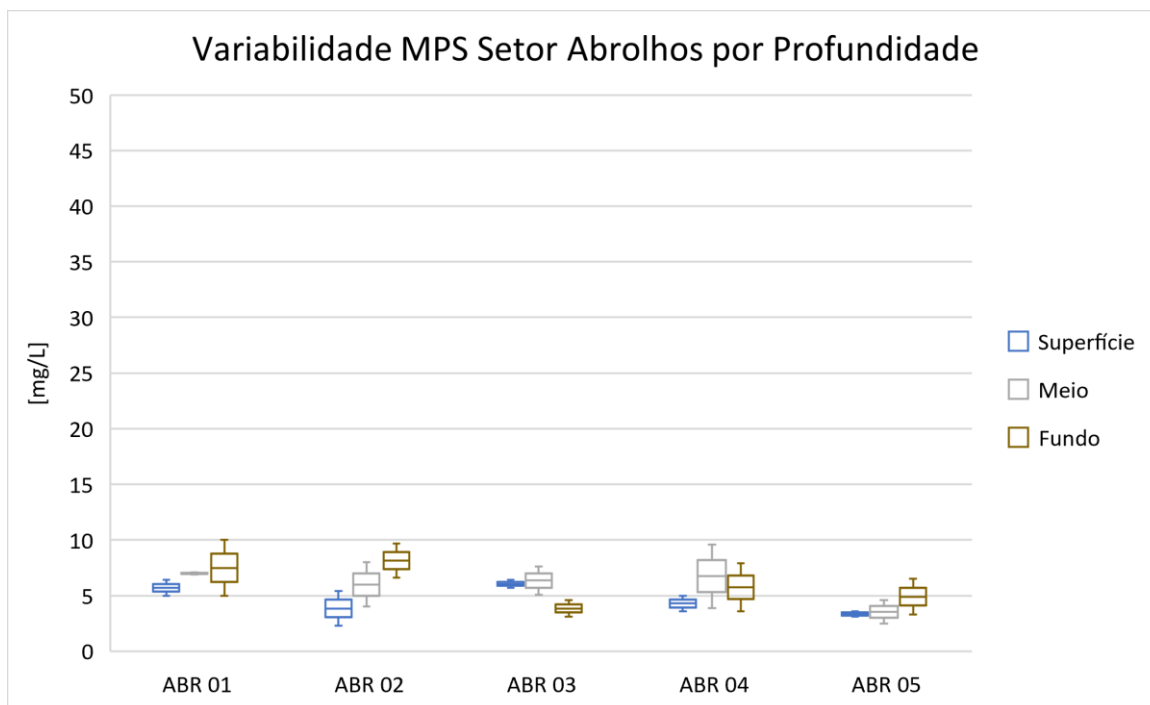
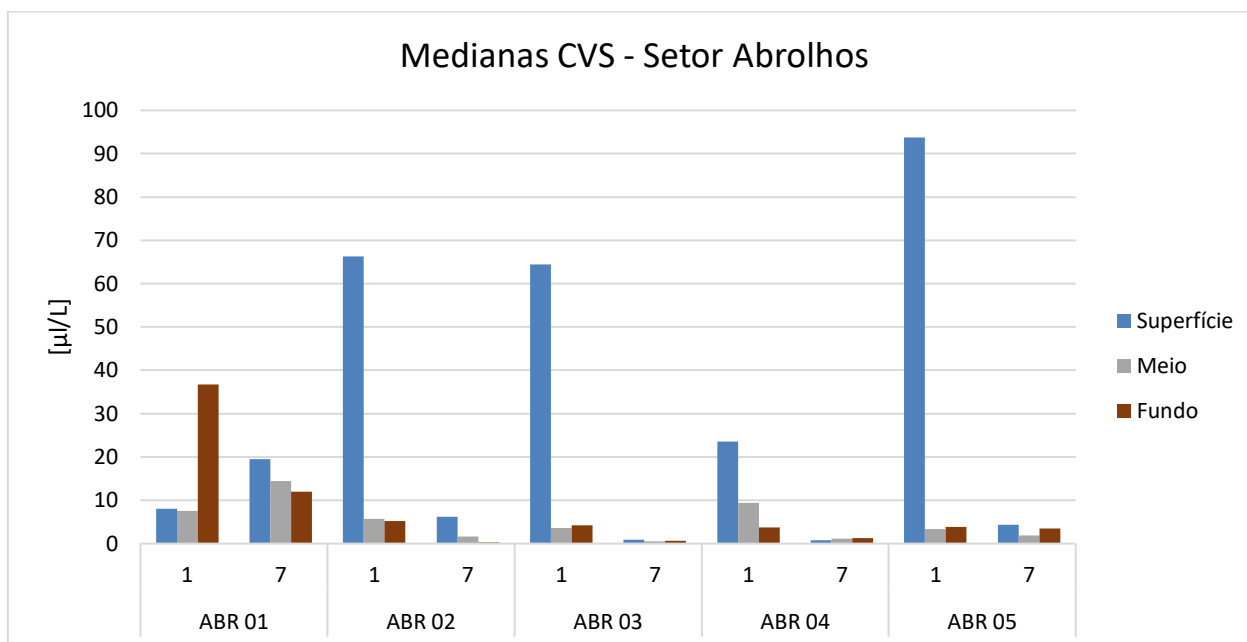


Figura 30: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Abrolhos durante o monitoramento.



Medianas da Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) para o Setor Abrolhos estiveram entre 0,81 e 93,74 $\mu\text{L/L}$ para superfície, entre 0,55 e 14,42 $\mu\text{L/L}$ para o meio da coluna d'água e entre 0,28 e 6,67 $\mu\text{L/L}$ para o fundo (Figura 31) e indicaram maiores concentrações em superfície na Campanha 1, exceto para a estação ABR 01, a qual apresentou maiores valores de CVS no fundo da coluna d'água para essa campanha.

Figura 31: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST para o Setor Abrolhos.



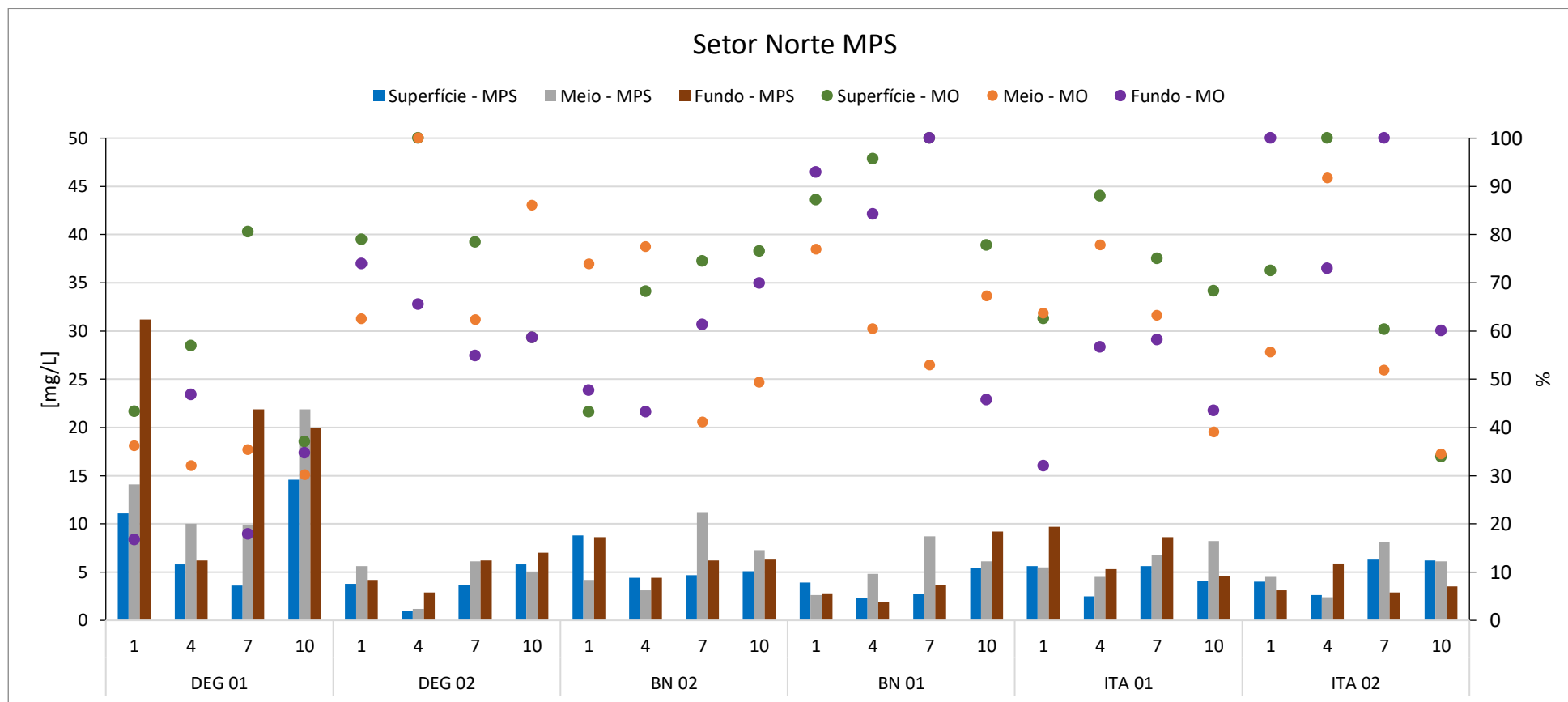
Valores de $\text{FeO}_{\text{total}}$ e Al_2O_3 no MPS do Setor Abrolhos estiveram entre 1 e 3% e foram comparativamente menores do que nos Setores da Foz do Rio Doce (Apêndice 12).

2.2.1.2 Setor Norte

As concentrações de MPS foram, em sua maioria, menores do que 10 mg/L ($5,55 \pm 1,80$ mg/L) ao longo do monitoramento (Figura 32). Valores de eventos de picos de MPS (i.e., *picos atípicos*) ocorreram em DEG 01 (Campanha 1: 31,2 mg/L para o fundo; Campanha 7: 21,9 mg/L para o fundo; e Campanha 10: 14,60, 21,90 e 19,90 para superfície, meio e fundo, respectivamente). Na Campanha 10 foi encontrada uma maior similaridade entre as estações durante o monitoramento ($6,15 \pm 1,15$ mg/L), enquanto que a Campanha 7 apresentou maior variabilidade ($6,20 \pm 2,45$ mg/L; Figura 33), apesar de uma mediana de MPS semelhante entre as estações. Valores de MPS foram tipicamente maiores nas estações mais rasas e geralmente com maiores concentrações junto ao fundo (Figura 34).

Uma análise da variabilidade das concentrações de MPS ao longo do monitoramento (Figura 35) mostrou que a estação com maior variabilidade foi DEG 01 ($12,60 \pm 6,60$ mg/L), onde as maiores concentrações de MPS para o Setor Norte foram encontradas (Campanha 10; Figura 32). A estação que apresentou a menor variabilidade temporal no setor foi ITA 01 ($5,55 \pm 1,15$ mg/L; Figura 35), enquanto a estação BN 01 apresentou as menores concentrações de MPS ($3,80 \pm 1,35$ mg/L; Campanha 4; Figura 32).

Figura 32: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Norte.



As maiores concentrações de MPS em superfície foram encontradas na estação DEG 01, bem como a maior variabilidade ($8,45 \pm 3,75$ mg/L), enquanto a menor mediana para essa profundidade se deu na estação BN 01 ($3,30 \pm 0,8$ mg/L). Para o meio da coluna d'água, a concentração mediana de MPS foi maior em DEG 01 ($12,05 \pm 2,10$ mg/L), que apresentou maior variabilidade juntamente com BN 02 ($5,75 \pm 2,10$ mg/L). A estação com menor variabilidade de valores de MPS para o meio da coluna d'água foi DEG 02 ($5,30 \pm 0,55$ mg/L). Exceto pela estação mais rasa de Degredo que apresentou mediana mais alta, todas as outras estações do Setor Norte apresentaram valores medianos de MPS similares para o meio da coluna d'água ($5,30 \pm 0,55$, $5,75 \pm 2,10$, $5,45 \pm 1,75$, $6,15 \pm 1,15$ e $5,30 \pm 1,8$ mg/L para DEG 02, BN 02, BN 01, ITA 01 e ITA 02, respectivamente).

As medianas de MPS no fundo foram diferentes entre as estações, onde a maior mediana e desvio absoluto mediano foram encontrados em DEG 01 ($20,90 \pm 5,65$ mg/L) e a estação com menor mediana foi BN 01 ($3,25 \pm 0,90$ mg/L). A estação ITA 02 ($3,30 \pm 0,30$ mg/L) apresentou a menor variabilidade da concentração de MPS no fundo.

Figura 33: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Norte.

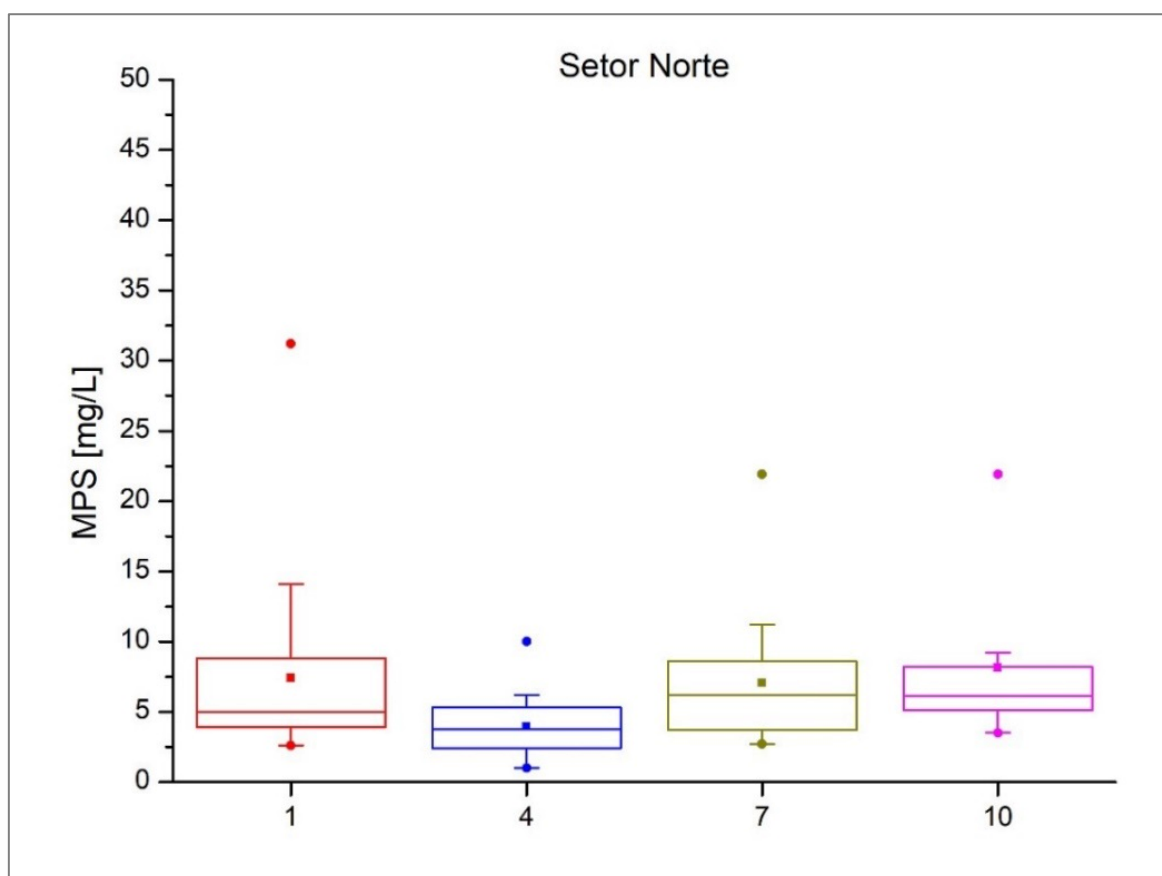
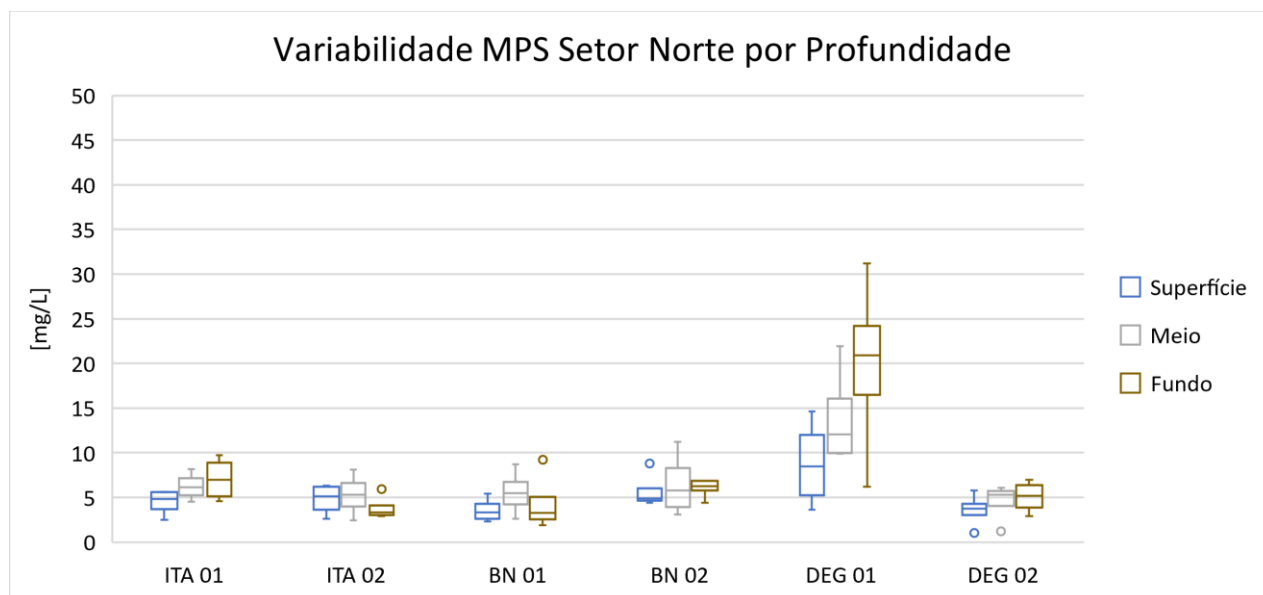
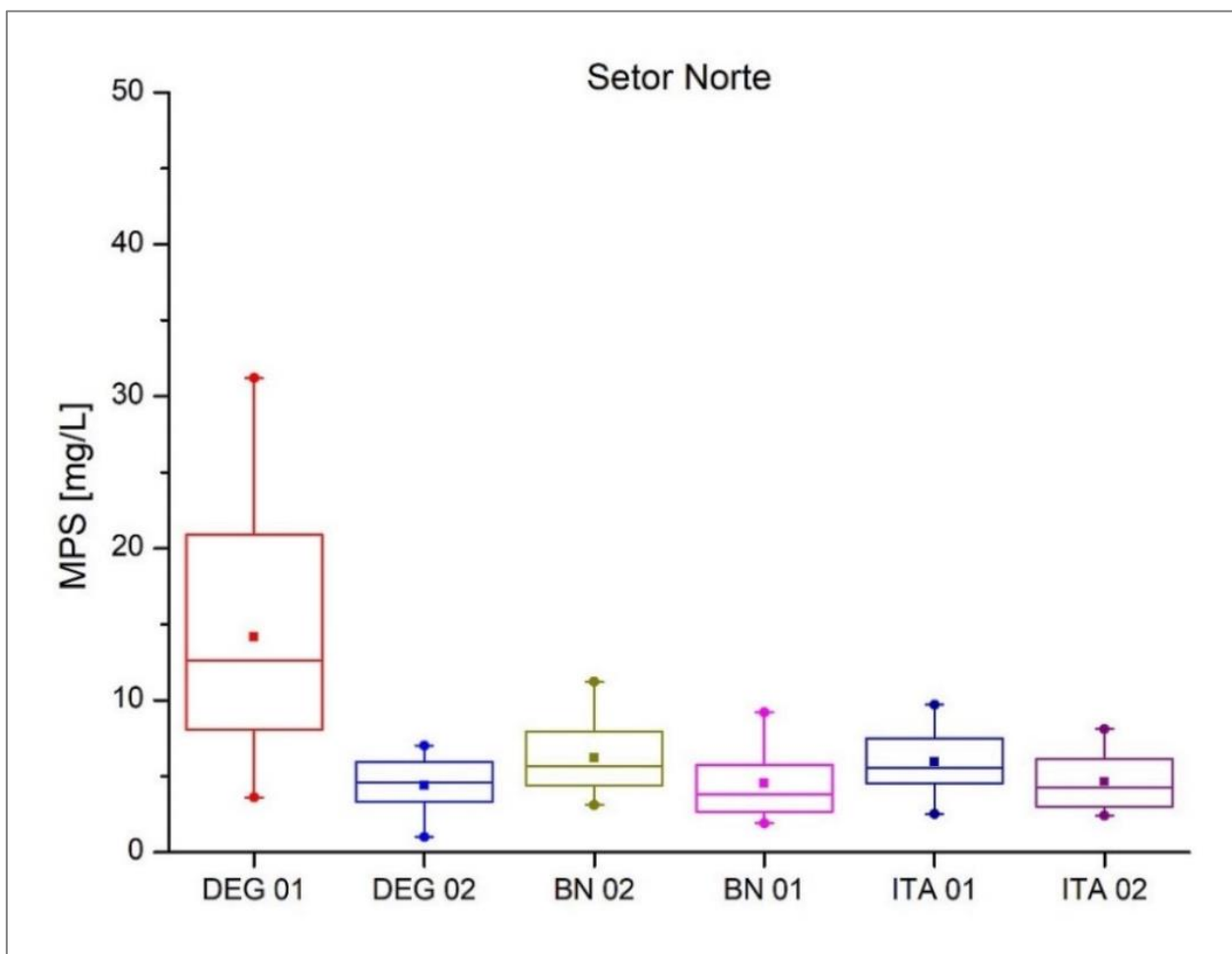


Figura 34: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Norte durante o monitoramento.



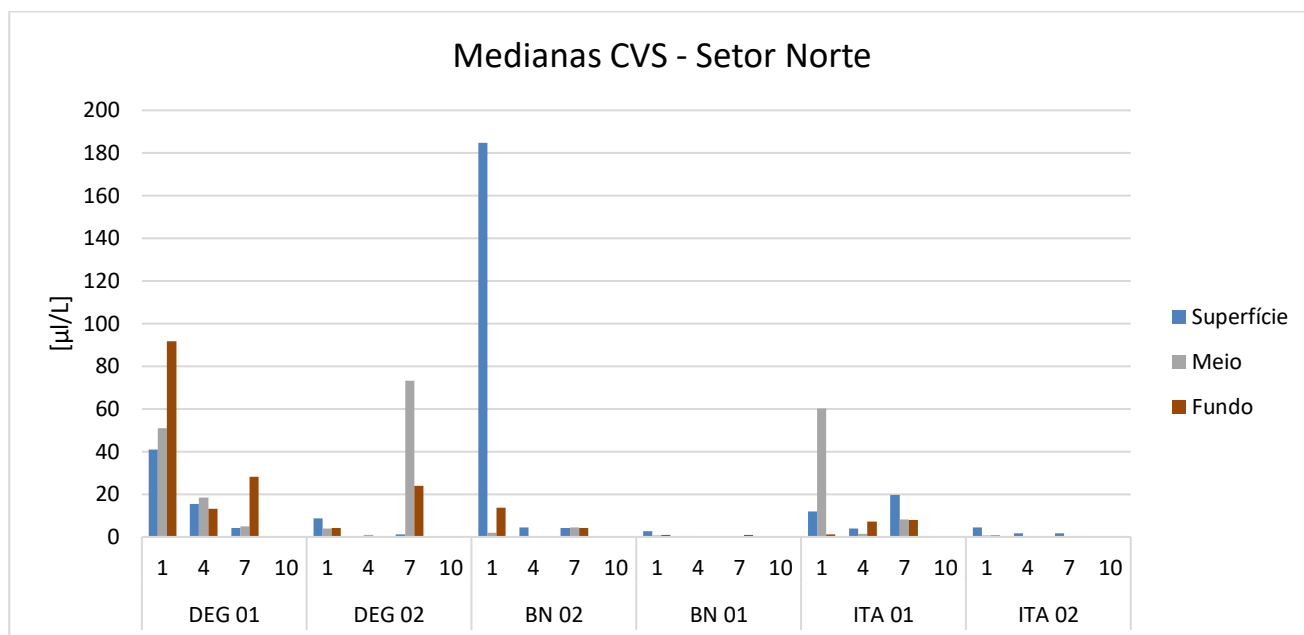
Valores medianos de %MO do MPS foram maiores nas estações profundas (74 ± 16 , 87 ± 17 e $73 \pm 20\%$ para as estações DEG 02, BN 01 e ITA 02, respectivamente; Figura 32). O menor valor mediano foi encontrado na estação DEG 01 ($36 \pm 20\%$).

Figura 35: Variabilidade do MPS para as estações do Setor Norte ao longo do monitoramento.



Medianas da CVS para o Setor Norte estiveram entre 0,07 e 184,87 $\mu\text{L/L}$ para superfície, entre 0 e 73,30 $\mu\text{L/L}$ para o meio da coluna d'água e entre 0 e 91,83 $\mu\text{L/L}$ para o fundo (Figura 36) e indicaram maiores concentrações na região de Degredo e, principalmente, junto ao fundo. Nas estações mais costeiras de Barra Nova e Itaúnas (BN 01 e ITA 02) não houve tendência, mas pode-se observar que as estações mais profundas das regiões de Barra Nova e Itaúnas foram caracterizadas por concentrações de CVS muito baixas (ou ausentes) e indicaram águas claras ao longo do monitoramento. Um destaque deve ser dado para a estação BN 02 na Campanha 1, quando uma mediana de 184,87 $\mu\text{L/L}$ foi registrada.

Figura 36: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST do Setor Norte.



2.2.1.3 Setor Foz Norte

O Setor Foz Norte foi o que apresentou maior variabilidade dentre os setores da Foz do Rio Doce, em que o intervalo entre quartil (IQR) foi de 12, 11,5 e 15,1 para o Setor Foz Norte; de 24,7, 14,8, 10, 8,6 e 6,5 para o Setor Foz Central; e de 12,7, 11,2 e 14,4 para o Setor Foz Sul (Figura 37). As concentrações de MPS se mantiveram majoritariamente abaixo de 17 mg/L e *picos atípicos* (definidos neste relatório como valores acima dos whiskers superiores) de MPS foram menos frequentes (5 *picos atípicos*; Figura 37 e Figura 38) do que nos outros setores da Foz do Rio Doce

A partir da comparação dos volumes das fases minerais e $\text{FeO}_{\text{total}}$ do MPS obtidos em 2016 (Item 2.1.1) com aqueles adquiridos para os Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul ao longo do monitoramento do PMBA se observa um aumento das concentrações de $\text{FeO}_{\text{total}}$ nas Campanhas PMBA (de 27 a 49%). Já o percentual de aluminossilicatos permaneceu dentro do intervalo observado para o período de 2016, no entanto apresentou menor amplitude e variou de 27% a 49% (Tabela 1).

Figura 37: Comparativo da variabilidade do MPS para as estações dos Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul ao longo do monitoramento.

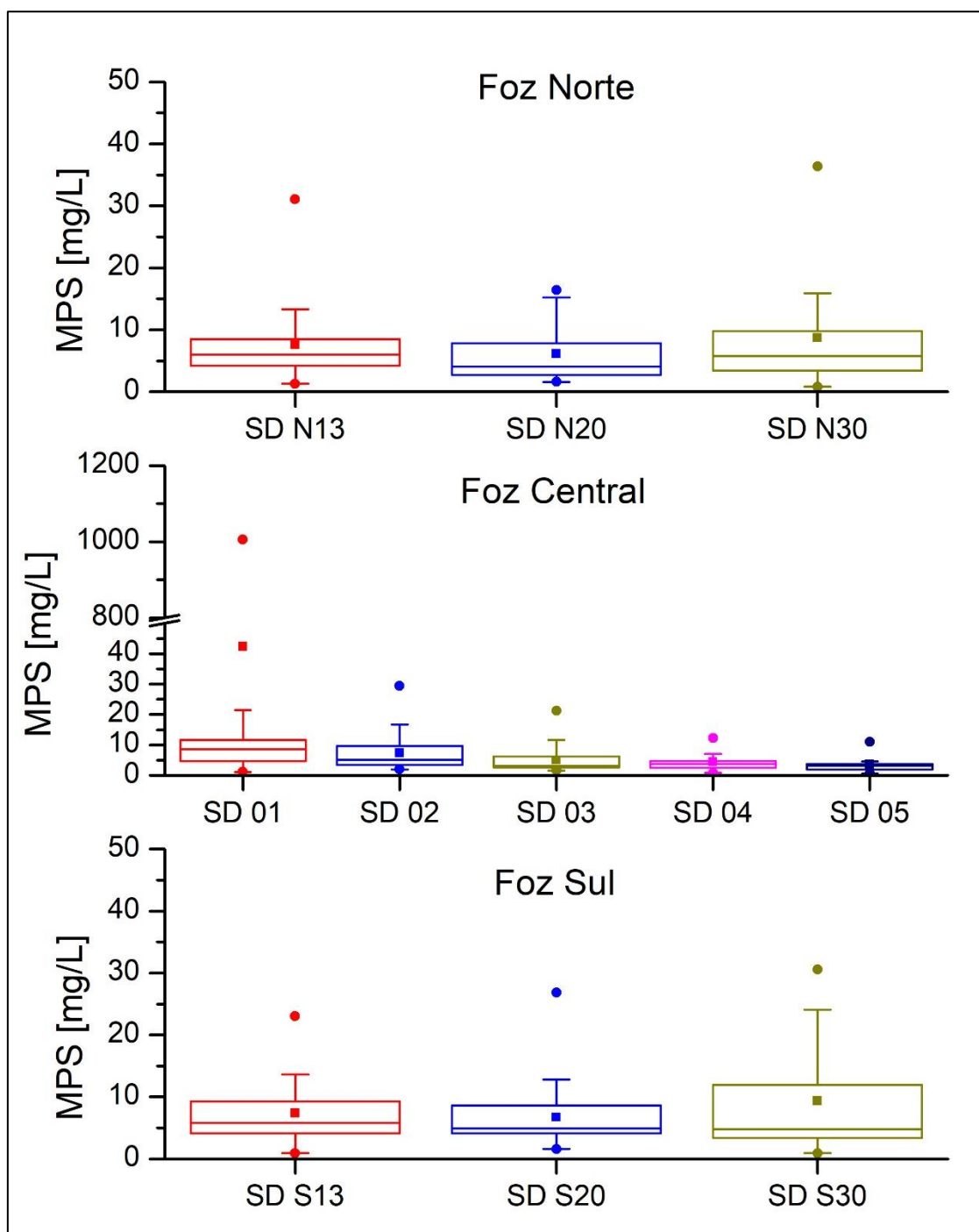
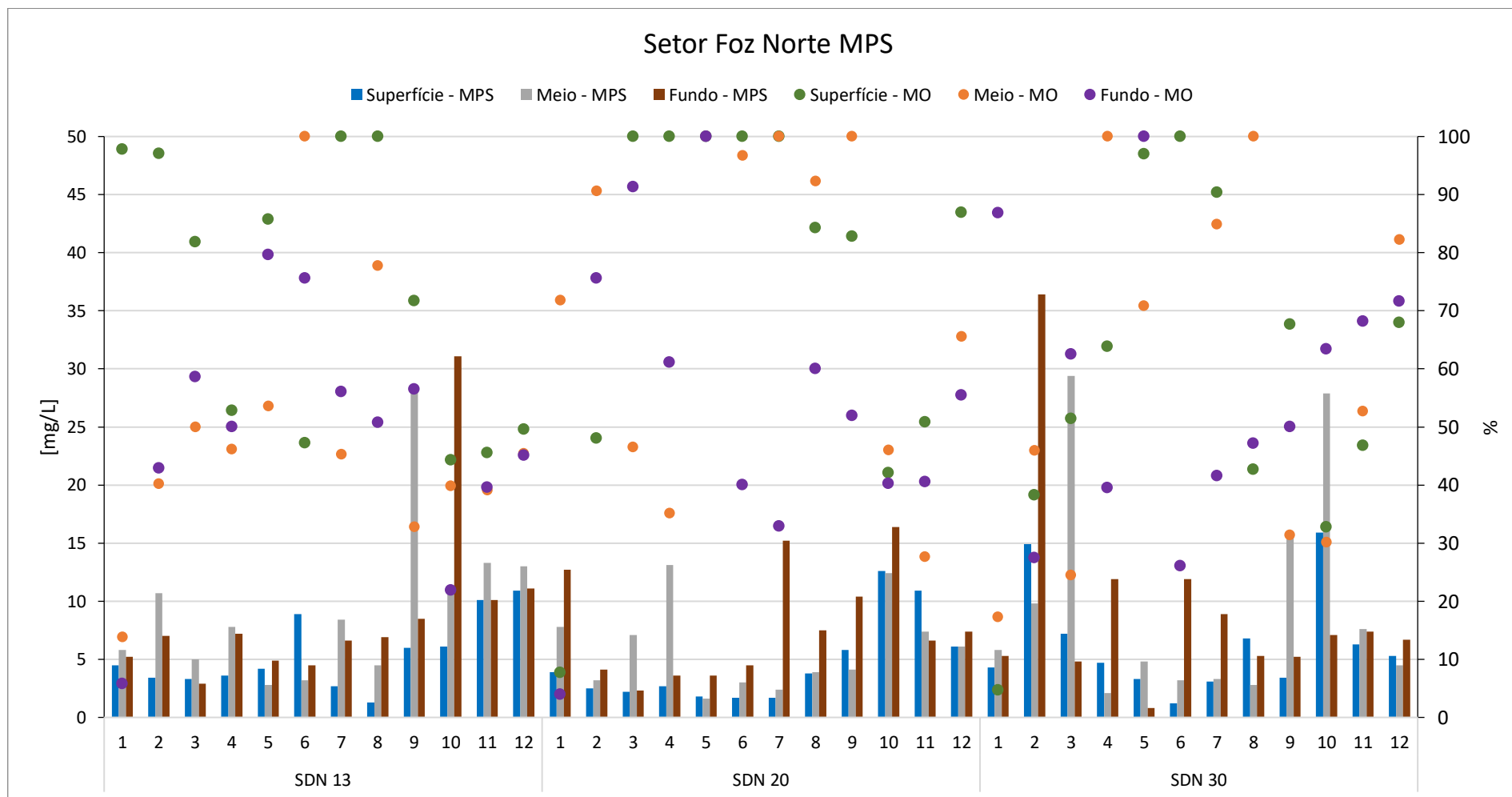


Figura 38: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Foz Norte.



As Campanhas em que o setor apresentou menor variabilidade de MPS foram a 1, a 6 e a 11, sendo que as duas últimas apresentaram o mesmo desvio absoluto mediano ($5,3 \pm 0,8$; $3,2 \pm 1,3$ e $7,6 \pm 1,3$, respectivamente; Figura 39). Já a Campanha com maior variabilidade quanto à concentração de MPS foi a 10 ($12,60 \pm 3,80$ mg/L; Figura 39), apesar do máximo de MPS para o setor ter sido observado na Campanha 2, na estação SDN 30 junto ao fundo (36 mg/L; Figura 38). Além desse *pico atípico*, as estações apresentaram a segunda maior variabilidade entre si ($7 \pm 3,70$ mg/L) também na Campanha 2. Apesar de um *pico atípico* ter sido observado na Campanhas 3 (SDN 30 no meio da coluna d'água = 29,4 mg/L; Figura 38), as concentrações de MPS apresentaram menor variabilidade ($4,80 \pm 2,3$ mg/L) que nas Campanhas 2 e 10.

A análise de variabilidade do MPS (Figura 40) mostrou que as estações apresentaram variabilidade similar durante o monitoramento, mas que a maior mediana foi encontrada na estação SDN 13 ($6,35 \pm 2,65$, $4,30 \pm 2,20$ e $5,55 \pm 2,20$ mg/L para SDN 13, SDN 20 e SDN 30, respectivamente; Figura 40). Ainda na estação mais rasa do setor, os máximos geralmente ocorreram no meio da coluna d'água ($4,35 \pm 1,65$, $8,1 \pm 3,4$ e $6,95 \pm 1,9$ mg/L para superfície, meio e fundo da coluna d'água, respectivamente; Figura 41). A estação SDN 20 apresentou maiores medianas no fundo ($7,0 \pm 3,4$ mg/L) e no meio da coluna d'água ($5,1 \pm 2,2$ mg/L; Figura 41), bem como uma maior variação do MPS junto ao fundo. Já na estação SDN 30, ora o máximo ocorreu no meio da coluna d'água, ora no fundo ($5,0 \pm 1,75$, $5,3 \pm 2,4$ e $6,9 \pm 1,85$ mg/L para superfície, meio e fundo da coluna d'água, respectivamente; Figura 41). Raros foram os máximos de MPS na superfície da coluna d'água para o setor (ex.: SDN 13: Campanha 6 = 9 mg/L; SDN 30: Campanha 2 = 15 mg/L; Figura 38). O valor mediano de %MO do MPS foi maior na estação SDN 20 ($84,21 \pm 30,14\%$). As estações SDN 13 e SDN 30 apresentaram valores similares ($56,06 \pm 25,73$ e $50,69 \pm 30,28\%$, respectivamente; Figura 38).

Figura 39: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Foz Norte.

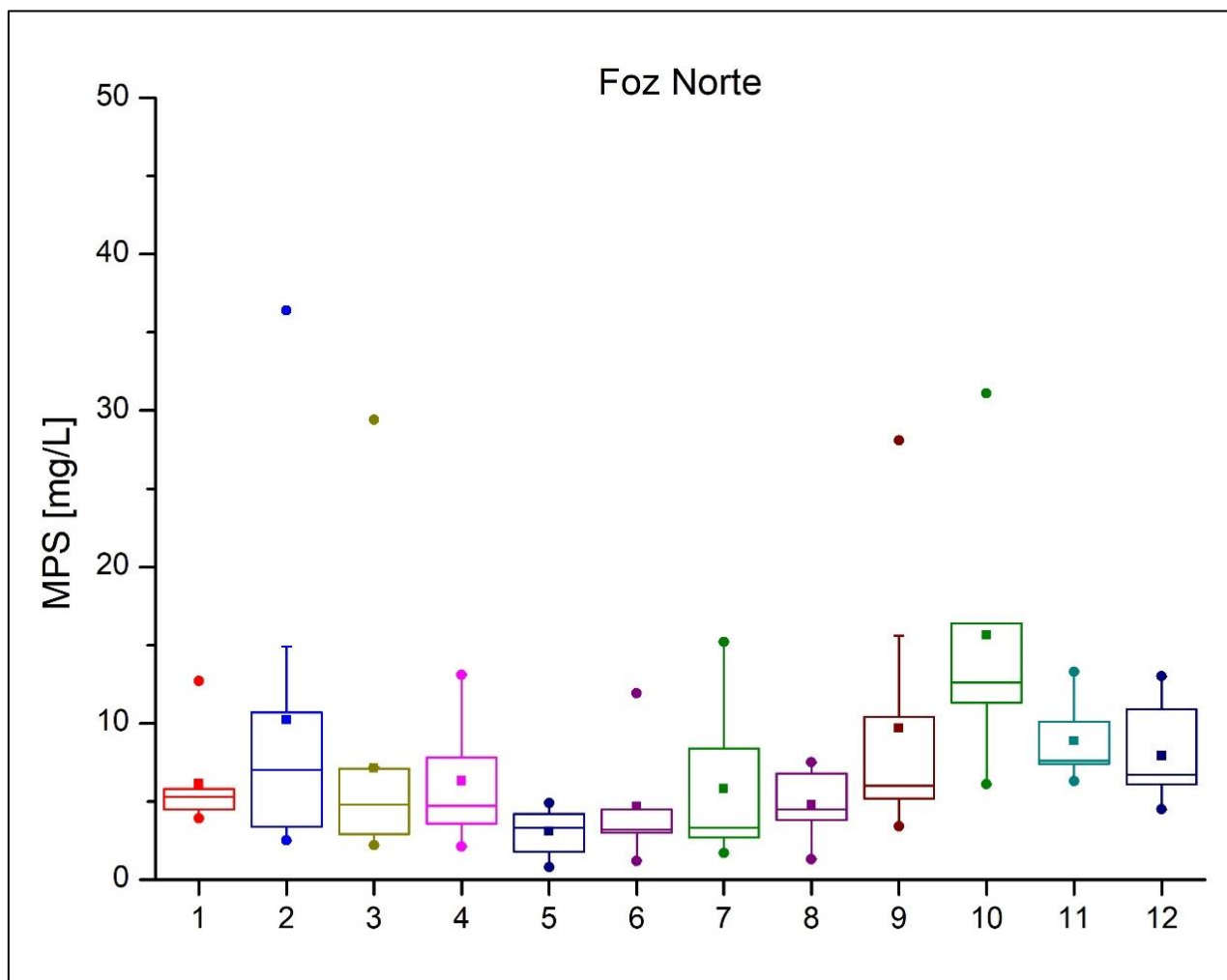


Figura 40: Variabilidade do MPS para as estações do Setor Foz Norte ao longo do monitoramento.

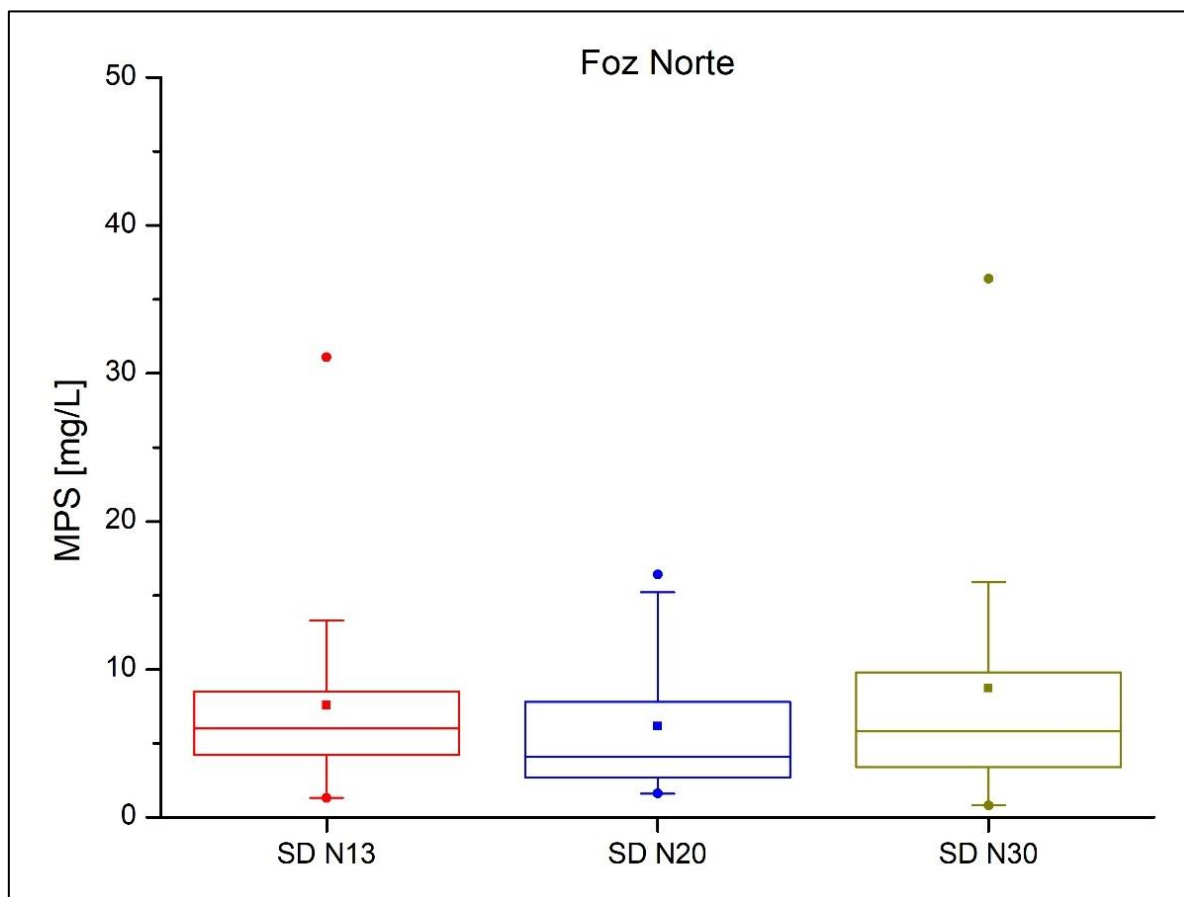
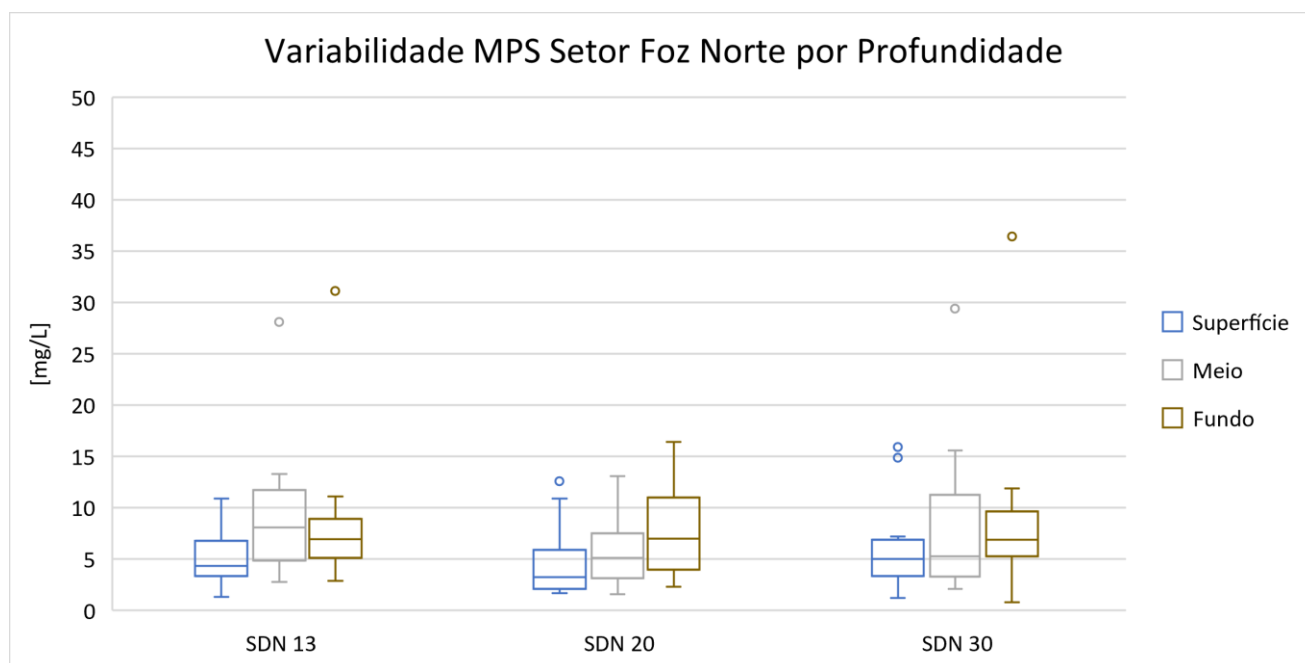
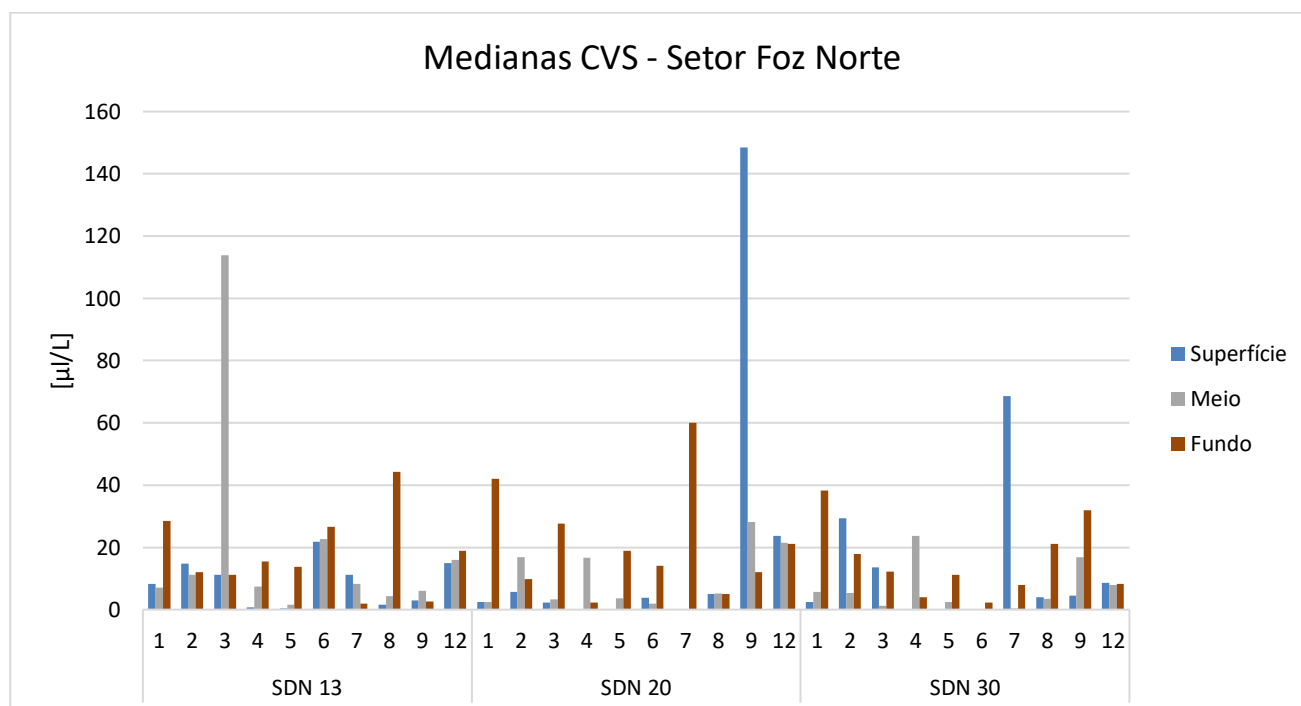


Figura 41: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Foz Norte durante o monitoramento



Valores medianos de CVS se mantiveram, em maioria, abaixo de 20 µ/L (Figura 42). Concentrações que ultrapassaram este valor foram registradas em grande parte junto ao fundo, exceto na Campanha 3 na estação SDN 13 (meio = 113,90 µ/L), na Campanha 9 na estação SDN 20 (superfície = 148,54 µ/L e meio = 28,21 µ/L) e na Campanha 7 na estação SDN 30 (superfície = 68,53 µ/L). Nota-se uma tendência de redução dos valores de CVS para as estações SDN 20 e SDN 30 até a Campanha 6, quando os valores tendem a aumentar novamente.

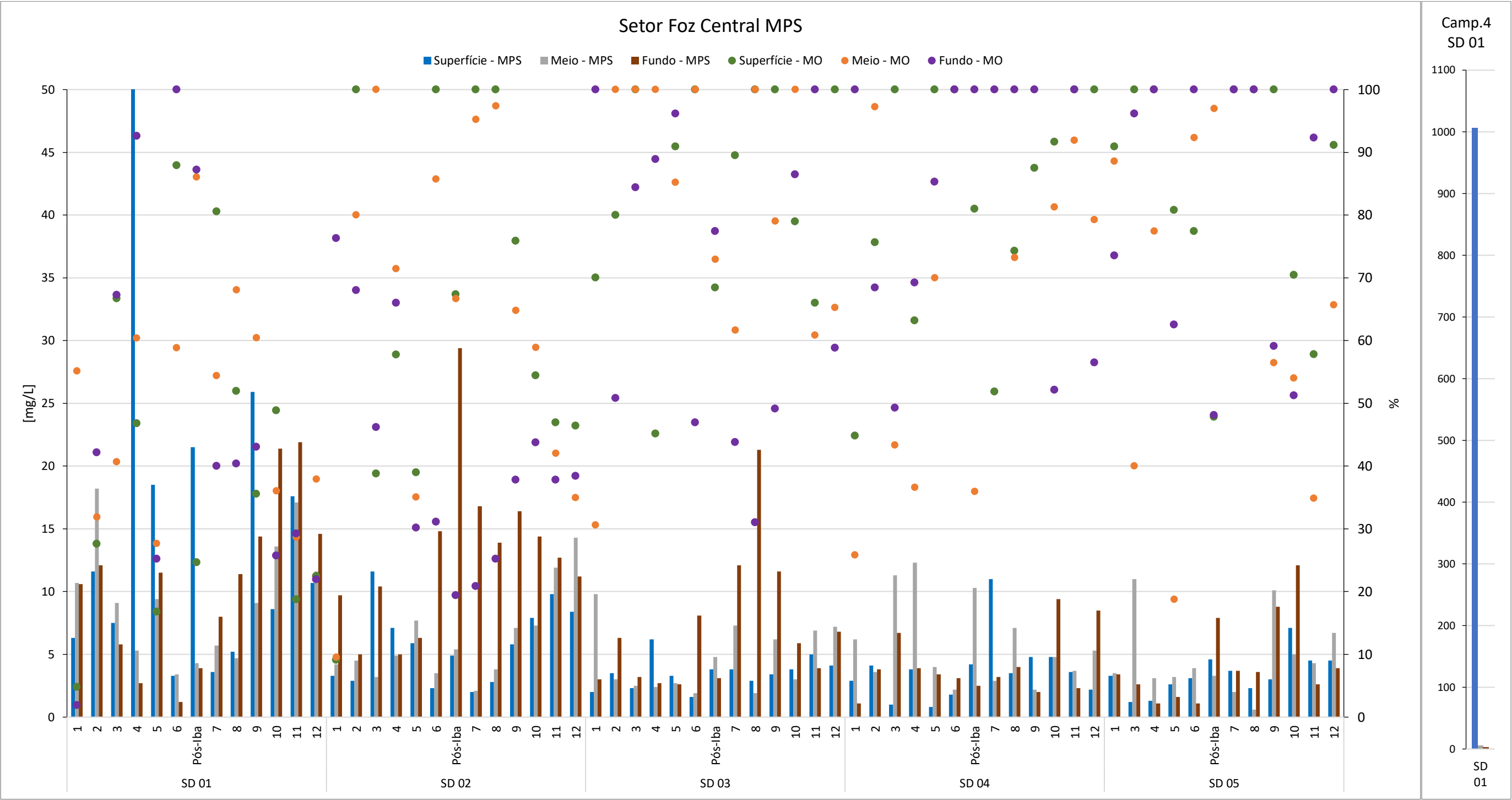
Figura 42: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST do Setor Foz Norte. Não houve perfilagem nas Campanhas 10 e 11.



2.2.1.4 Setor Foz Central

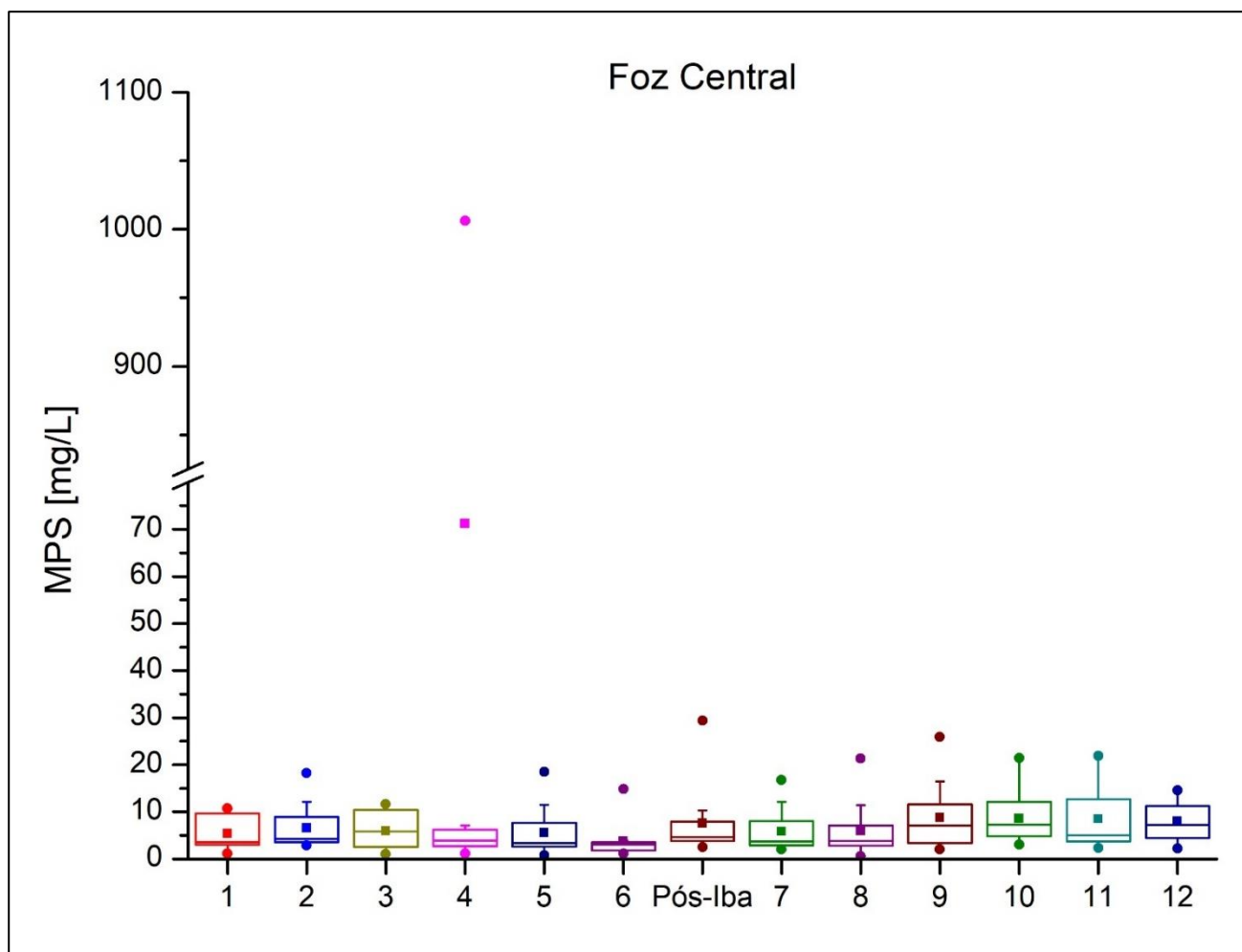
As concentrações de MPS do Setor Foz Central (Figura 43) também variaram majoritariamente entre 1 e 17 mg/L, no entanto a observação de *picos atípicos* foi mais frequente do que no Setor Foz Norte, principalmente por picos apresentados nas estações SD 01 e SD 02. Para a estação SD 03 foi observado apenas um *pico atípico* (Campanha 8: fundo = 21 mg/L) enquanto que para as estações SD 04 e SD 05 não houve ocorrência de nenhum valor de MPS acima de 17 mg/L. A Campanha em que o setor foi mais uniforme foi a 6 ($3,10 \pm 0,9$ mg/L; Figura 44), mesmo com a ocorrência de dois *picos atípicos* (SD 02: fundo = 15 mg/L e SD 03: fundo = 8 mg/L; Figura 43).

Figura 43: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Foz Central. À direita: apresentação da estação SD 01 separadamente devido ao seu elevado valor de MPS em superfície. Note que o eixo Y teve que ser ajustado em seu valor máximo.



As Campanhas 1, 4 e 8, apresentaram uma similaridade da mediana e do desvio absoluto mediano dos valores de MPS ($3,50 \pm 1,50$, $3,9 \pm 1,4$ e $3,8 \pm 1,4$ mg/L, respectivamente; Figura 44), apesar do *pico atípico observado* na Campanha 4 (SD 01: meio da coluna d'água = 1006,2 mg/L; Figura 43). Outra similaridade apareceu entre as Campanhas 3, 9 e 10, quando o setor foi mais heterogêneo e apresentou maiores concentrações de MPS ($5,80 \pm 3,3$, $7,10 \pm 3,70$ e $7,30 \pm 2,5$ mg/L, respectivamente; Figura 44). A Campanha Pós-Iba apresentou a menor variação das concentrações de MPS ($4,60 \pm 7,65$ e $7,10 \pm 6,43$ mg/L) para as estações do Setor Foz Central, apesar do registro de dois *picos atípicos* (SD 01 - Superfície: 21,5 mg/L; SD 02 - Fundo: 29,4 mg/L; Figura 45). Como descrito na Introdução do anexo 3 marinho a tempestade Tropical Iba atuou entre o litoral sul da Bahia e o litoral norte do Rio de Janeiro entre os dias 23 e 28 de Março de 2019, modificando as condições de ventos, ondas e descarga fluvial do Rio Doce. Após a sua passagem, amostragens foram realizadas em todas as estações dos Setores Foz Central e Foz Sul.

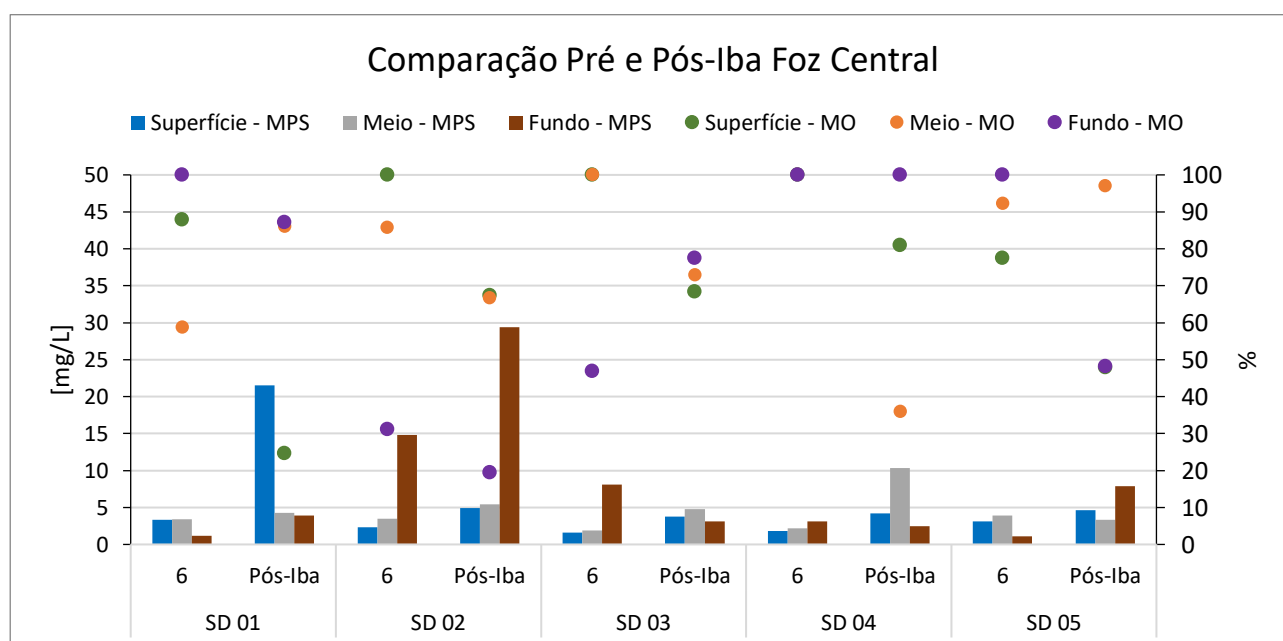
Figura 44: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Foz Central.



Uma comparação entre as campanhas realizadas antes e após a passagem da tempestade tropical (Figura 45) mostrou forte influência deste evento principalmente nas estações SD 01 e SD 02, nas quais, como descrito acima, foram observados *picos atípicos* ao longo da Campanha. Enquanto na estação mais rasa

ocorreu um grande aumento da concentração de MPS na superfície da coluna d'água (22 mg/L), na profundidade de 20 m este aumento se deu junto ao fundo (29 mg/L). Este pico de MPS em superfície da estação SD 01 foi caracterizada por um baixo teor de MO (25%). Para a estação SD 03, o evento promoveu uma mistura da coluna d'água ($3,80 \pm 0,7$ mg/L; $72,92 \pm 4,5\%$). Já na estação SD 04 ocorreu um pico de MPS no meio da coluna d'água de menor teor de MO (10 mg/L e 35%) onde antes a maior concentração era de 3 mg/L e junto ao fundo. A estação SD 05 apresentou uma alteração apenas no fundo da coluna d'água, onde a concentração de MPS foi de 8 mg/L e com 48% de MO, onde antes era de 1 mg/L e com 100% de MO. A partir dessa comparação pode se observar que os maiores picos de MPS após o evento apresentaram menores teores de MO e indicam maior contribuição inorgânica para o material em suspensão da coluna d'água.

Figura 45: Comparação do MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água entre a Campanha 6 (março) e o após a passagem da tempestade tropical Iba para o Setor Foz Central.



A análise de variabilidade do MPS ao longo da coluna d'água (Figura 46) mostrou que ocorreu uma redução da variabilidade com o aumento da profundidade. Também foi possível observar uma redução dos valores dos *picos atípicos* neste mesmo padrão. Assim, a estação com maior variabilidade durante o monitoramento foi a estação SD 01 ($10,60 \pm 4,90$ mg/L; Figura 47), onde a maior concentração de MPS do setor ocorreu (superfície = 1006 mg/L; Campanha 4; Figura 43), exceto pela amostra de água coletada na draga na estação SD 03 (1101 mg/L; não apresentada no gráfico; Campanha 9). Também na estação SD 01, os maiores valores de MPS ocorreram geralmente na superfície da coluna d'água ($10,1 \pm 6,65$ mg/L; Figura 46), o que resultou em uma maior variabilidade dessa profundidade. Apesar disso, a maior mediana ocorreu no fundo da coluna d'água ($9,30 \pm 52$ mg/L) enquanto que no meio da coluna d'água a mediana dos valores de MPS foi menor e menos oscilante ($7,40 \pm 4,40$ mg/L).

Figura 46: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Foz Central durante o monitoramento.

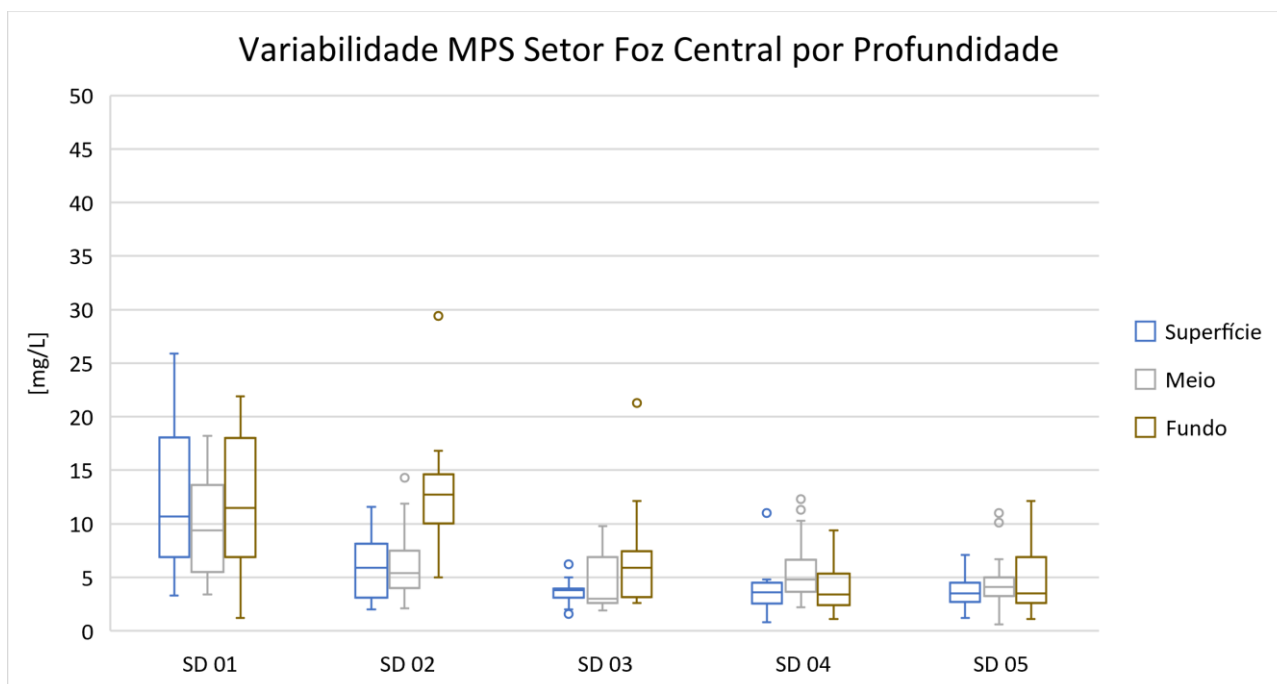
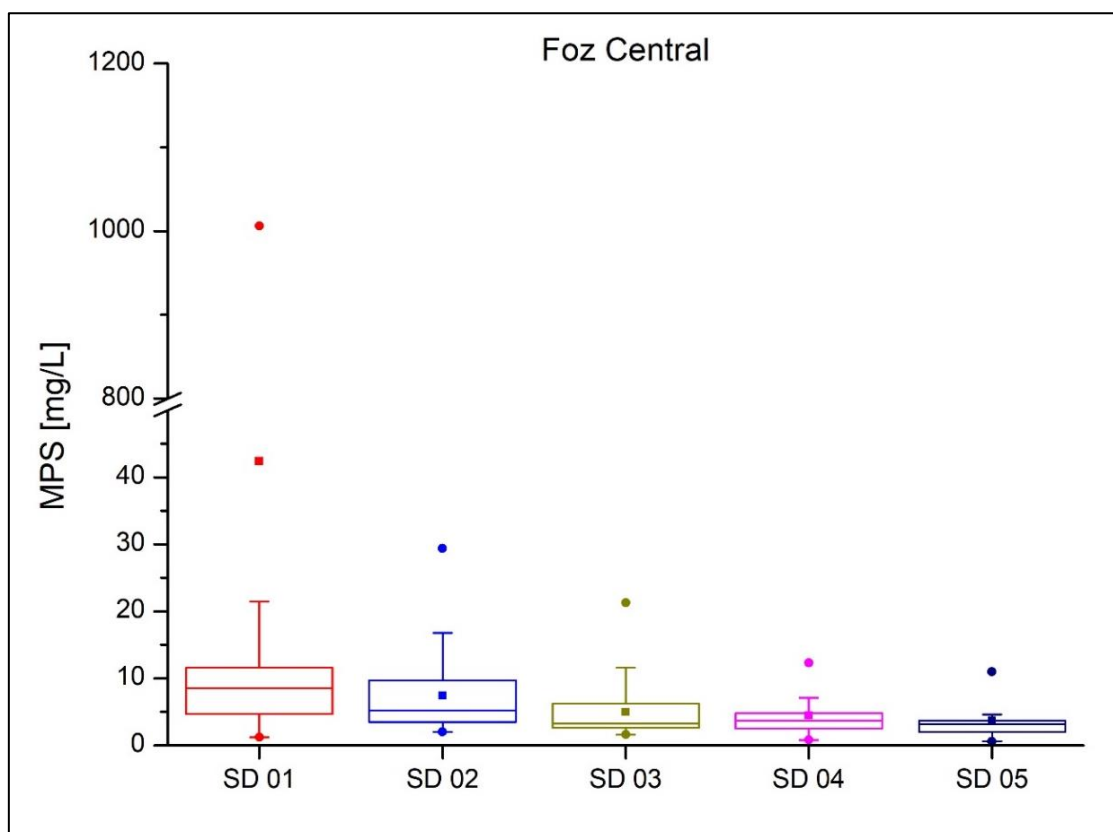


Figura 47: Variabilidade do MPS para as estações do Setor Foz Central ao longo do monitoramento.

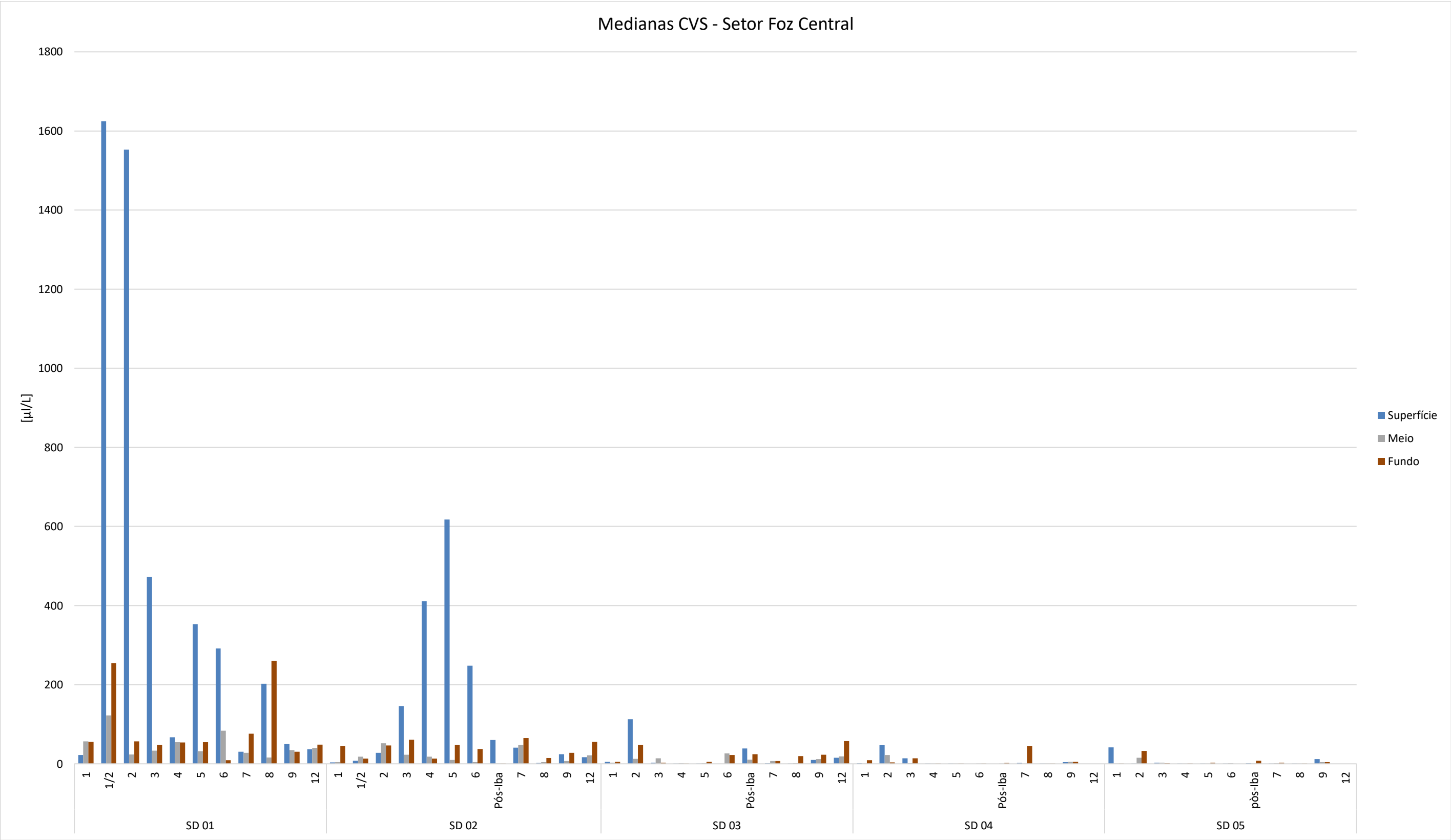


Já a estação mais uniforme em relação às variações do MPS do setor foi a SD 05 ($3,20 \pm 2,69$ mg/L; Figura 47), onde os valores de MPS para superfície, meio e fundo da coluna d'água resultaram em medianas bem próximas e apresentaram pequena oscilação ($3 \pm 1,09$, $3,30 \pm 3,56$ e $,40 \pm 2,80$ mg/L, respectivamente). Na estação SD 02, superfície e meio da coluna d'água foram mais uniformes entre si ($4,10 \pm 2,94$ e $4,35 \pm 1,73$ mg/L), enquanto que o fundo apresentou maiores valores bem como maior oscilação ($12,15 \pm 7,37$ mg/L; Figura 46). A estação SD 03 apresentou um padrão similar ao da SD 02, no entanto, a oscilação no meio da coluna d'água foi maior do que na superfície ($3,5 \pm 1,28$, $2,85 \pm 2,70$ e $4,75 \pm 6,10$ mg/L para superfície, meio e fundo, respectivamente; Figura 46). Já a estação SD 04 apresentou valores de MPS de superfície e fundo da coluna d'água menores e de pouca oscilação ($3,65 \pm 2,88$ e $3,30 \pm 1,48$ mg/L, respectivamente), enquanto que no meio as concentrações foram maiores e com maior variação ($5,10 \pm 3,88$ mg/L; Figura 46).

O valor mediano de %MO do MPS foi maior na estação SD 05 ($89,74 \pm 10,26\%$) e menor na estação SD 01 ($46,77 \pm 19,11\%$; Figura 43). As estações SD 02, SD 03 e SD 04 apresentaram valores intermediários, em que na profundidade de 20 m o %MO ($64,79 \pm 26\%$) foi maior do que SD 01 enquanto que as estações SD 03 e SD 04 foram similares entre si ($85,19 \pm 14,81$ e $81,25 \pm 18,75\%$; Figura 43) e menores do que na estação mais profunda. Dessa forma, o percentual de MO foi inversamente proporcional à concentração de MPS e sua distribuição indica que a contribuição orgânica aumenta à medida que se afasta da foz do Rio Doce.

Valores medianos da CVS para o Setor Foz Central foram os maiores dentre todos os setores amostrados (Figura 48). Concentrações foram frequentemente superiores à $20 \mu\text{L/L}$ para as estações SD 01 e SD 02. Para essas duas estações, os valores medianos das CVS estiveram entre 9,83 e 1552,93 e entre 1,93 e 617,50 $\mu\text{L/L}$ para superfície, entre 13,69 e 83,50 e entre 1,06 e 51,64 $\mu\text{L/L}$ para o meio, entre 8,97 e 260,30 e entre 0,51 e 65,07 $\mu\text{L/L}$ para o fundo da coluna d'água para SD 01 e SD 02, respectivamente. Valores medianos de CVS para a estação SD 03 também ultrapassaram $20 \mu\text{L/L}$ em várias campanhas, no entanto os máximos foram menores do que aqueles observados nas estações SD 01 e SD 02 (entre 0 e 112,62 $\mu\text{L/L}$ para superfície, entre 1,41 e 26,14 $\mu\text{L/L}$ para o meio, entre 0,65 e 57,44 $\mu\text{L/L}$ para o fundo da coluna d'água). Para a estação SD 04 os valores de CVS ultrapassaram $20 \mu\text{L/L}$ nas Campanhas 2 (superfície = 47,1120 $\mu\text{L/L}$) e 7 (fundo = 44,80 $20 \mu\text{L/L}$) enquanto que para a estação SD 05 foram nas Campanhas 1 (superfície = 41,81 $\mu\text{L/L}$) e 2 (fundo = 32,44 $\mu\text{L/L}$).

Figura 48: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST do Setor Foz Central. Não houve perfilagem nas Campanhas 10 e 11.



Dados de MPS, MO e perfilagem do LISST adquiridos para as estações SD 01 e SD 02 após um evento de aumento da vazão do Rio Doce (dia 14/11/2018) foram comparados com os dados adquiridos uma semana antes (06/11/2018). Os resultados mostraram um aumento dos valores de MPS em superfície na estação SD 01 (de 6 para 19mg/L; Figura 49) e um grande aumento do teor de MO em superfície para a estação SD 02 (de 10 para 100% de MO; Figura 49). A perfilagem do LISST na estação SD 01 registrou uma variação drástica da distribuição de partículas ao longo da coluna d'água entre os dois dias (Figura 50). Além do aumento expressivo da CVS (máximo de 100 para 4000 $\mu\text{L/L}$) no dia 14/11, os maiores valores passaram a se encontrar em superfície e não junto ao fundo. Ainda, uma dominância quase absoluta de partículas maiores ocorreu na superfície e junto ao fundo após o aumento da vazão, quando antes a granulometria mais grossa se encontrava mais próxima do fundo.

A perfilagem do LISST ao longo da coluna d'água na estação SD 02 (Figura 51) também mostrou alteração do padrão de distribuição do particulado em suspensão, onde um máximo no fundo ($\approx 60 \mu\text{L/L}$ e $\approx 40\%$ de partículas maiores) foi alterado para um máximo da camada inferior do meio da coluna d'água até a superior do fundo ($\approx 150 \mu\text{L/L}$ e $\approx 90\%$ de partículas maiores). Um incremento nos valores da CVS (máximo de 150 $\mu\text{L/L}$) logo após 5 m de profundidade até $\approx 13 \text{ m}$ foi caracterizado pelo aumento do tamanho das partículas e resultou em uma predominância da faixa de 250 a 500 μm ao longo desta profundidade quando comparado com o perfil registrado antes do aumento da vazão do Rio Doce. O perfil da CVS do dia 06/11/2019 apresentou valores $\approx 100 \mu\text{L/L}$ apenas bem próximo do fundo.

Figura 49: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água. O gráfico apresenta um comparativo entre os dias 6 e 14/11/2018 para as estações SD 01 e SD 02. Os números 1 e 2 após o nome da estação indicam a sequência de amostragem de acordo com a data.

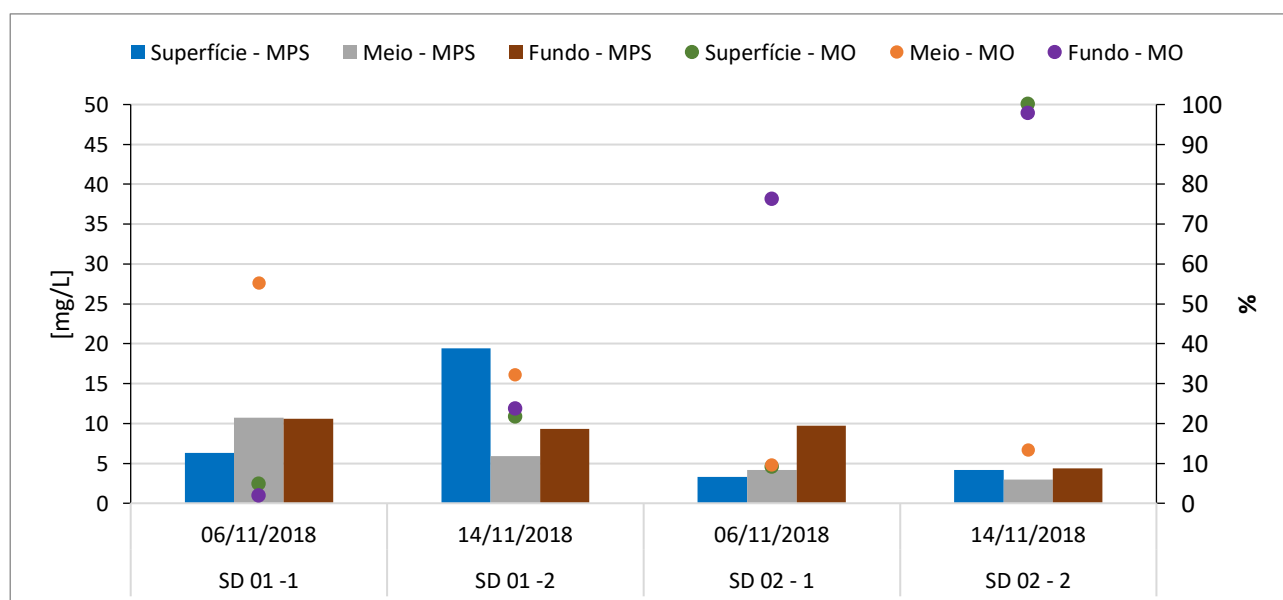


Figura 50: Comparativo entre as CVS e granulometria do MPS registrado pelo LISST para os dias 06/11 (topo) e 14/11/2019 (base) na estação SD 01.

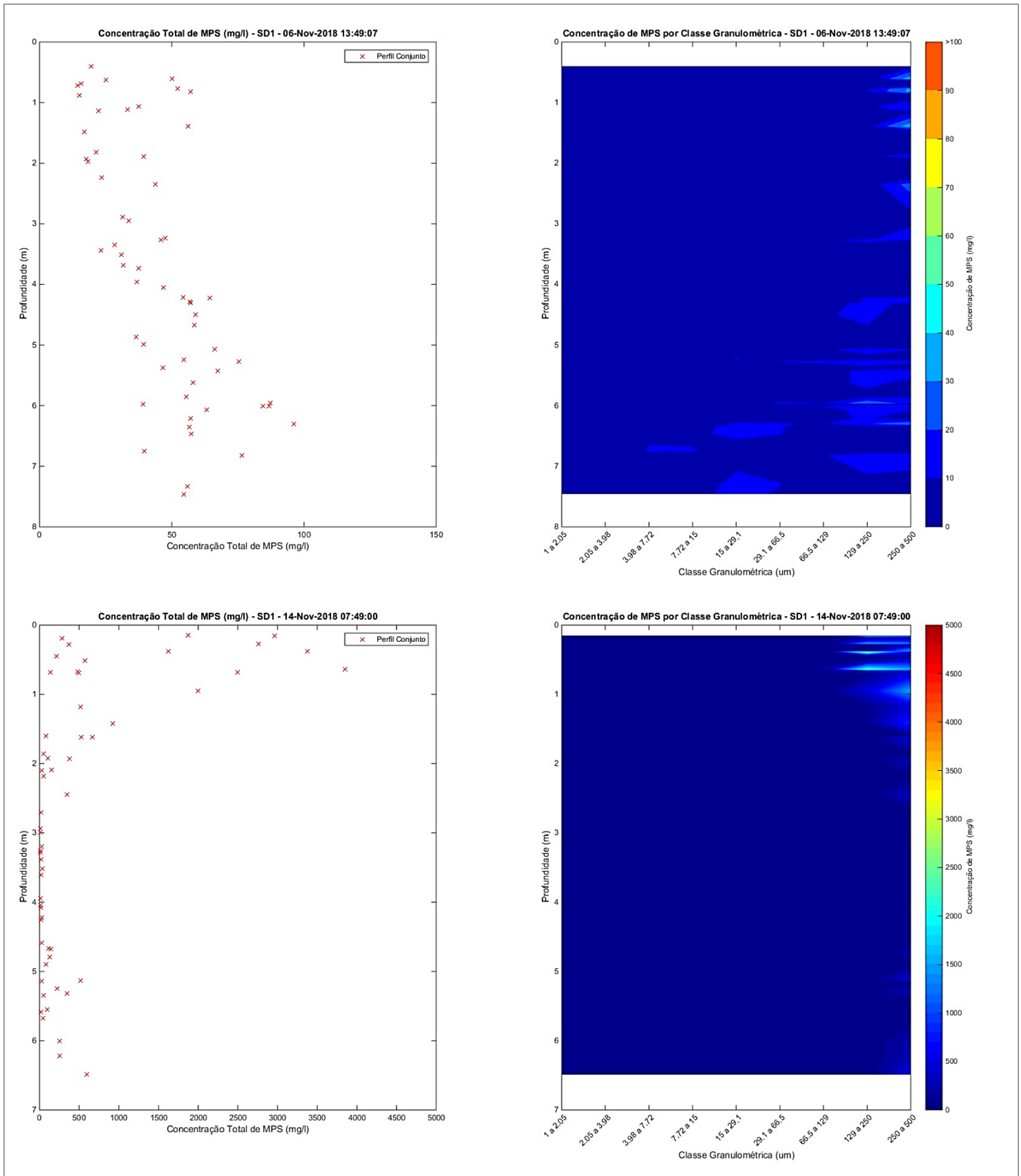
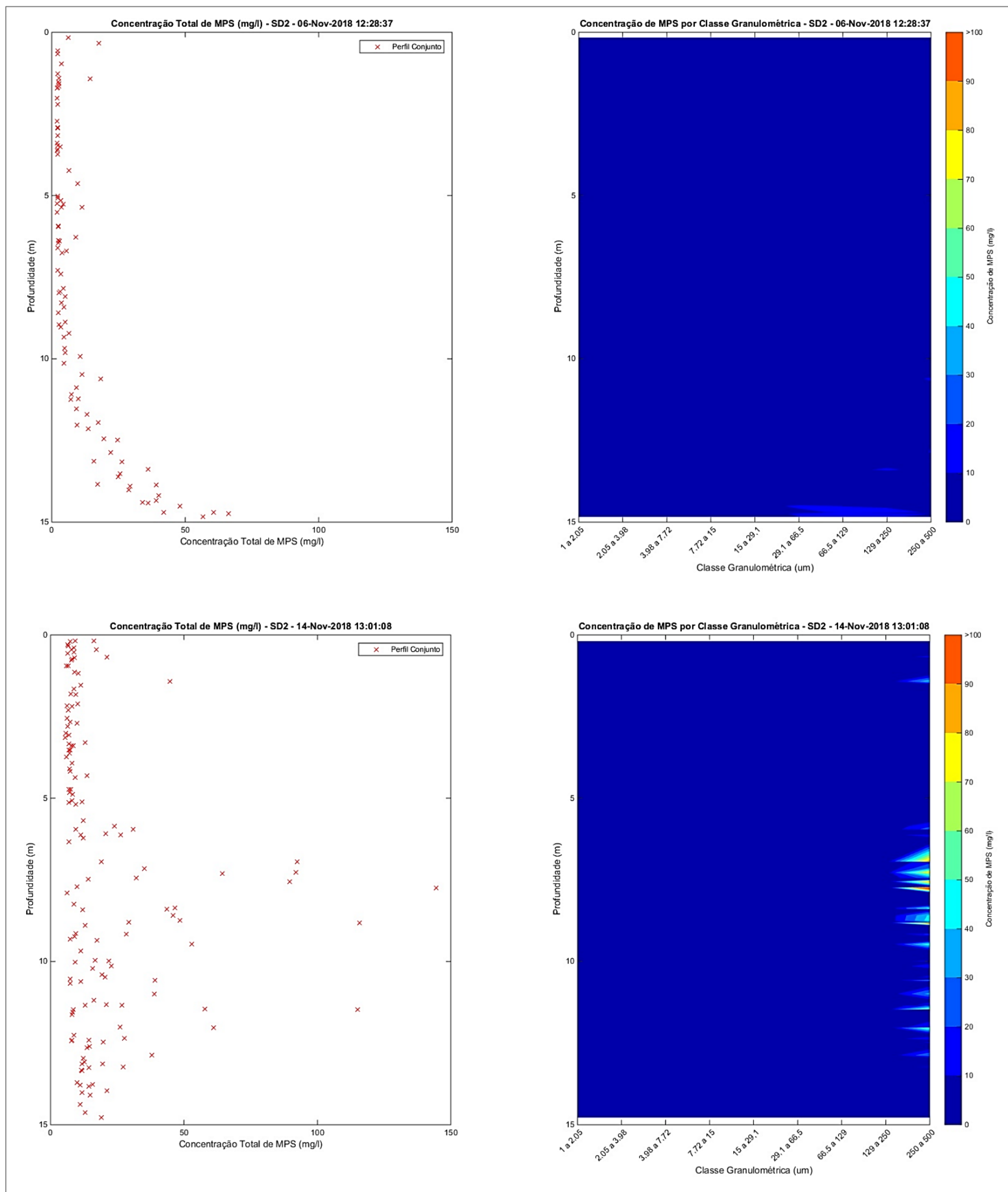


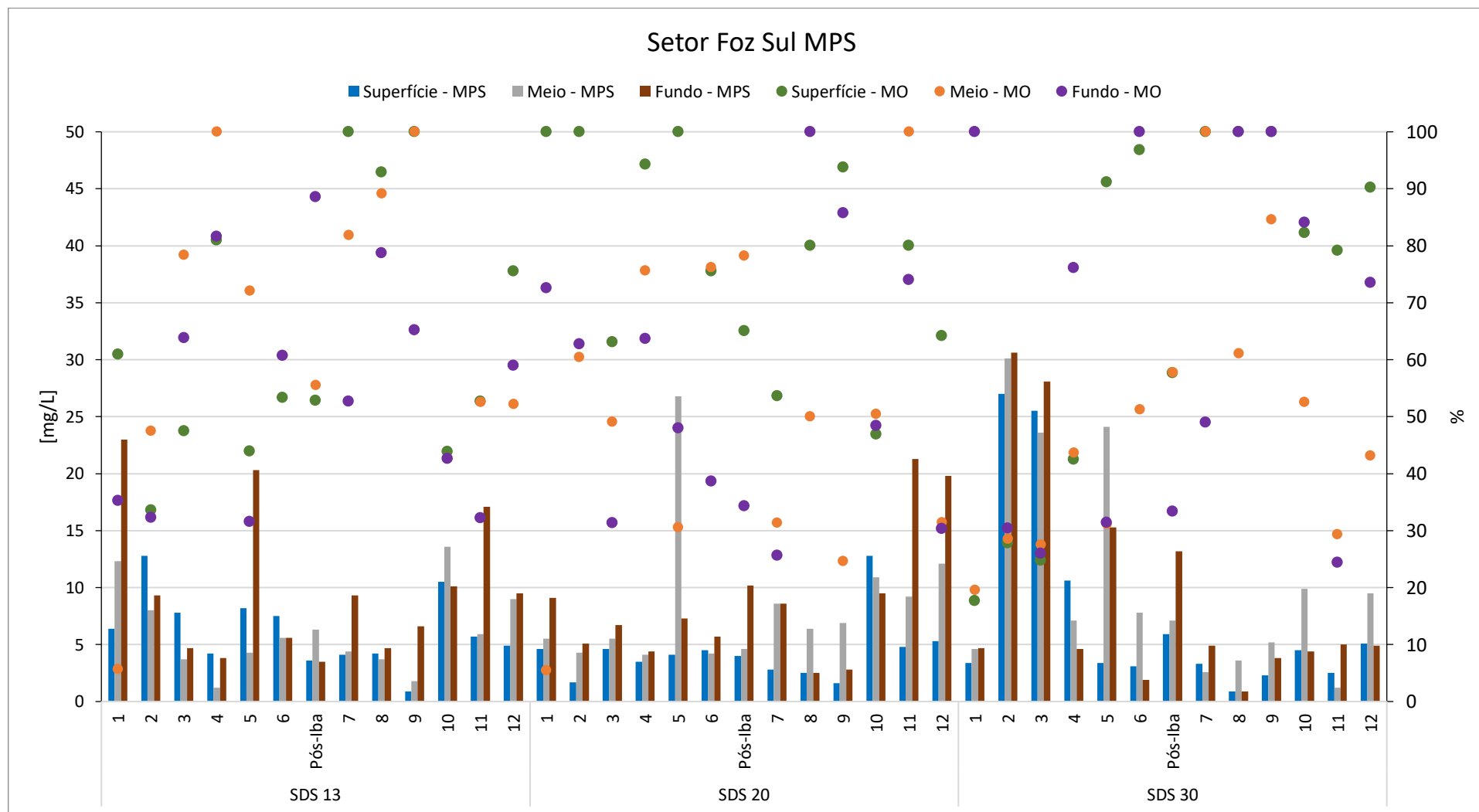
Figura 51: Comparativo entre as CVS e granulometria do MPS registrado pelo LISST para os dias 06/11 (topo) e 14/11/2019 (base) na estação SD 02.



2.2.1.5 Setor Foz Sul

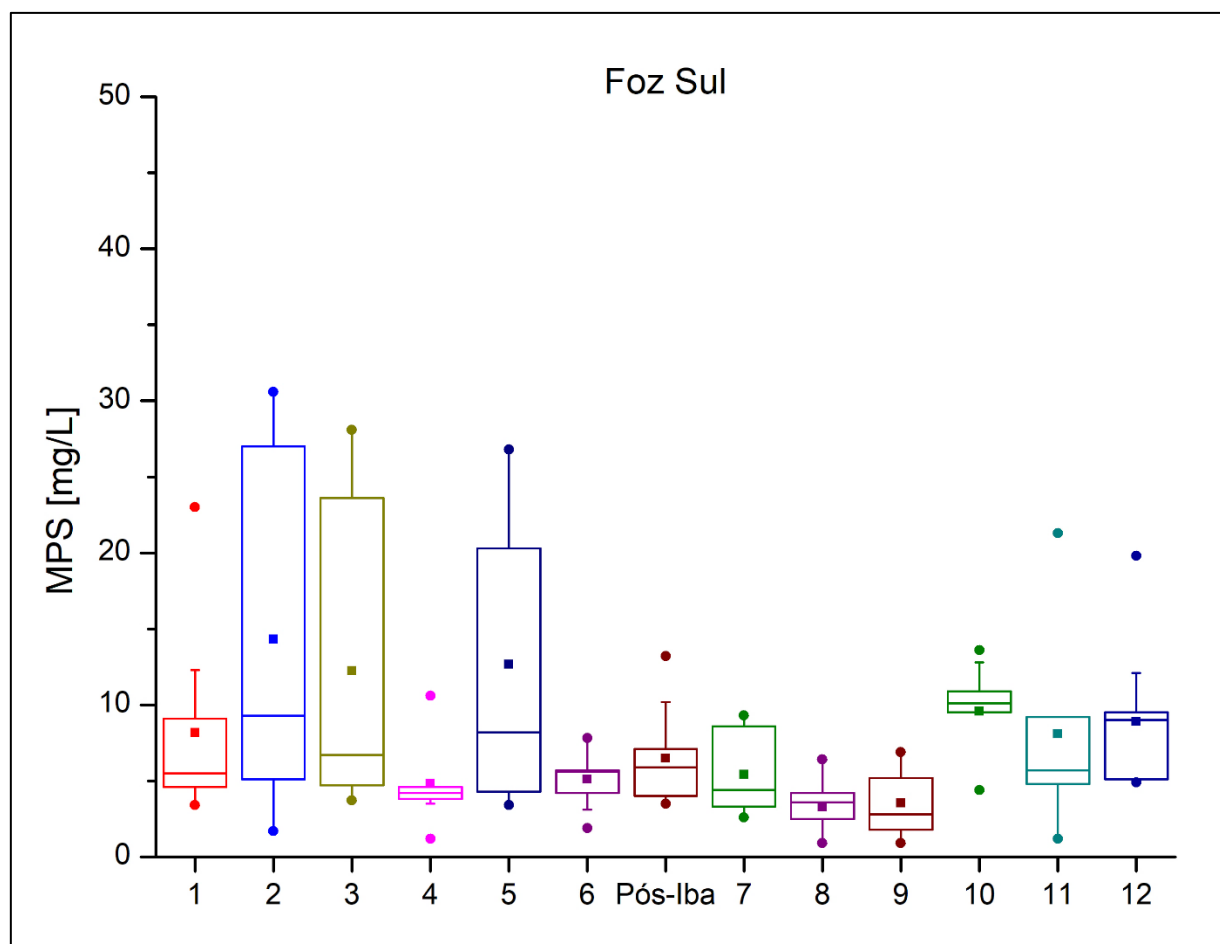
O Setor Foz Sul foi caracterizado por apresentar duas faixas de valores: uma faixa de concentração de MPS que variou entre 1 e 15 mg/L e outra que variou entre 20 e 31 mg/L (Figura 52).

Figura 52: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Foz Sul.



A Campanha que o setor se apresentou mais uniforme foi a 4 ($4,20 \pm 0,40$ mg/L; Figura 53), ainda que um pico de MPS tenha ocorrido na estação SDS 30 (meio da coluna d'água = 11 mg/L). As Campanhas 8 e 9 foram semelhantes entre si e apresentaram menores valores de MPS para o setor ($3,60 \pm 1,10$ e $2,80 \pm 1,20$ mg/L, respectivamente; Figura 53). A Campanha 6 se assemelhou às Campanhas 8 e 9 quanto à faixa dos valores de MPS, no entanto sua mediana foi superior ($5,60 \pm 1,40$ mg/L) e indicou maior material particulado na coluna d'água. As Campanhas 1, Pós-Iba e 7 apresentaram medianas de concentração de MPS mais próximas de 5 e com pouca variabilidade mg/L ($5,50 \pm 0,9$, $5,90 \pm 1,9$ e $4,40 \pm 1,60$ mg/L, respectivamente; Figura 53) com um pico no fundo da coluna d'água na estação SDS 13 na Campanha 1 (23 mg/L; Figura 52), um pico de MPS no fundo na estação SDS 30 na Campanha Pós-Iba (13,6 mg/L; Figura 52) e maiores concentrações de MPS no meio e fundo da coluna d'água na estação SDS 20 na Campanha 7 (9,3 mg/L; Figura 52 e Figura 53). Essas maiores concentrações de MPS próximas do fundo da coluna d'água para essas Campanhas (Campanha 1: $9,1 \pm 4,4$ mg/L; Campanha Pós-Iba: $10,2 \pm 3,0$ mg/L; Campanha 7: $15,3 \pm 5,0$ mg/L) indicam eventos de maior energia que promovem a ressuspensão do material que estava depositado.

Figura 53: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Foz Sul.



Já as Campanhas 2, 5 e 11 foram as que apresentaram maior variabilidade e com maiores valores de MPS ($9,30 \pm 5,0$, $8,20 \pm 4,8$ e $5,7 \pm 3,20$ mg/L, respectivamente; Figura 52 e Figura 53) do Setor Foz Sul. Maiores

concentrações em superfície para a estação SDS 13 foram observadas durante as Campanhas 2 e 10 (12,8 e 10,5 mg/L, respectivamente; Figura 52 e Figura 53), enquanto as menores concentrações foram observadas durante as campanhas Pós-Iba (3,6 mg/L) e a 9 (0,9 mg/L). Foi também durante a Campanha 2 na estação SDS 30 que se deram os máximos de MPS do setor, os quais indicaram meio e fundo homogêneos e com maior MPS (27, 30 e 31 mg/L para superfície, meio e fundo da coluna d'água; Figura 52). Na Campanha 3, as maiores concentrações também ocorreram na estação SDS 30, entretanto com maiores valores em superfície e fundo (25,50, 24,71 e 28,10 mg/L, para superfície, meio e fundo da coluna d'água, respectivamente).

Diferente das Campanhas 2 e 3, a Campanha 5 apresentou um pico de MPS junto ao fundo na estação SDS 13 (20 mg/L) e picos no meio da coluna d'água nas estações SDS 20 (27 mg/L) e SDS 30 (24 mg/L), quando nenhuma concentração do Setor Foz Norte foi encontrada acima de 5 mg/L (Figura 38), mas um pico de MPS foi encontrado em superfície na estação SD 01 do Setor Foz Central (19 mg/L e 18% de MO; Figura 52). Para este período, as concentrações de MPS foram resultantes de um novo aporte de material de baixo teor de MO oriundo do Rio Doce com posterior transporte para o Setor Foz Sul (31, 31 e 31% para as estações SDS 13, SDS 20 e SDS 30, respectivamente; Figura 52). Enquanto na estação mais rasa ocorreu um grande aumento da concentração de MPS na superfície da coluna d'água (22 mg/L), na profundidade de 20 m este aumento se deu junto ao fundo (29 mg/L). Este pico de MPS em superfície da estação SD 01 foi caracterizada por um baixo teor de MO (25%). Para a estação SD 03, o evento promoveu uma homogeneização da coluna d'água ($3,80 \pm 0,85$ mg/L; $72,92 \pm 4,5\%$). Já na estação SD 04 ocorreu um pico de MPS no meio da coluna d'água de menor teor de MO (10 mg/L e 35%) onde antes a maior concentração era de 3 mg/L e junto ao fundo. A estação SD 05 apresentou uma alteração apenas no fundo da coluna d'água, onde a concentração de MPS foi de 8 mg/L e com 48% de MO, onde antes era de 1 mg/L e com 100% de MO. A partir dessa comparação se pode observar que os maiores picos de MPS após o evento apresentaram menores teores de MO e indicam maior contribuição inorgânica para o material em suspensão da coluna d'água. O padrão encontrado e associado ao baixo teor de MO no MPS (< 36 %) indicou uma ressuspensão no Setor Foz Sul.

As estações de profundidade próxima de 10 m e de 20 m apresentaram valores de mediana da concentração do MPS similares, mas uma maior variabilidade foi observada na estação mais rasa ($5,90 \pm 2,20$ e $5,30 \pm 1,80$ mg/L; Figura 52 e Figura 54). Já a estação SDS 30 apresentou a menor mediana e a maior variabilidade do Setor Foz Sul ($4,90 \pm 2,30$ mg/L). Concentrações de MPS foram maiores e mais variáveis junto ao fundo para as estações SDS 13 e SDS 20, enquanto que para a estação SDS 30 a maior mediana se deu no meio da coluna d'água e também com a maior variabilidade por profundidade da estação (SDS 13 = $5,70 \pm 1,80$, $5,60 \pm 1,90$ e $9,30 \pm 4,60$ mg/L; SDS 20 = $4,10 \pm 0,70$, $6,40 \pm 2,20$ e $7,30 \pm 2,20$ mg/L; SDS 30 = $3,40 \pm 1,10$, $7,10 \pm 2,80$ e $4,90 \pm 1,10$ para superfície, meio e fundo, respectivamente; Figura 55).

Figura 54: Variabilidade do MPS para as estações do Setor Foz Sul ao longo do monitoramento.

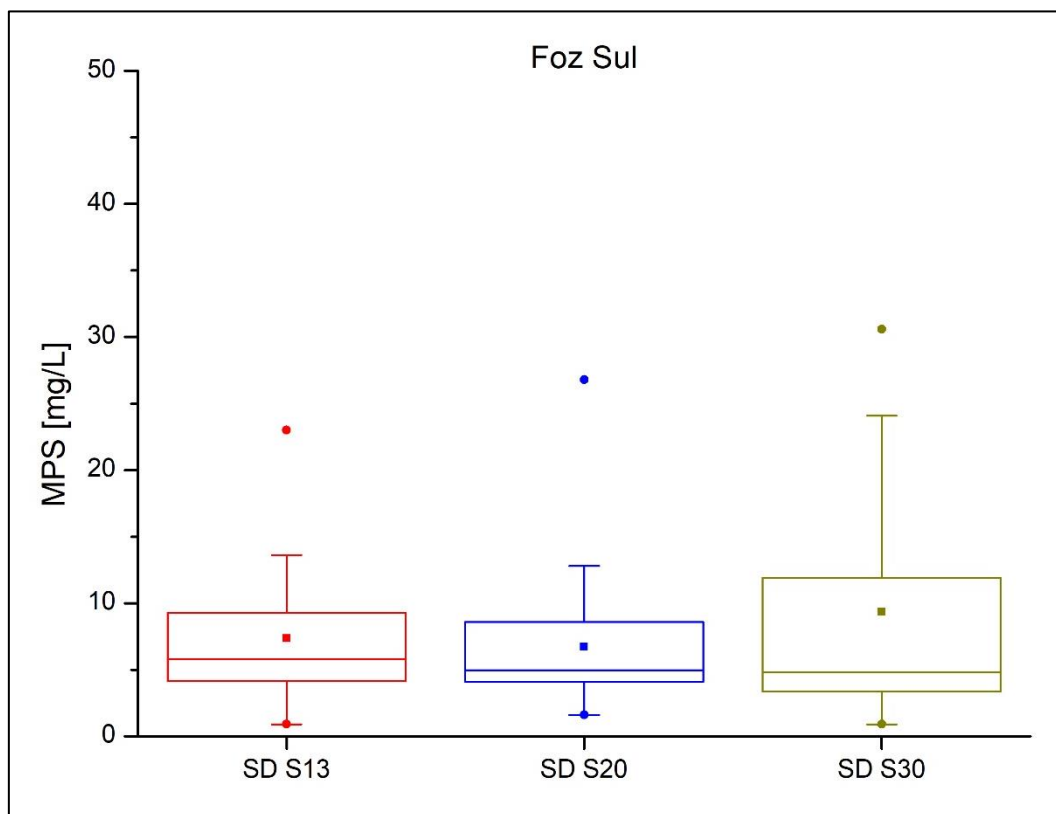
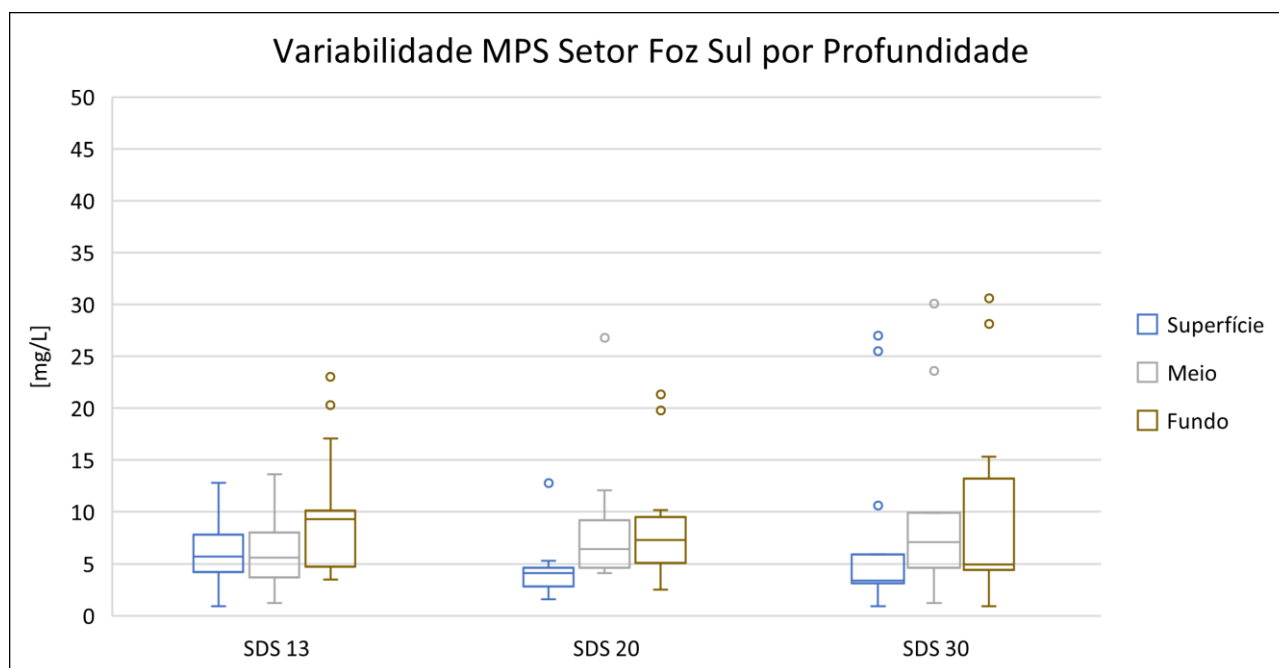


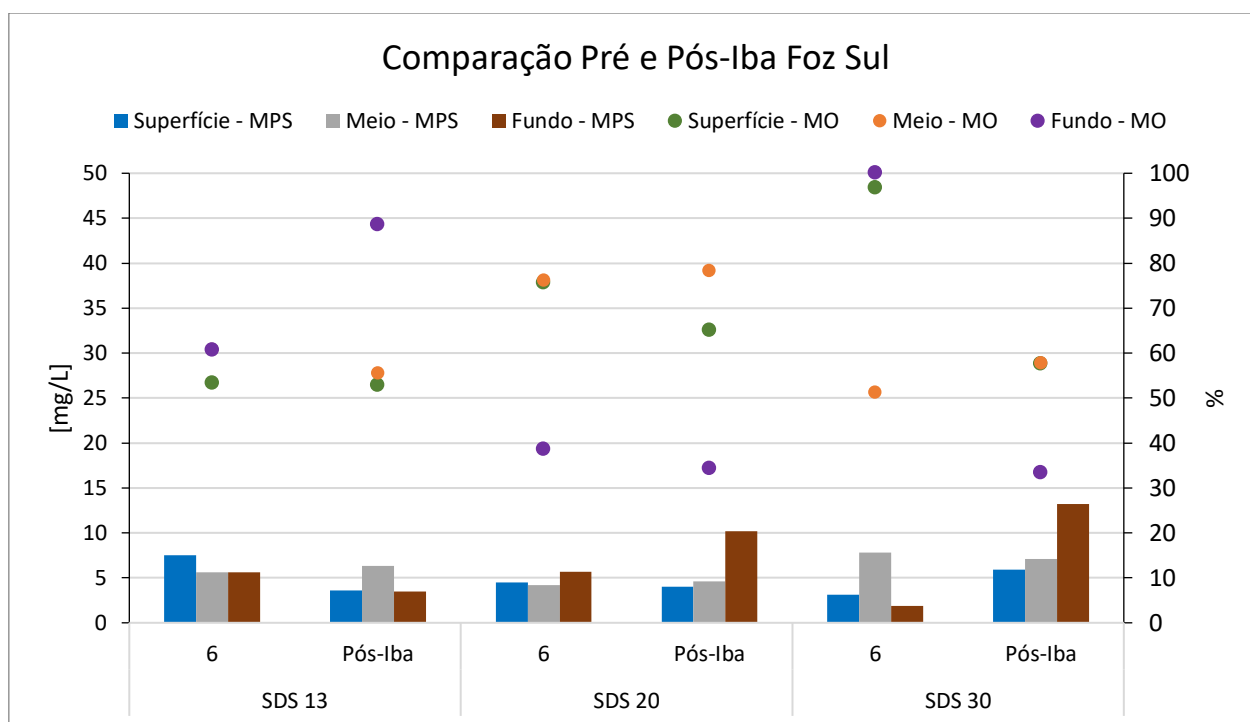
Figura 55: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Foz Sul durante o monitoramento.



Teores de MO foram maiores e similares nas estações SDS 13 e SDS 20 e reforçam a diferença dos processos sedimentares dominantes para a estação SDS 30 ($60,71 \pm 18,06$, $62,75 \pm 15,88$ e $57,63 \pm 29,06\%$ para as estações SDS 13, SDS 20 e SDS 30, respectivamente; Figura 52).

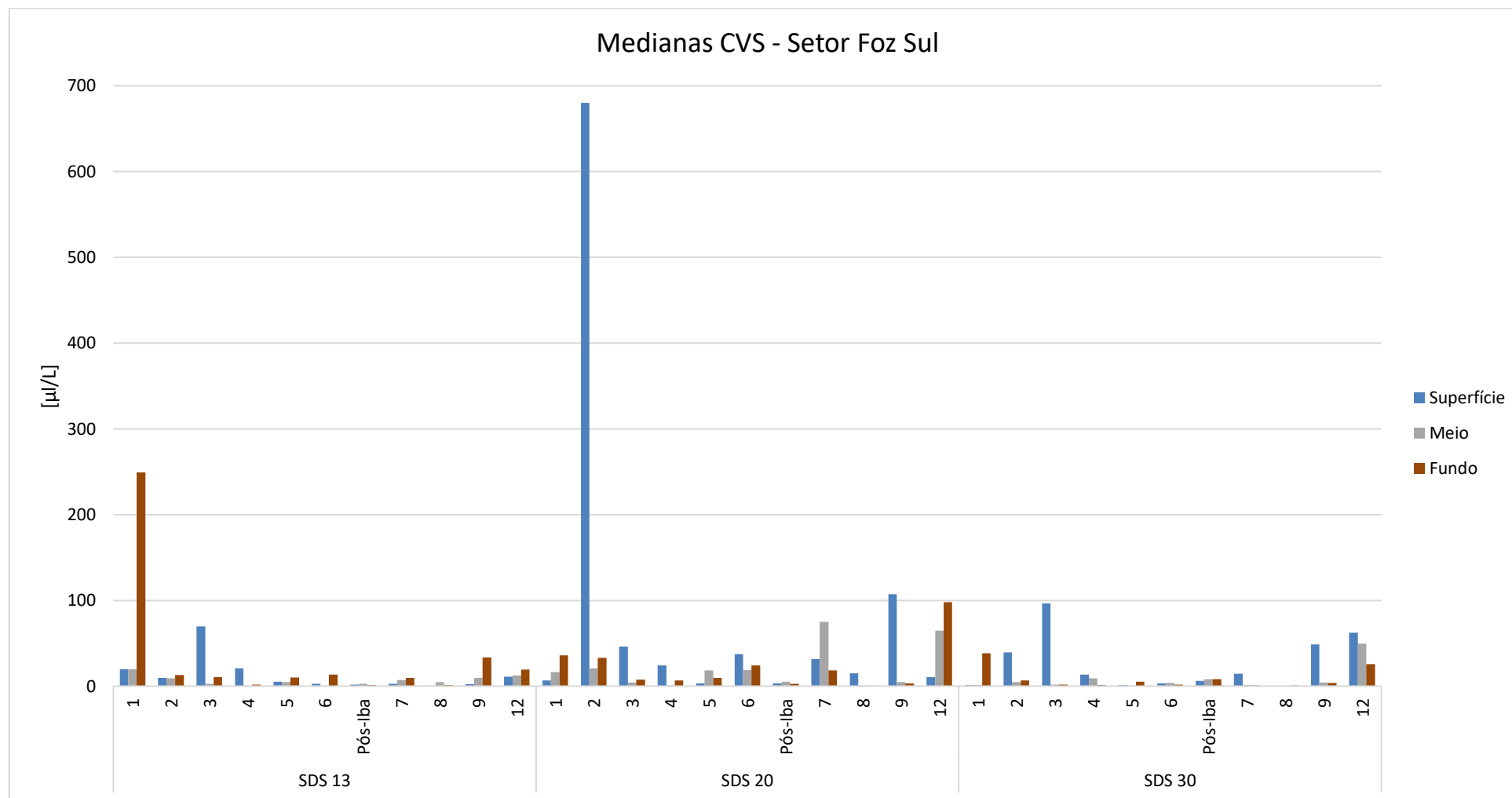
Uma comparação entre as Campanhas realizadas antes e após a passagem da tempestade tropical Iba (6 e Pós-Iba, respectivamente; Figura 56) mostrou que a resposta do padrão de MPS devido ao evento não foi a mesma no Setor Foz Sul como no Setor Foz Central. Um suave aumento na concentração de MPS foi observado no fundo da coluna d'água para a estação SDS 20 (10 mg/L). Já na estação SDS 30 a elevação da concentração se deu em superfície e, de forma mais evidente, junto ao fundo (6 e 13 mg/L, respectivamente). Diferente das estações SDS 20 e SDS 30, a estação SDS 13 sofreu uma redução dos valores de MPS em superfície e fundo da coluna d'água (3,6 e 3,5 mg/L, respectivamente). Nesse setor, para a Campanha Pós-Iba, os teores de MO apresentaram uma redução drástica do percentual de MPS do fundo da coluna d'água na estação SDS 30, onde ocorreu o maior aumento de concentração (Figura 56).

Figura 56: Comparação do MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água entre a Campanha 6 (março) e o após a passagem do ciclone Iba para o Setor Foz Sul.



Valores medianos da CVS para o Setor Foz Sul também ultrapassaram os 20 µl/L em várias campanhas, principalmente na estação SDS 20 (medianas entre 3,35 e 680,10 µl/L para a superfície; entre 0,63 e 74,80 µl/L para o meio; entre 0,01 e 97,64 µl/L para o fundo; Figura 57). Medianas para a estação SDS 13 foram entre 0,35 e 69,46 µl/L para a superfície; entre 0,31 e 19,76 µl/L para o meio ; entre 1,05 e 249,02 µl/L para o fundo enquanto que para a estação SDS 30 foram entre 0 e 96,47 µl/L para a superfície; entre 0 e 49,52 µl/L para o meio e entre 0,79 e 38,38 µl/L para o fundo.

Figura 57: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST para o Setor Foz Sul. Não houve perfilagem nas Campanhas 10 e 11.

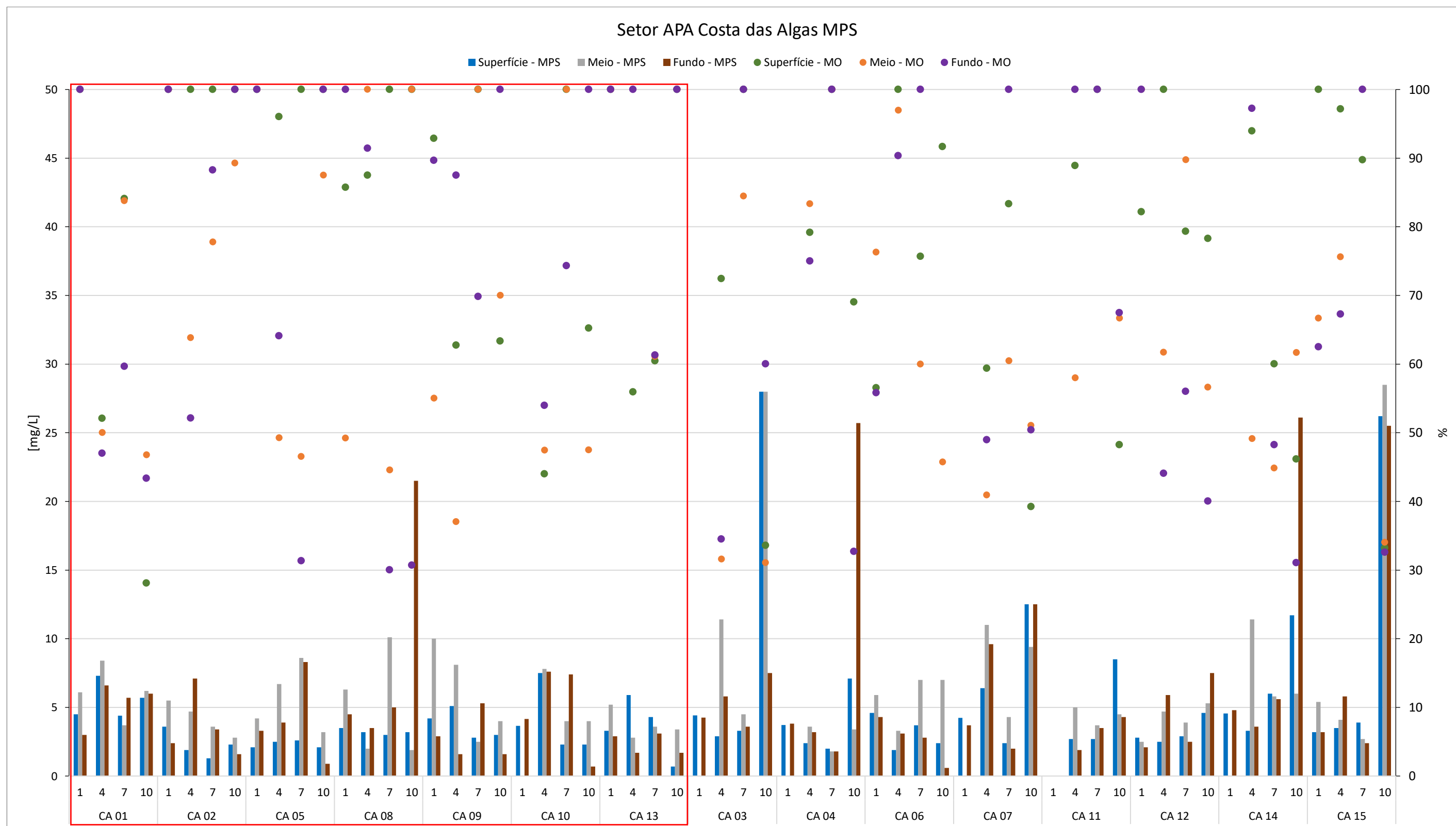


Para este setor se destacam os valores de CVS nas estações SDS 13 junto ao fundo na Campanha 1 (249,02 µl/L) e SDS 20 em superfície na Campanha 2 (680,09 µl/L). Assim como para o Setor Foz Norte, uma tendência de redução dos valores de CVS é observada, no entanto para as estações SDS S13 e SDS 30 até a Campanha 6, quando os valores tendem a aumentar novamente.

2.2.1.6 Setor APA Costa das Algas

O Setor APA Costa das Algas apresentou concentrações de MPS geralmente próximas de 5 mg/L ($3,5 \pm 1,4$ e $4,0 \pm 1,60$ mg/L para as estações rasas e profundas, respectivamente; Figura 58 e Figura 59).

Figura 58: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor APA Costa das Algas. As estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho.



Concentrações superiores a 10 mg/L ocorreram durante as Campanhas 4, 7 e 10, sendo que os *picos atípicos* (acima de 20 mg/L) para esse setor foram observados durante a Campanha 10. A análise da variabilidade das estações durante as quatro campanhas do monitoramento para este setor indicou que a Campanha mais heterogênea quanto às concentrações de MPS foi a 10 ($4,60 \pm 2,70$ mg/L), enquanto que as Campanhas 1 e 7 foram semelhantes ($3,6 \pm 0,9$ para as duas Campanhas; Figura 60). Maiores teores de MO foram encontrados na Campanha 1 e os menores teores estiveram na Campanha 10 (100 ± 0 , $67,24 \pm 20,26$, $84,44 \pm 15,56$ e $63,33 \pm 28,33$ % para as Campanhas 1, 4, 7 e 10, respectivamente. No entanto, avaliando separadamente as estações subdivididas em 2 grupos (rasas e profundas; Figura 59) pode se observar padrões diferentes quando se avalia o setor por inteiro.

Figura 59: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor APA Costa das Algas subdividido em estações rasas e profundas.

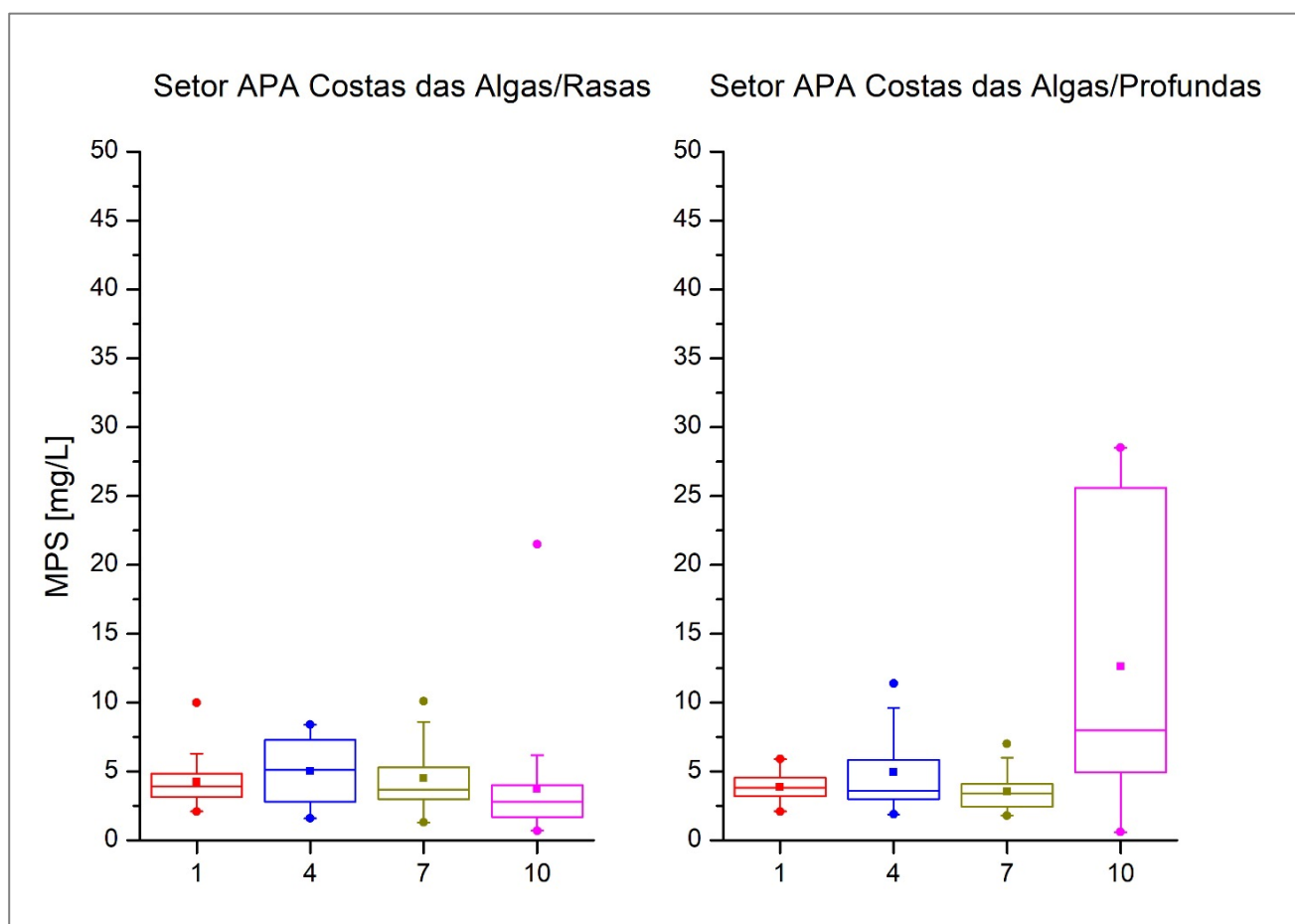
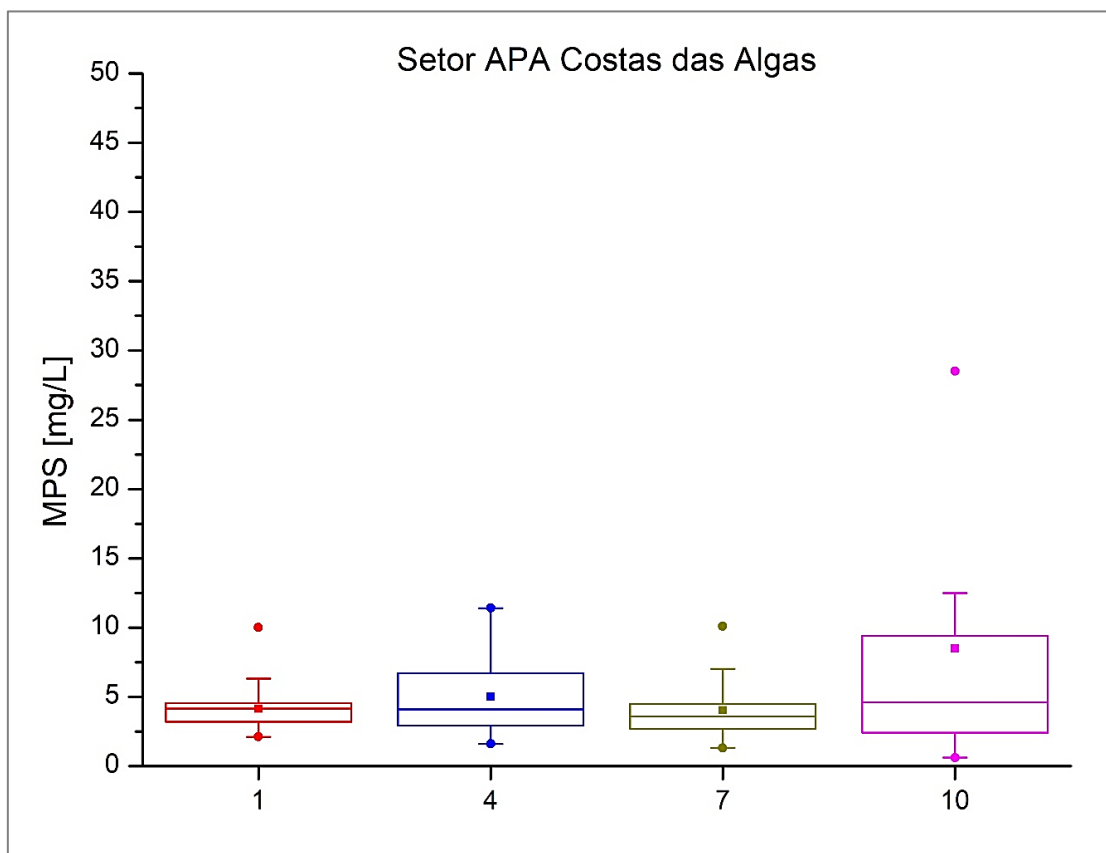


Figura 60: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor APA Costa das Algas.

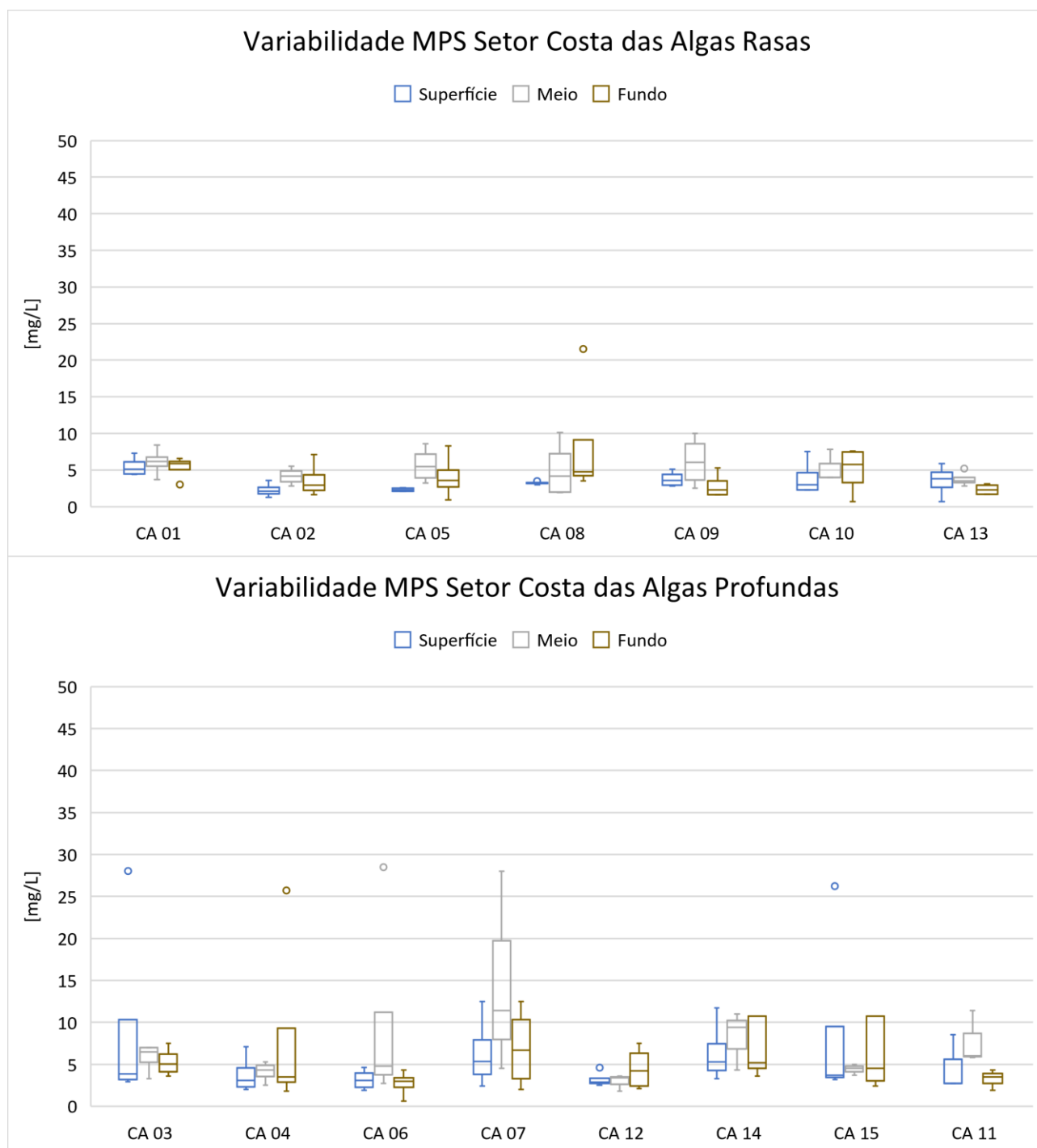


A Campanha mais uniforme para as estações rasas e profundas foi a 7 ($3,65 \pm 0,85$ e $2,90 \pm 0,90$ mg/L, respectivamente). Para as Campanhas 4 e 10 as estações rasas e profundas apresentaram padrões de MPS diferentes. Na Campanha 4 as estações profundas foram mais uniformes ($5,45 \pm 2,2$ e $3,60 \pm 1,10$ mg/L para rasas e profundas, respectivamente), mas com a presença de *picos atípicos* (CA 03 = 11,4 mg/L para meio da coluna d'água; CA 14 = 11,4 mg/L para meio da coluna d'água). Já na Campanha 10 o inverso ocorreu, quando as estações mais uniformes ($3,10 \pm 1,45$ e $7,5 \pm 4,10$ mg/L para rasas e profundas, respectivamente) foram as rasas e um maior número de *picos atípicos* foram observados (12 no total; Figura 60).

Teores de MO (Figura 58) para a Campanha 1 nas estações rasas foram os maiores do setor ($100 \pm 0\%$). Já para as estações profundas os teores de MO do MPS foram inferiores aos das rasas e similares para as Campanhas 1 e 4 ($76,27 \pm 19,75\%$ e $79,17 \pm 17,98\%$, respectivamente), enquanto que na Campanha 4 a mediana do teor de MO para o MPS das estações rasas foi a menor para o setor ($59,34 \pm 14,21\%$). Na Campanha 7 os maiores teores de MO passaram a ser nas estações profundas ($83,94 \pm 16,06\%$ e $89,74 \pm 10,26\%$ para rasas e profundas, respectivamente). Na Campanha 10 o padrão se inverteu novamente e o teor de MO nas estações rasas ($88,39 \pm 11,61\%$) passou a ser maior que nas estações profundas ($50,40 \pm 16,36\%$). Também na Campanha 10 ocorreu o menor teor mediano de MO ao longo do monitoramento. Esses resultados mostraram que a matéria orgânica contribui fortemente para o MPS do Setor Costa das Algas.

Para o Setor APA Costa das Algas não foi possível determinar um padrão bem definido de variabilidade espaço-temporal das concentrações de MPS para as diferentes profundidades (Figura 61).

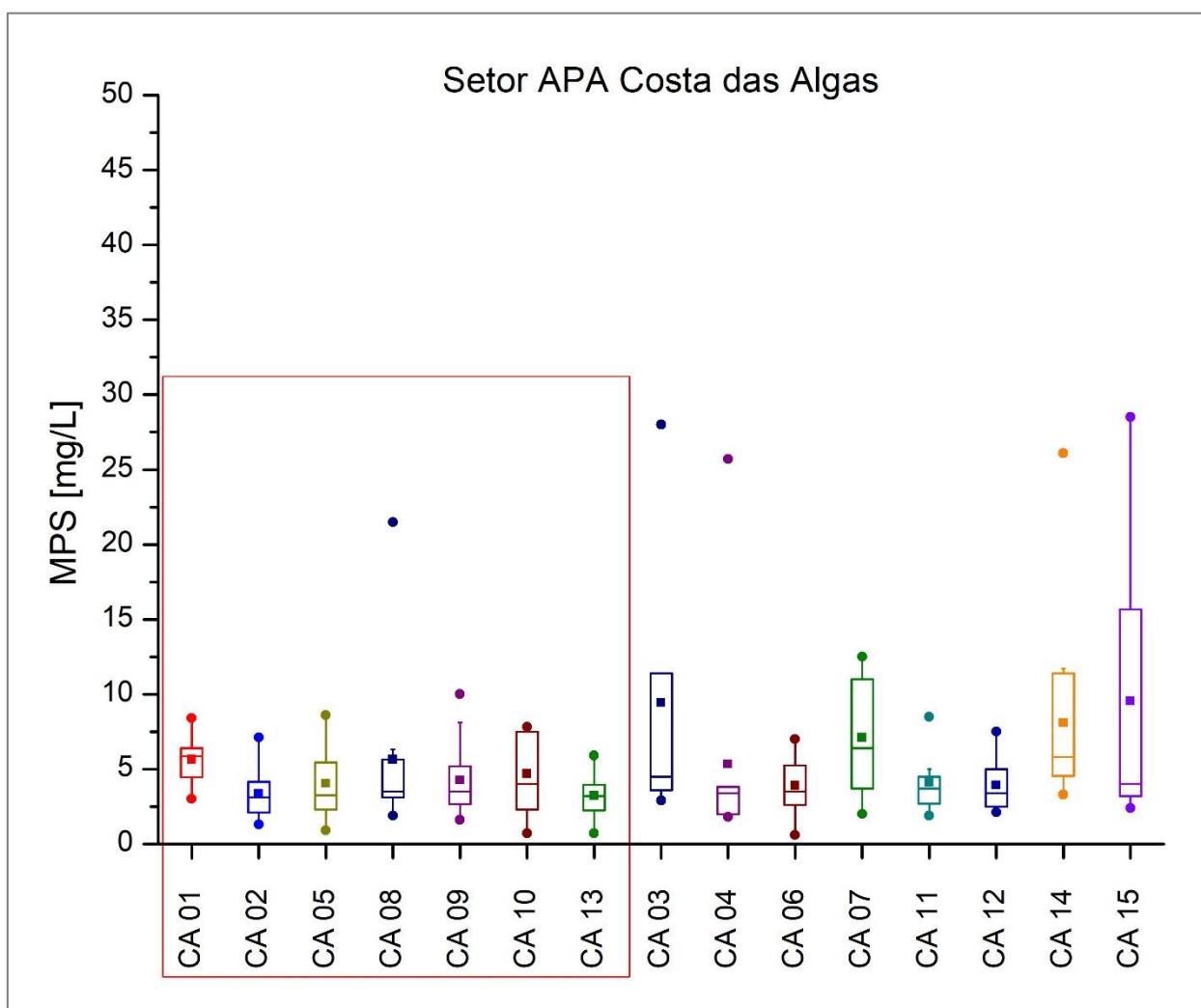
Figura 61: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor APA Costa das Algas durante o monitoramento. Topo: estações rasas. Base: estações profundas.



Um predomínio de maiores variações do MPS na superfície da coluna d'água ocorreu para a Campanha 1 enquanto que meio e fundo foram mais uniformes ($3,5 \pm 0,7$, $5,50 \pm 0,6$ e $3,0 \pm 0,3$ mg/L para superfície, meio

e fundo, respectivamente). Para a Campanha 4 as variações foram maiores no meio e no fundo da coluna d'água ($3,20 \pm 0,8$, $5 \pm 2,2$ e $3,90 \pm 2$ mg/L para superfície, meio e fundo, respectivamente), enquanto que na Campanha 7 as concentrações próximas do fundo da coluna d'água apresentaram uma variação maior ($2,90 \pm 0,6$, $3,90 \pm 0,6$ e $3,50 \pm 1,5$ mg/L para superfície, meio e fundo, respectivamente), assim como na Campanha 10 ($4,6 \pm 2,5$, $4,5 \pm 1,5$ e $6 \pm 5,1$ mg/L para superfície, meio e fundo, respectivamente). Dentre as estações rasas, as que apresentaram maior variabilidade dentro do monitoramento foram a CA 03 e CA 10, já para as profundas as estações com maior variabilidade foram a CA 07 e CA 14 (Figura 62). A estação CA 13 foi a que apresentou menor variabilidade dentro do grupo das estações rasas enquanto que para as profundas foram as estações CA 11 e CA 12.

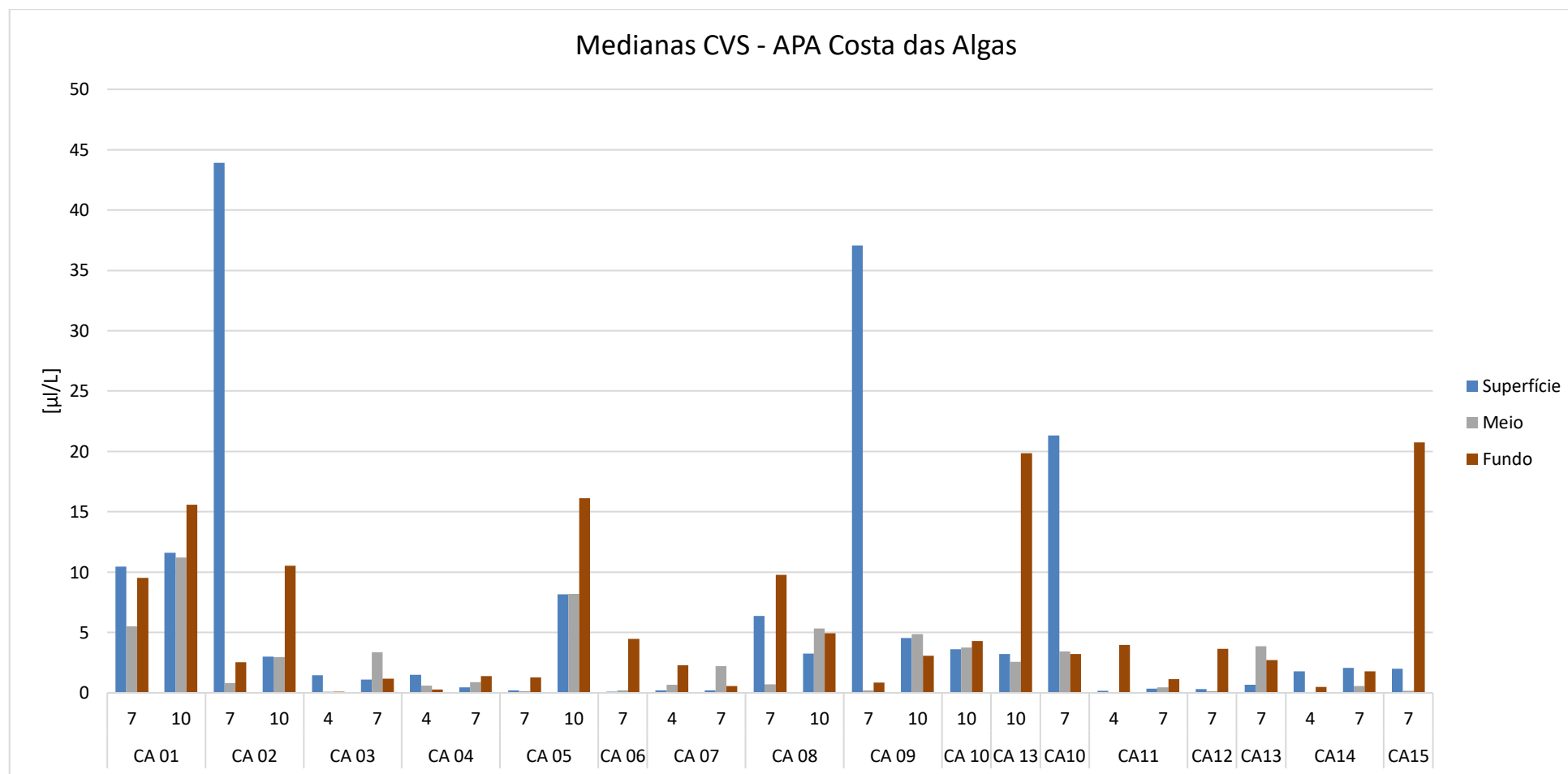
Figura 62: Variabilidade do MPS para as estações do Setor APA Costa das Algas ao longo do monitoramento. Estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho.



O Setor APA Costa das Algas não apresentou registros de CVS durante a Campanha 1 devido a compra do equipamento ter sido realizada após a amostragem do setor e nem em todas as estações das Campanhas 4, 7 e 10 devido problemas operacionais e/ou valores abaixo do limite de detecção. A partir dos dados recuperados se nota que as concentrações não ultrapassaram 45 µl/L e foram em maioria mantidas abaixo 20 µl/L, o que caracteriza a presença águas claras para o setor (Figura 63). Valores de CVS acima de 20 µl/L foram observados nas estações CA 02 e CA 08 em superfície (43,91 e 37,07 µl/L, respectivamente). Medianas para o setor foram entre 0,10 e 43,91 µl/L para superfície, entre 0,01 e 11,22 µl/L para o meio; entre 0,10 e 20,75 µl/L para o fundo da coluna d'água.

Os valores $\text{FeO}_{\text{total}}$ e Al_2O_3 no MPS de águas de fundo da estação CA 09 na Campanha 1 mostraram menores teores comparativamente aos Setores da Foz do Rio Doce (na ordem de 10% e 5,5% para $\text{FeO}_{\text{total}}$ e Al_2O_3 , respectivamente; Apêndice 12).

Figura 63: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST para o Setor APA Costa das Algas. Dados de LISST para a Campanha deste setor são ausentes.
Estações com valores abaixo do limite de detecção não foram apresentadas no gráfico para as Campanhas 4, 7 e 10.



2.2.1.7 Setor Sul

Para o Setor Sul, as estações das regiões de Vitória e Guarapari foram amostradas em frequências diferentes durante o monitoramento, em que VIX 01 e VIX 02 apresentam registro para as Campanhas 1, 4 e 7 enquanto que GUA 01 e GUA 02 apresentam registro apenas para as Campanhas 1 e 7. As concentrações de MPS para o Setor Sul foram maiores e mais oscilantes para a região de Vitória ($6,55 \pm 6,26$ mg/L) do que para a região de Guarapari ($4,10 \pm 2,49$ mg/L; Figura 64;

Figura 65). Apesar do monitoramento durante a Campanha 4 ter sido realizado apenas na região de Vitória, essa foi a campanha mais heterogênea para o setor ($8,15 \pm 5,14$ mg/L; Figura 66) e indicou uma diferença do padrão entre as estações rasa e profunda para essa região, onde VIX 01 apresentou maior MPS e maior oscilação dos valores por estar mais próxima da costa ($12,60 \pm 6,37$ e $6,20 \pm 4$ mg/L para VIX 01 e VIX 02, respectivamente ;Figura 65).

Figura 64: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água do Setor Sul. As estações GUA 01 e GUA 02 foram amostradas somente nas Campanhas 1 e 7 (Semestrais).

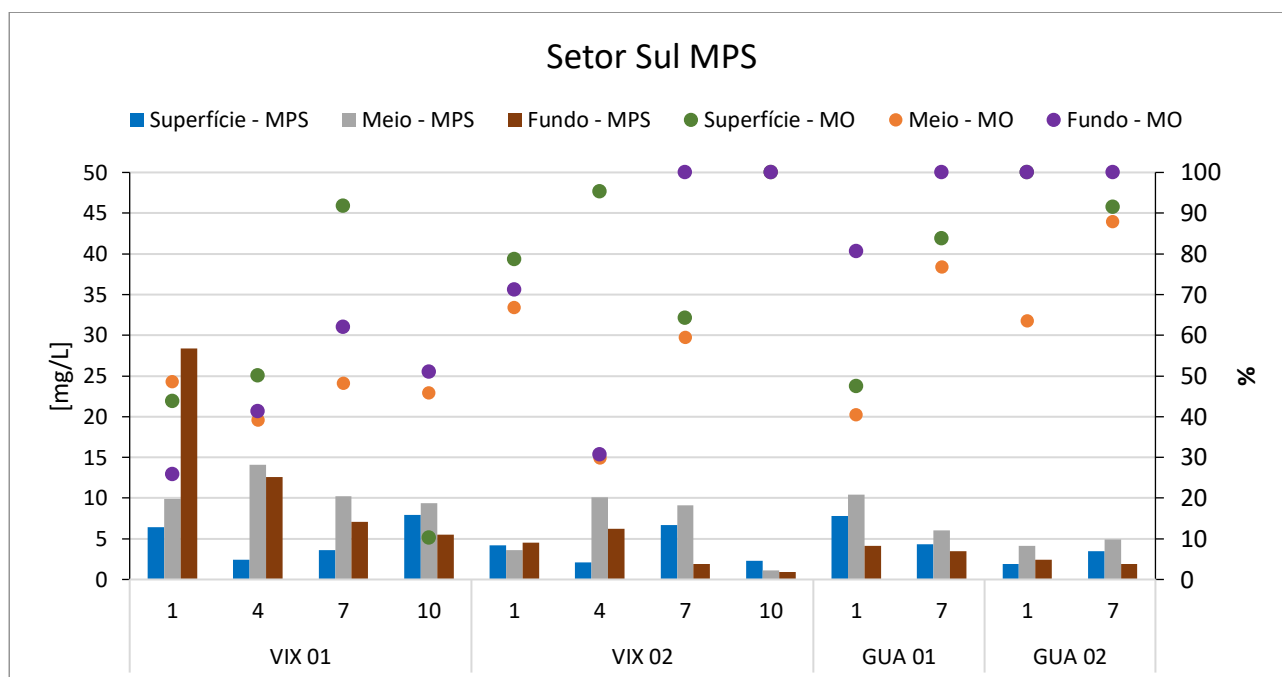


Figura 65: Variabilidade do MPS para as estações do Setor Sul ao longo do monitoramento.

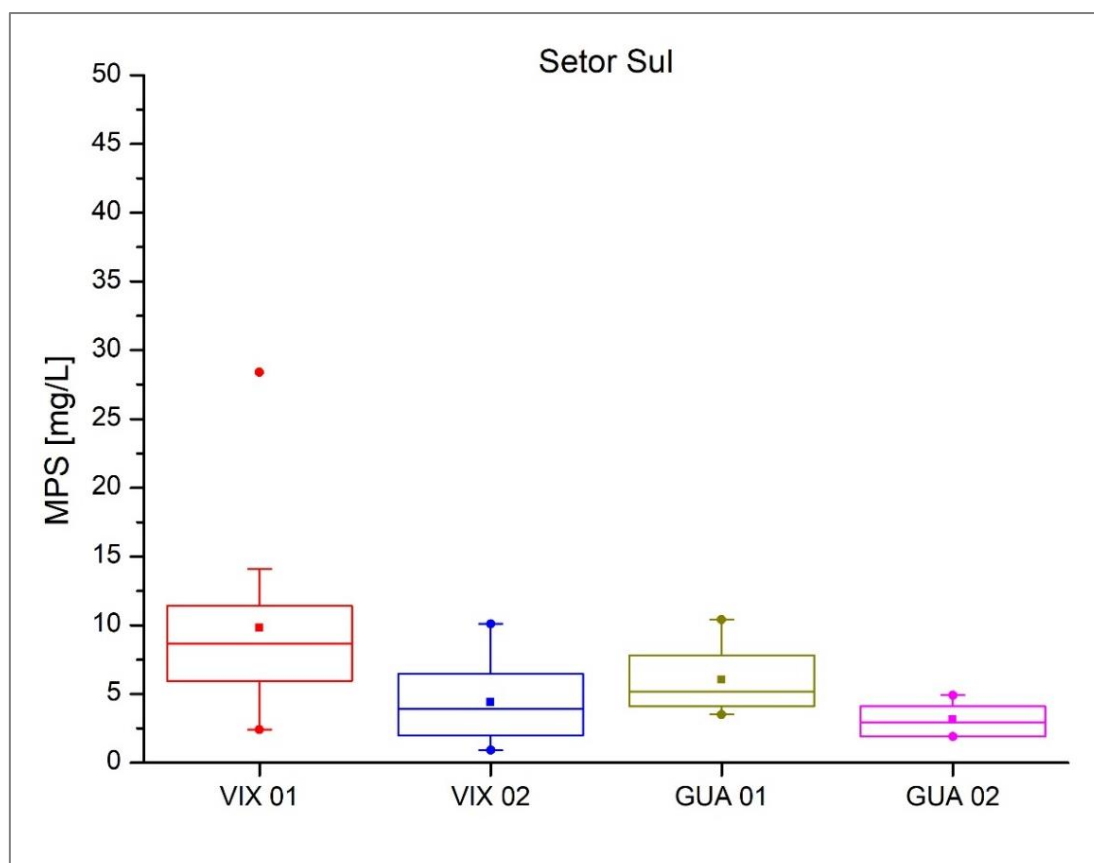
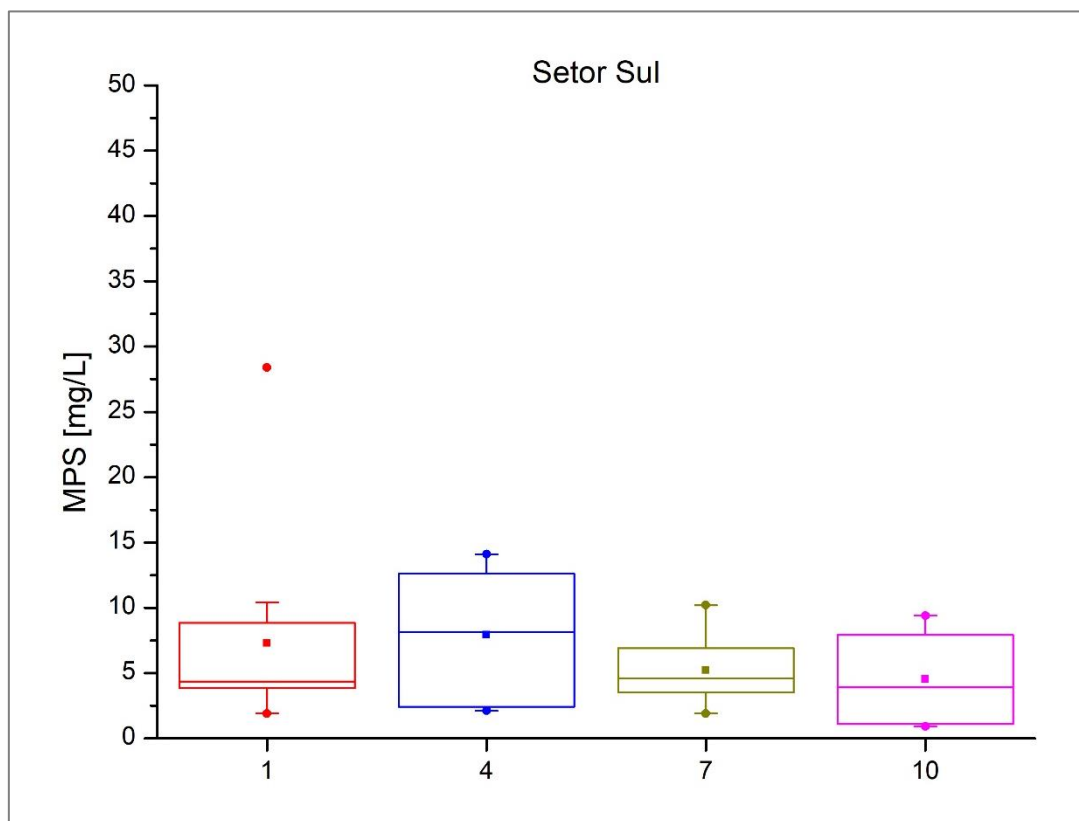


Figura 66: Variabilidade do MPS ao longo do monitoramento para o Setor Sul.

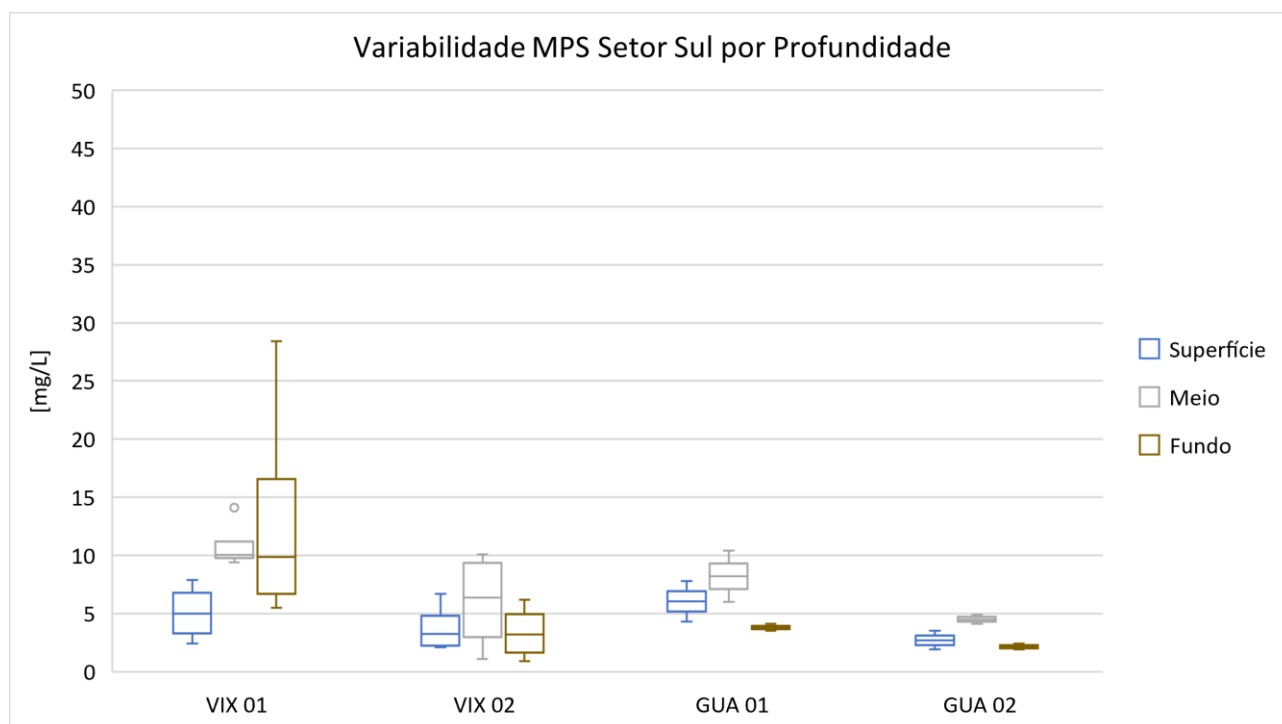


Também nesta campanha foram encontrados os menores teores de MO para o Setor Sul ($40,14 \pm 24,48\%$; Figura 64). Ainda que durante a Campanha 7 as duas regiões tenham sido monitoradas, essa foi a campanha mais uniforme para o setor ($4,60 \pm 2,66$ mg/L; Figura 66), quando as concentrações de VIX 01 estiveram mais baixas (máximo de 10 mg/L no fundo da coluna d'água; Figura 64). Este fato fortalece a ideia de que a estação mais rasa da região de Vitória é a que apresenta maior aporte e oscilação de MPS do setor por estar mais próxima da região metropolitana de Vitória, no entanto essa característica não pode ser associada diretamente a interferência do Rio Doce. Ainda, a Campanha 7 foi a que apresentou maiores teores de MO para o Setor Sul ($85,74 \pm 18,02\%$; Figura 64). A Campanha 1 foi a única do setor que apresentou ocorrência de *pico atípico*, o qual correspondeu ao valor máximo para o setor na estação VIX 01 no fundo da coluna d'água (28 mg/L). Apesar disso, os valores de MPS estiveram em uma faixa de valor similar ao da Campanha 7, mas com maior oscilação e menor teor de MO ($4,35 \pm 7,18$ mg/L, $65,05 \pm 23,52\%$; Figura 66).

Enquanto a região de Guarapari apresentou maiores valores de MPS no meio da coluna d'água ($3,90 \pm 2,49$, $5,45 \pm 2,81$ e $2,95 \pm 1$ mg/L para superfície, meio e fundo, respectivamente; Figura 64; Figura 67), a região de Vitória apresentou maiores concentrações próximo do fundo em VIX 01 ($3,60 \pm 2,05$, $10,20 \pm 2,34$ e $12,60 \pm 11,06$ mg/L para superfície, meio e fundo, respectivamente) e no meio da coluna d'água em VIX 02 ($4,20 \pm 2,30$, $9,10 \pm 3,50$ e $4,50 \pm 2,17$ mg/L para superfície, meio e fundo, respectivamente). Diferença entre essas duas regiões também foi encontrada nos teores de MO, em que as estações da região de Guarapari apresentaram os maiores teores do setor ($78,58 \pm 22,87$, $95,71 \pm 14,23$, $42,51 \pm 8,74$ e $68,89 \pm 26,50$ para as

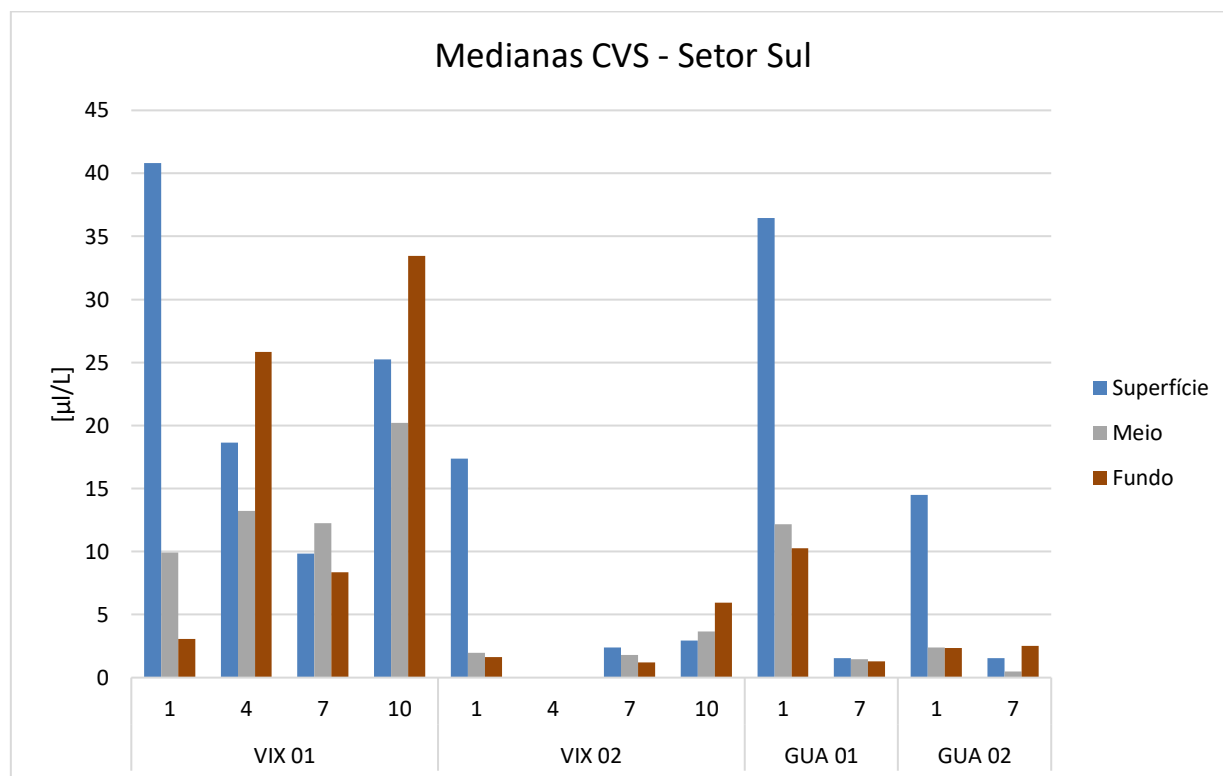
estações GUA 01, GUA 02, VIX 01 e VIX 02, respectivamente). Também é importante salientar que os menores teores de MO foram encontrados na estação VIX 01, onde ocorreram as maiores concentrações de MPS, o que reforça a contribuição inorgânica para o material em suspensão.

Figura 67: Variabilidade espacial e ao longo da coluna dos valores de MPS para o Setor Sul durante o monitoramento.



Os valores medianos da CVS para o Setor Sul foram maiores na região de Vitória (entre 0 e 40,83 μL para superfície; entre 0 e 20,19 μL para o meio; entre 0,01 e 33,47 μL para o fundo da coluna d'água; Figura 68), particularmente em VIX 01. Para a região de Guarapari as medianas foram entre 1,53 e 36,47 μL para a superfície; entre 0,48 e 12,18 μL para o meio; entre 1,30 e 10,26 μL para o fundo da coluna d'água. As concentrações indicaram águas claras para região de Guarapari e para a estação profunda de Vitória. Já na estação mais rasa de Vitória os valores da CVS ultrapassaram o limite de 20 μL nas quatro campanhas monitoradas mas sem uma preferência de profundidade na coluna d'água. Valores da CVS acima de 20 μL em Guarapari forma registrados apenas em superfície na estação GUA 01 (36,47 μL).

Figura 68: Medianas das Concentrações dos Volumes em Suspensão (CVS) registrado pelo LISST para o Setor Sul.



2.2.2 Interfaces e emulsões

Os comparativos entre as amostras de água coletadas na interface da pluma alaranjada indicaram maiores concentrações de MPS em superfície na água de maior turbidez durante as Campanhas 1 e 5 (Figura 69). Durante a Campanha 2 o maior valor de MPS se deu junto ao fundo na água de maior transparência, quando o máximo da água de maior turbidez ocorreu no meio da coluna d'água. Teores de MO foram inversamente proporcionais ao MPS e indicaram que a maior contribuição é inorgânica. O perfil registrado pelo LISST mostrou maiores valores da CVS associados a uma dominância expressiva de partículas maiores (Figura 70, Figura 71 e Figura 72).

Figura 69: MPS e os respectivos teores de MO da camada superficial, meio e fundo da coluna d'água para as diferentes interfaces identificadas ao longo do monitoramento durante as coletas realizadas na foz do Rio Doce. A figura apresenta um gráfico comparativo entre os pontos amostrais posicionados dentro (SDPd) e fora (SDPf) da pluma alaranjada presente. Note que a interface SDPd 01 durante a Campanha 5 teve que ser apresentada em gráfico separado devido ao seu elevado valor de MPS.

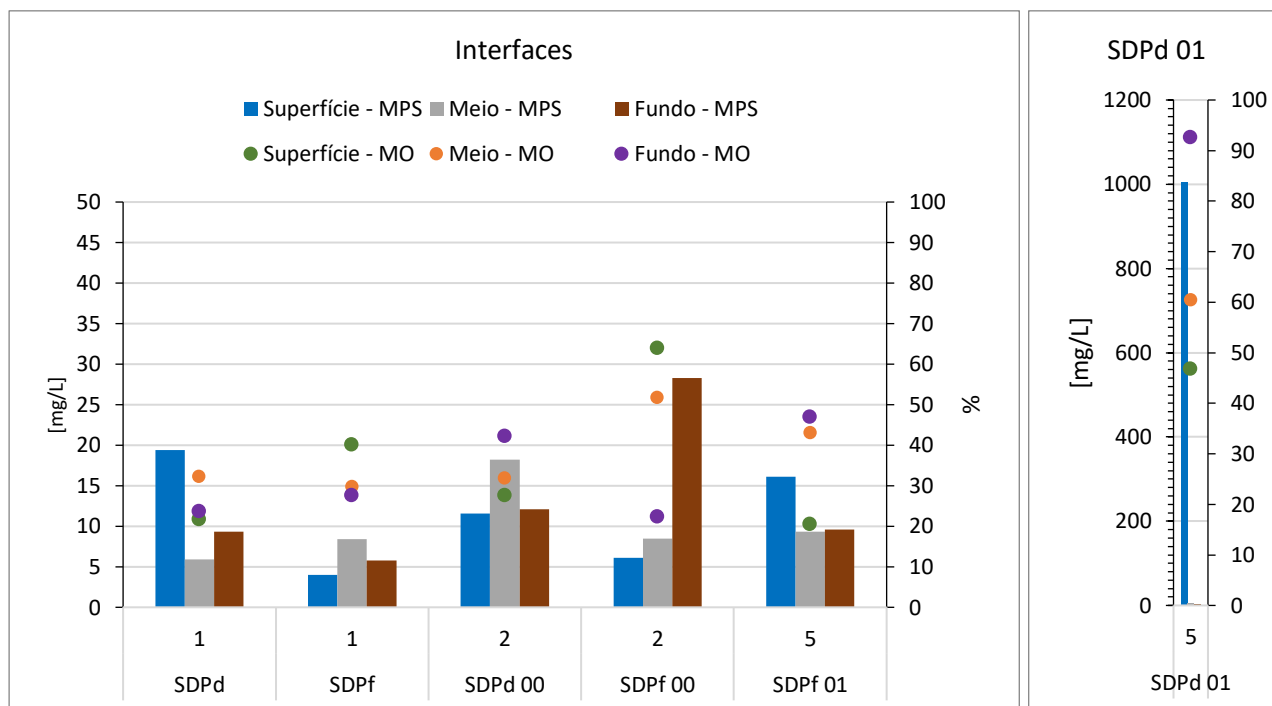


Figura 70: Perfil comparativo entre os pontos amostrais SDPd (topo) e SDPf (base) da água de maior turbidez registrado pelo LISST ao longo da coluna d'água na Campanha 1. À esquerda: concentração por volume em suspensão (CVS; $\mu\text{L/L}$); À direita: Concentração de cada faixa de tamanho das partículas. O tamanho das partículas é apresentado em μm

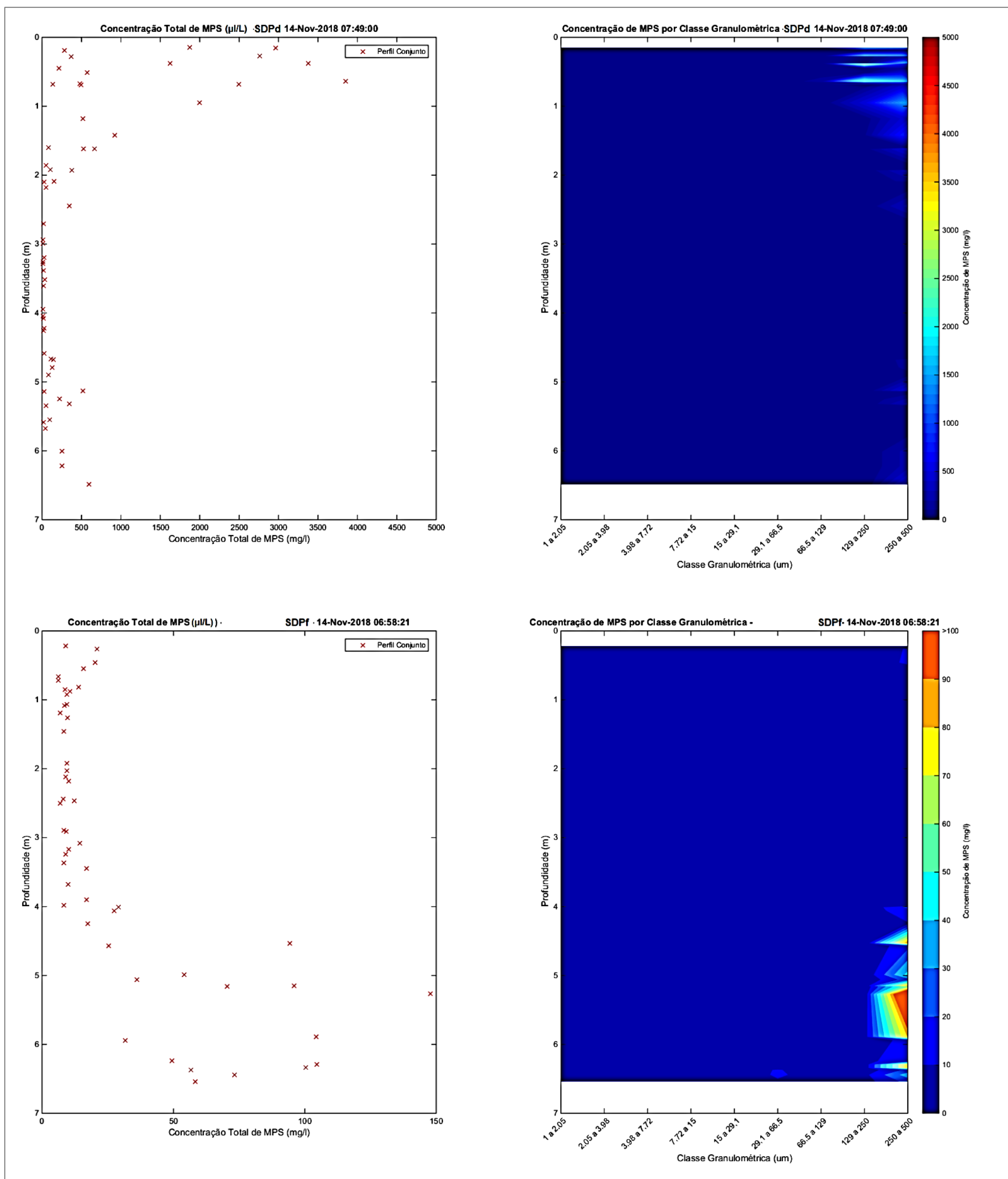


Figura 71: Perfil comparativo entre os pontos amostrais SDPd (topo) e SDPf (base) da água de maior turbidez registrado pelo LISST ao longo da coluna d'água na Campanha 2. À esquerda: concentração por volume em suspensão (CVS; $\mu\text{L/L}$); À direita: Concentração de cada faixa de tamanho das partículas. O tamanho das partículas é apresentado em μm .

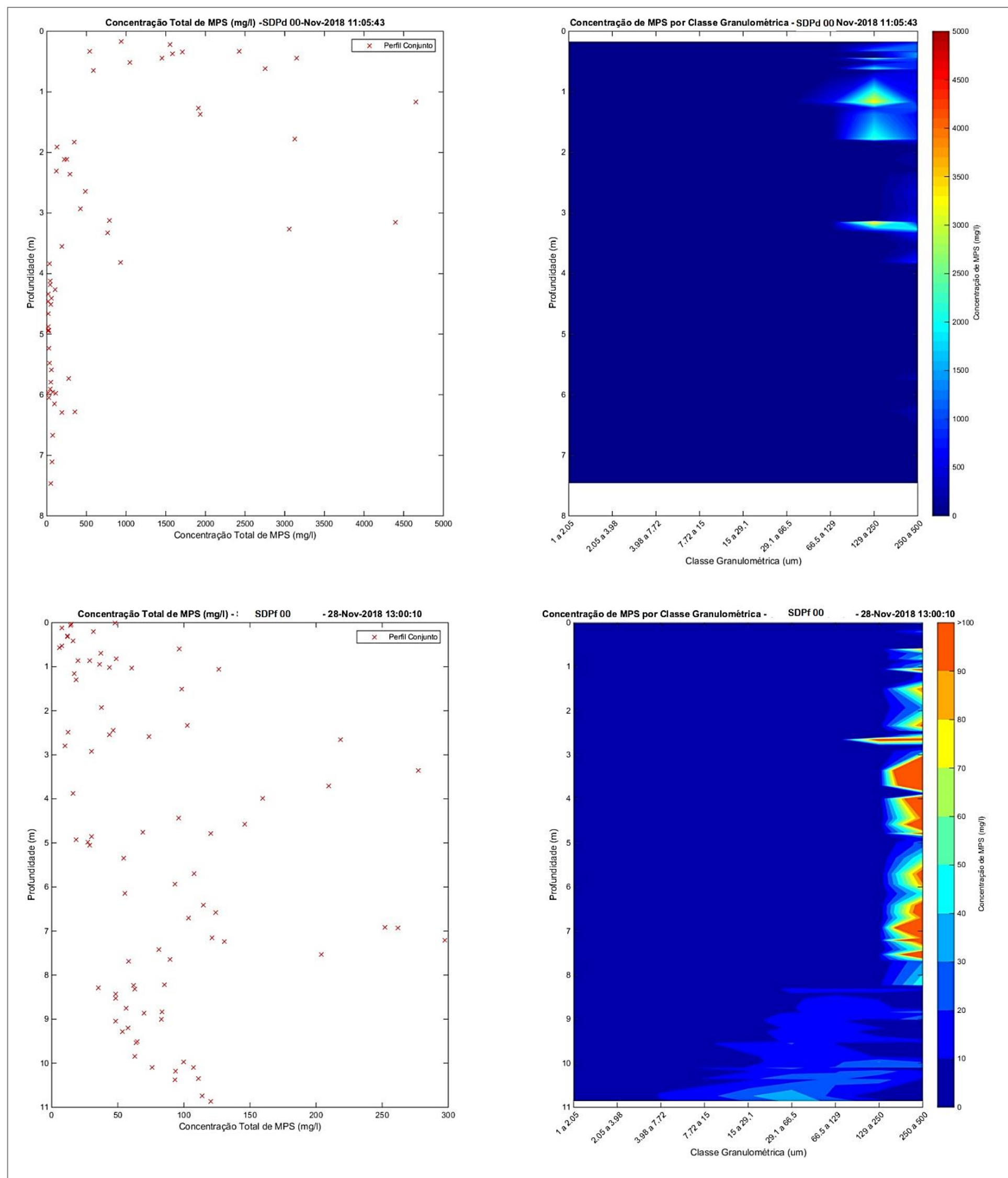
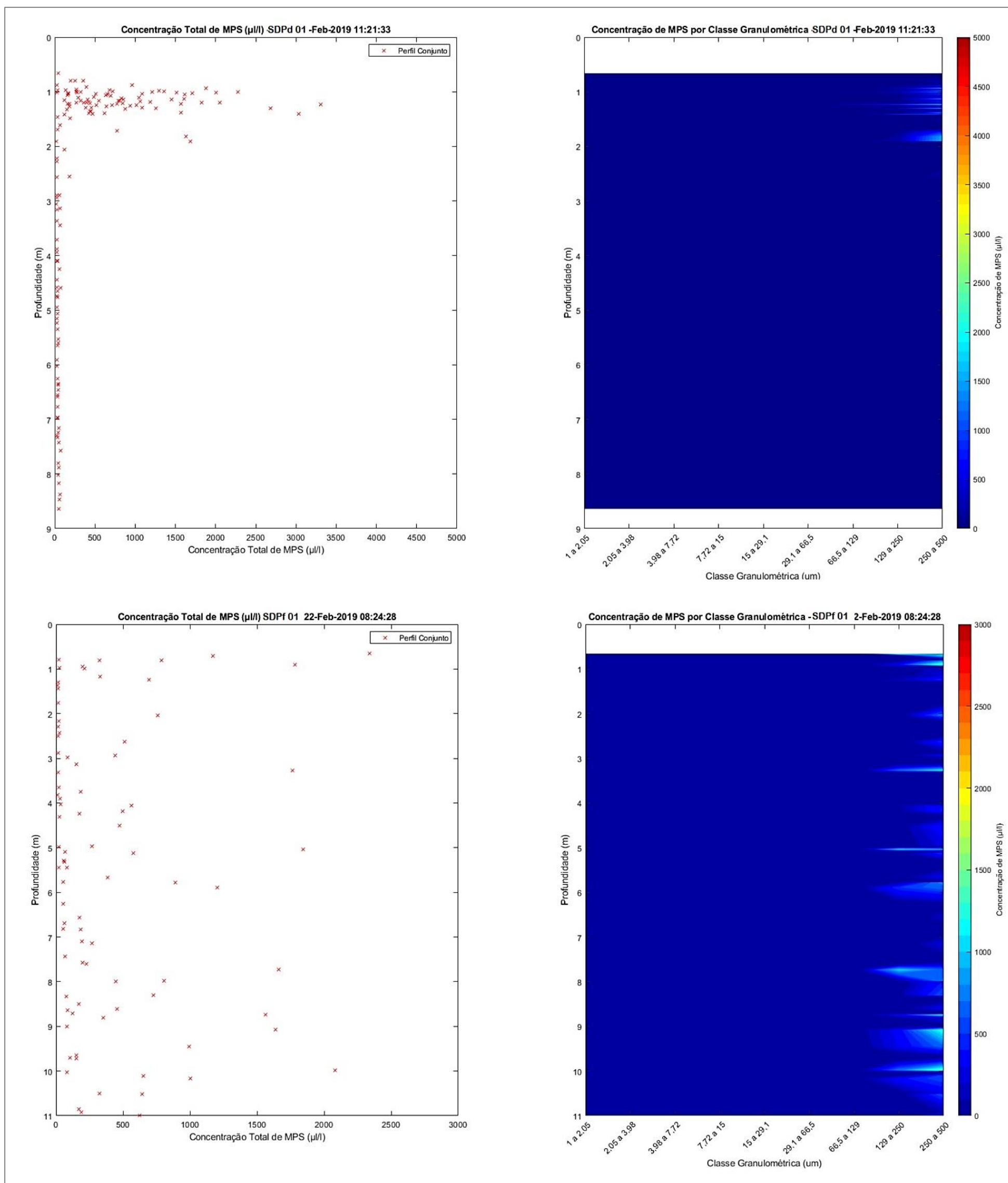
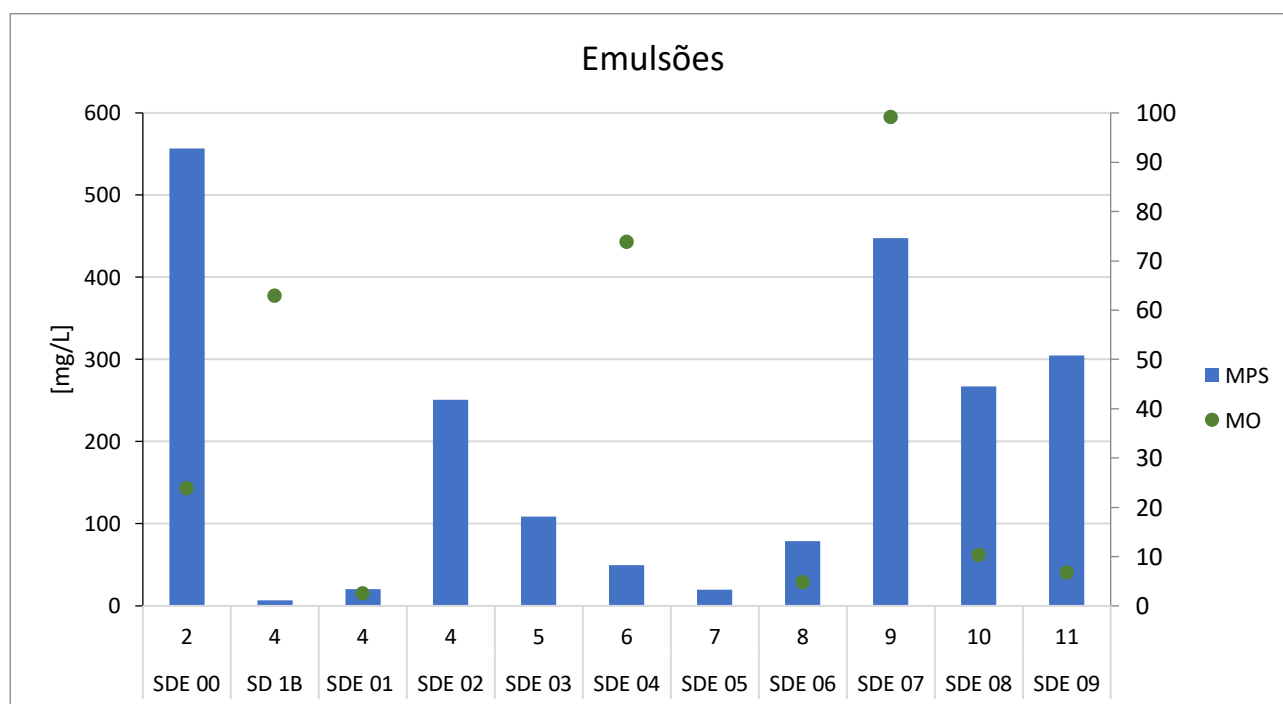


Figura 72: Perfil comparativo entre os pontos amostrais SDPd (topo) e SDPf (base) da água de maior turbidez registrado pelo LISST ao longo da coluna d'água na Campanha 5. À esquerda: concentração por volume em suspensão (CVS; $\mu\text{L/L}$); À direita: Concentração de cada faixa de tamanho das partículas. O tamanho das partículas é apresentado em μm .



Emulsões foram coletadas em todas as campanhas, exceto na Campanha 3 (Figura 73). Os maiores valores observados foram nas Campanhas 2, 9, 11 e 10, em ordem decrescente (557, 448, 305 e 267 mg/L, respectivamente). Essas emulsões apresentaram, em sua maioria, valores de MPS muito superiores àqueles observados em amostras superficiais, indicando que o material amostrado nas emulsões apresenta propriedades físico-químicas diferentes. Por se encontrar preferencialmente na interface ar/água, pode se dizer que o material apresenta caráter hidrofóbico e não se dissolve facilmente. Durante a Campanha 4, três amostras de emulsão foram coletadas nas proximidades da Foz do Rio Doce, onde geralmente foi observada a interface de águas mais turvas e claras. A amostra SD 1B foi coleta na estação SD 01 e apresentou uma concentração de 7 mg/L, similar ao MPS amostrado na superfície da coluna d'água. Para a amostra SDE 01, a concentração de MPS foi de 20 mg/L, enquanto que a amostra SDE 02 apresentou uma concentração de 251 mg/L. Como as duas emulsões foram amostradas na mesma campanha e em horas próximas, a diferença tão grande de MPS entre elas pode ser um indicador de processos geoquímicos de formação dessa emulsão nas proximidades das estações SD 01 e SD 02, onde foram observadas as interfaces entre águas mais turvas de coloração alaranjada e águas mais claras. No entanto este tipo de material deve ser melhor estudado e o método de coleta ainda deve ser melhor padronizado afim de confirmar tal afirmação.

Figura 73: MPS e os respectivos teores de MO de emulsões de coloração alaranjada (espuma) no limiar ar/água na superfície da coluna d'água coletadas durante o monitoramento.

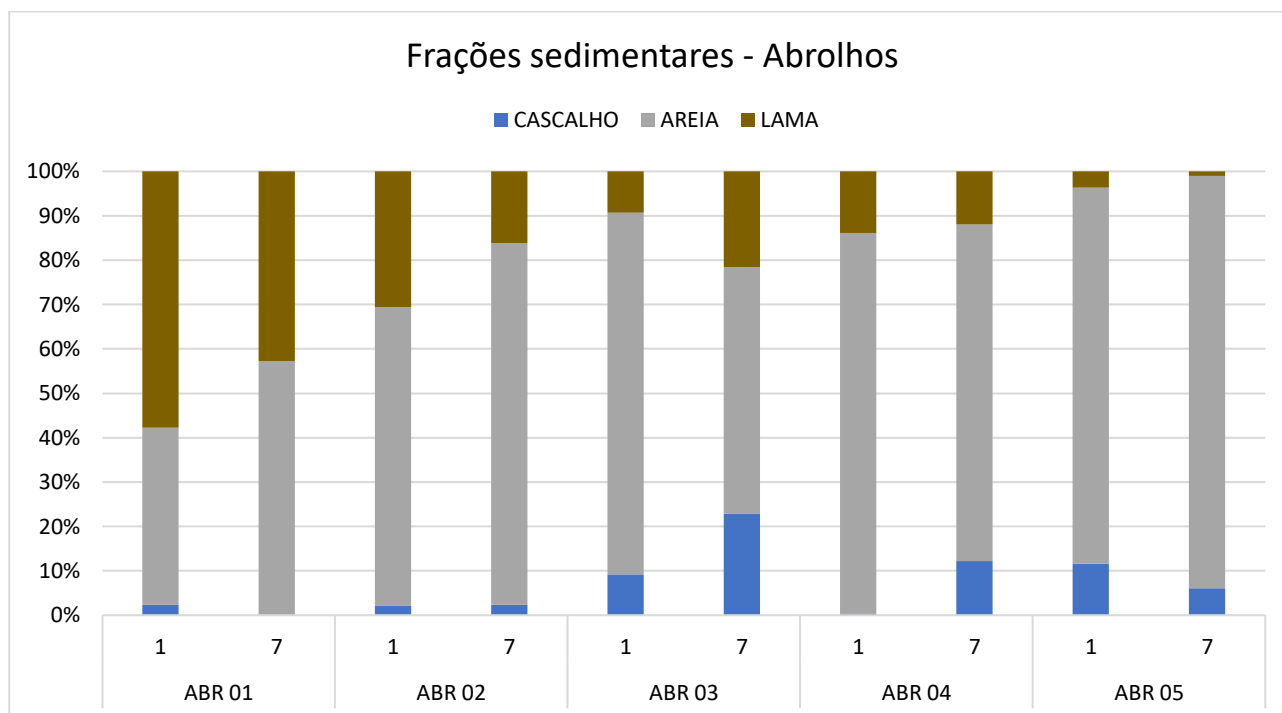


2.2.3 Matriz sedimento superficial

2.2.3.1 Setor Abrolhos

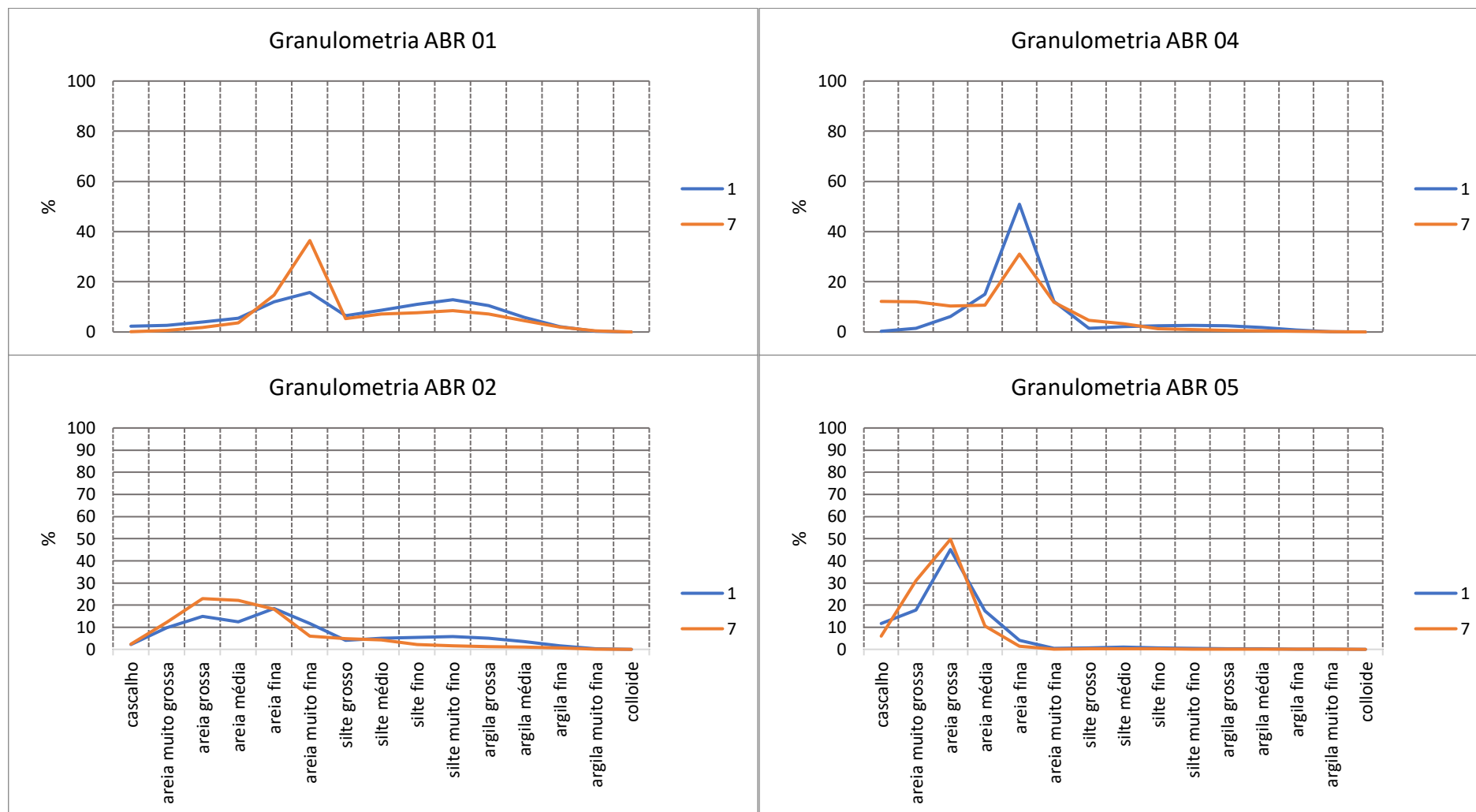
O Setor Abrolhos foi caracterizado por um domínio arenoso, onde maiores frequências das classes arenosas ocorreram para as cinco estações, exceto para a estação ABR 01 durante a Campanha 1 (Figura 74 e Figura 75). Essa mesma estação foi a que apresentou o maior teor de lama ($50 \pm 11\%$) nas duas campanhas amostradas no Setor Abrolhos, seguida pela estação ABR 02 ($23 \pm 10\%$). A estação que apresentou o menor teor de lama foi a ABR 05 ($2 \pm 2\%$), enquanto que ABR 03 e ABR 04 apresentaram valores de 15 ± 9 e $13 \pm 1\%$ de lama, respectivamente. Foi observada uma tendência geral de redução do teor de lama do sedimento superficial do Setor Abrolhos, exceto na estação ABR 03, onde ocorreu um aumento de 12% na Campanha 7 em relação à Campanha 1 (Figura 74). As maiores contribuições da fração cascalho foram observadas em ABR 03 e ABR 05 (16 ± 10 e $9 \pm 4\%$, respectivamente).

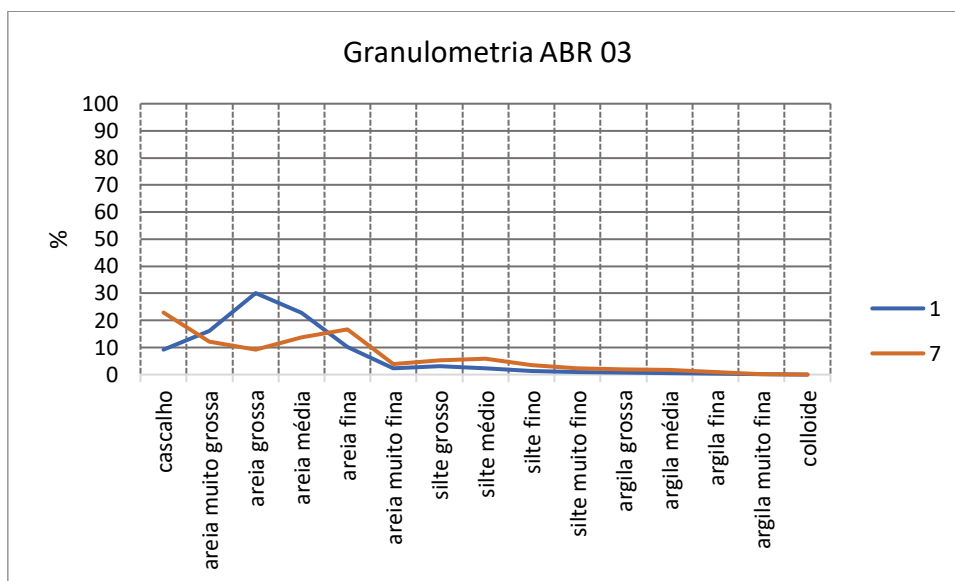
Figura 74: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Abrolhos.



Uma distribuição bimodal para as estações ABR 01 e ABR 02 indicaram importante contribuição de sedimento lamoso. A estação ABR 01 apresentou a maior moda composta pelas classes areia fina e areia muito fina e ABR 02, pelas classes de cascalho à areia muito fina; a menor moda nessas duas estações se distribuiu ao longo das classes lamosas (Figura 75). As estações ABR 03 e ABR 05 apresentaram uma assimetria negativa com maiores frequências das classes areia muito grossa a areia média, enquanto que ABR 04 apresentou uma assimetria negativa com maior selecionamento dos grãos na classe areia fina.

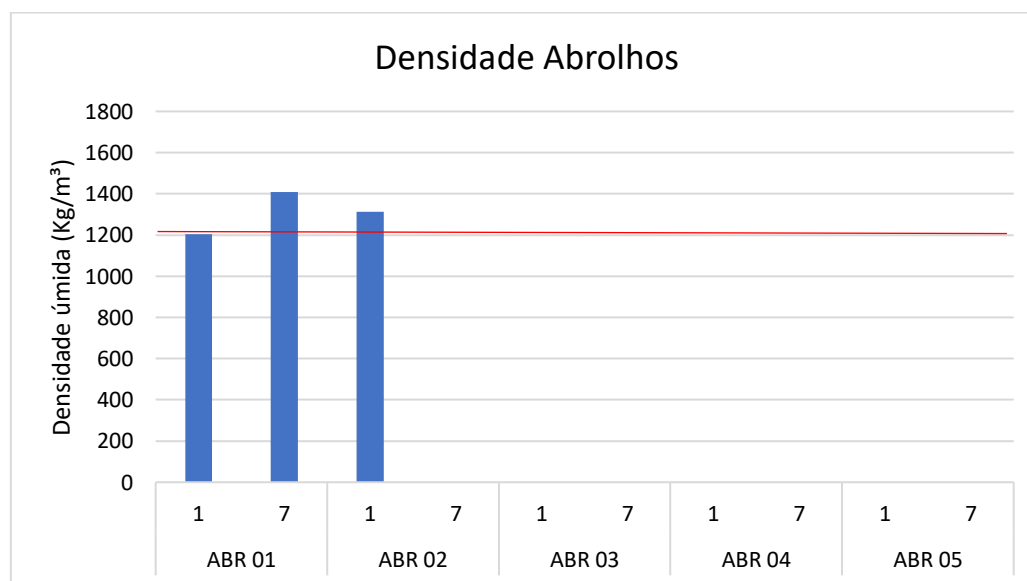
Figura 75: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Abrolhos.





O maior teor de lama da estação ABR 01 apresentou uma característica de lama fluida apenas na Campanha 1, quando atingiu o limite que indica este tipo de pacote sedimentar (1200 Kg/m^3). Já na Campanha 7 a densidade indicou um fundo lamoso com aumento da densidade superficial (1408 Kg/m^3 ; Figura 76). A estação ABR 02 apresentou um valor de densidade de 1312 Kg/m^3 na Campanha 1 e ausência ou baixa contribuição da fração lama na Campanha 7. Para as outras estações do setor não houve determinação da densidade de fundo decorrente do baixo teor de lama no sedimento.

Figura 76: Valores de densidade (kg/m^3) do sedimento superficial do Setor Abrolhos. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.



Os teores de MO para o setor não ultrapassaram 6% (ABR 01 na Campanha 1) e foram maiores na estação mais próxima da costa ($6 \pm 0,29\%$; Figura 77). A estação que apresentou menores teores de MO foi a ABR

04 ($2 \pm 0,65\%$). Como esperado, um elevado teor de CaCO_3 foi encontrado no sedimento das estações ABR 02, ABR 03, ABR 04 e ABR 05 (97 ± 1 ; $98 \pm 0,12$; 60 ± 23 , $88 \pm 10\%$, respectivamente; Figura 78), bem como o menor teor encontrado na estação mais próxima da costa ($47 \pm 5\%$ em ABR 01).

Figura 77: Teor de matéria orgânica do sedimento superficial do Setor Abrolhos.

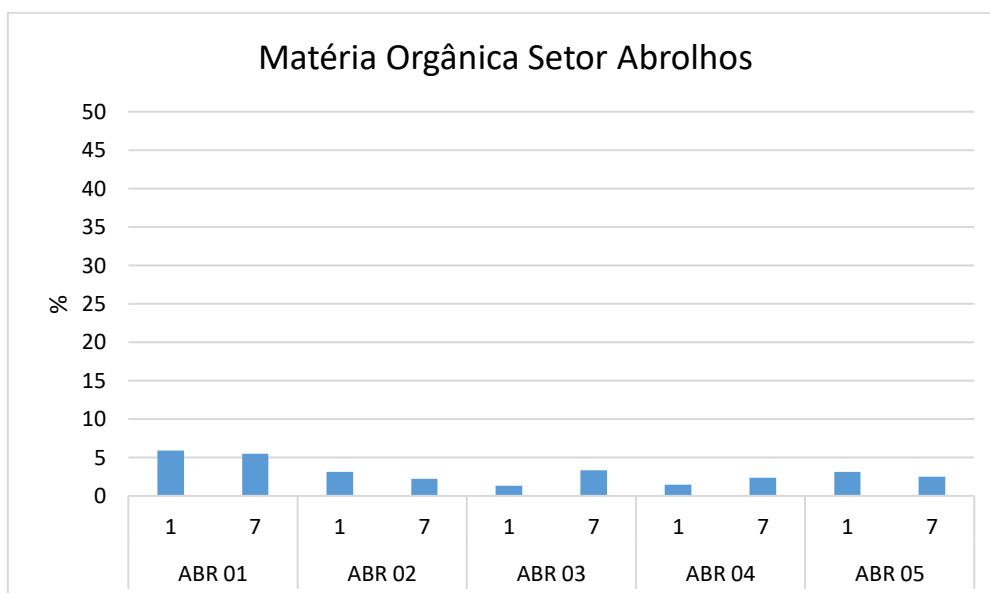
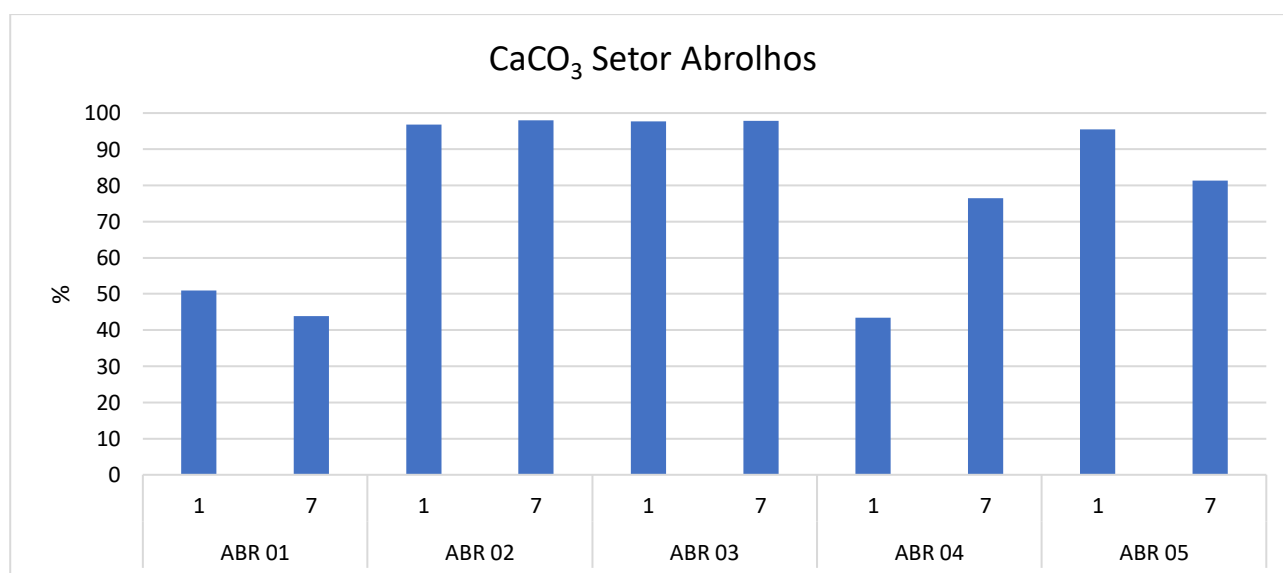


Figura 78: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Abrolhos.



Dados mineralógicos mostraram uma predominância de carbonatos (42% a 99%) e silicatos (15% a 50%) e pouca ou nenhuma fase mineral com ferro nas estações ABR 02, ABR 03, ABR 04 e ABR 05, exceto durante a Campanha 7, quando a estação ABR 05 registrou 15% de fases minerais com ferro. Já na estação ABR 01 os teores de fases minerais com ferro foram de 12% a 15% enquanto que os carbonatos variaram de 27 a 47% e os silicato, 41% (Apêndice 12). Os resultados de susceptibilidade magnética adquiridos para os

sedimentos do Setor Abrolhos apresentaram susceptibilidade magnética de 1,5 a 5.6 vezes maior do que os valores de referência (Apêndice 13).

2.2.3.2 Setor Norte

Os maiores teores de lama no Setor Norte foram encontrados nas estações de Degredo (DEG 01 e DEG 02), principalmente em DEG 02 (35 ± 10 e $60 \pm 6\%$ para DEG 01 e DEG 02, respectivamente; Figura 79). Tanto DEG 01 quanto DEG 02 (mais suavemente) apresentaram uma tendência de redução do teor de lama da Campanha 1 a Campanha 10 e um aumento do selecionamento dos grãos para a classe areia muito fina (Figura 80).

As estações com menores teores de lama foram ITA 01 e BN 01 (5 ± 6 e $7 \pm 2\%$, respectivamente). Para ITA 02 e BN 02 o teor de lama foi de 16 ± 13 e $16 \pm 3\%$, respectivamente. Maiores contribuições da fração cascalho foram encontradas nas estações BN 01 e ITA 01 (39 ± 14 e $29 \pm 19\%$, respectivamente; Figura 79 e Figura 80). Já a região de Degredo foi caracterizada pela menor contribuição da fração cascalho (3 ± 2 , 0, 14 ± 7 , $2 \pm 1\%$ para as estações DEG 01, DEG 02, BN 02 e ITA 02, respectivamente).

A região de Itaúnas apresentou uma distribuição mal selecionada nas classes arenosas para a estação mais profunda (ITA 02) e uma distribuição assimétrica fortemente negativa ou bimodal nas classes grossas na estação mais rasa (ITA 01; Figura 80). Em Barra Nova, as maiores frequências foram as das classes cascalho e areia fina para as duas estações, no entanto a classe cascalho apresentou maior contribuição na estação mais profunda (BN 01), a qual apresentou mal selecionamento ao longo das classes grossas. O sedimento da estação BN 02 foi bem selecionado para a classe areia fina e apresentou maior frequência da classe cascalho associada a um menor selecionamento na Campanha 1.

Figura 79: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Norte.

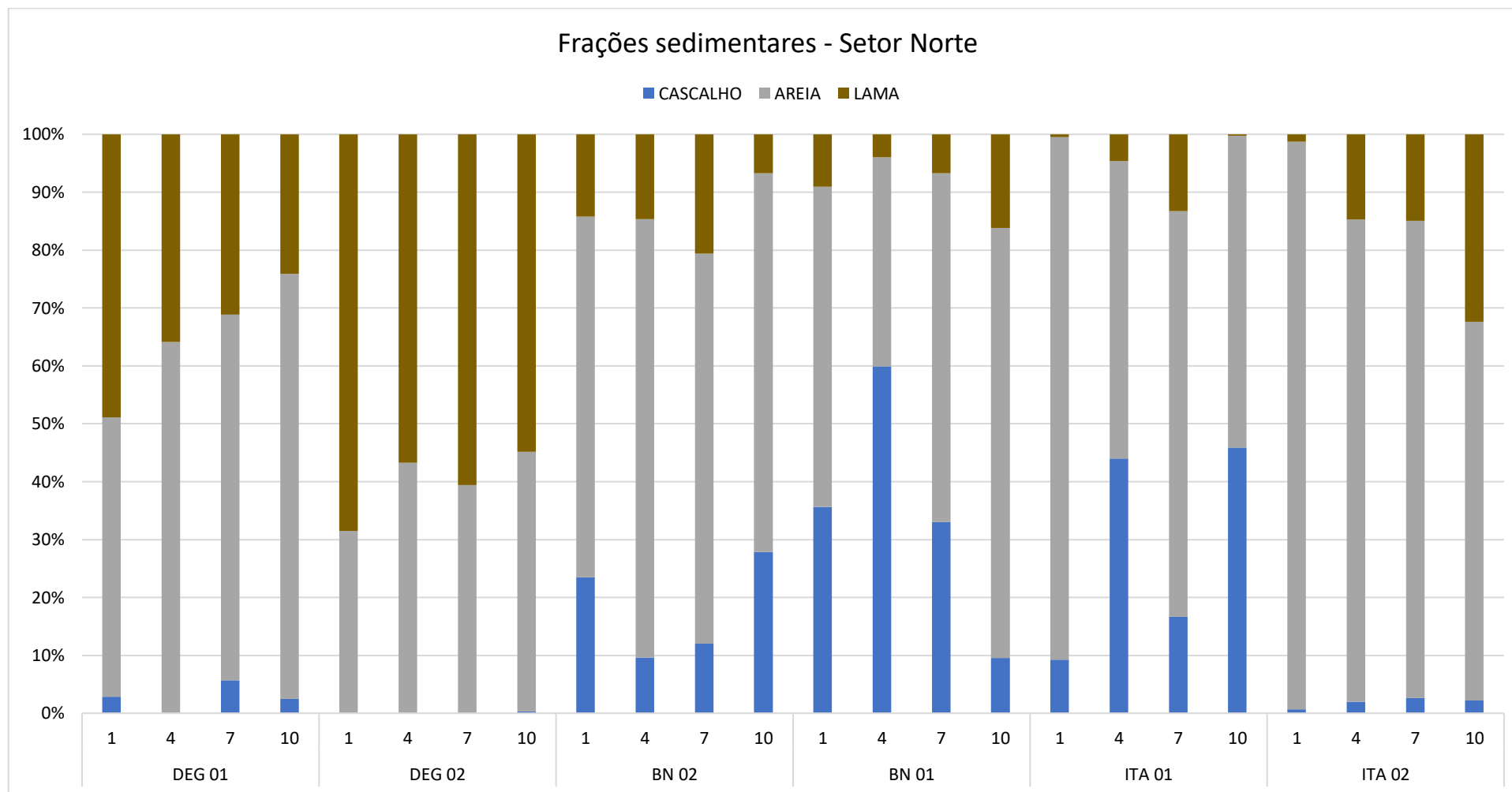
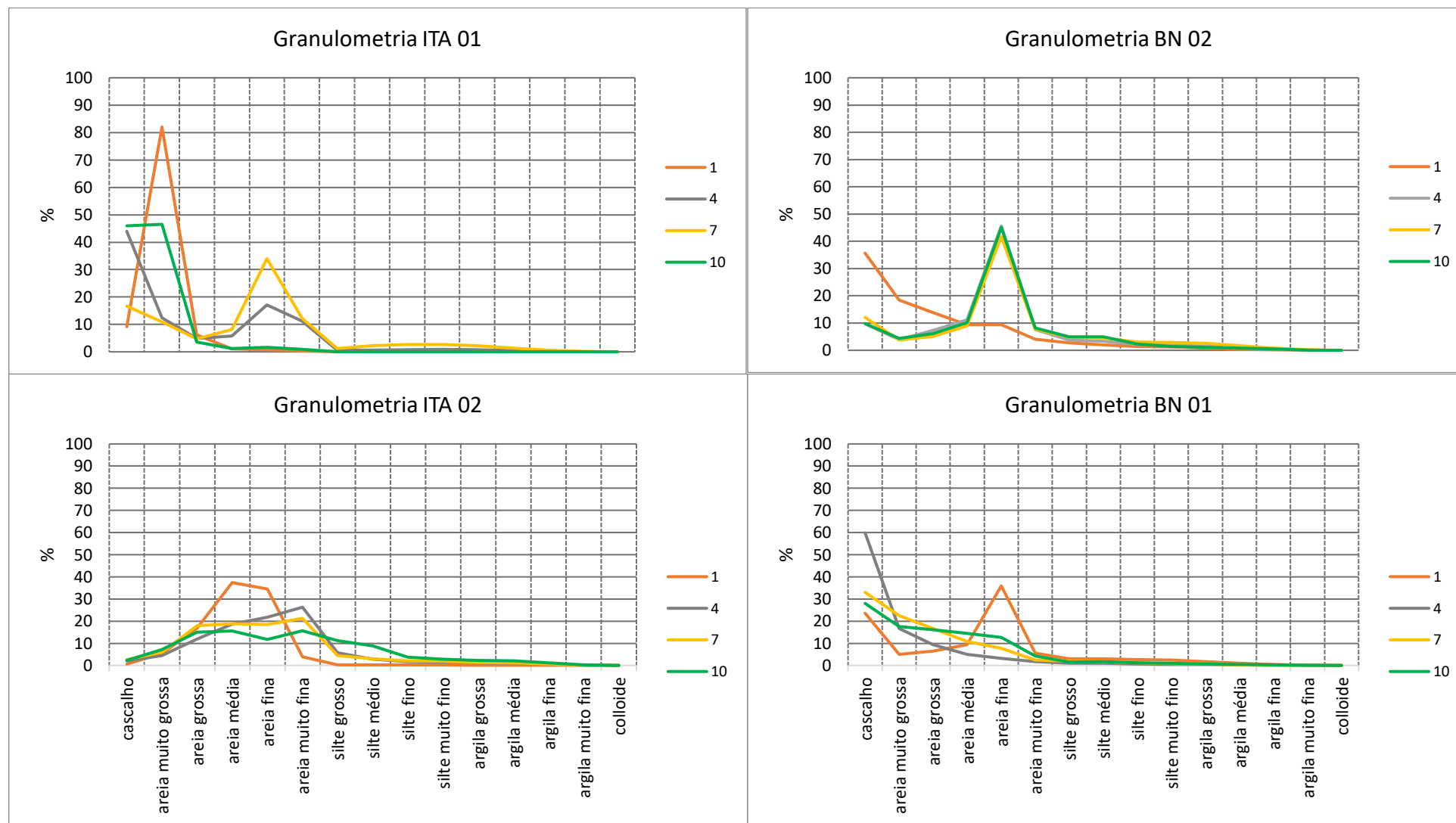
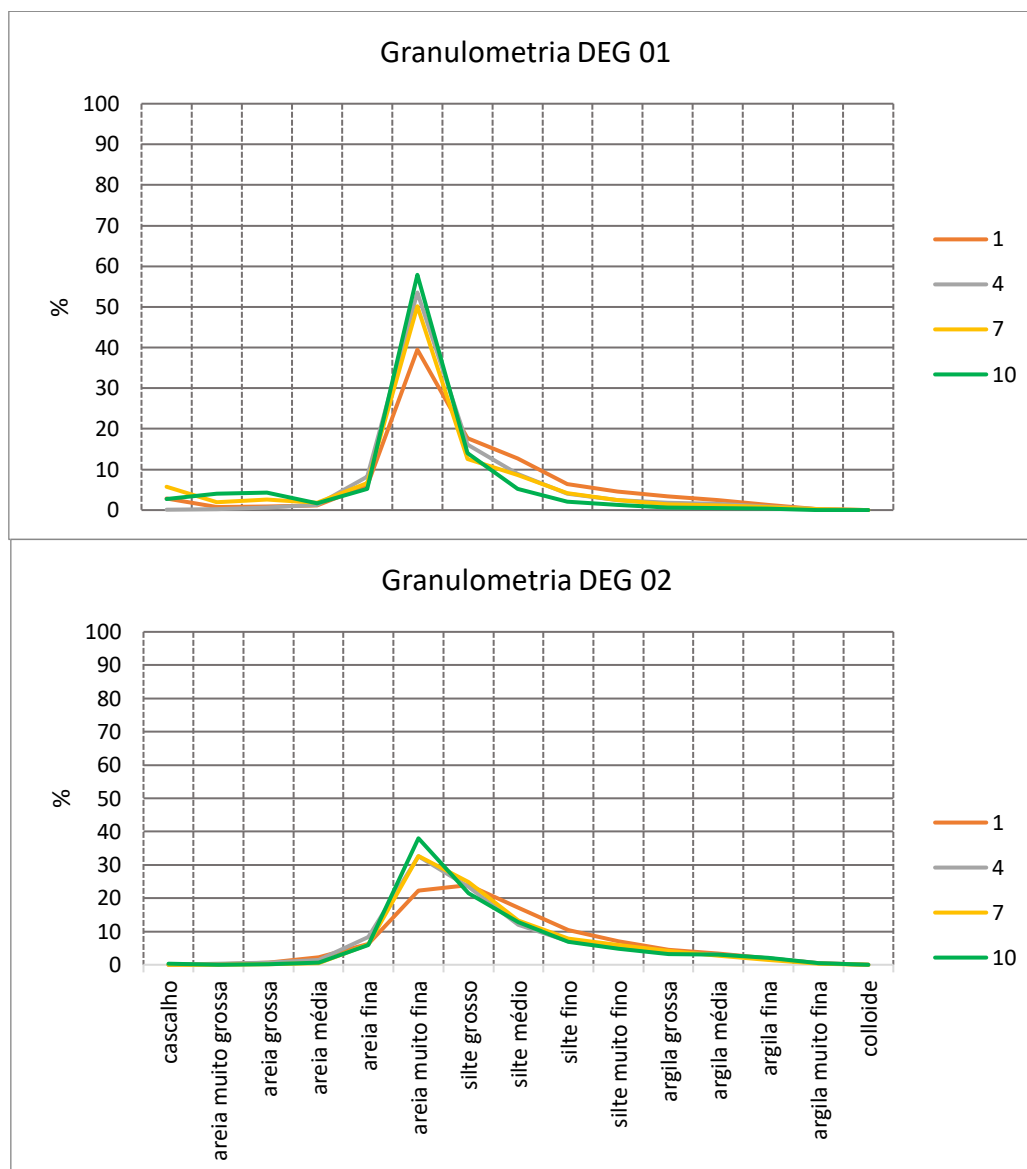


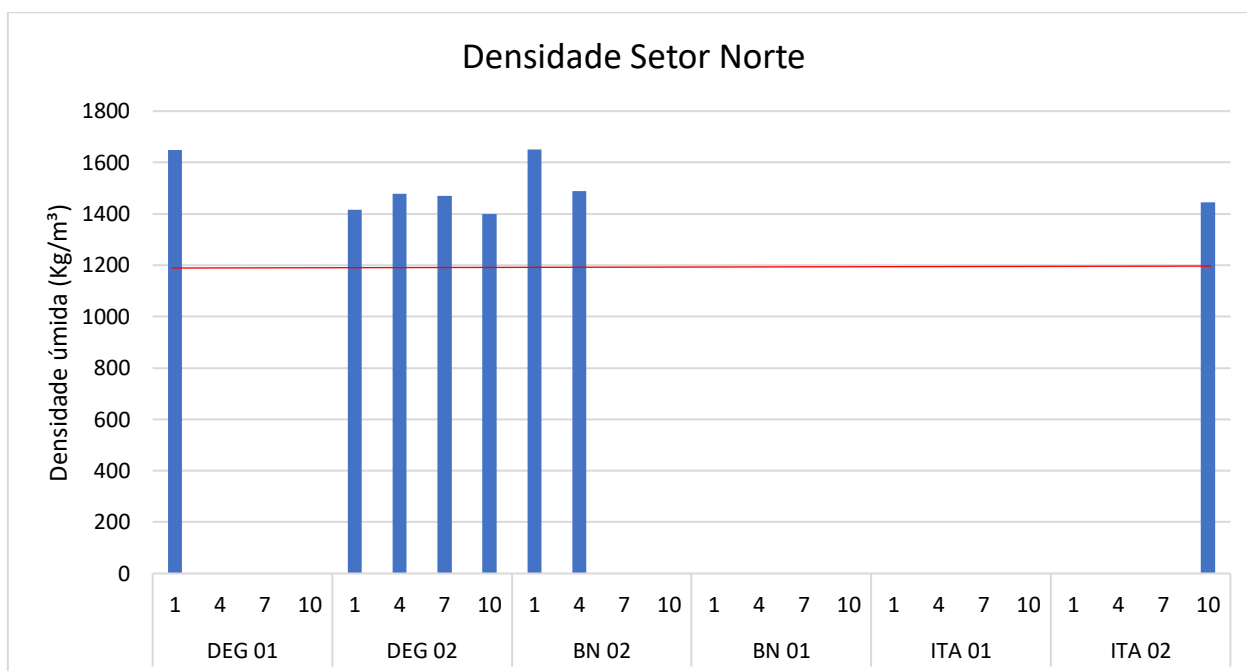
Figura 80: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Norte.





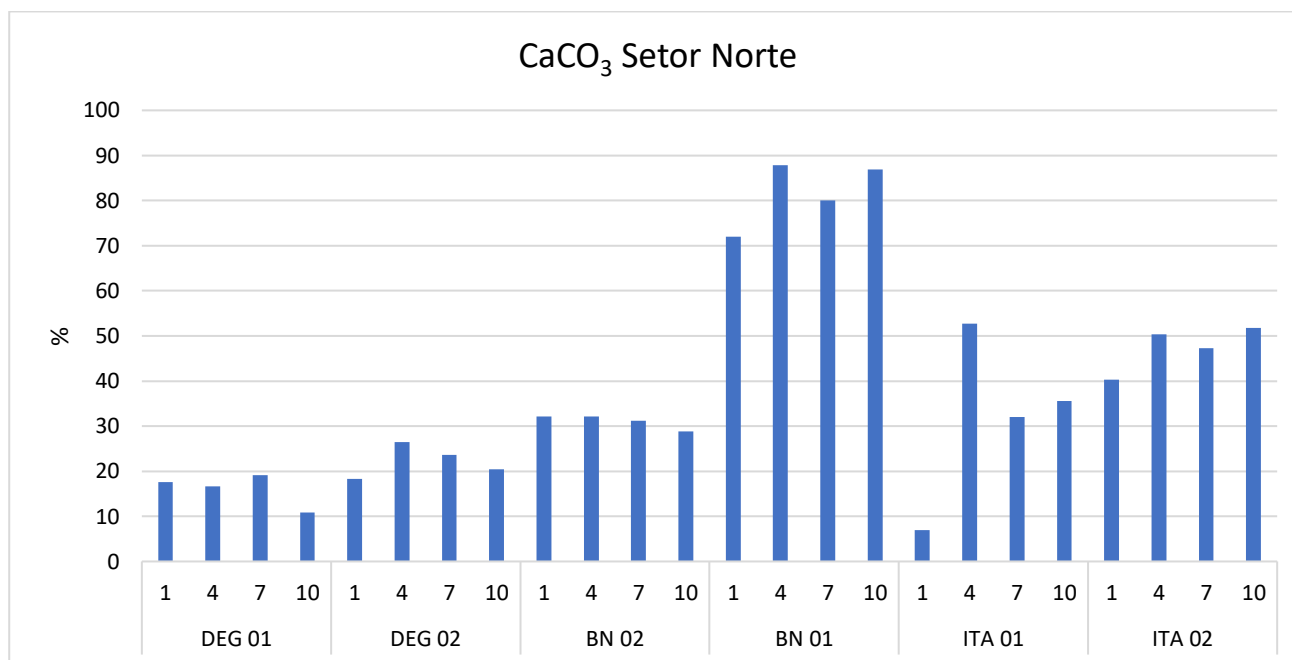
As estações de Degredo apresentaram maiores frequências de areia muito fina (classificada como bem selecionada) em DEG 01 e de areia muito fina (mal selecionada) em DEG 02. Para essas estações, uma suave tendência de aumento do da classe areia muito fina foi observada. A única estação em que houve análise de densidade nas Campanhas 1, 4, 7 e 10 foi DEG 02 ($1456 \pm 33 \text{ Kg/m}^3$). Para a estação BN 02, dados de densidade foram passíveis de determinação apenas nas Campanhas 1 e 4 ($1570 \pm 116 \text{ Kg/m}^3$). Para DEG 01 e ITA 02 a densidade só pôde ser analisada em uma Campanha, sendo na 1 para DEG 01 e na 10 para ITA 02 (1648 e 1445 Kg/m^3 , respectivamente). Isso indica que no Setor Norte, a estação DEG 02 foi a que apresentou maior ocorrência de sedimento fino (Figura 81).

Figura 81: Valores de densidade (kg/m^3) superficial do Setor Norte. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.



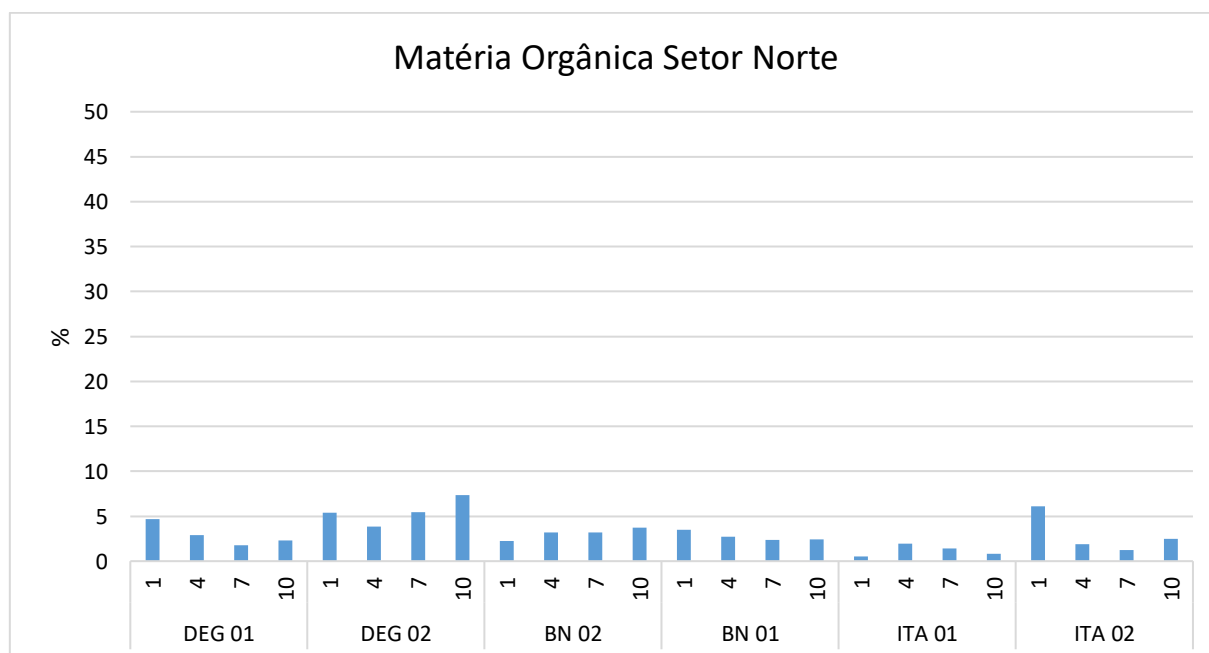
Menores teores de CaCO_3 foram observados nas estações de Degredo (16 ± 4 e $22 \pm 4\%$ para DEG 01 e DEG 02, respectivamente) e o maior, na estação mais profunda de Barra Nova ($\text{BN 01} = 82 \pm 7\%$), a qual apresentou teores típicos de um sedimento carbonático (Figura 82). Já as outras estações apresentaram contribuição mista entre sedimento siliciclástico e carbonático, com teores de 31 ± 2 , 32 ± 19 e de $47 \pm 5\%$ de CaCO_3 para as estações BN 02, ITA 01 e ITA 02, respectivamente.

Figura 82: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Norte.



Os teores de MO para o Setor Norte se mantiveram abaixo ou próximos de 5% durante as campanhas amostradas (máximo em DEG 02, Campanha 10 = 7%; Figura 83).

Figura 83: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor Norte.



Dados mineralógicos identificaram valores totais de fases minerais com ferro com percentuais acima de 5%, com um máximo de 30% na estação DEG 01 na Campanha 7. Na região de Barra Nova, os valores registrados foram de 11% a 21% (Apêndice 12).

2.2.3.3 Setor Foz Norte

O Setor Foz Norte apresentou o sedimento mais lamoso dentre os Setores da Foz do Rio Doce, onde teores de lama (Figura 84) foram maiores para a estação mais rasa ($82 \pm 10\%$) e menores para a profundidade de 20 m ($34 \pm 27\%$). A estação mais profunda apresentou uma média $69 \pm 6\%$ de lama. O sedimento lamoso da estação SDN 20 apresentou valores de densidade em sua maioria acima de 1400 Kg/m^3 (exceto Campanhas 3, 7 e 12; média nas 12 campanhas de $1495 \pm 150 \text{ Kg/m}^3$; Figura 85). Já as estações SDN 13 e SDN 30 apresentaram indicativo de lama fluida mais frequente (1294 ± 87 e $1288 \pm 56 \text{ Kg/m}^3$, respectivamente; Figura 85), o que indicou um aporte lamoso mais frequente ou maior frequência de ressuspensão para essas estações.

Figura 84: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Foz Norte.

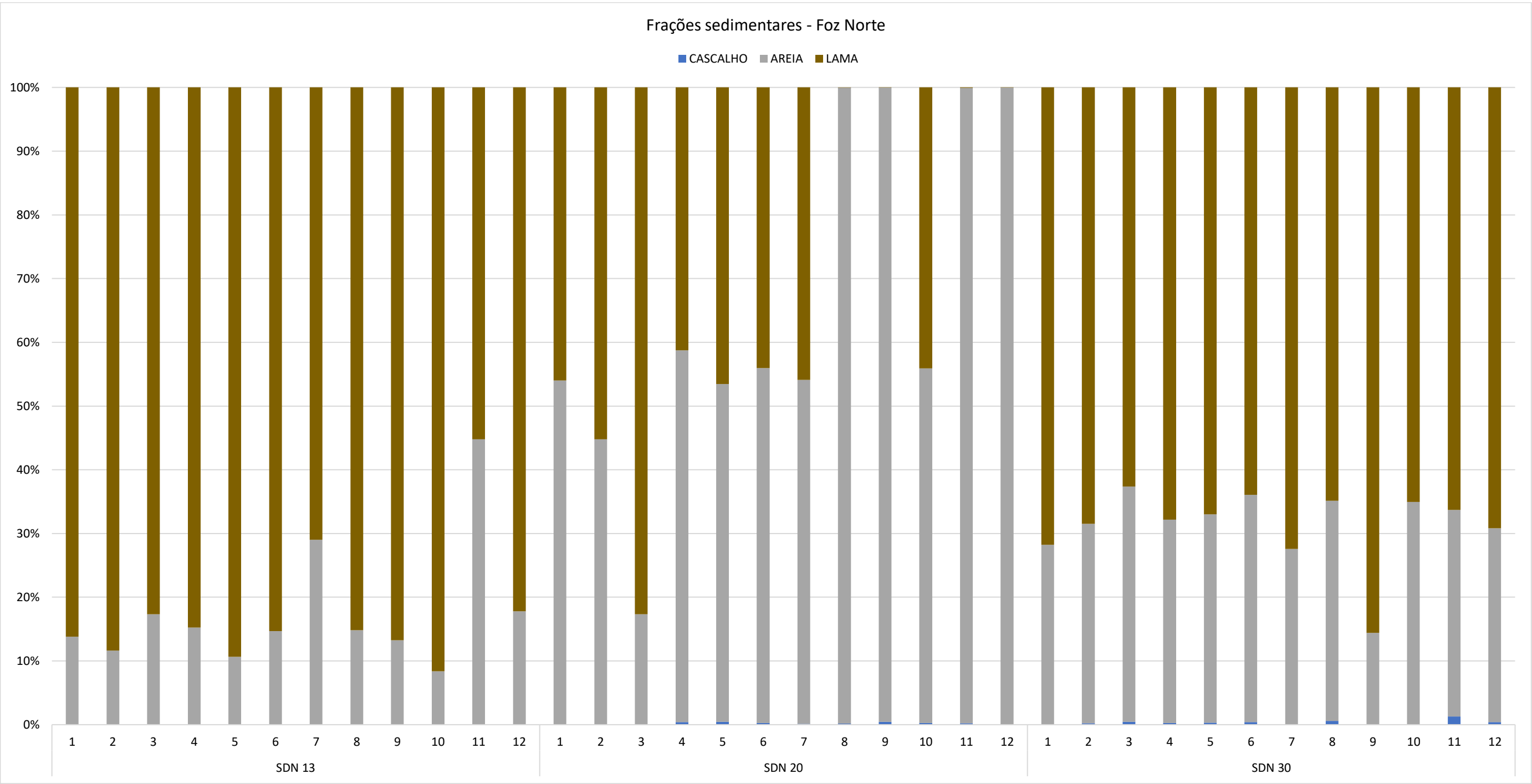
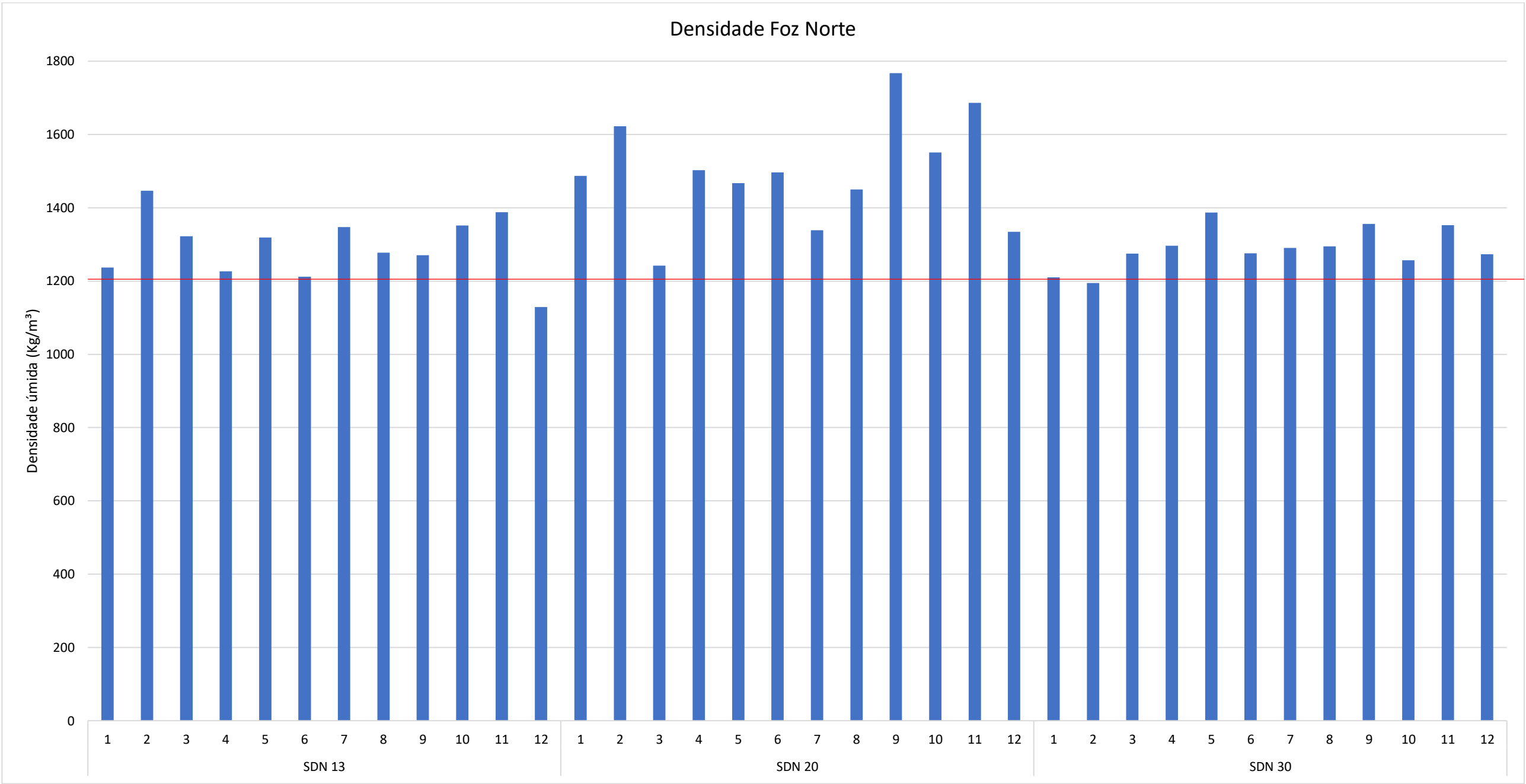


Figura 85: Valores de densidade (kg/m³) superficial do Setor Foz Norte. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.



O setor manteve uma distribuição granulométrica característica ao longo das campanhas (Figura 86): assimetria positiva com maiores abundâncias nas classes silte grosso (SDN 13), assimetria negativa com moda em areia muito fina (SDN 20), e assimetria positiva de areia muito fina a silte médio (SDN 30); as menores frequências foram distribuídas ao longo das classes mais finas. A maior variabilidade na distribuição granulométrica do Setor Foz Norte foi observada na estação SDN 20, onde a maior moda (areia muito fina; exceto na Campanha 11: maior moda = silte grosso) variou sua frequência de acordo com o aumento ou redução das classes mais finas ($66 \pm 27\%$ de areia; Figura 86 e Figura 84) e uma tendência de engrossamento do sedimento foi observada (Figura 87). Já as estações SDN 13 e SDN 30 mantiveram um D50 entre 20 e 40 μm , sendo o menor selecionamento para este setor encontrado na estação SDN 30.

Figura 86: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Foz Norte.

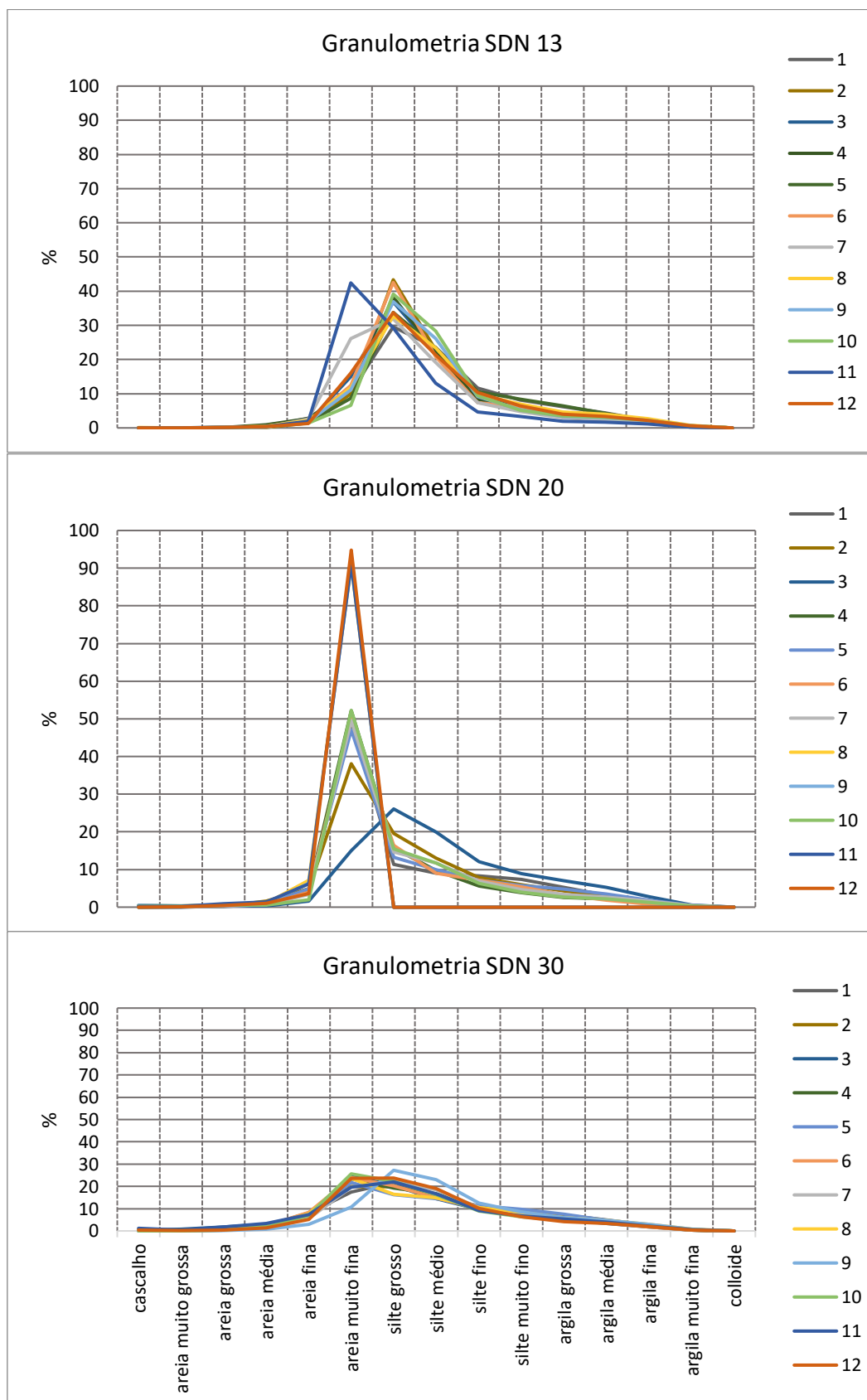
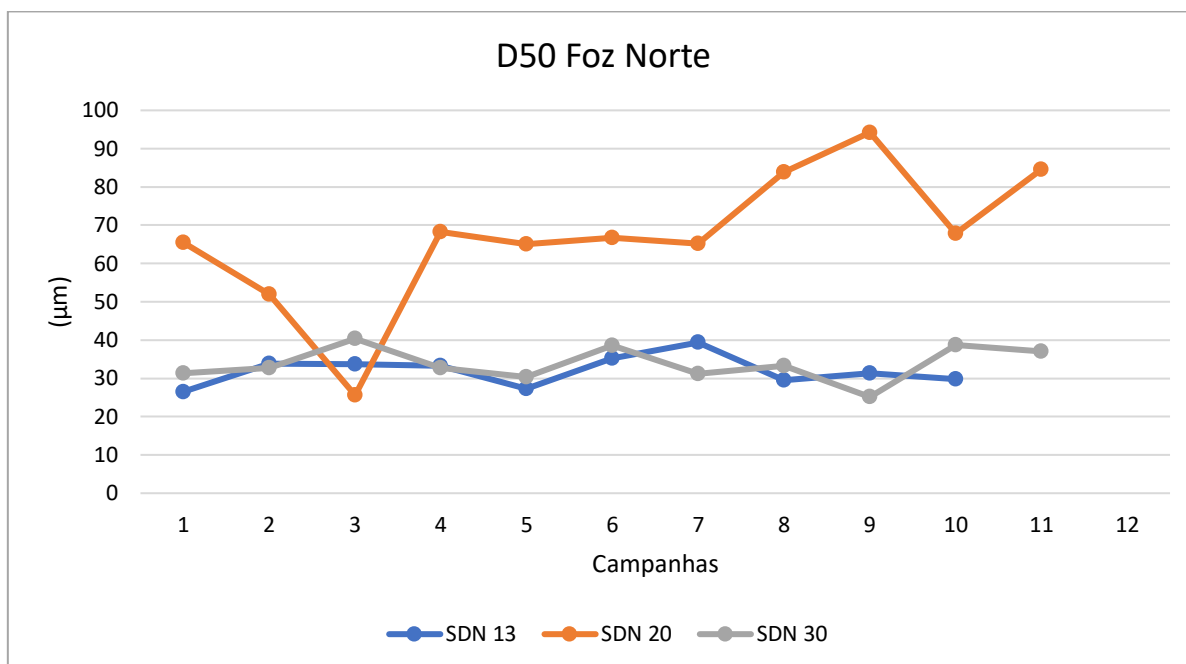


Figura 87: Diâmetro médio (D50) do sedimento superficial do Setor Foz Norte.



Teores de CaCO_3 se mantiveram próximos de 20% para as estações SDN 13 e SDN 30 (20 ± 2 e $19 \pm 3\%$, respectivamente), enquanto que a estação SDN 20 apresentou menores teores ($12 \pm 4\%$) ao longo do monitoramento (Figura 88). Teores de MO foram 6 ± 3 , 4 ± 2 , $7 \pm 2\%$ para as estações SDN 13, SDN 20 e SDN 30, respectivamente (Figura 89), onde os maiores valores foram encontrados na Campanha 1 para as três estações.

Figura 88: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Foz Norte.

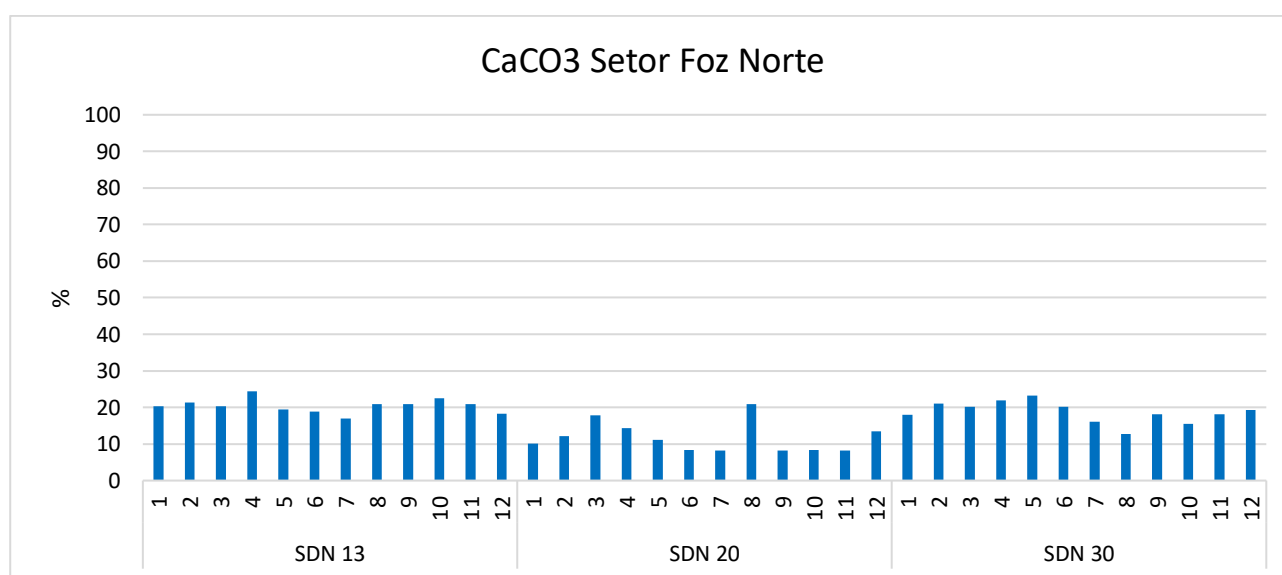
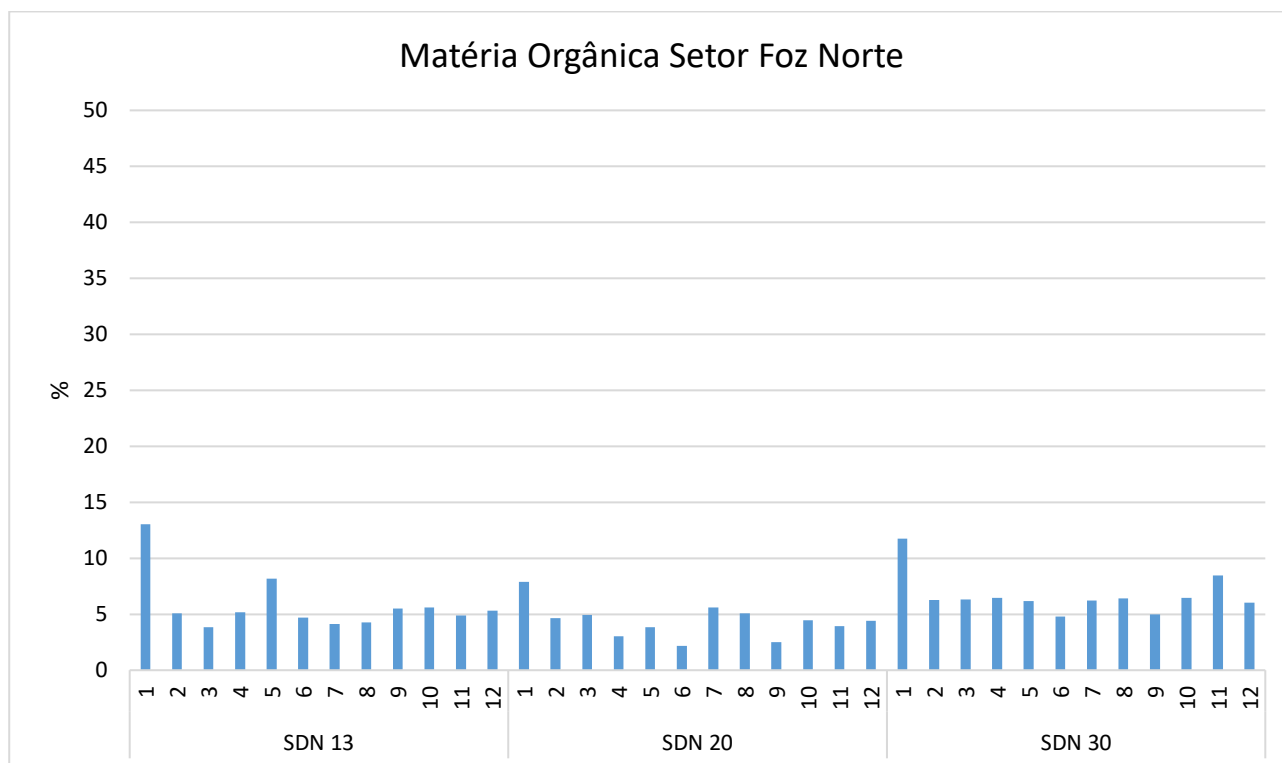


Figura 89: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor Foz Norte.



2.2.3.4 Setor Foz Central

O Setor Foz Central apresentou um domínio areno-lamoso do sedimento superficial até a profundidade de 30 m, (Figura 90 e Figura 91), onde os maiores teores de lama se concentraram na estação SD 02 ($85 \pm 5\%$). Nas estações SD 04 e SD 05 o sedimento superficial apresentou maior domínio arenoso e areno-cascalhoso, respectivamente. A estação SD 03 foi a que apresentou a maior variabilidade quanto ao teor de lama $26 \pm 32\%$, seguida pela estação SD 04 ($7 \pm 20\%$). Esta alternância entre domínios areno-lamoso e lamo-arenoso na estação SD 03 pode ser verificada em sua distribuição granulométrica: ora unimodal de assimetria negativa com moda variando de areia grossa a areia fina com maiores valores de densidade e D50, ora bimodal com uma moda variando de areia média a areia fina e outra mais distribuída ao longo dos finos com menores valores de densidade e D50 (Figura 90, Figura 91, Figura 92 e Figura 93).

Figura 90: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Foz Central.

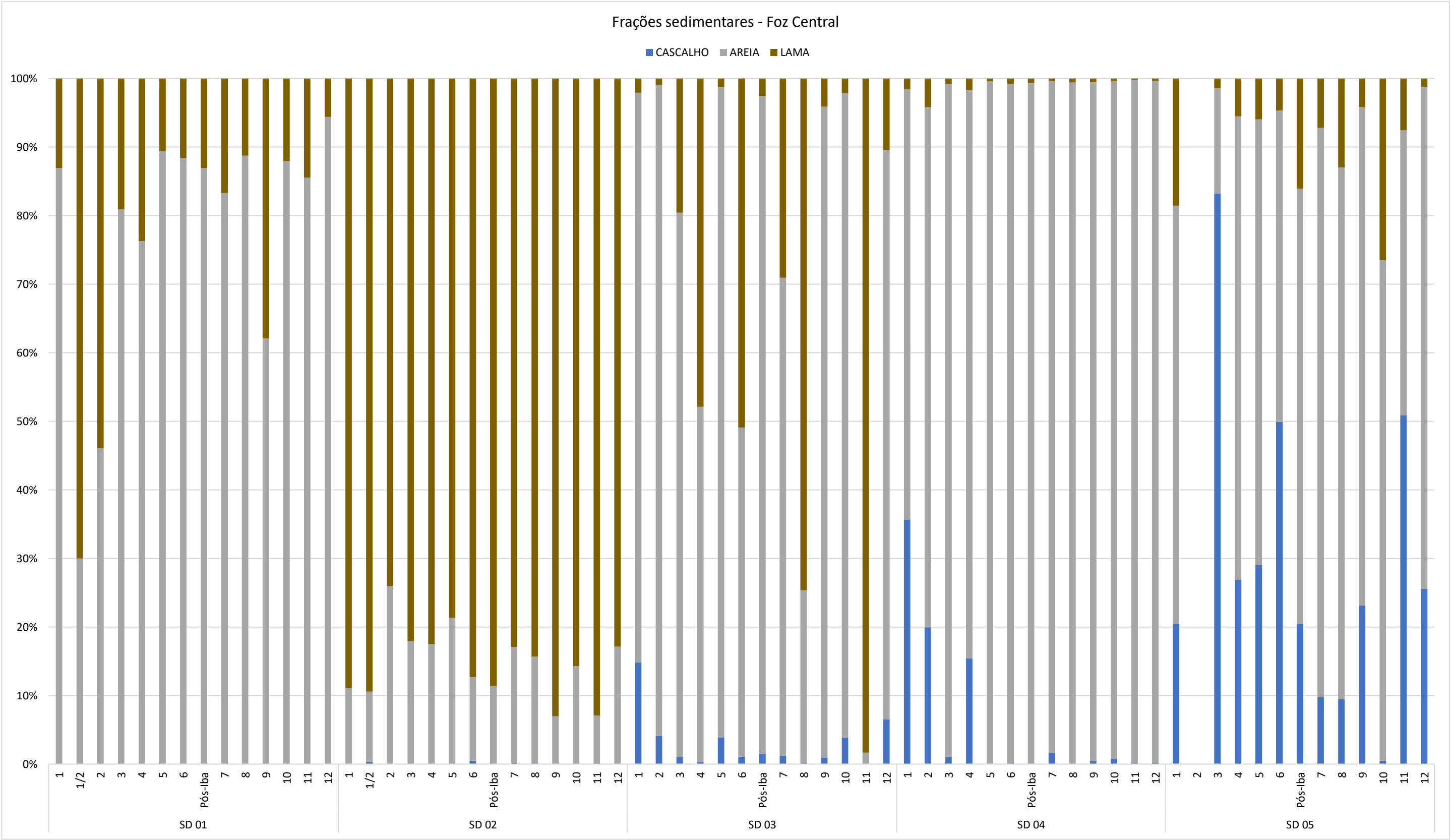
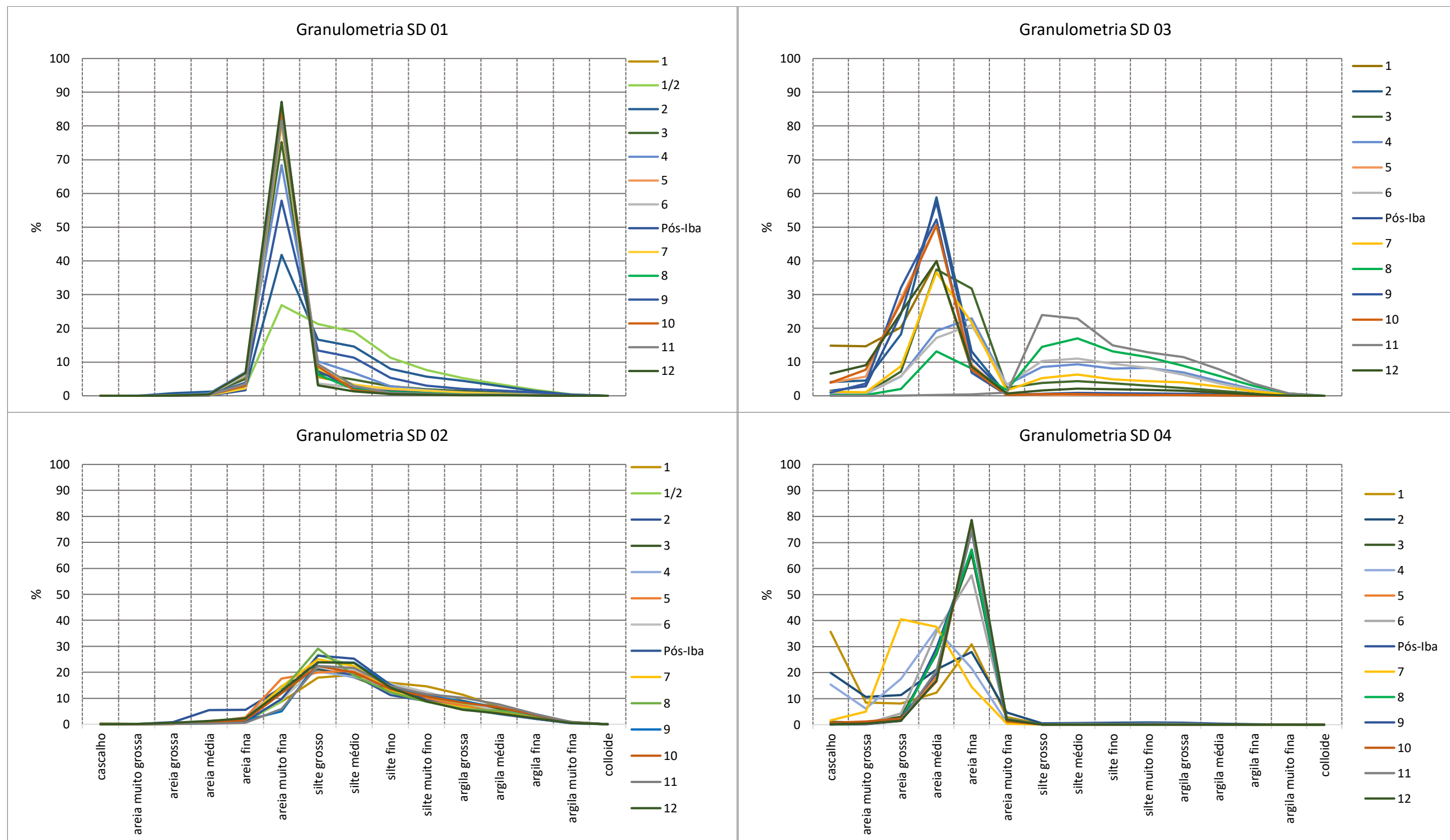


Figura 91: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Foz Central.



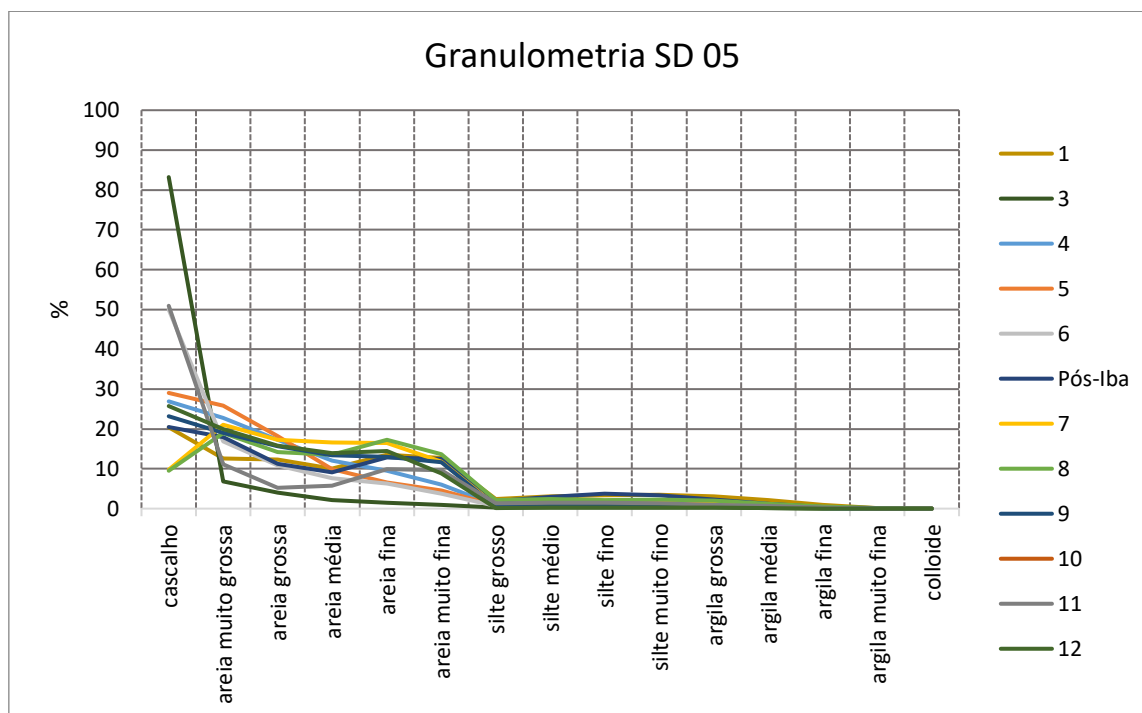
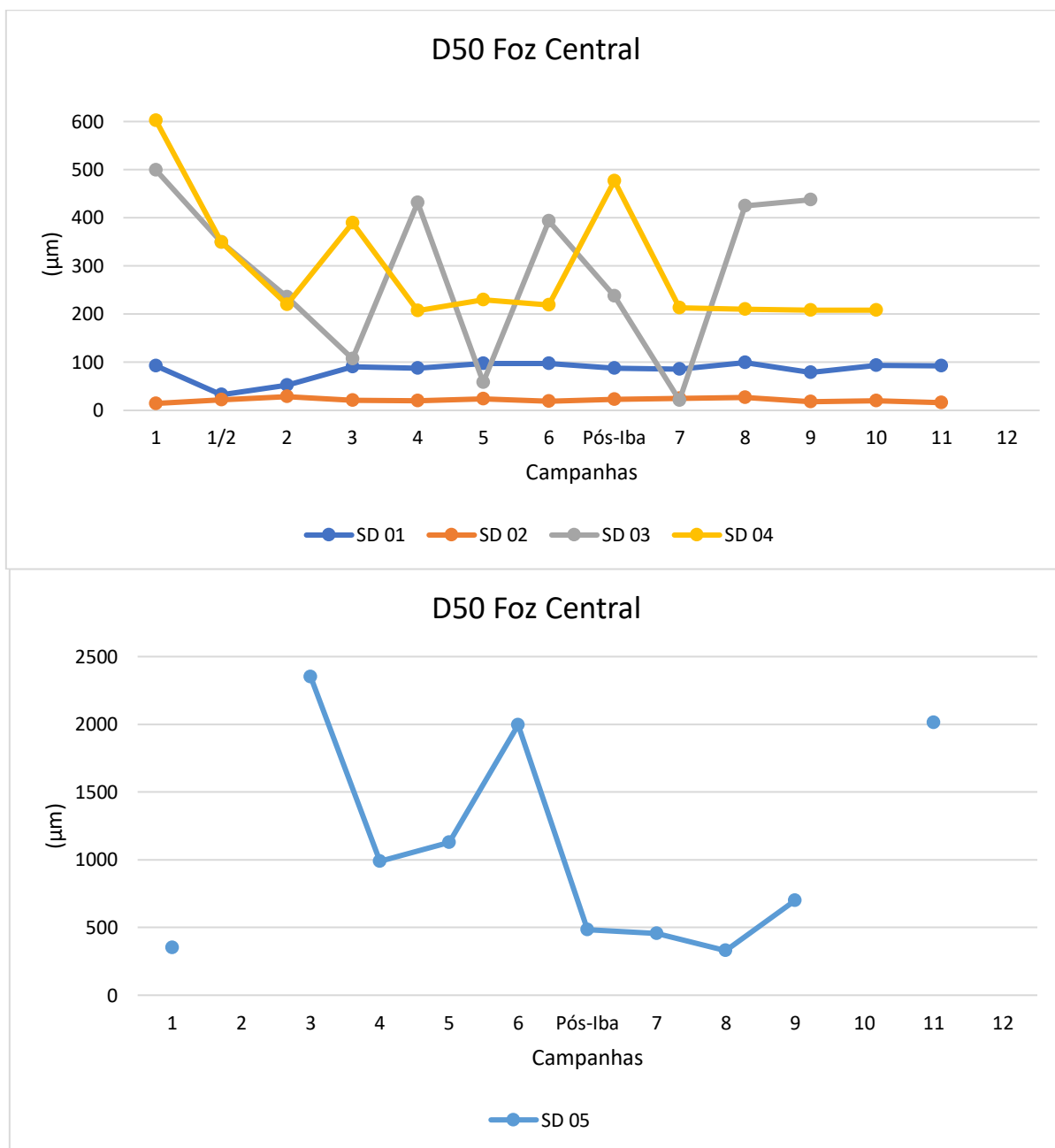


Figura 92: Diâmetro médio (D50) do sedimento superficial do Setor Foz Central.



A estação SD 01 apresentou uma tendência de aumento do selecionamento para areia muito fina da Campanha 1 a 5 (Figura 91). Após, o sedimento superficial se manteve com as mesmas características, exceto na Campanha 11, quando novamente ocorreu uma redução no selecionamento decorrente do aumento da contribuição de finos. Apesar disso, os valores de densidade apresentaram uma tendência de redução até a Campanha 3 (de 1498 para 1084 Kg/m³). O D50 para essa estação se manteve entre 78 e 100 µm, exceto nas Campanhas 1/2 e 2, quando foram 32,41 e 52,12 µm, respectivamente. É importante salientar que durante a Campanha 1, um evento hidrológico na Bacia do Rio Doce ocorreu no início de Novembro de 2018 (Pico de vazão no dia 13/11/2018: 1484 m³/s).

A fim de avaliar o efeito que este aumento de exportação de material (evento hidrológico e consequente maior aporte fluvial) teria na deposição sedimentar da plataforma continental adjacente à foz do Rio Doce, uma nova amostragem foi realizada no dia 14/11/2018 para comparação com os dados adquiridos da amostragem realizada no dia 06/11/2018, período prévio ao evento. As estações amostradas foram SD 01 e SD 02 (indicadas como Campanha 1/2), onde foi possível observar dois tipos de águas bem delimitadas no dia 14/11/2018: uma alaranjada e outra mais transparente e típica de águas de plataforma continental. Comparando os resultados adquiridos para os dias 06/11 e 14/11 (Figura 90, Figura 91 e Figura 93) pode se observar que o aumento da vazão do Rio Doce influenciou diretamente na característica sedimentar de fundo da estação SD 01, onde ocorreu um aumento de 57% de lama com característica mais fluida (densidade reduziu de 1498 kg/m³ para 1260 kg/m³) e mudança de uma curva granulométrica assimétrica negativa e bem selecionada na classe areia muito fina para uma curva assimétrica negativa mal selecionada com grande incremento das classes mais finas (principalmente silte médio), isto é, um afinamento do sedimento. Ainda, os teores de CaCO₃ (Figura 94) bem como de MO (Figura 95) do sedimento superficial tiveram um suave aumento (3 e 4% de incremento, respectivamente). Já para a estação SD 02 ocorreu apenas um suave afinamento do sedimento decorrente do aumento da frequência das classes silte muito fino a argila média em detrimento do silte grosso e silte médio.

Diferente da estação mais rasa, a estação SD 02 apresentou um sedimento superficial mal selecionado com uma distribuição assimétrica positiva para areia média a argila muito fina (Figura 91) com a moda mais frequente nas classes siltosas e um D50 entre 10 e 30 µm (Figura 92). A característica lamosa do sedimento da estação SD 02 apresentou frequentemente um indicativo de lama fluida ao longo do monitoramento (1255 ± 84 Kg/m³), sendo as Campanhas em que apresentou maiores valores de densidade a 6 e a 10 (1382 e 1379 Kg/m³; Figura 93). As estações SD 04 e SD 05 apresentaram a sedimentação mais grossa do Setor Foz Central (93 ± 12% e 62 ± 19% de areia; Figura 90), onde maiores contribuições da fração cascalho foram observadas na estação mais profunda (29 ± 23%; D50 = 1079,65 ± 768,78 µm) enquanto que na SD 04, a distribuição granulométrica variou entre as classes grossas mas com predomínio de areia fina (D50 = 294,43 ± 131,94 µm; Figura 91).

Figura 94: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Foz Central.

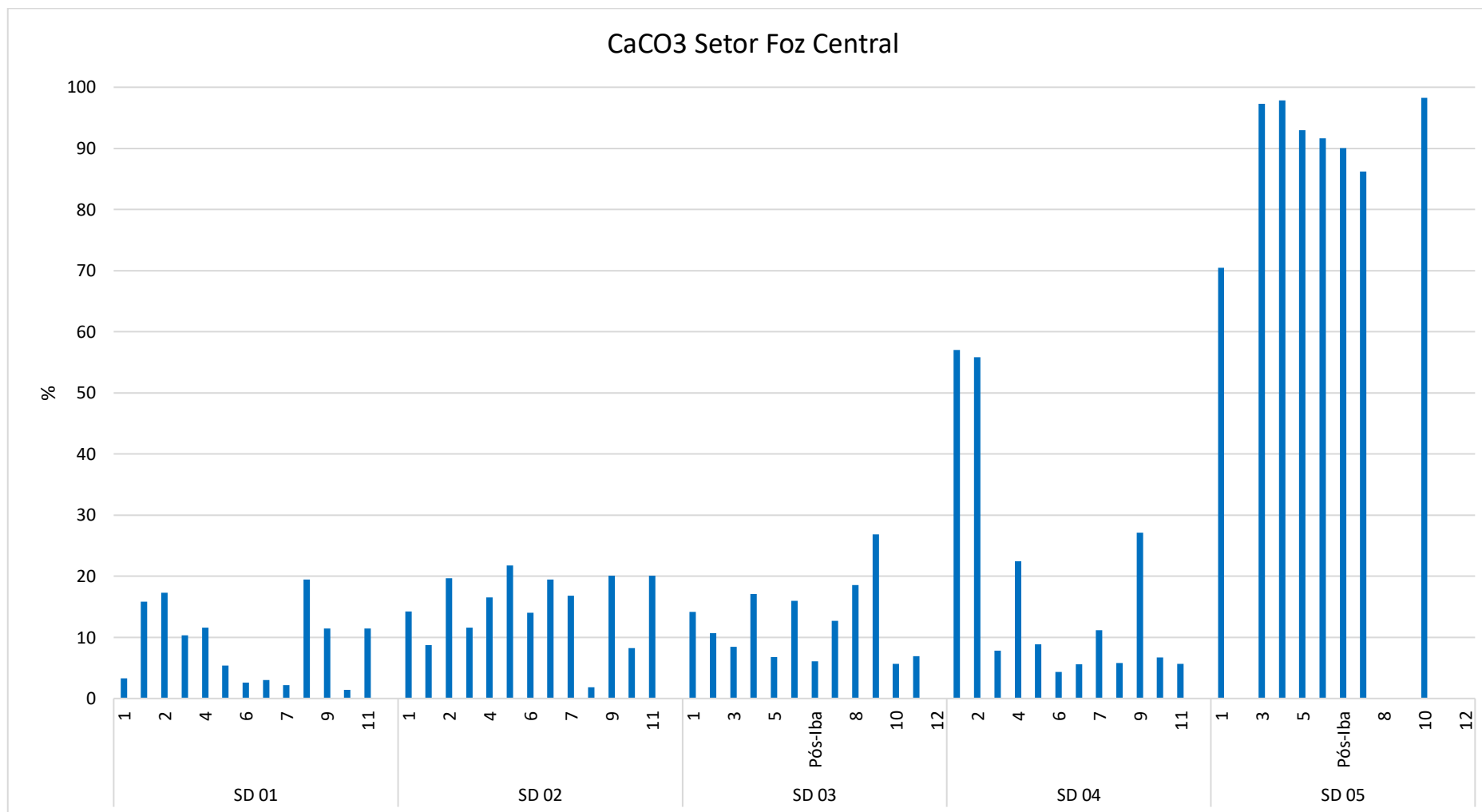
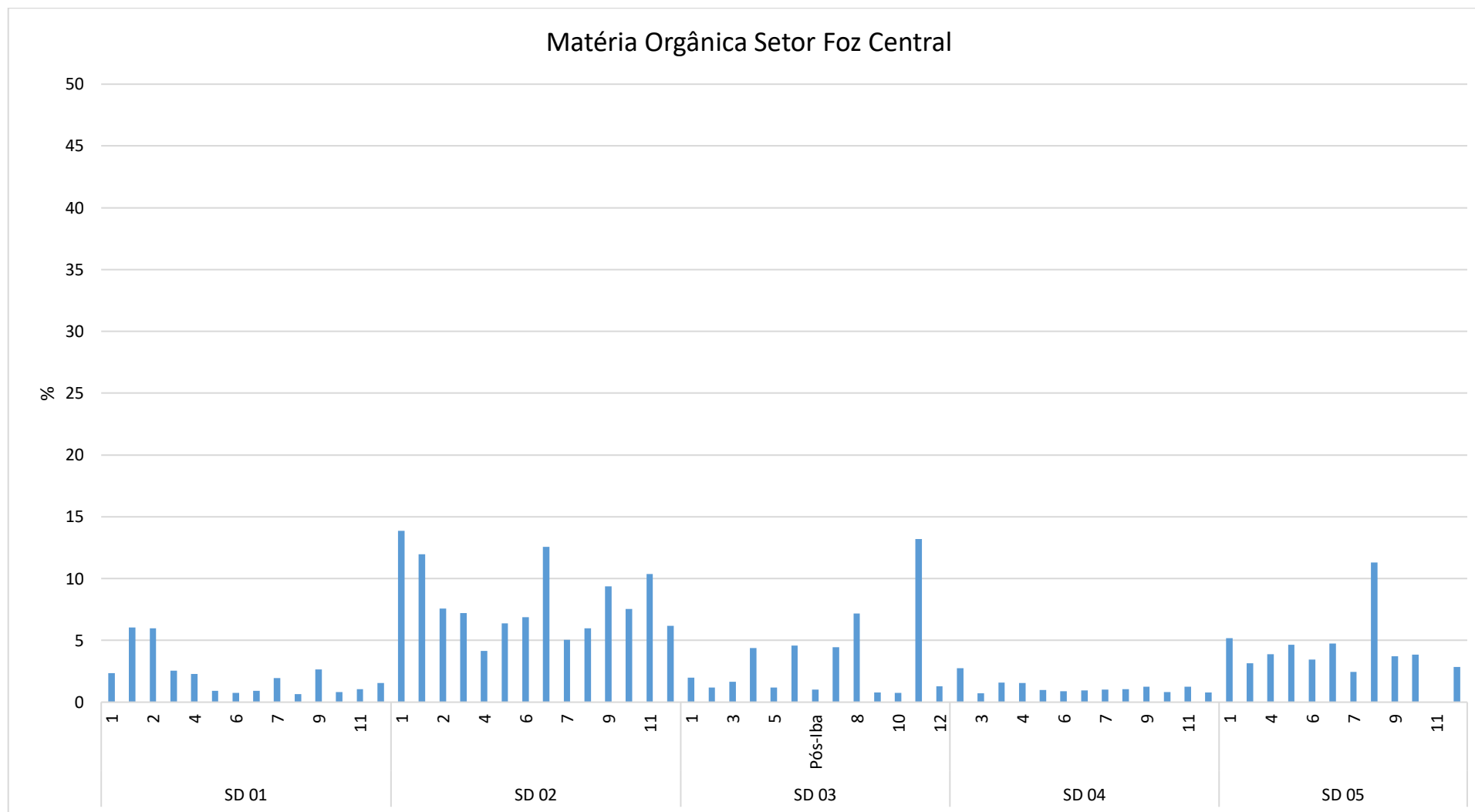


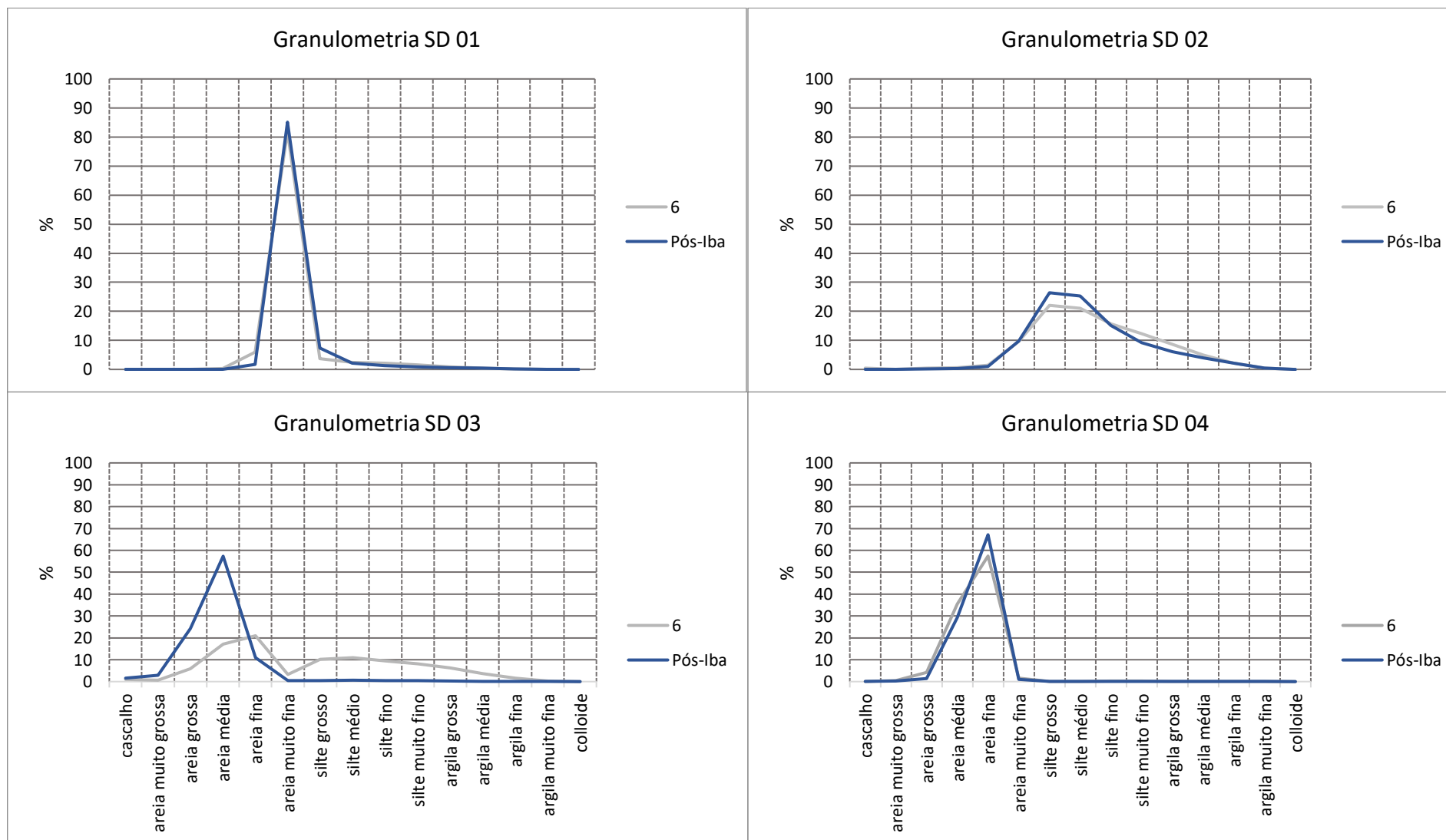
Figura 95: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor Foz Central.

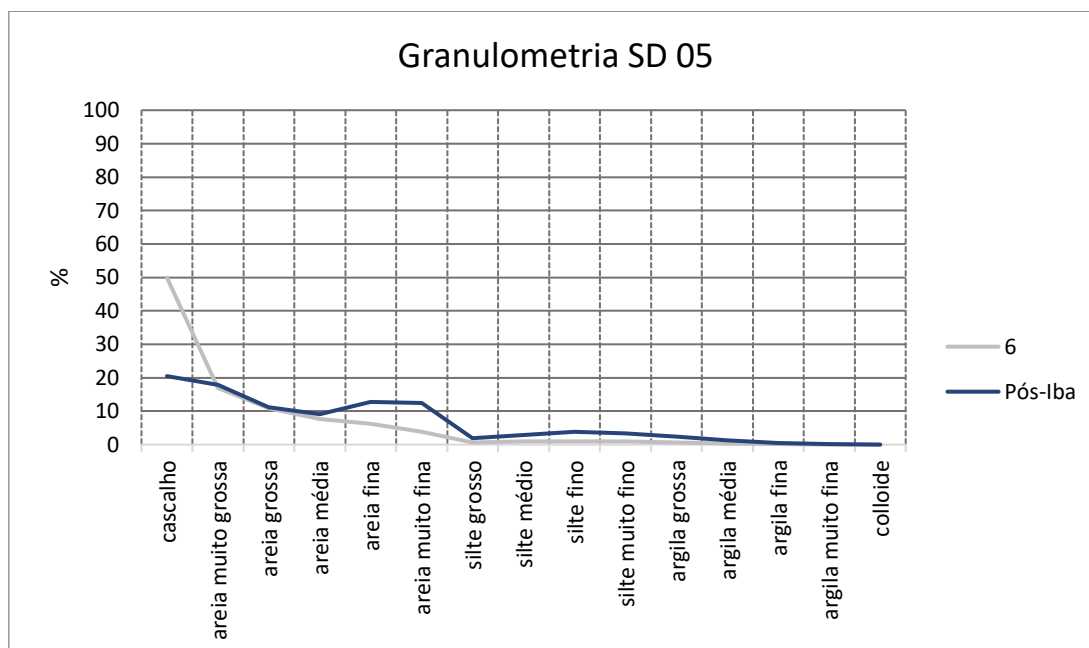


Dados de densidade superficial nas estações SD 04 e SD 05 não foram apresentados ao longo do monitoramento devido à característica mais grossa do sedimento. Maiores teores de CaCO_3 bem como a maior variabilidade deste teor foram encontrados na estação SD 05 seguida pela estação SD 04 (68 ± 42 e $17 \pm 19\%$, respectivamente; Figura 94). As outras estações apresentaram teores de CaCO_3 próximo ou abaixo de 15% (SD 01 = $9 \pm 6\%$; SD 02 = $15 \pm 6\%$; SD 03 = $13 \pm 6\%$). Os teores de MO para o Setor Foz Central apresentaram médias de 10 ± 2 , 8 ± 3 , 3 ± 4 , 1 ± 1 e $4 \pm 3\%$ para as estações SD 01, SD 02, SD 03, SD 04 e SD 05, respectivamente (Figura 95).

As análises realizadas após a passagem da tempestade tropical Iba indicaram que a atuação do ciclone foi mais evidente na estação SD 03, a qual apresentou um incremento de 48% no teor de areia do sedimento superficial (Figura 90) bem como um aumento do selecionamento para a classe de areia média onde antes a granulometria era bimodal e mais fina (Figura 96). Uma alteração menos significativa foi identificada na estação SD 05, a qual apresentou um incremento de 18% no teor de areia (fina e muito fina) em detrimento do teor de cascalho (Figura 96).

Figura 96: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Foz Central após a passagem da tempestade tropical Iba.





2.2.3.5 Setor Foz Sul

O Setor Foz Sul apresentou um domínio arenoso nas estações SDS 13 e SDS 30 ($79 \pm 33\%$ e $62 \pm 21\%$, respectivamente; Figura 97), com a maior frequência nas classes areia grossa e areia média em SDS 13 (D50 entre 10 e 560 μm) e areia fina em SDS 30 (D50 entre 8 e 900 μm ; Figura 98 e Figura 99). No entanto a profundidade mais rasa apresentou uma alternância entre populações finas e população grossas, enquanto a mais profunda se apresentou bimodal com a menor moda na classe cascalho, exceto na Campanha 2 (platicúrtica e mais fina; Figura 98). Estas duas estações também apresentaram um afinamento do sedimento na Campanha 2, quando o teor de lama foi de 92% para as duas estações aliado a um incremento da contribuição de classes mais finas: assimetria positiva com maior moda no silte grosso em SDS 13 e distribuição platicúrtica de areia fina à argila muito fina em SDS 30 (Figura 97 e Figura 98).

Figura 97: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Foz Sul.

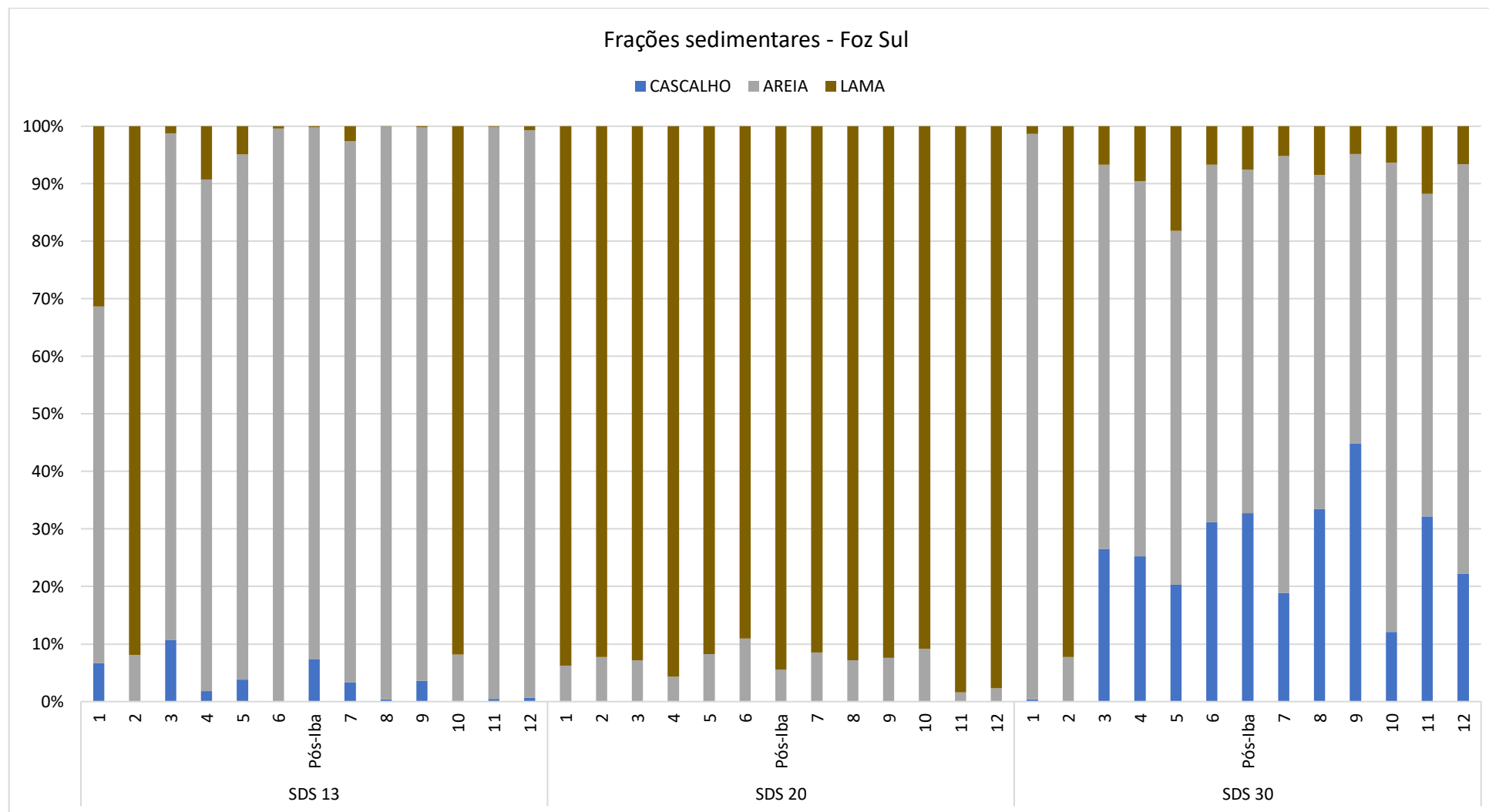


Figura 98: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Foz Sul.

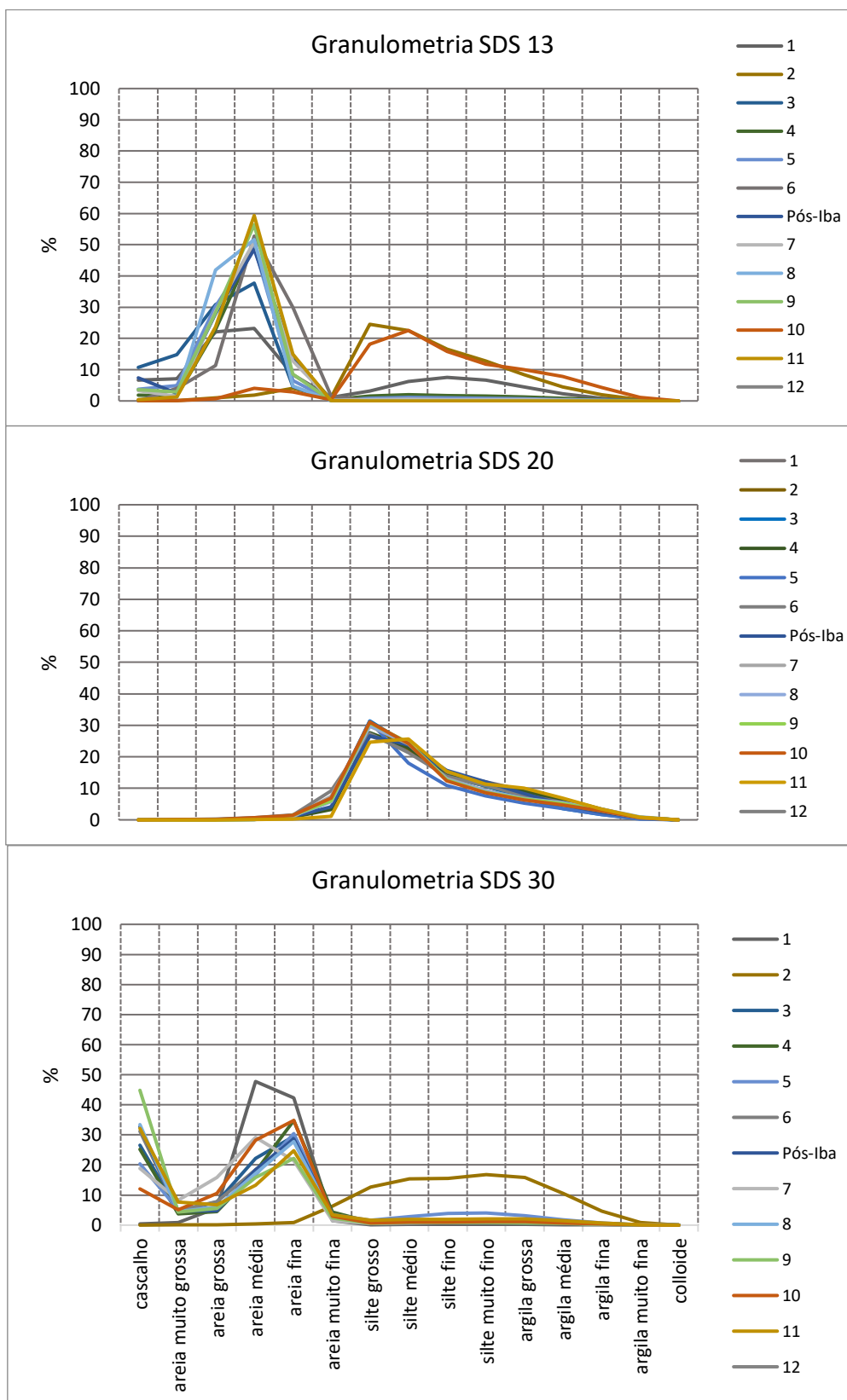
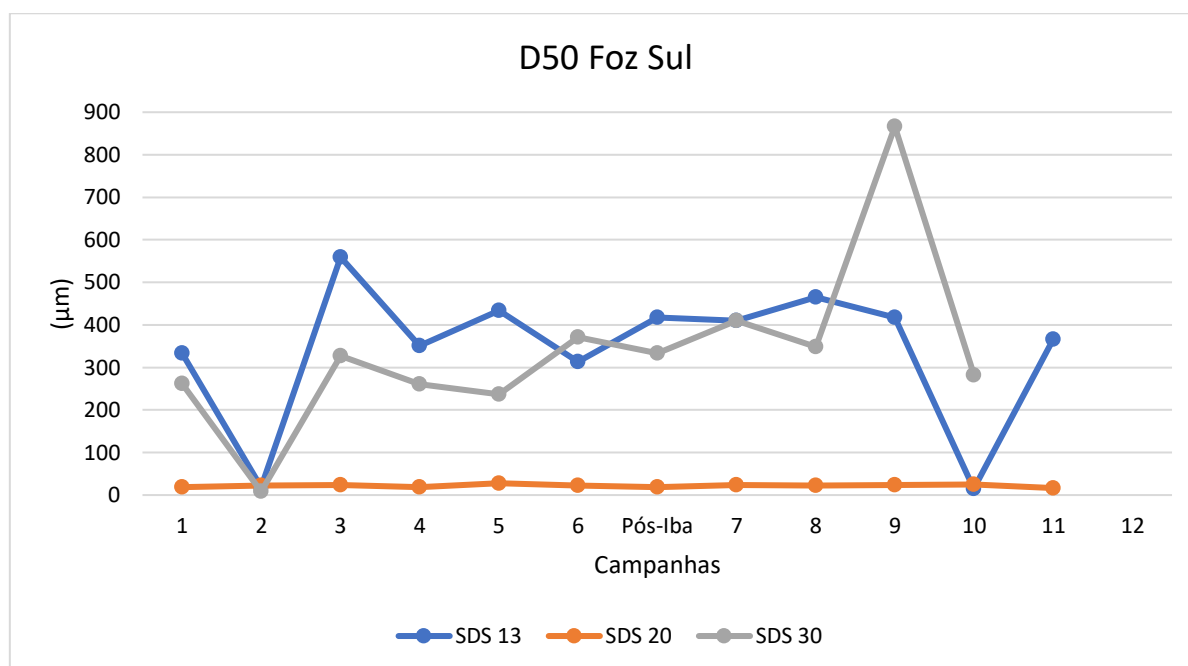


Figura 99: Diâmetro médio (D50) ao longo do monitoramento para o Setor Foz Sul.



Já a estação SDS 20 foi tipicamente lamosa ($93 \pm 3\%$) com distribuição granulométrica estável, mal selecionada, com moda no silte grosso e um D50 que variou de 15 a 30 μm (Figura 97, Figura 98 e Figura 99). Assim como para a estação próxima da profundidade de 20 m no Setor Foz Central, a única estação que houve medição de densidade superficial em todas as campanhas foi a SDS 20 ($1228 \pm 77 \text{ Kg/m}^3$), o que também confirmou maior deposição de lama nessa estação e/ou menor consolidação indicado pela frequência de ocorrência de lama fluida (Figura 100). Apesar de menos recorrente, os valores de densidade para a estação SDS 13 também apresentaram indicativos de lama fluida nas Campanhas 1, 2, 4 e 10 ($1167 \pm 82 \text{ Kg/m}^3$). Já a estação SDS 30 apresentou apenas um registro de densidade e com valor acima do ponto de lama fluida na Campanha 3 (1671 Kg/m^3).

Teores de MO para este setor foram maiores na estação SDS 20 ($8 \pm 3\%$). As estações SDS 13 e SDS 30 tiveram médias de 2 ± 2 e $3 \pm 1\%$ de MO, respectivamente (Figura 101). Teores de CaCO_3 foram maiores na estação SDS 30 ($27 \pm 11\%$) e menores na profundidade próxima de 10 m ($10 \pm 7\%$). A estação SDS 20 apresentou uma média de $20 \pm 5\%$ de CaCO_3 no sedimento superficial (Figura 102).

Figura 100: Valores de densidade (kg/m^3) superficial do Setor Foz Sul. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.

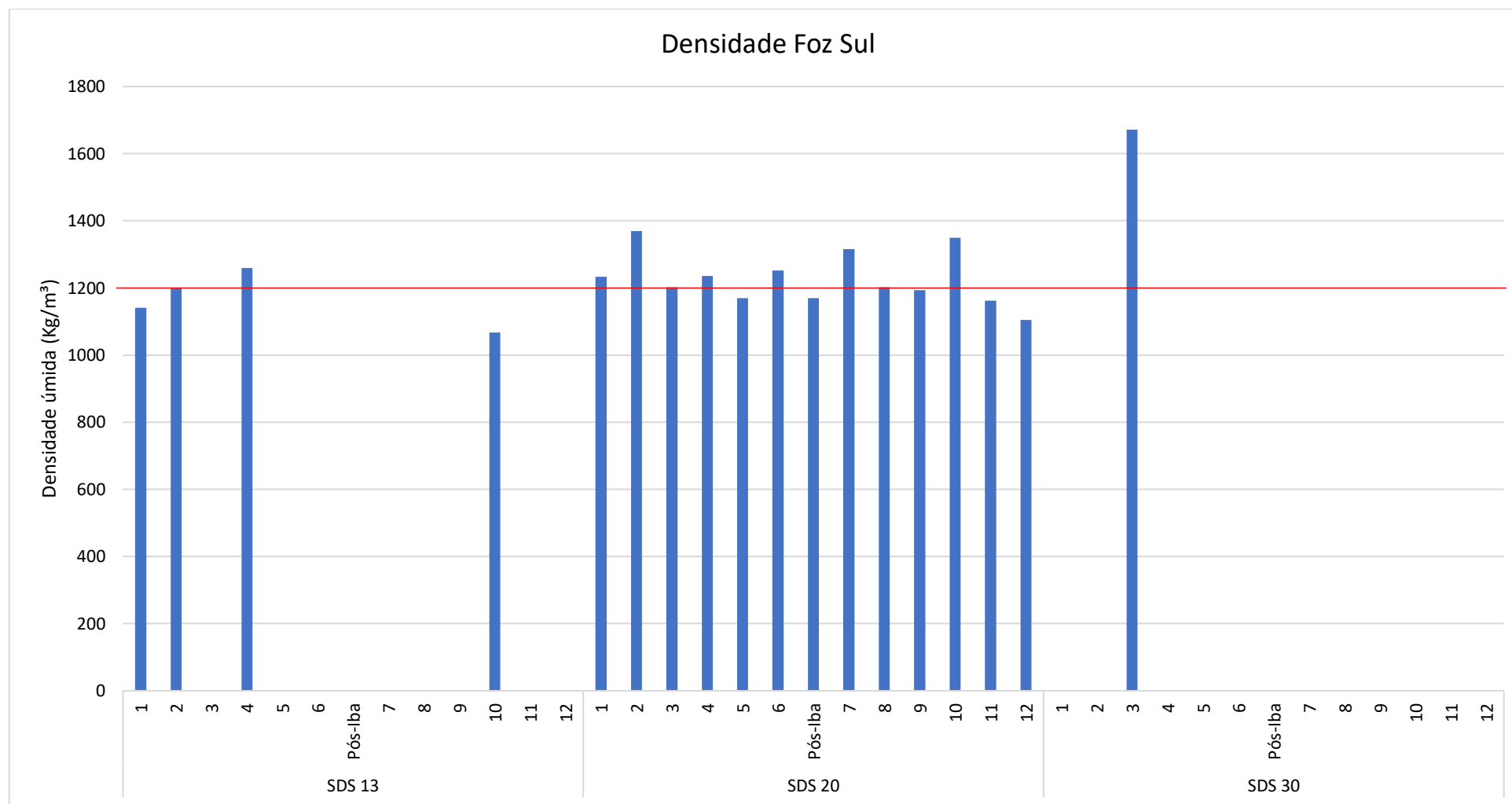


Figura 101: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor Foz Sul.

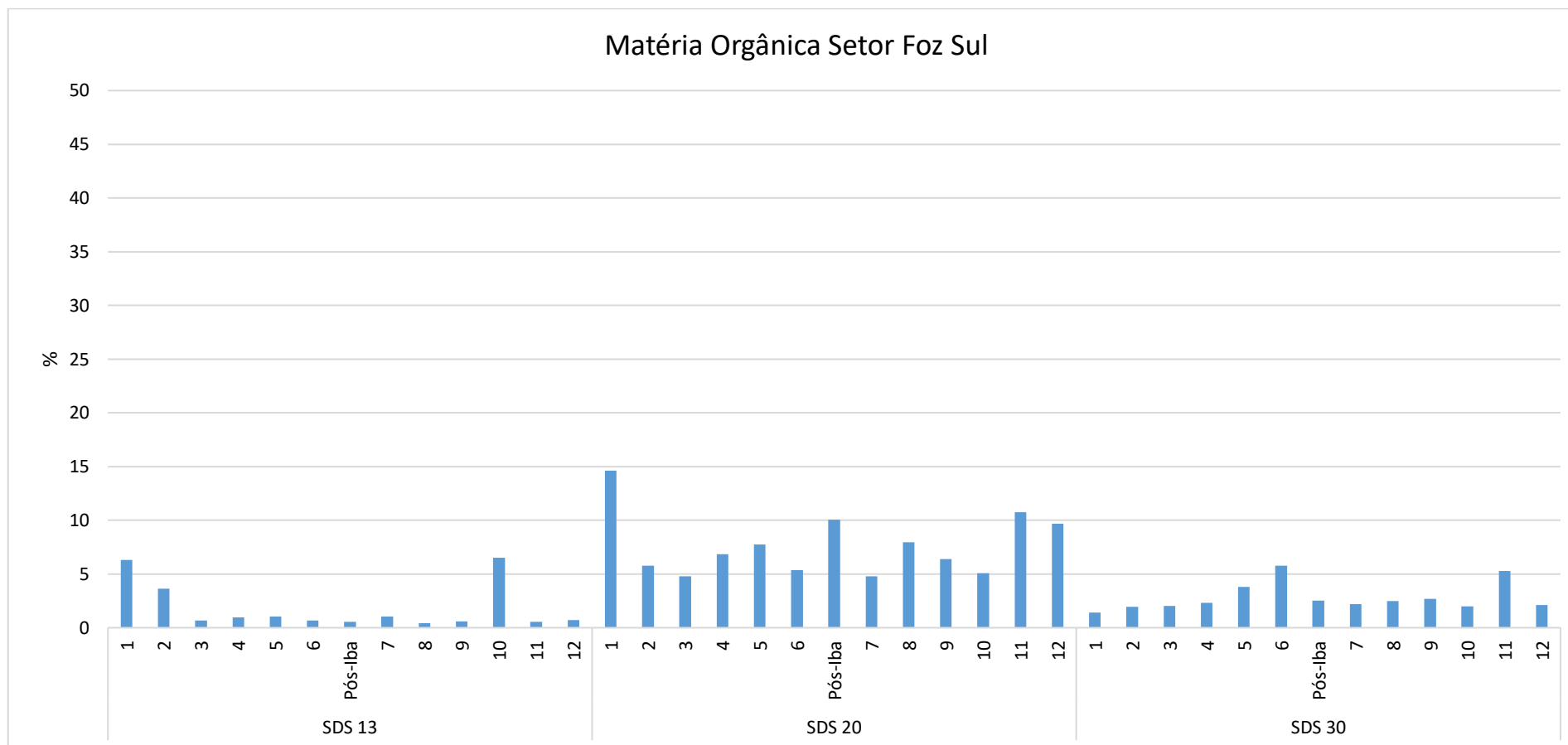
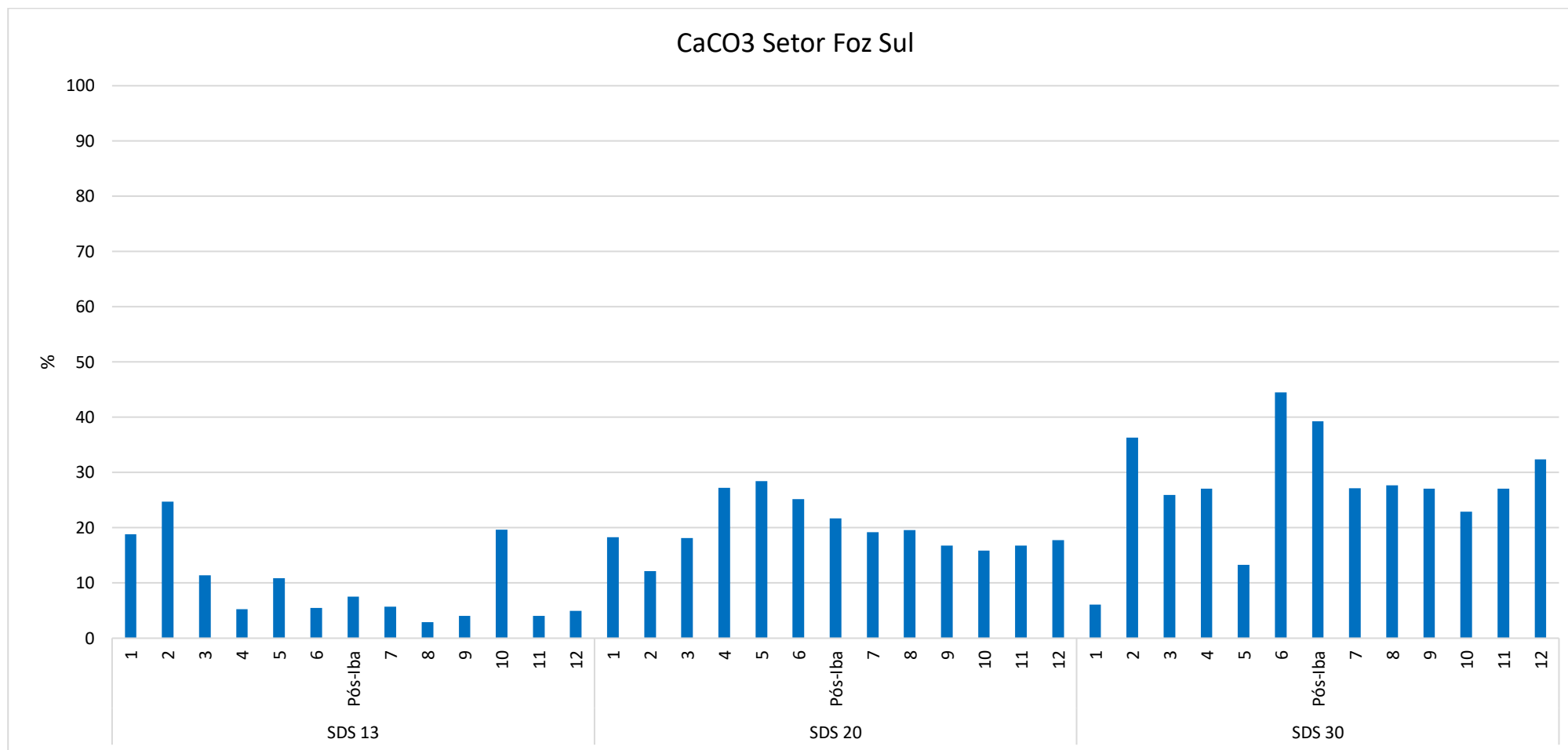


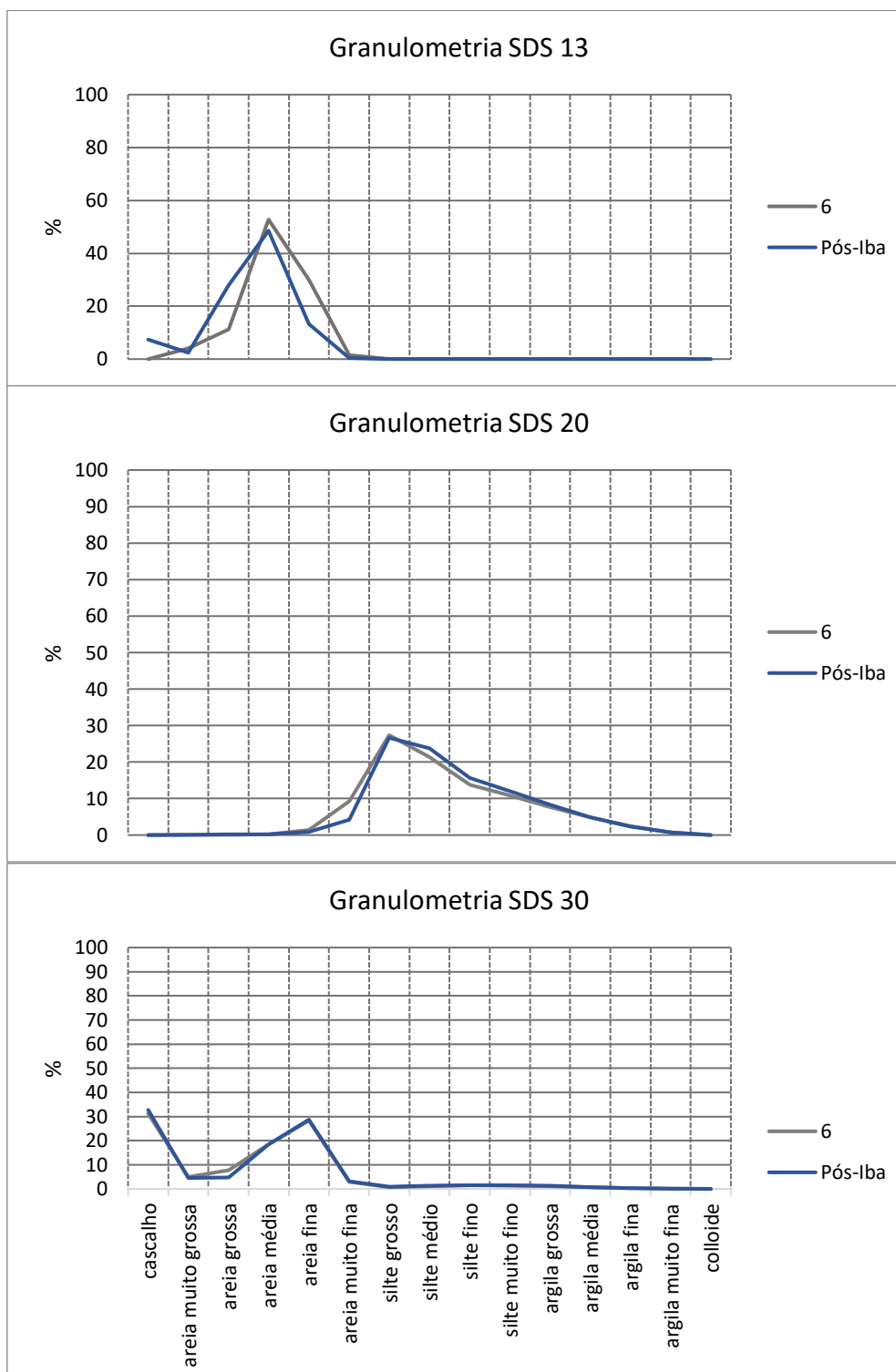
Figura 102: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor Foz Sul.



Enquanto que no Setor Foz Central a passagem da tempestade tropical Iba alterou consideravelmente a distribuição granulométrica da estação SD 03, no Setor Foz Sul ocorreu um incremento de 7% de cascalho e um suave engrossamento do sedimento na fração arenosa na profundidade mais rasa (Figura 97 e Figura 103). Não foi observada nenhuma outra alteração nas outras estações em função desse evento.

As fases minerais do sedimento superficial dos Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul durante o monitoramento mantiveram volumes elevados de fases minerais de ferro comprados ao período anterior ao aporte de rejeito de minério na plataforma continental. Estes volumes variaram de 10 a 48% e apresentaram uma tendência de redução dos percentuais para norte (Apêndice 12). Valores de $\text{FeO}_{\text{total}}$ variaram de 8,2 a 61,9%. Os percentuais em massa para silicatos se mantiveram entre 13 e 33% enquanto que os aluminossilicatos, entre 17 a 34% (Tabela 1). Os resultados de susceptibilidade magnética adquiridos para a região da Foz do Rio Doce (Setores, Foz Norte, Foz Central e Foz Sul) variaram de 1,2 vezes a até 51 vezes maior do que os valores de referência pré-impacto (Apêndice 13) e aumentaram em relação ao período 2015/2016.

Figura 103: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Foz Sul após a passagem do ciclone Iba.



2.2.3.6 Setor APA Costa das Algas

Assim como para a análise do MPS, as estações do Setor APA Costa das Algas também foram subdivididas em rasas e profundas quanto às características do sedimento superficial. As estações rasas apresentaram os maiores teores de lama do Setor APA Costa das Algas (CA 01, CA 02 e CA 08; 29 ± 29 , 30 ± 23 e $36 \pm 34\%$, respectivamente) e com uma tendência de redução ao longo das campanhas apenas na estação CA 01. Para as outras estações não houve um padrão definido. Nas campanhas em que ocorreu redução do teor de lama se deu também um aumento do selecionamento dos grãos, exceto pela estação CA 02, onde uma redução do teor de lama não resultou necessariamente em um aumento do selecionamento (Figura 104 e Figura 105). Essas estações rasas apresentaram uma distribuição granulométrica bimodal com a maior moda nas classes arenosas e a menor distribuída ao longo dos finos (Figura 105). Na estação CA 09 não houve recuperação de sedimento de fundo nas Campanhas 1 e 4, no entanto nas Campanhas 7 e 10 houve a recuperação com presença de sedimento areno-lamoso (27 e 39% de lama), o que indicou uma mudança no padrão de composição ou aporte sedimentar para essa estação. As outras estações rasas (CA 05, CA 10 e CA 13) apresentaram teores de lama $< 5\%$ e uma assimetria fortemente negativa (Figura 105). A estação CA 13 foi a única das estações rasas que apresentou baixa variabilidade das classes granulométricas e maior selecionamento dos grãos para as classes arenosas.

Figura 104: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas. As estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho.

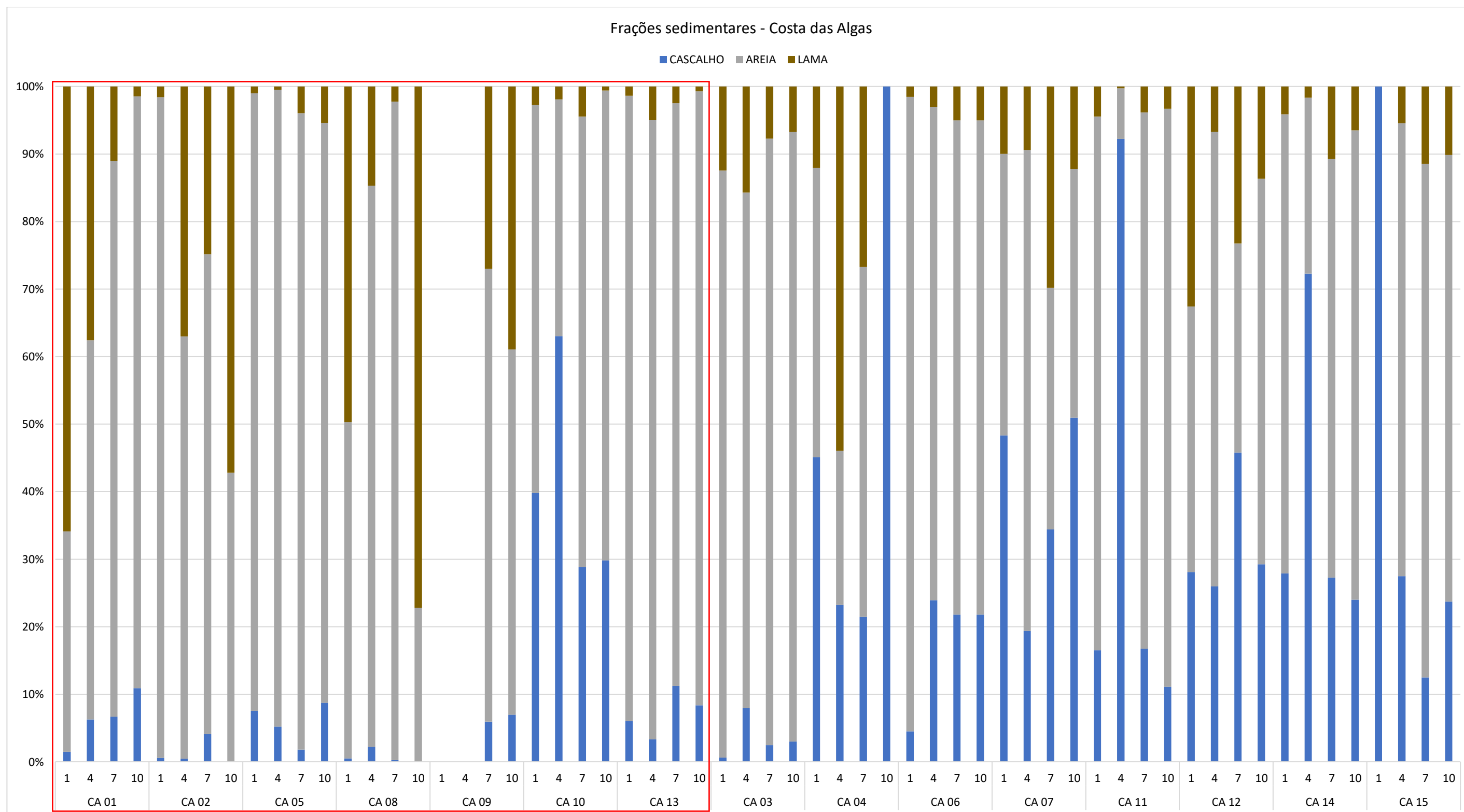
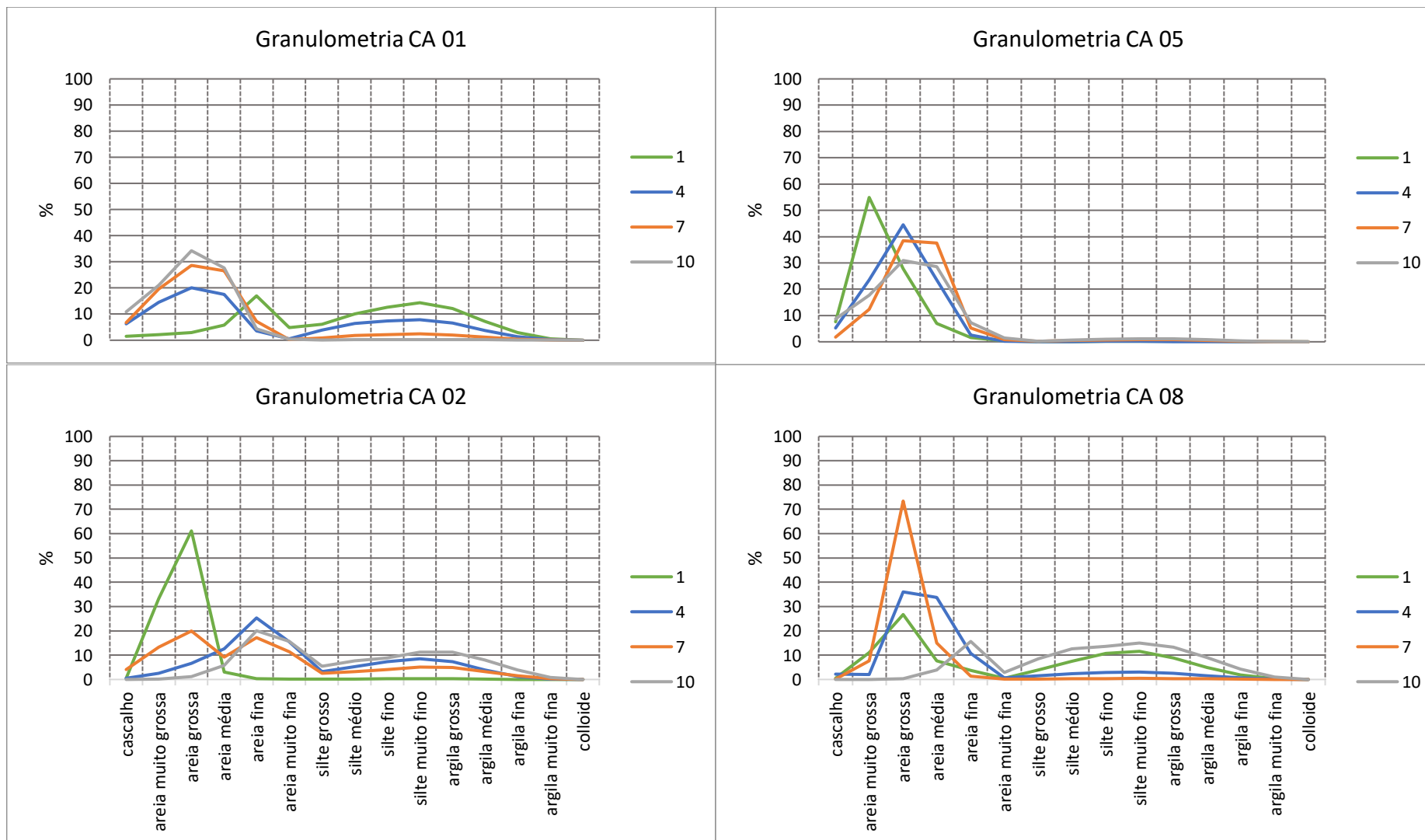
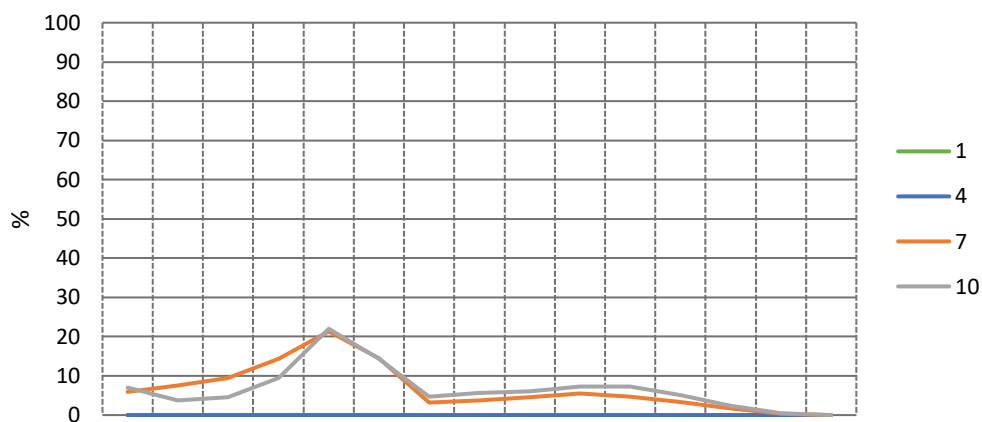


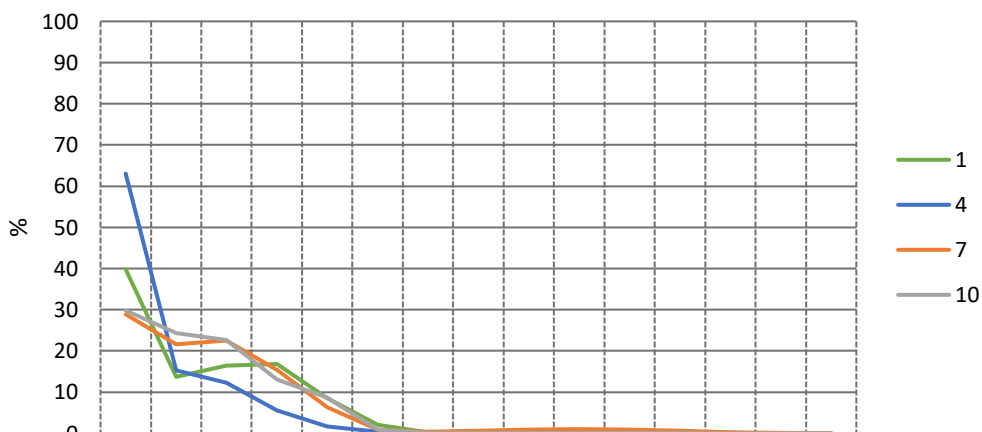
Figura 105: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas, estações rasas.



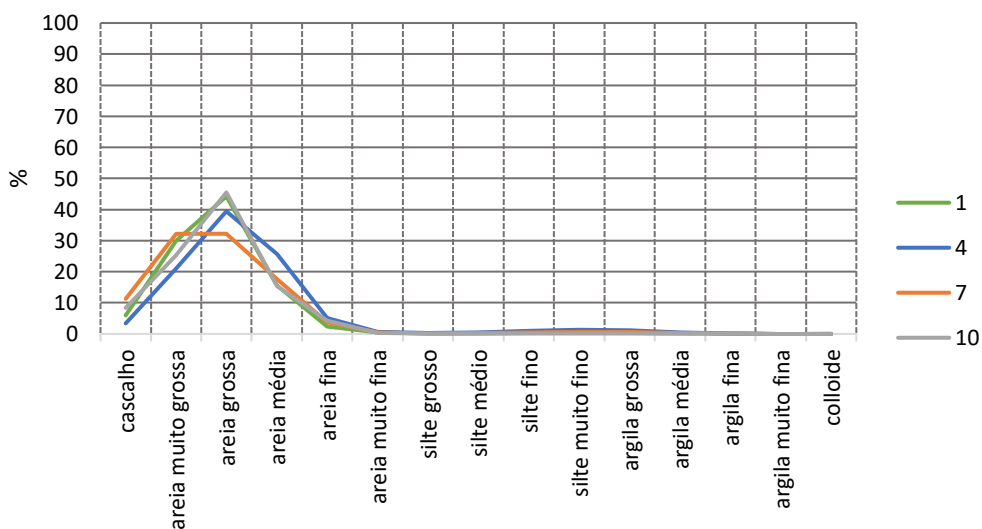
Granulometria CA 09



Granulometria CA 10



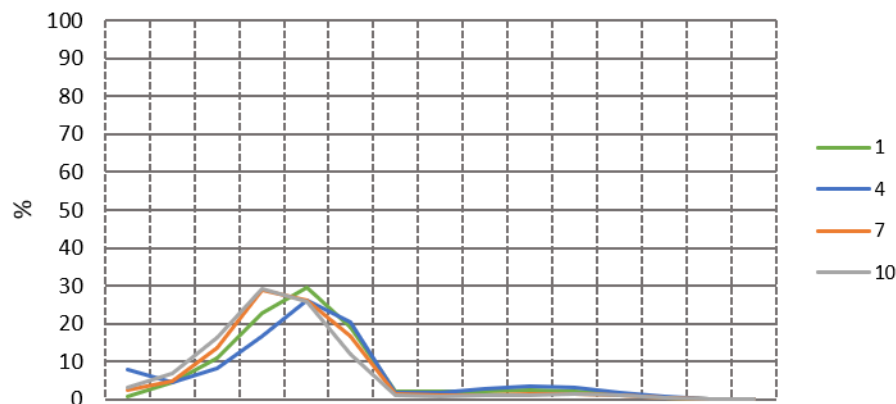
Granulometria CA 13



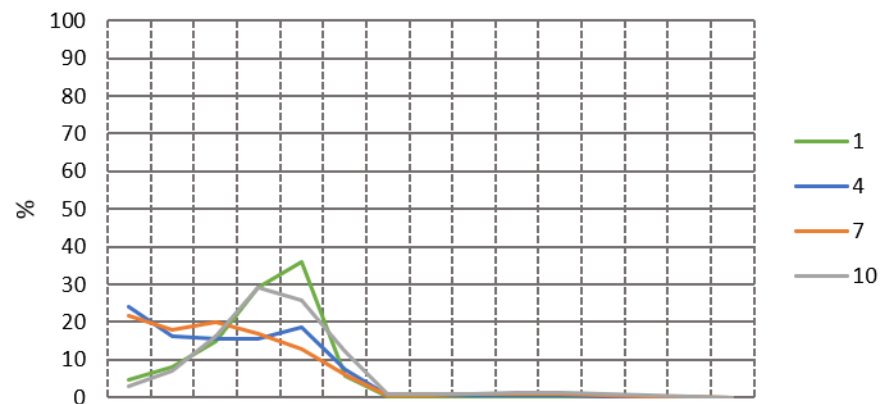
Já as estações profundas apresentaram menores teores de lama, maiores contribuições da fração cascalho e nenhum padrão de deposição do sedimento lamoso. Dentre as estações profundas, aquelas que apresentaram maior teor de lama foram CA 04, CA 07 e CA 12 (23 ± 23 , 15 ± 10 e $19 \pm 11\%$, respectivamente; Figura 104 e Figura 106). Nessas estações a distribuição granulométrica foi uniforme (platicúrtica), com contribuição desde a classe cascalho até a argila fina (Figura 106). A diferença de padrão entre essas três estações ocorreu na Campanha 4, quando na CA 04 houve maior contribuição de finos (lama) enquanto que na CA 07 e CA 12 o afinamento ocorreu apenas nas classes arenosas. Nas estações profundas, valores menores do que 15% foram quantificados (CA 03, CA 06, CA 11, CA 14 e CA 15; 11 ± 4 , 4 ± 2 , 3 ± 2 , 6 ± 4 e $9 \pm 3\%$, respectivamente). A estação CA 03 foi a que apresentou o maior selecionamento dentre as estações profundas e se manteve assimetricamente negativa com moda entre argila grossa e areia muito fina ao longo do monitoramento (Figura 106), o que indicou estabilidade no depósito sedimentar. As estações CA 06 e CA 11 variaram quanto ao selecionamento dos grãos para as classes grossas enquanto que as estações CA 14 e CA 15 alternaram entre assimetria fortemente negativa e bimodal nas classes grossas.

Figura 106: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas, estações profundas.

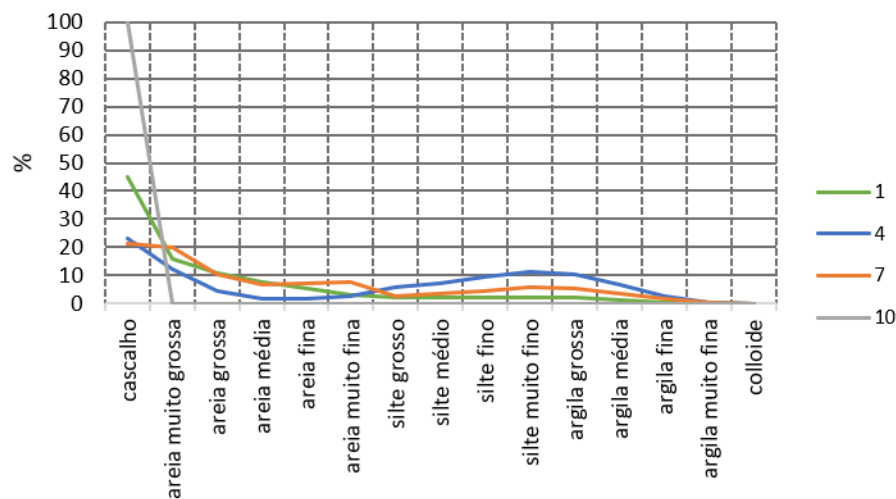
Granulometria CA 03



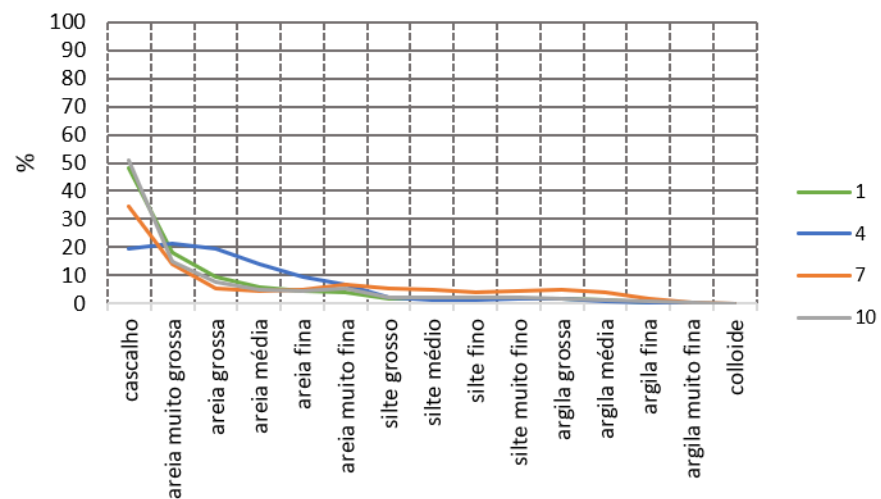
Granulometria CA 06



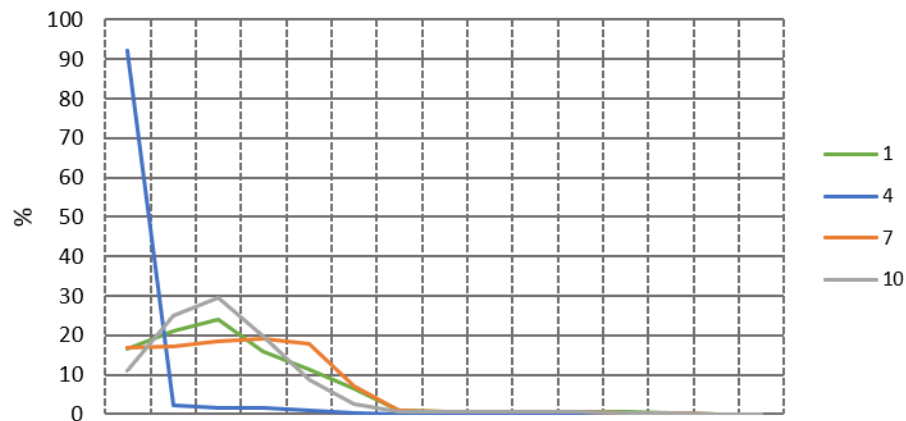
Granulometria CA 04



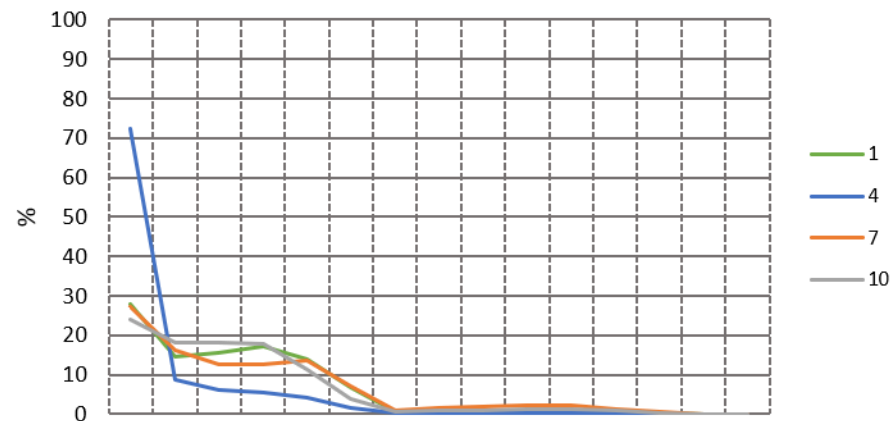
Granulometria CA 07



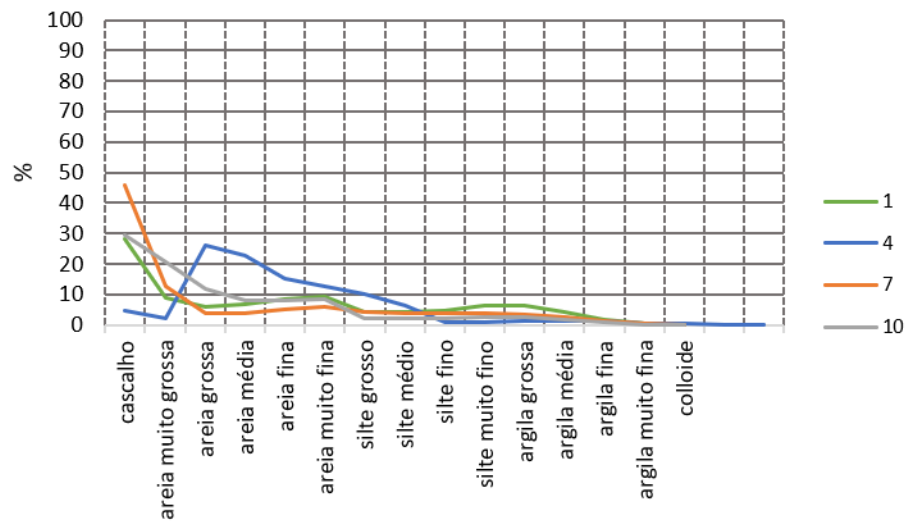
Granulometria CA 11



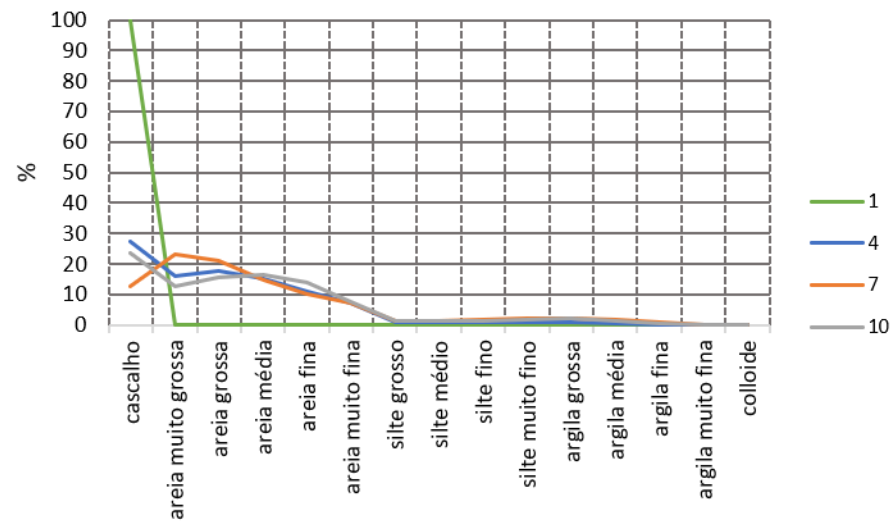
Granulometria CA 14



Granulometria CA 12



Granulometria CA 15



Uma diferença para o teor de CaCO_3 (Figura 107) também foi observada entre as estações rasas e profundas, com menor contribuição carbonática nas rasas (CA 01, CA 2, CA 05, CA 08, CA 09 e CA 13; 49 ± 14 , 29 ± 13 , 13 ± 3 , 11 ± 6 , 24 ± 28 e 19 ± 7 ; exceto CA 10 = $87 \pm 4\%$). Já as estações profundas mantiveram uma média de valores de CaCO_3 acima de 90% (exceto na estação CA 03 = $55 \pm 5\%$) e indicaram um domínio carbonático do sedimento superficial. Os teores de MO foram superiores a 5% apenas em algumas estações e em sua maioria na Campanha 1 (CA 01 - Campanha 1, CA 08 - Campanha 1 e 8, CA 09 - Campanha 10, CA 04 - Campanha 1, CA 12 - Campanha 1 e CA 14 - Campanha 10; 14, 12 e 9, 6, 8, 9 e 7%, respectivamente; Figura 108). Devido ao caráter areno-cascalhoso ou cascalho-arenoso do sedimento, poucos registros de densidade foram realizados no Setor APA Costa das Algas (Figura 109).

Figura 107: Teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas. As estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho.

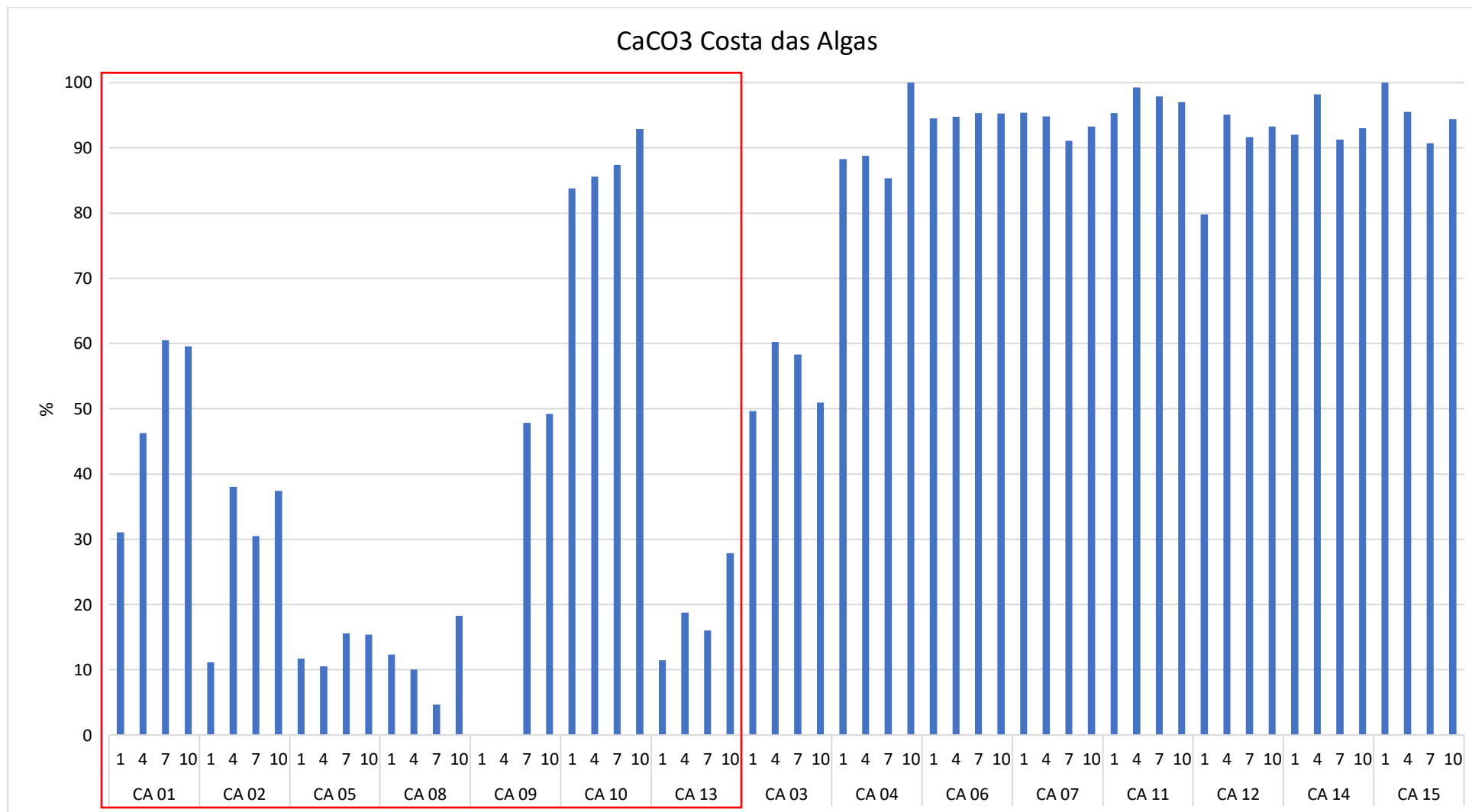


Figura 108: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor APA Costa das Algas. As estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho. Não houve recuperação de sedimento na estação CA 09 durante as Campanhas 1, 4 e 7. A estação CA 04 apresentou 100% de rodólito na Campanha 10, assim como para a estação CA 15 na Campanha 1.

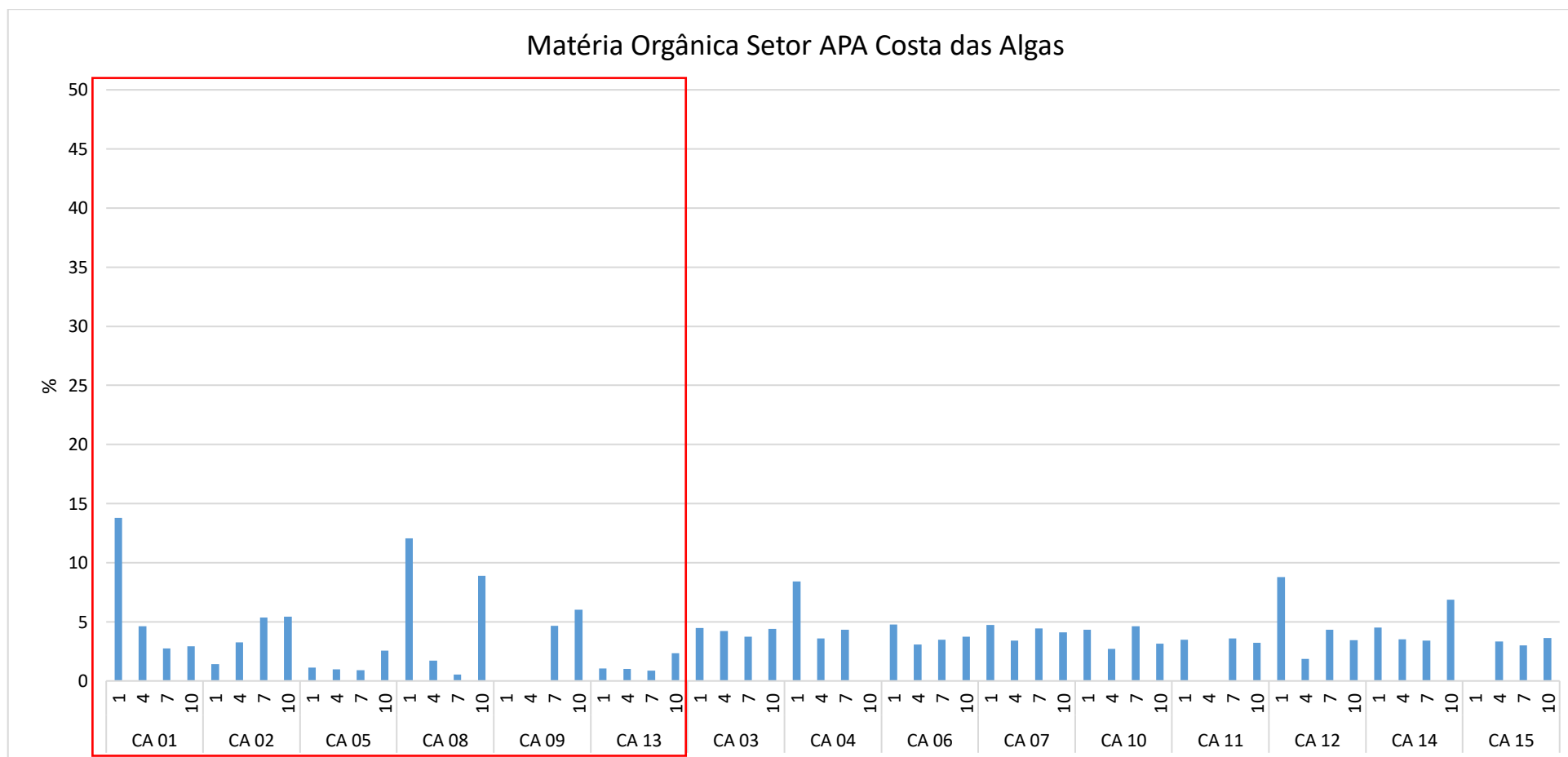
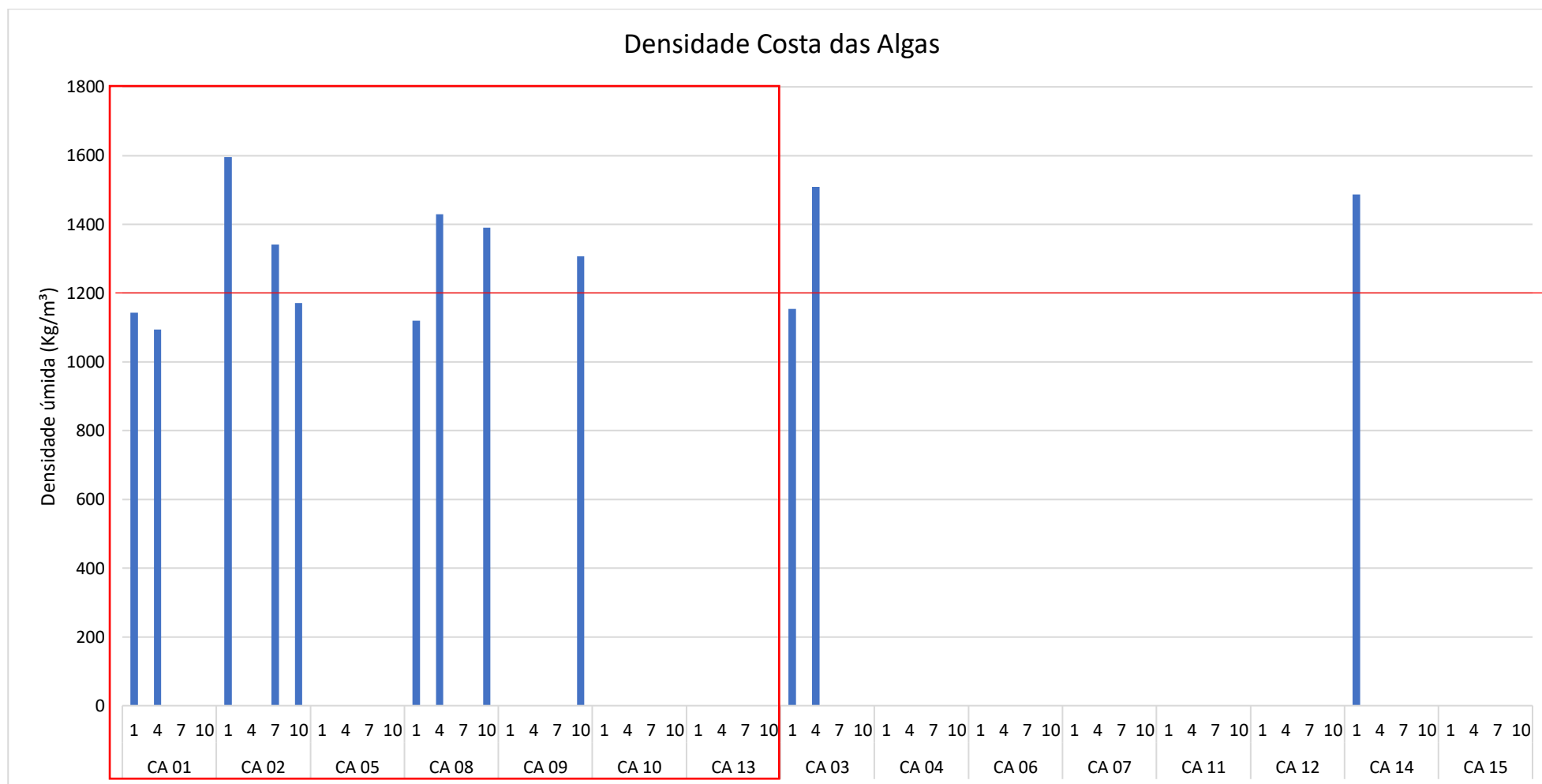


Figura 109: Valores de densidade (kg/m^3) superficial do Setor APA Costa das Algas. As estações rasas se encontram dentro do quadrado vermelho. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.



A maioria dos valores de densidade registrados ocorreram na Campanha 1 (5 registros para 3 na Campanha 4 e 3 na Campanha 10). Indicativos de lama fluida foram encontrados nas estações CA 01, CA 02, CA 08 e CA 03. Além disso, os registros de densidade foram mais frequentes nas estações rasas CA 02 ($1370 \pm 213 \text{ Kg/m}^3$) e CA 08 ($1314 \pm 169 \text{ Kg/m}^3$) mas também foram determinados nas estações CA 01 e CA 09 (1118 ± 34 e 1307 Kg/m^3 , respectivamente). Nas estações profundas, valores de densidade puderam ser determinados nas estações CA 03 e CA 14 (1331 ± 251 e 1488 Kg/m^3).

As estações situadas mais ao leste (CA 03, CA 04, CA 06, CA 07, CA 11, CA 12, CA 14 e CA 15) exibiram mineralogia próxima aos padrões de referência da região, com volumes consideráveis de carbonato (principalmente aragonita; 10% a 99% em carbonatos) e silicatos (entre 1% e 95%). Estes resultados confirmaram a elevada contribuição carbonática para os sedimentos da região. As demais fases minerais, principalmente as relacionadas ao ferro, mostraram quantidades ínfimas e raramente ultrapassaram os 5% (Apêndice 12). Já nas estações mais rasas ocorreu um incremento das fases minerais com ferro (principalmente hematita e goethita; 14% a 27%), redução de carbonatos e aumento significativo de silicatos (Apêndice 12). Durante a Campanha 1 na estação CA 01, o percentual de $\text{FeO}_{\text{total}}$ foi de 8,29% e o de CaO foi de 65% (Tabela 1), o que indicou que as fases minerais de ferro não eram contribuições significativas. Já para as estações CA 08 e CA 02 o $\text{FeO}_{\text{total}}$ variou de 18,9% a 21,9% e indicou maior contribuição para o sedimento. Os percentuais de aluminossilicatos e silicatos também apresentaram incremento considerável para essas duas últimas estações, enquanto que o óxido de cálcio teve menor representação e atingiu um máximo de 16% (Apêndice 12).

2.2.3.7 Setor Sul

As estações do Setor Sul apresentaram pouca variabilidade granulométrica, em que na região de Vitória, a estação mais rasa (VIX 01) apresentou domínio arenoso com assimetria negativa bem selecionada ($97 \pm 2\%$; Figura 110 e Figura 111). Já VIX 02 variou entre areno-cascalhosa e cascalho-arenosa com maior contribuição relativa de lama ($44 \pm 12 \%$ de areia) e assimetria fortemente negativa, mas mal selecionada, com contribuição desde a classe cascalho até argila fina. A estação mais rasa de Guarapari foi a mais lamosa do setor ($38 \pm 12\%$) para as duas campanhas amostradas apesar da distribuição granulométrica ter sido assimétrica negativa e bem selecionada para a classe areia muito fina (Figura 110 e Figura 111). Já GUA 02 foi caracterizada por um sedimento puramente arenoso (99%) de assimetria negativa e bem selecionado para as classes areia grossa e areia média.

Figura 110: Teores de cascalho, areia e lama do sedimento superficial do Setor Sul.

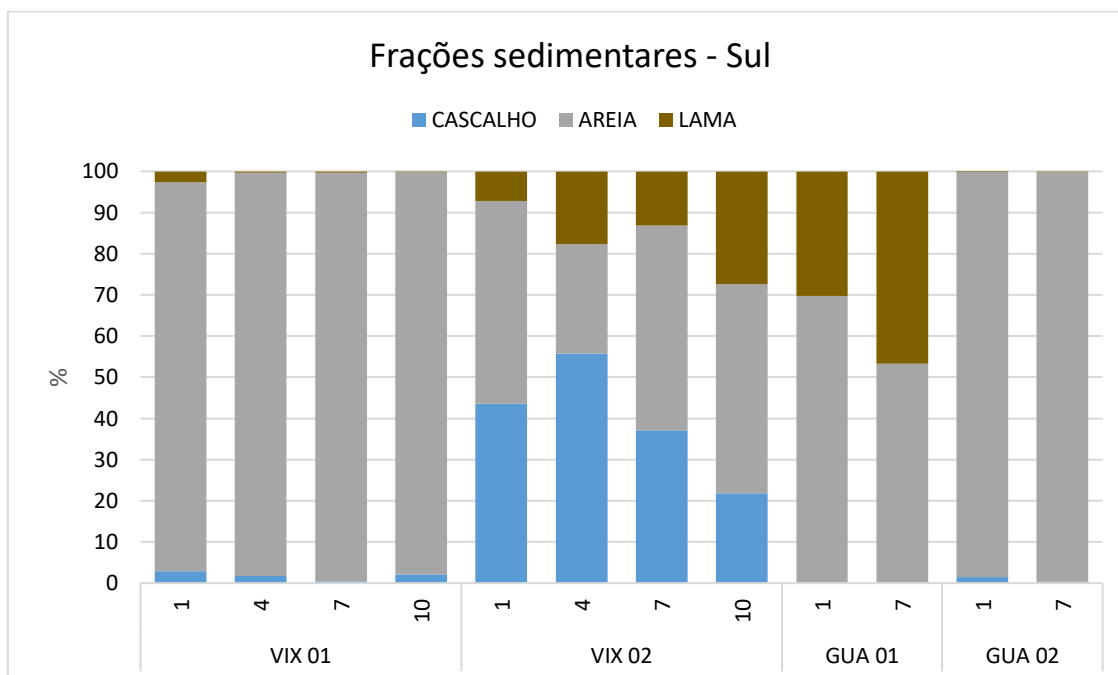
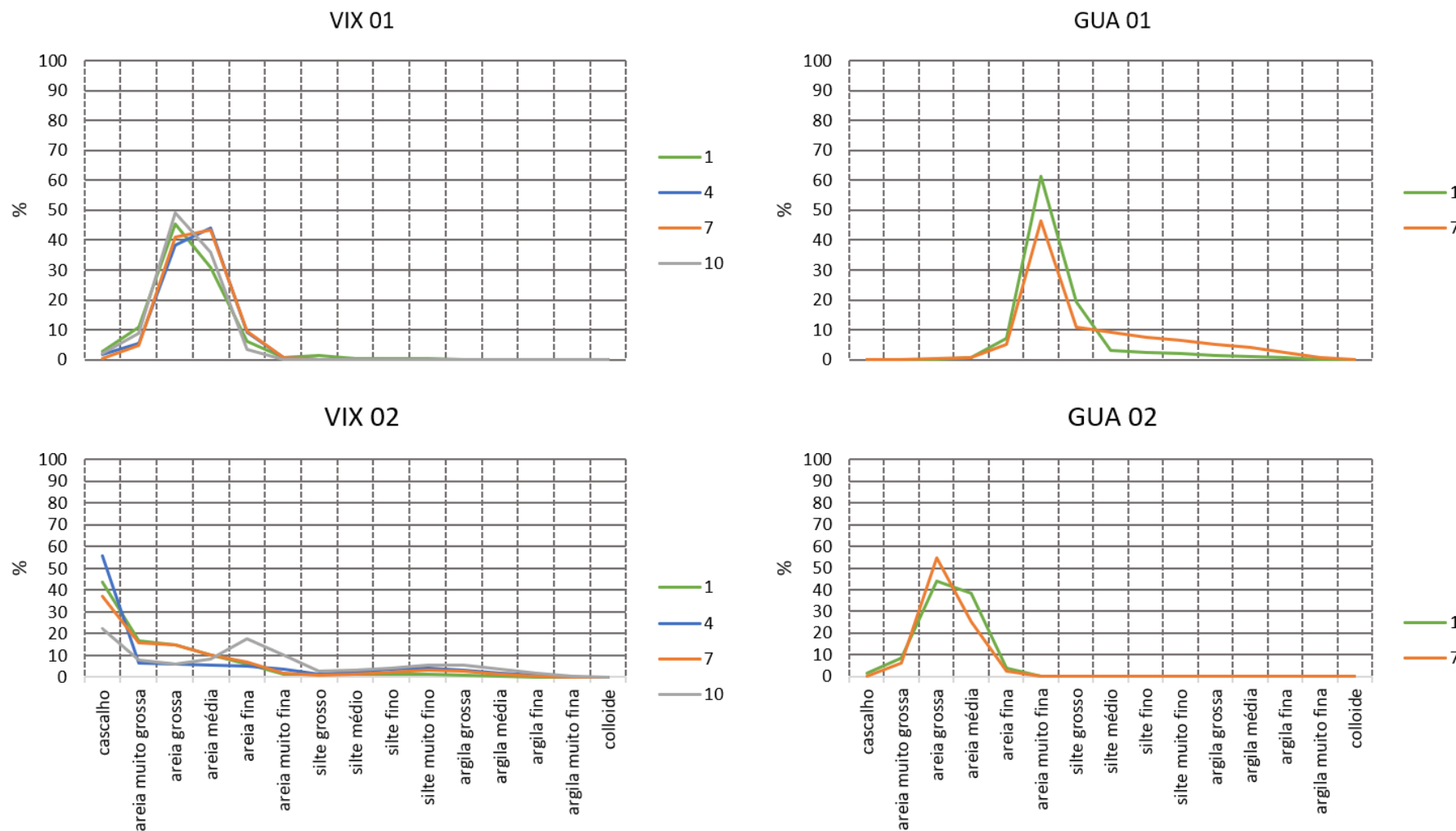


Figura 111: Classes granulométricas para o sedimento superficial do Setor Sul.



Para este setor, apenas GUA 01 apresentou registro de densidade, com valores de 1513 Kg/m³ na Campanha 1 e de 1477 Kg/m³ na Campanha 2 (Figura 112). Maiores teores de CaCO₃ na estação VIX 02 (86 ± 4 %; Figura 113) foram coincidentes com a maior contribuição de cascalho para o sedimento. As estações VIX 01 e GUA 01 apresentaram valores intermediários de CaCO₃ (41 ± 3 e 66%, respectivamente), mas não foram coincidentes com maiores contribuições cascalhosas. Já na estação mais profunda de Guarapari, o teor de CaCO₃ foi apenas de 3%. O maior teor de MO para o setor foi de 6% em VIX 02 (Campanha 10), onde também se observa uma tendência de aumento deste teor nas campanhas amostradas (1, 4 ± 2, 4 ± 1 e 0% para VIX 01, VIX 02, GUA 01 e GUA 02, respectivamente; Figura 114).

Figura 112: Valores de densidade (kg/m³) superficial do Setor Sul. Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem.

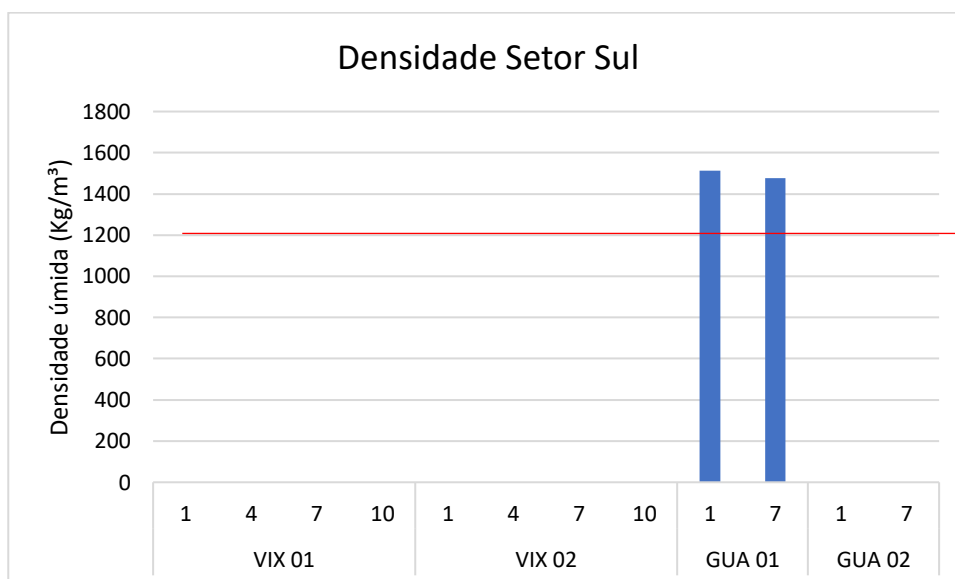


Figura 113: Teor de carbonato de cálcio (CaCO₃) do sedimento superficial do Setor Sul.

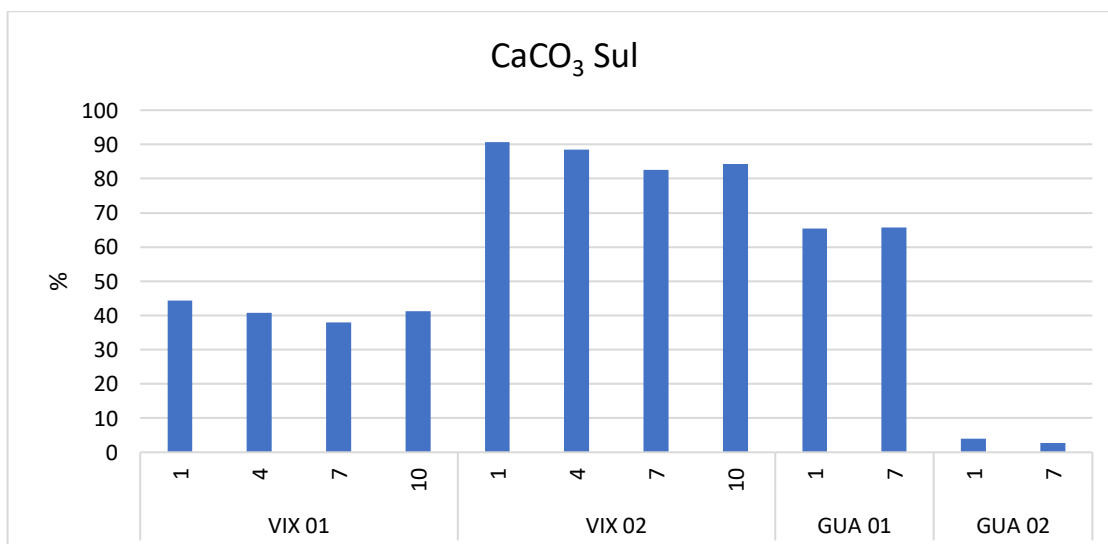
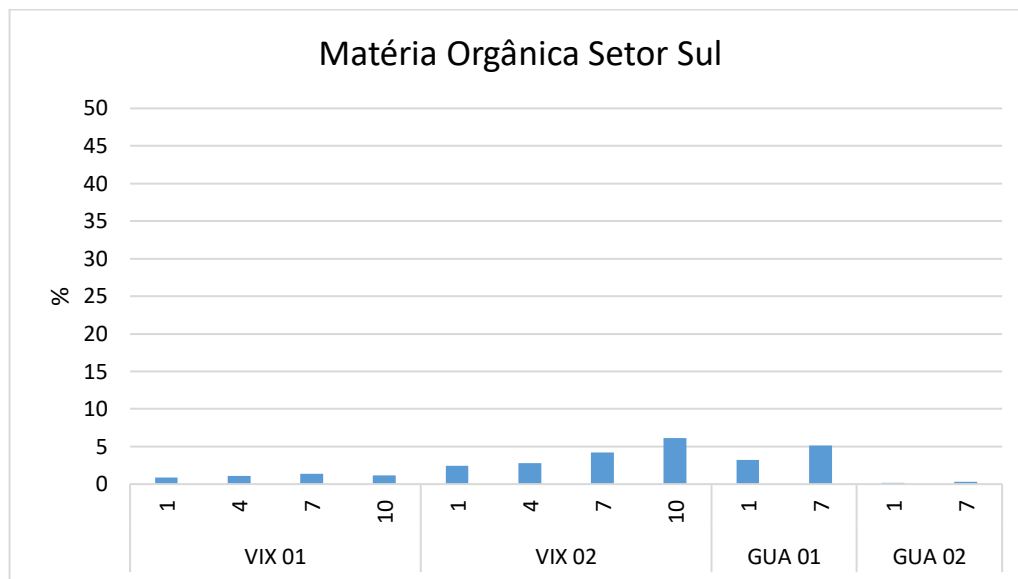


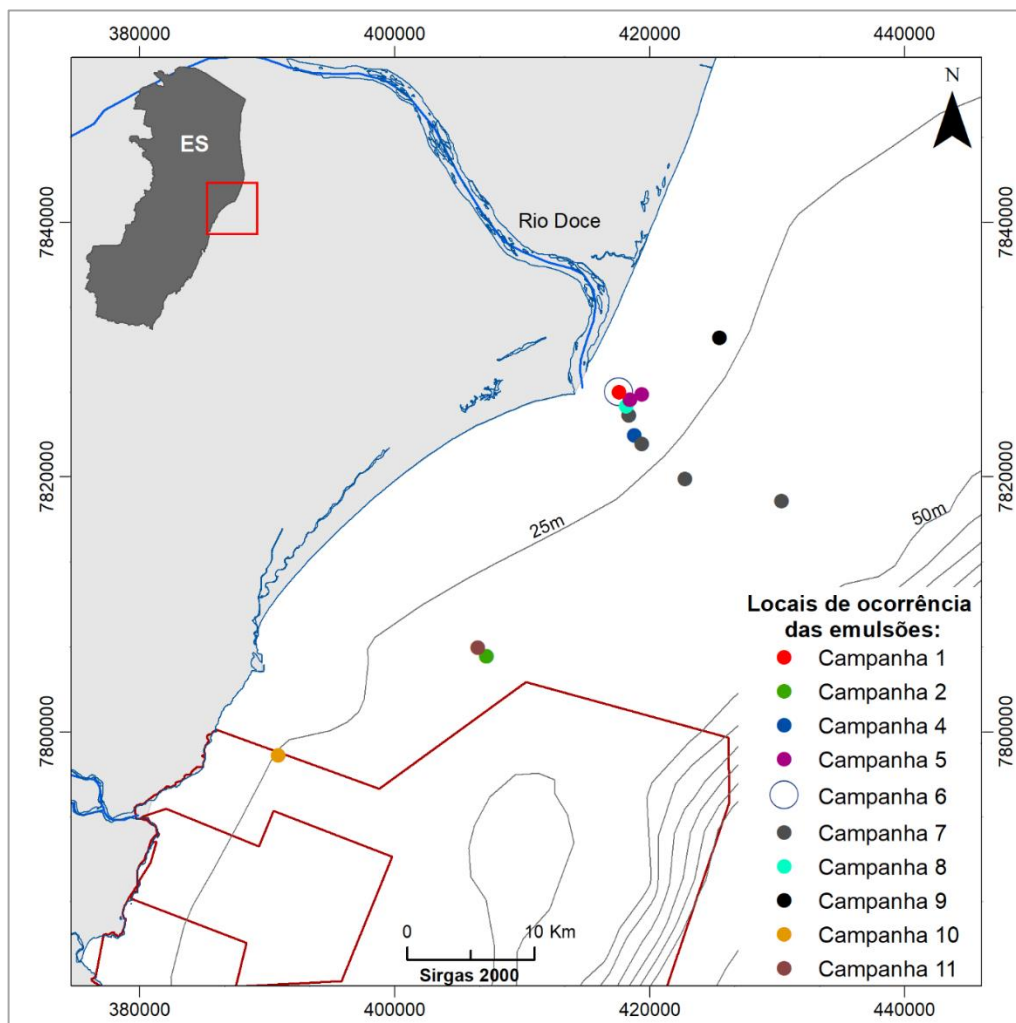
Figura 114: Teor de matéria orgânica (MO) do sedimento superficial do Setor Sul.



2.2.4 Análise de dados

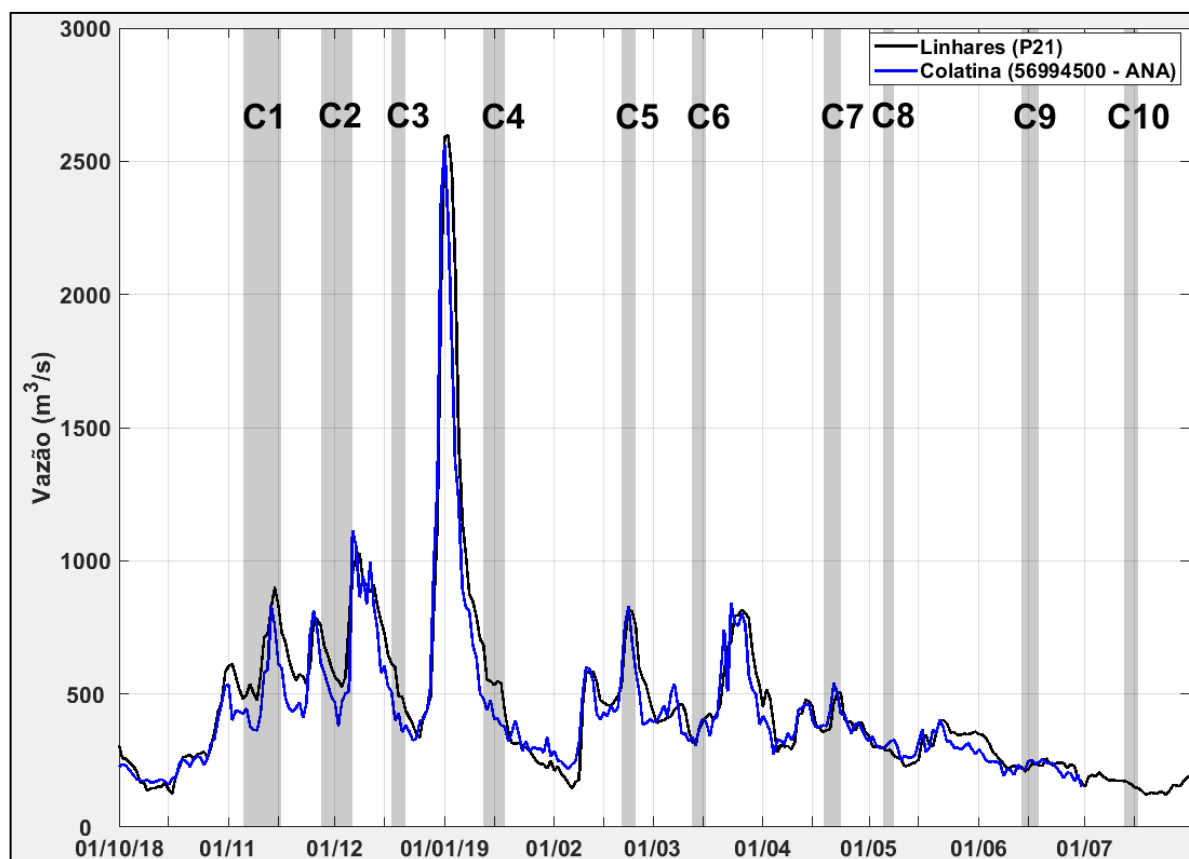
A análise dos dados monitorados entre Novembro de 2015 e Setembro de 2019 mostra que um pico máximo na concentração de MPS ocorreu nas estações SD 01 e SD 02 no momento da chegada da lama de rejeito na plataforma continental adjacente à desembocadura do Rio Doce. Os valores observados em Novembro de 2015, bem como valores superiores a esses, somente voltaram a ocorrer ao longo do Monitoramento PMBA na estação SD 01 na Campanha 4 (1006 mg/L) e em amostras de emulsões de coloração alaranjada coletadas na interface ar/água (ex.: SDE 00 - Campanha 2 = 556,9 mg/L e SDE 09 - Campanha 11 = 7173,6 mg/L; Figura 73: MPS e os respectivos teores de MO de emulsões de coloração alaranjada (espuma) no limiar ar/água na superfície da coluna d'água coletadas durante o monitoramento.). Apesar das emulsões terem sido coletadas majoritariamente próximas à foz do Rio Doce, entre as estações SD 01 e SD 02, coletas também ocorreram em maiores profundidades no Setor Foz Sul e nas proximidades do limite norte da APA Costa das Algas (Figura 115).

Figura 115: Mapa de avistamento de emulsões em superfície durante os períodos de amostragem.



Destaca-se que os picos de MPS na estação SD 01 e nas emulsões amostradas ocorreram nas campanhas que foram realizadas durante ou após eventos hidrológicos em decorrência de chuvas na Bacia do Rio Doce. Isso indica que a bacia em questão continua exportando uma importante quantidade de material para a região marinha adjacente. A Figura 116 mostra a série temporal da vazão máxima diária (em m^3/s) do Rio Doce para dados das estações fluviométricas em Colatina (ANA: 56994500) e em Linhares (Estação P21; Anexo 3 Dulcícola/PMBA) para o período de 01/10/2018 a 31/07/2019. Na mesma figura também é destacado o período de coleta de cada campanha do PMBA ao longo da série, onde é observado que as amostras com alta concentração de MPS (SDE 00 e SD 01) ocorreram após picos de vazão. No dia 01/01/2019 (Figura 116 foi registrado em Colatina um valor de vazão máxima diária de 2562,22 m^3/s , classificado como um evento extremo diário (vazão > 2379 m^3/s) conforme Oliveira e Quaresma (2017). Segundo as autoras, eventos extremos diários de vazão na Bacia do Rio Doce ocorrem com maior frequência nos meses de Dezembro e Janeiro, ao longo do período considerado na pesquisa publicada (1990-2013).

Figura 116: Série Temporal da Vazão (m³/s) do Rio Doce. A linha azul representa dados da estação fluviométrica Colatina (ANA código: 56994500), que cobrem o período de 01/10/2018 a 30/06/2019, e a linha preta representa dados da estação P21 em Linhares (Anexo 3 Dulcícola/PMBA), que cobrem o período de 01/10/2018 a 31/07/2019. As faixas cinzas destacadas representam os períodos de coleta das Campanhas do PMBA nos Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul.



Entretanto, Quaresma et al. (*submetido*) destacam que os picos de concentração de MPS, mesmo após o maior evento extremo histórico registrado para a Bacia do Rio Doce (919,5 m³/s) em Dezembro de 2013 (valores máximos de concentração de 72,7, 60,4 e 39 mg/L para superfície, meio e fundo, respectivamente), não alcançaram os valores obtidos na Foz do Rio Doce durante a chegada da lama de rejeito em Novembro de 2015. Durante o evento histórico de 2013, a vazão e a carga de sedimento em suspensão foram quase 17 vezes e 1000 vezes maior do que a mediana diária, respectivamente (Oliveira e Quaresma, 2017). Desta forma, os valores de concentração de MPS observados por Quaresma et al. (*submetido*) bem como os observados ao longo do PMBA evidenciam a influência da chegada de uma massa com elevada turbidez no aumento da concentração de MPS na Foz do Rio Doce. Ainda, os resultados mostram que há uma continuidade da disponibilização de um material com elevada concentração para a região, uma vez que durante o PMBA foram observadas maiores concentrações que em 2014, mesmo durante ou após eventos hidrológicos de menor magnitude.

A presença de uma pluma de maior turbidez durante a Campanha 2 no Setor Foz Central e durante a Campanha 10 na região, desde a Foz do Rio Doce até o limite norte da APA Costa das Algas, indica uma dispersão do MPS fortemente controlada pelas condições hidro-meteoceanográficas atuantes na

região da Foz do Rio Doce. Este controle pode ser observado pelo domínio de ventos Norte, Nordeste e Leste entre os dias 30/12/2018 e 07/01/2019 na foz do Rio Doce, quando a vazão máxima diária em Linhares esteve entre 1144,7 e 1024,4 m³/s (máximo de 2598,4 m³/s no dia 02/01/2019; Figura 116). A co-ocorrência dessas condições hidro-meteoceanográficas favorecem a dispersão do MPS em direção ao Setor Foz Sul, bem como em direção à APA Costa das Algas.

Um aspecto importante quanto às concentrações de MPS é sua relação inversamente proporcional ao teor de MO nos diferentes setores analisados (Tabela 3), a qual indica que os picos de MPS são diretamente associados ao material sedimentar, e não a organismos presentes na coluna de água. A partir dos dados de concentração e de teor de MO do MPS se constata que a biota impõe maior influência no Setor APA Costa das Algas e menor influência no Setores Foz Central, Foz Norte e Foz Sul

Tabela 3: Teor de Matéria Orgânica (MO) em % apresentado como: Mediana \pm Desvio Absoluto Mediano; e Coeficiente de Correlação de Spearman entre Teor de MO e Concentração de Material Particulado em Suspensão. Todos os coeficientes de correlação foram significativos ao nível de 0,05.

Setor	Teor de MO (%)	Coeficiente de Correlação de Spearman
Abrolhos	63.66 \pm 11.03	-0.77
Norte	62.50 \pm 15.51	-0.86
Foz Norte	51.39 \pm 26.39	-0.80
Foz Central	68.05 \pm 28.11	-0.83
Foz Sul	54.57 \pm 23.89	-0.81
APA Costa das Algas	79.24 \pm 20.76	-0.81
Sul	65.43 \pm 23.25	-0.51

Outra relação de grande relevância que foi constatada foi entre a alta concentração de MPS e a formação de fundos com lama fluida, como já registrado por diversos autores em diferentes áreas do globo (Mehta, 1991; Mehta, 2013; Winterwerp, 1999; Winterwerp, 2002; McAnally et al, 2007; Vinzon et al., 2009). Essa relação já foi registrada na área em investigação por Quaresma et al (*submetido*) durante a chegada da lama de rejeito no ambiente marinho entre os dias 22 e 24 de Novembro de 2015, quando um fluxo de alta concentração de MPS se formou na desembocadura do Rio Doce (com valores de até 9.000 mg/L) e resultou na formação de fundos com lama fluida.

É importante ressaltar que a lama fluída não é considerada um depósito propriamente dito e sim uma suspensão de elevada concentração (entre 700 e 1200 Kg/m³, aproximadamente) que pode ser facilmente remobilizada (Mehta, 2013; Mac Anally et al., 2007; Wintwerp e van Kereste, 2004). A presença de fundos com lama fluída na região da Foz do Rio Doce é de conhecimento científico desde de 2012 (Godinho, 2012), quando valores entre 1072,6 e 1200 Kg/m³ foram determinados nos Setores Foz Central e Foz Norte. Uma camada de lama fluida com 5 cm de espessura no topo de um testemunho coletado no Setor Foz Sul também já foi registrada por Franco (2013). Já Quaresma et al

(2015) observou valores menores que 1500 kg/m^3 ao sul da desembocadura do Rio Doce. Os dados subsequentes ao rompimento da barragem de Fundão (entre 2015 e 2017) apresentaram valores de densidade abaixo de 1200 kg/m^3 em Novembro de 2015 no Setor Foz Norte e, principalmente, no Setor Foz Sul, onde valores abaixo de 1000 kg/m^3 foram encontrados. Após esse período crítico inicial, a densidade do sedimento superficial da região da plataforma continental adjacente à foz do Rio Doce apresentou uma tendência de aumento. No entanto as estações que apresentaram densidade superficial com valores próximos ao do indicativo de lama fluida se mantiveram como tal (proximidades das estações SDS 13, SDN 20 e SD 02). Ao longo do PMBA, fundos com indicativo de lama fluida foram observados no Setor Foz Central (Figura 93) nas estações SD 01 (Campanha 3), SD 02 (Campanhas 4, 5, 7, 8 e 9), e SD 03 (Campanhas 7 e 8). Este mesmo indicativo também foi observado nos Setores Foz Sul (SDS 13 e SDS 20; Figura 100) e Foz Norte (SDN 30; Figura 85). Além do registro de fundos com lama fluida na região da foz do Rio Doce durante o PMBA, uma tendência de redução significativa ($p\text{-value} < 0.05$) da densidade do sedimento superficial nas estações SD 01, SD 02 e SD 03 foi constatada.

A presença de lama fluída na plataforma continental impõe grande influência na diminuição da resistência à força de cisalhamento e consequentemente favorecimento ao processo de ressuspensão do sedimento de fundo (Mehta, 2013; Mac Anally et al., 2007; Wintwerp e van Kereste, 2004), bem como por amplificar o processo de amortecimento de ondas e correntes (Boer e Winterwerp, 2009; Gabioux et al., 2005; Mehta, 1991, 2013; Traykovski et al., 2000; Vinzon et al., 2009; Caliarri et al., 2007). Daí a importância na identificação e monitoramento da presença de lama fluida na plataforma continental. O amortecimento da energia de ondas e correntes pode levar a um maior acúmulo desse material na região costeira, e em alterações morfológicas de fundo e na costa. Dessa forma, a fluidização do sedimento de fundo lamoso, em decorrência de momentos mais energéticos na plataforma continental ou da diminuição da velocidade de decantação das partículas, pode levar a maior disponibilização de material sedimentar para a coluna d'água e aumentar o tempo de residência do MPS na mesma. A diminuição da velocidade de decantação das partículas é função das características do material que aportou e que ainda aporta no ambiente marinho (Grilo et al., 2018). Essa conjunção de processos e fatores pode facilitar a dispersão de poluentes que por ventura possam estar ligados e/ou adsorvidos ao MPS.

Ademais, uma análise de tendência temporal (Teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) indicou a redução dos teores de sedimentos coesivos, principalmente argila, em diferentes estações monitoradas. Essa diminuição significativa ($p\text{-value} < 0.05$) tem sido observada na região marinha adjacente à foz do Rio Doce nas estações SD 01, SD 04, SDS 20, SDS 13, SDN 20, e em estações do Setor Norte (DEG 01 e DEG 02) e do Setor APA Costa das Algas (CA 03). Cabe ressaltar que essa análise de diferença estatística não deve ser supervalorizada, pois o aumento ou diminuição de argila no sedimento (mesmo que em pequenas proporções) pode alterar consideravelmente a resistência à erosão ou capacidade de transporte, como já comprovado em diversos artigos científicos (Mitchner e Torfs, 1996; Amos et al., 2004; Grabowski et al., 2011; Cuthebertson et al., 2016). Essa redução tem

consequência direta na ressuspensão do sedimento lamoso, já que pequenas reduções do teor de argila resultam em uma diminuição do limiar de erodibilidade do sedimento superficial e aumenta a taxa de erosão do mesmo (Mitchner e Torfs, 1996; Amos et al., 2004; Grabowski et al., 2011; Cuthebertson et al., 2016). Apesar da redução significativa do teor de argila em algumas estações dos Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul ao longo do monitoramento, um aumento desse teor foi observado inicialmente nas amostragens de Novembro de 2015 e Janeiro de 2016 quando comparado ao teor mediano de argila calculado para a campanha realizada entre 24/09/2015 e 13/11/2015 (Quaresma et al., *submetidoB*). Comparando-se os teores das estações SDS 13, SDS 20, SD 02 e SDN 30 (Figura 12, Figura 10 e Figura 16, respectivamente) com os resultados apresentados por Quaresma et al. (*submetidoB*), se observa que os maiores incrementos foram observados na região das estações SDS 13 (Pré-Desastre: 0,06 %; Pós-Desastre: 26,25 %) e SDS 20 (Pré-Desastre: 21,14 %; Pós-Desastre: 72,6 %). Esses resultados indicam que logo após a chegada da massa de elevada turbidez à foz, sua dispersão preferencial se deu para Sul da Foz do Rio Doce.

A tendência de redução do teor de sedimentos coesivos na região marinha adjacente à Foz do Rio Doce pode estar associada a três possíveis fatores: 1) A uma redução da exportação de sedimento fino pelo Rio Doce em virtude das atividades de recuperação que têm sido desenvolvidas pela Fundação Renova nas margens dos rios atingidos pela passagem do rejeito de minério; 2) A uma mudança do padrão de decantação do material que chegou à foz após o rompimento da barragem e que resultou em um aumento do tempo de residência desse material na coluna d'água, como discutido por Grilo et al. (2018); e 3) Ao aumento do processo de ressuspensão do material fino com posterior transporte para áreas mais distantes e consequente concentração do material de maior granulometria no fundo. O aumento do tempo de residência desse material na coluna d'água possibilita que ele seja disperso para regiões mais distantes da foz. Tal comportamento auxilia no entendimento da distribuição de fases minerais contendo ferro (hematita, goethita, maghemita, magnetita e grenalita) e de $\text{FeO}_{\text{total}}$, que podem estar associadas ao rejeito de minério nos Setores APA Costa das Algas, Foz Norte, Foz Central, Foz Sul, Norte e Abrolhos.

Uma análise do potencial de ressuspensão para os Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul foi feita a partir da comparação da tensão de cisalhamento de fundo calculada para os dados de correntes próximos ao fundo (dados coletados no Fundeio 3; Sub-Projeto Modelagem/Anexo 3 Marinho Integrado) com a tensão crítica de ressuspensão calculada a partir dos dados de densidade úmida adquiridos após o rompimento da barragem de Fundão e ao longo do monitoramento PMBA. O fundeio 3 foi escolhido por ter apresentado um padrão de direção preferencial das correntes bem definido, enquanto o Fundeio 2 apresentou uma alta variabilidade da direção das correntes. O cálculo da tensão de cisalhamento de fundo foi feito a partir da equação de Reynolds para tensão de cisalhamento de fundo, e o cálculo da tensão crítica de ressuspensão a partir da equação de Mitchener e Torfs (1996; $0.015 \cdot (\text{densidade úmida} - 1000)^{0.73}$). Este cálculo foi feito para valores de densidade úmida das estações observados entre Novembro de 2015 e Setembro de 2019. Uma vez que os Setores Foz Sul, Foz Central e Foz Norte apresentaram padrões espaço-temporais diferenciados da distribuição da

densidade úmida do sedimento superficial de fundo, o cálculo do potencial de ressuspensão foi feito separadamente para cada um dos três setores.

A análise do potencial de ressuspensão do sedimento superficial de fundo foi realizada se considerando: a porcentagem do tempo em que a tensão de cisalhamento próximo ao fundo foi maior que a tensão crítica de ressuspensão e, as principais condições meteoceanográficas resultantes nas maiores tensões de cisalhamento de fundo. Portanto, condições que favoreceriam um maior potencial de ressuspensão. Os Setores Foz Sul, Foz Central e Foz Norte apresentaram valores de tensão crítica de ressuspensão, respectivamente, entre 0,21 e 2,94 Pa (Mediana: 0,92 Pa), 0,24 e 2,87 Pa (Mediana: 1,15 Pa) e entre 0,19 e 2,39 Pa (Mediana de 1,14 Pa). Considerando o valor de tensão crítica mediana calculada para o Setor Foz Sul (0,92 Pa), a ressuspensão do sedimento superficial ocorreu em aproximadamente 35% do tempo. Já considerando os valores de tensão crítica mediana calculada para os Setores Foz Central e Foz Norte (1,14 e 1,15, respectivamente), a ressuspensão do sedimento superficial ocorreu em aproximadamente 27 % do tempo. Estes resultados sugerem que os processos de ressuspensão são mais recorrentes no Setor Foz Sul que nos Setores Foz Central e Foz Norte.

Uma análise do percentual de mobilidade do sedimento superficial (Figura 117) e da variabilidade mensal da tensão de cisalhamento de fundo (Figura 118) foi realizada considerando a mediana da tensão crítica de ressuspensão obtida para o Setor Foz Sul (0.92 Pa).

Figura 117: Variação mensal do percentual de mobilidade do sedimento superficial de fundo, considerando a mediana da tensão crítica de ressuspensão obtida para o Setor Foz Sul (0,92 Pa).

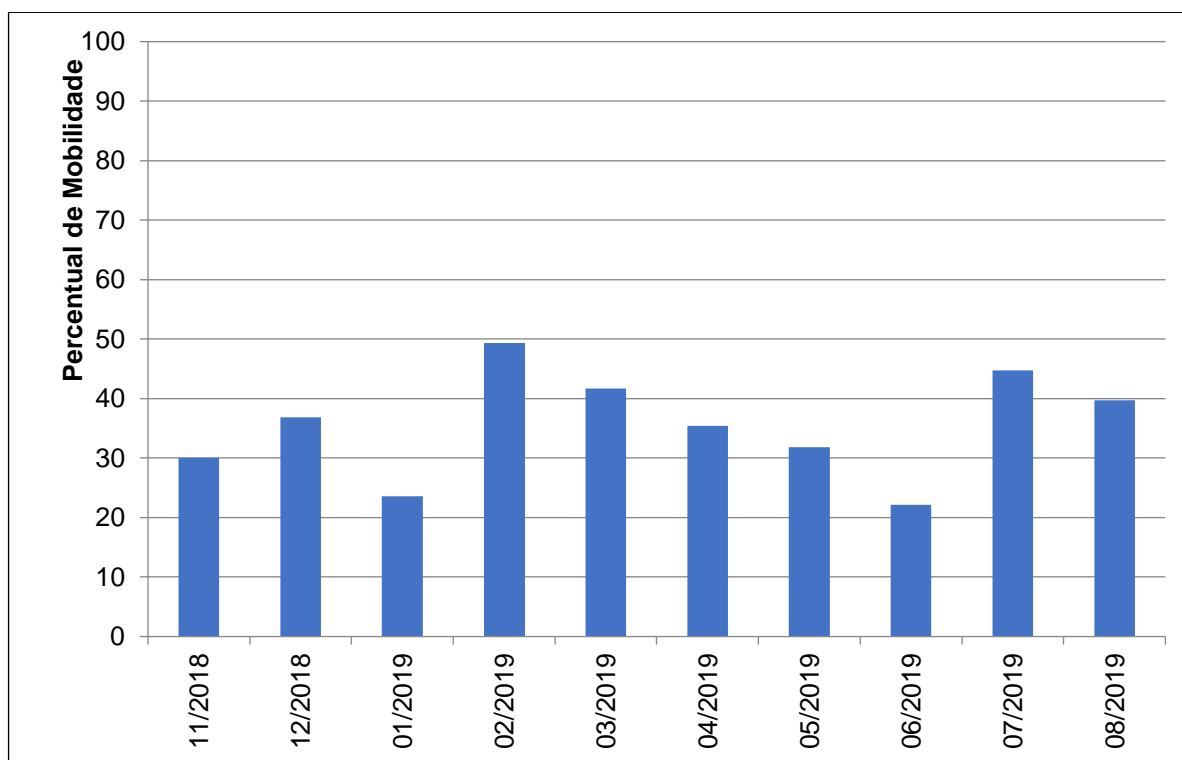
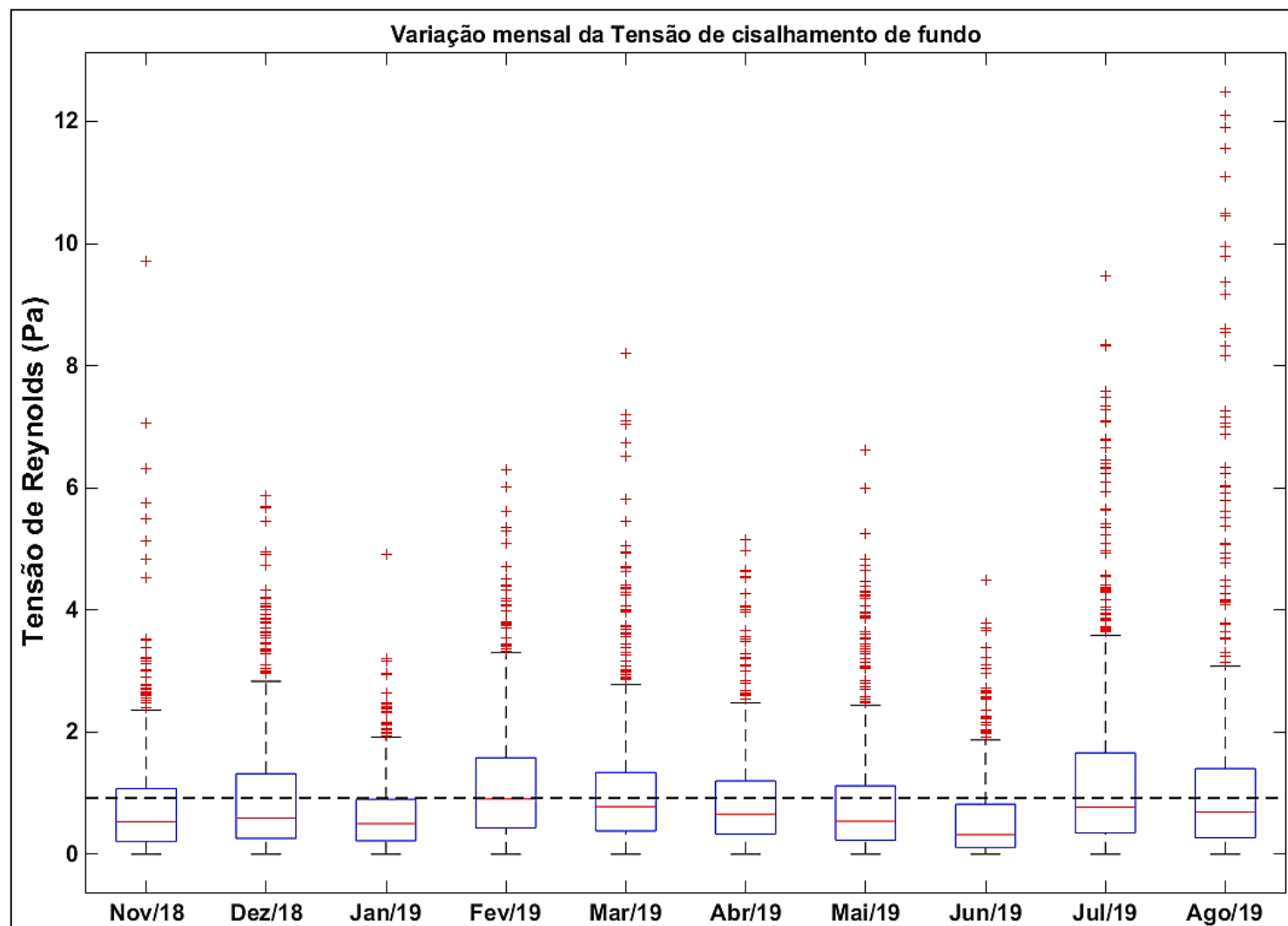


Figura 118: Variação mensal da tensão de cisalhamento de fundo calculada a partir dos dados hidrodinâmicos coletados no Fundeio 3 (Sub-Projeto Modelagem/Anexo 3 Marinho Integrado). Os pontos em vermelho na figura representam valores *ouliers* e a linha preta tracejada representa a mediana da tensão crítica de ressuspensão obtida para o Setor Foz Sul (0.92 Pa).

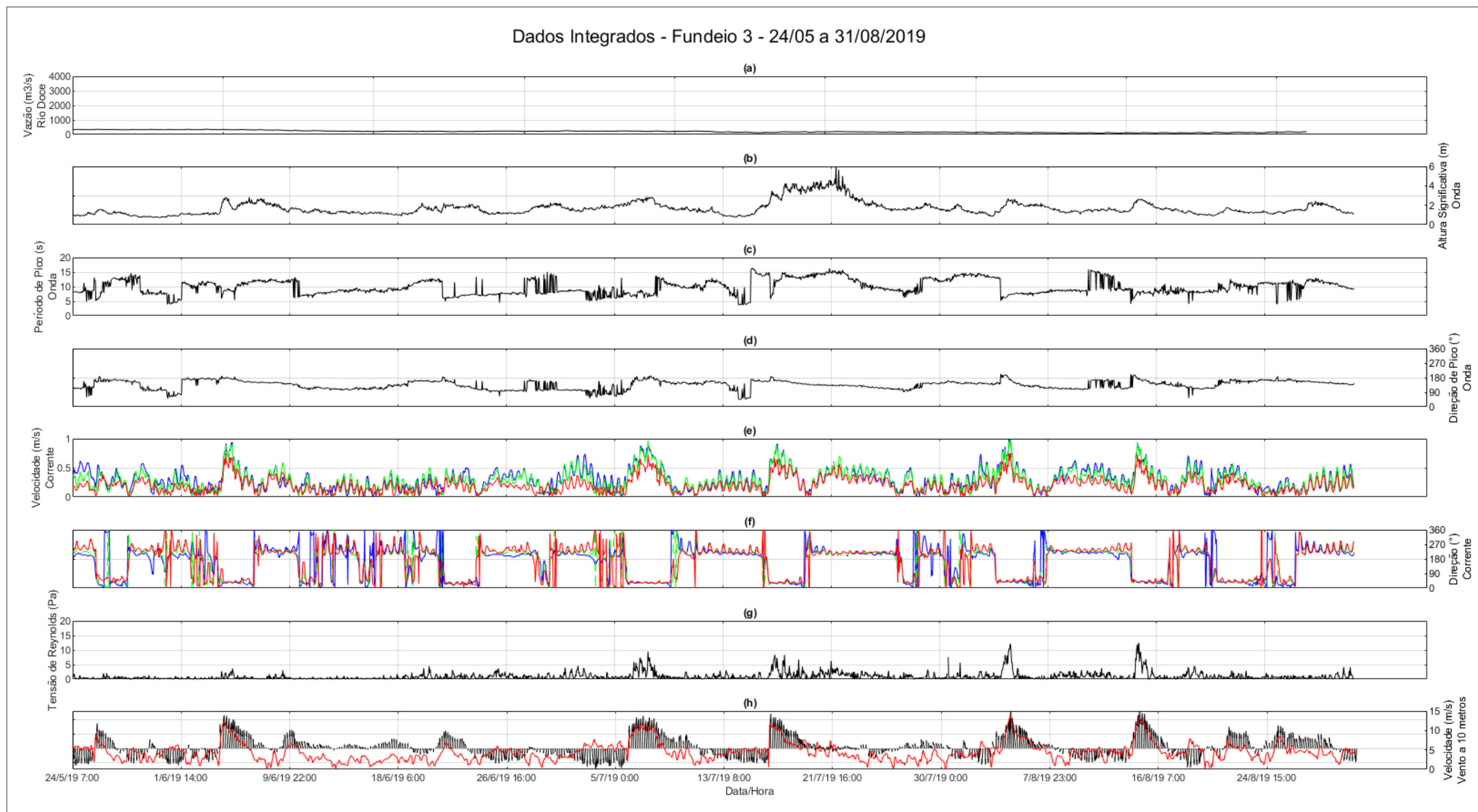


A partir da Figura 117 é possível observar que o maior percentual de mobilidade foi encontrado para Fevereiro/2019 (49,3%) e Julho/2019 (44,7%), enquanto que o menor ocorreu em Junho/2019 (22,2%) e Janeiro/2019 (23,5%). Apesar do maior percentual de mobilidade ter sido obtido para Fevereiro/2019, os maiores valores de tensão de cisalhamento de fundo foram observados em Julho e Agosto de 2019 (Figura 118). Esse resultado está em acordo com a variabilidade da concentração de MPS observada durante o monitoramento (Figura 37), uma vez que foi observada uma maior concentração de MPS nas Campanhas 10 (Julho/2019), 11 (Agosto/2019) e 12 (Setembro/2019) nos setores Foz Sul, Foz Central e Foz Norte. Na Campanha 5 (Fevereiro/2019), quando foi observado o maior percentual de mobilidade do sedimento de fundo, o aumento da concentração de MPS ficou restrito ao setor Foz Sul (Figura 53).

Quanto às condições meteoceanográficas, foi encontrado um maior potencial de ressuspensão associado a ventos e ondulações oriundos do quadrante sul, os quais resultaram em maiores valores de tensão de cisalhamento de fundo (Figura 118). Ventos oriundos do quadrante sul são observados na plataforma adjacente à Foz do Rio Doce em decorrência da atuação de Sistemas Transientes na região, com destaque para a passagem de sistemas frontais (Nimer, 1989; Cavalcanti et al., 2009). Nogueira (2014) destaca que a atuação de sistemas frontais gera na região ondas com direção de pico de sul, altura significativa entre 1,5 e 2,5 m e período de pico entre 10 e 14 s. A influência dessas condições meteoceanográficas na ressuspensão e no transporte de sedimento nesse setor já foi identificada por Quaresma et al. (2015), Silva (2017) e Oliveira (2018). Segundo esses estudos, a maior energia associada a ventos e ondas oriundos do quadrante Sul resultam em um maior potencial de ressuspensão do sedimento superficial com posterior transporte de sedimentos finos em direção à norte.

Maiores valores de tensão de cisalhamento de fundo, e consequentemente maiores valores de excesso de tensão de cisalhamento resultam em um maior fluxo de erosão do sedimento de fundo, e portanto, maiores taxas de transporte de sedimento (Krone, 1976; Piedra-Cueva e Mory, 2001; Dufois e Hir, 2015). A partir da Figura 118 observa-se que os maiores valores de excesso de tensão de cisalhamento ocorreram em Julho e Agosto de 2019, associados a correntes com direção à nordeste/norte. Dessa forma, os eventos de transporte de sedimento mais significativos ocorrem nessa direção. Outro resultado importante foram os altos valores de tensão de cisalhamento de fundo associados a correntes para Sudoeste e ventos de Nordeste no Setor Foz (Figura 119). Tal resultado sugere que, sob a atuação desses ventos, os quais possuem maior dominância temporal na região adjacente à foz do Rio Doce (Oliveira e Quaresma, 2018), o sedimento superficial de fundo será transportado preferencialmente para sudoeste. Esse resultado hidrodinâmico é corroborado pela distribuição do sedimento lamoso observada ao longo do monitoramento (Apêndice 15) e por estudos prévios (Bastos et al., 2015; Quaresma et al., 2015; Silva, 2017; Vieira et al., 2019).

Figura 119: Série temporal de Vazão da Estação Fluviométrica em Linhares (Estação P21 - Anexo 3 - Dulcícola) (a). Séries temporais de dados do Fundeio 2 (latitude:--19,7152'; longitude:-39,8473') fornecidos pelo Sub-Projeto Modelagem/Anexo 3 Marinho Integrado: Altura Significativa da onda (m) (b), Período de Pico da onda (s) (c), Direção de Pico da onda (°) (d), Velocidade da corrente medida a 1,75 m acima do fundo (m/s) (e), Direção da corrente medida a 1,20 m acima do fundo (°) (f). Série temporal da Tensão de Reynolds calculada a partir das componentes de velocidade da corrente medida a 1,20 m acima do fundo (Pa) (g). Séries temporais de velocidade (m/s) e direção do vento (°) à 10 m da superfície (h). Os dados de vento foram extraídos da Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)- National Centers for Environmental Prediction (NCEP), para o ponto de latitude: - 19,72742 e longitude: -39,8864.



A assinatura do maior potencial de ressuspensão do sedimento superficial com posterior transporte de sedimentos finos em direção à nordeste/norte foi observada tanto na abrangência de dispersão e deposição do material oriundo do rejeito da Barragem de Fundão, como na variabilidade espaço-temporal da distribuição granulométrica do sedimento superficial. No geral, a análise da distribuição granulométrica dos setores monitorados mostrou o mesmo padrão de distribuição espacial observado por Quaresma et al. (2015), Bastos et al. (2015), Vieira (2017) e Vieira et al. (2019): um domínio de sedimento litoclásticos com baixos teores de carbonato nas estações localizadas em profundidades inferiores a 30 m e um domínio de sedimentos mistos e carbonáticos nas estações localizadas em profundidades superiores a 30 m. Já no Setor Abrolhos ocorreu um domínio de sedimentos carbonáticos, pobremente selecionados e com assimetria de sedimentos finos e muito finos. Esse pobre selecionamento é controlado principalmente pela presença de carapaças de organismos e seus vestígios no sedimento de fundo. Do Setor Abrolhos se destaca a estação ABR 01 por apresentar características sedimentares diferenciadas das outras estações do setor: menor teor de CaCO_3 , maior volume de sedimentos terrígenos, maior teor de MO e maior volume de fases minerais contendo ferro. Nessa estação também foi encontrado um aumento da susceptibilidade magnética em relação aos valores de referência reportados para o setor.

Para o Setor Norte foi observado um domínio de assimetria para os finos e muito finos com tendência de aumento do tamanho do grão em direção a norte para as estações mais próximas à costa, enquanto que para as estações mais profundas, uma tendência de redução do tamanho do grão a partir da estação BN 01 em direção às estações DEG 02 e ITA 02 foi observada (i.e. para norte e para sul). O sedimento com maior selecionamento dos grãos foi encontrado nas estações de Degredo enquanto que as estações de Barra Nova apresentaram o menor grau de selecionamento ao longo do monitoramento. Os Setores da Foz do Rio Doce apresentaram uma granulometria mais fina com uma tendência geral de afinamento nas estações mais rasas e ao longo dos 30 m de profundidade, enquanto que próximo dos 20 m de profundidade esse afinamento se direciona para sul. Assim, apesar da análise granulométrica indicar um transporte de sedimento da Foz do Rio Doce tanto para sul como para norte, esse transporte se dá predominantemente em direção a norte, como já indicado pelas análises de tensão de cisalhamento de fundo (Figura 118) e do percentual de mobilidade do sedimento superficial (Figura 117).

No Setor APA Costa das Algas, não ocorreu um padrão definido para a variação da distribuição granulométrica ao longo do monitoramento, entretanto uma variabilidade espacial no padrão de deposição foi observada. No geral, as estações rasas apresentaram um menor teor de MO (3,86 e 4,04%, respectivamente, para rasas e profundas), um menor teor médio de CaCO_3 (35,38 e 90,69%, respectivamente, para rasas e profundas) e um menor valor médio do D90 (1475 μm e 2471 μm respectivamente, para rasas e profundas). Um padrão quanto ao selecionamento dos grãos do sedimento também foi observado, em que as estações rasas foram caracterizadas serem moderadamente selecionadas a pobremente selecionadas, quanto que as estações profundas se caracterizaram como pobremente selecionadas a extremamente pobremente selecionadas.

Assim como para o Setor Abrolhos, o selecionamento do Setor APA Costa das Algas está ligado à presença de carapaças de organismos no sedimento de fundo. O resultado da estatística D90 indica que nas estações rasas, 90 % do sedimento é menor que areia muito grossa (entre 1 e 2 mm). Já para as estações profundas, grânulos (entre 2 e 4 mm) são observados em maior proporção. A exceção para o padrão observado das estações rasas é a CA 10, a qual apresentou um teor médio de CaCO_3 de 85,60% e um valor médio de D90 de 2710 μm . Diferente das outras estações que se localizam em uma região dominada por sedimento não consolidado misto, a estação CA 10 fica localizada em uma região do setor APA Costa das Algas caracterizada por Fundos de rodolitos e Estruturas recifais (Vieira, 2017; Vieira et al., 2019). Um ponto de destaque para a estação CA 10 é que foi observado um aumento de 1,6 vezes na susceptibilidade magnética em relação ao valor de referência na Campanha 1 e um aumento de 1,3 vezes na Campanha 7, indicando que o material oriundo da barragem de rejeito alcançou a região do limite sul costeiro da APA Costa das Algas.

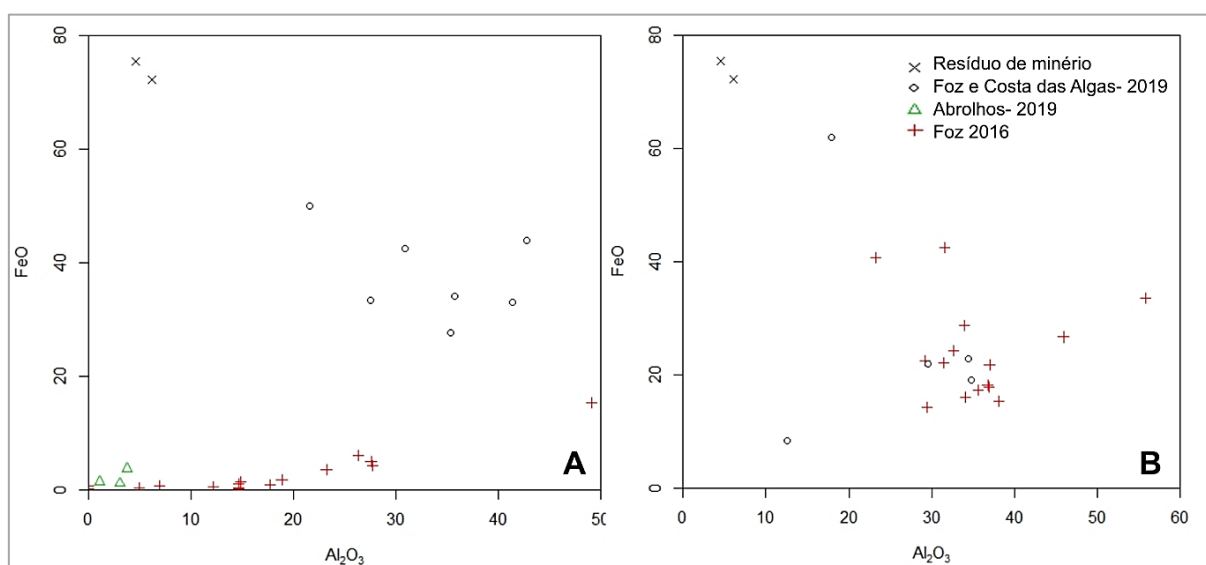
As estações do setor Sul apresentaram pouca variabilidade granulométrica, onde a estação mais rasa na região de Vitória foi caracterizada por um sedimento arenoso bem selecionado com uma leve assimetria para os finos e com um afinamento ao longo das campanhas amostradas. A estação mais profunda de Vitória apresentou uma maior variabilidade da distribuição granulométrica ao longo do monitoramento, ora como um sedimento areno-cascalhoso, ora como cascalho-arenoso e com uma maior assimetria para sedimentos muito finos em relação à estação mais rasa. A estação rasa de Guarapari apresentou um afinamento do sedimento lamoso na Campanha 7 em relação ao observado na Campanha 1, bem como uma redução do selecionamento dos grãos do sedimento, sugerindo uma deposição recente de sedimento lamoso na região.

Em relação, a análise do teor de $\text{FeO}_{\text{total}}$ no MPS, os valores observados no período 2015/2016 mostraram maiores concentrações nos Setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul com dispersão predominante para Sul. Já na Campanha 1-PMBA foi observada uma maior dispersão $\text{FeO}_{\text{total}}$ no MPS para N/NE, com significativo aumento de seus teores. A direção preferencial de dispersão desses minerais para N/NE foi confirmada pela distribuição espacial de fases minerais susceptíveis à magnetização. Os resultados da análise mineralógica do sedimento superficial de fundo mostraram que em geral, os maiores volumes de fases minerais contendo ferro (que podem estar associadas ao rejeito de minério de ferro; principalmente óxidos e hidróxidos) bem como os maiores incrementos na susceptibilidade magnética se concentraram próximos à Foz do Rio Doce e nas estações mais rasas, diminuindo em direção à maiores profundidades (Apêndice 13).

Essa distribuição espacial foi observada nos setores APA Costa das Algas, Foz Norte, Foz Central, Foz Sul, Norte e Abrolhos, com os maiores teores nos Setores da Foz do Rio Doce e diminuindo tanto para Sul como para Norte. Essa distribuição preferencial dessas fases minerais contendo ferro sugere que a dispersão desse material ocorre preferencialmente nas porções mais rasas da plataforma. A partir da foz do Rio Doce, ao longo das Campanhas PMBA (2018-2019), também foi possível identificar uma maior dispersão dessas fases minerais no sedimento superficial em direção à Norte (Apêndice 13). Em uma perspectiva temporal, foi observado um aumento significativo nas médias dos volumes das fases

minerais de ferro no sedimento superficial de fundo, bem como nos percentuais em massa de $\text{FeO}_{\text{total}}$ nas Campanhas de Novembro de 2015 em relação ao observado anteriormente ao rompimento da barragem de Fundão. A Figura 120 mostra que no período de 2015 a 2016 as amostras dos Setores da Foz do Rio Doce apresentavam baixo percentual de $\text{FeO}_{\text{total}}$ no MPS de águas próximo ao fundo, enquanto que concentrações mais altas eram observadas nos sedimentos. Já em 2019 esse comportamento se modificou, indicando concentrações semelhantes tanto no MPS quanto nos sedimentos, o que sugere que as fases minerais que contêm ferro passam por períodos de deposição no fundo (2015/2016) e eventos de ressuspensão (2019)

Figura 120: Aluminossilicatos (Al_2O_3) versus Fases de ferro ($\text{FeO}_{\text{Total}}$). A figura apresenta a distribuição das amostras do MPS (A) e sedimentos de fundo (B).



Cabe ressaltar alguns aspectos mineralógicos importantes considerados: 1) Apesar de serem minerais comuns no minério de ferro itabirítico (fonte do rejeito), a hematita, a magnetita, a goethita, a maghemita e a gibsita são comuns em solos do sudeste do Brasil (Ferreira et al. 1999; Resende et al, 2005), o que explica a presença destes minerais na plataforma continental estudada em período anterior ao rompimento da barragem de Fundão. No entanto os volumes relativos dos minerais hematita e goethita são pequenos em relação aos outros minerais (aproximadamente 90%) em amostras controle (Tabela 1). Quanto à possibilidade de haver alguma fase mineral específica do minério de ferro itabirítico e, consequentemente, seu rejeito, a grenalita foi o único mineral que mostrou uma maior afinidade. A grenalita é um silicato de ferro hidratado, descrito na literatura como um típico mineral de formações ferríferas bandadas em todo o mundo, sendo encontrado em horizontes geológicos não metamorfizados, característica de ambientes deposicionais (Jolliffe, 1935; Klein 2005; Rasmussem et al, 2017) e outros tipos de ocorrências (Klein, 2005 e Guimarães,1987). De qualquer forma, não são relatadas na literatura a ocorrência de grenalita no minério prístino do quadrilátero ferrífero (Dorr, 1960; Rosière e Chemale, 2000; Spier et al, 2007). Entretanto, sua formação epigenética a partir da deposição direta ou de soluções com ferro proveniente de alteração de rochas ferruginosas foi especulada há

muito tempo (Jolliffe, 1935). Dessa forma, sua presença parece ser ligada a alguma condição físico-química existente na pilha de rejeito, possivelmente associada a condições supergênicas compatíveis capazes de gerá-la a partir de fases desestabilizadas contendo sílica e ferro.

Assim, as quantidades volumetricamente importantes de fases minerais com ferro bem com a presença da grenalita podem ser um indicador da presença de rejeito na área investigada. Cabe ressaltar que estudos mais detalhados a respeito devem ser realizados. Além disso, a distribuição espacial das fases minerais contendo ferro mostra grande dispersão de goethita, concentrações maiores de hematita nos extremos (Setores da Foz do Rio Doce e Setor APA Costa das Algas) e concentração de magnetita e magmita nos Setores da Foz do Rio Doce, fato corroborado pelos valores de susceptibilidade magnética. As densidades relativas da hematita, magnetita e goethita são respectivamente 5,26, 5,18 e 4,47. Considerando que a hematita possui a maior densidade relativa entre os três, as concentrações e distribuições desses minerais se devem mais à granulometria que às suas densidades. Além disso, os dados obtidos até o momento sugerem que passados quatro anos do rompimento da barragem de Fundão, o material associado ao rejeito de minério de ferro que chegou à plataforma continental marinha continua a ser movimentado pela ação dinâmica de ondas, correntes e por fatores climáticos.

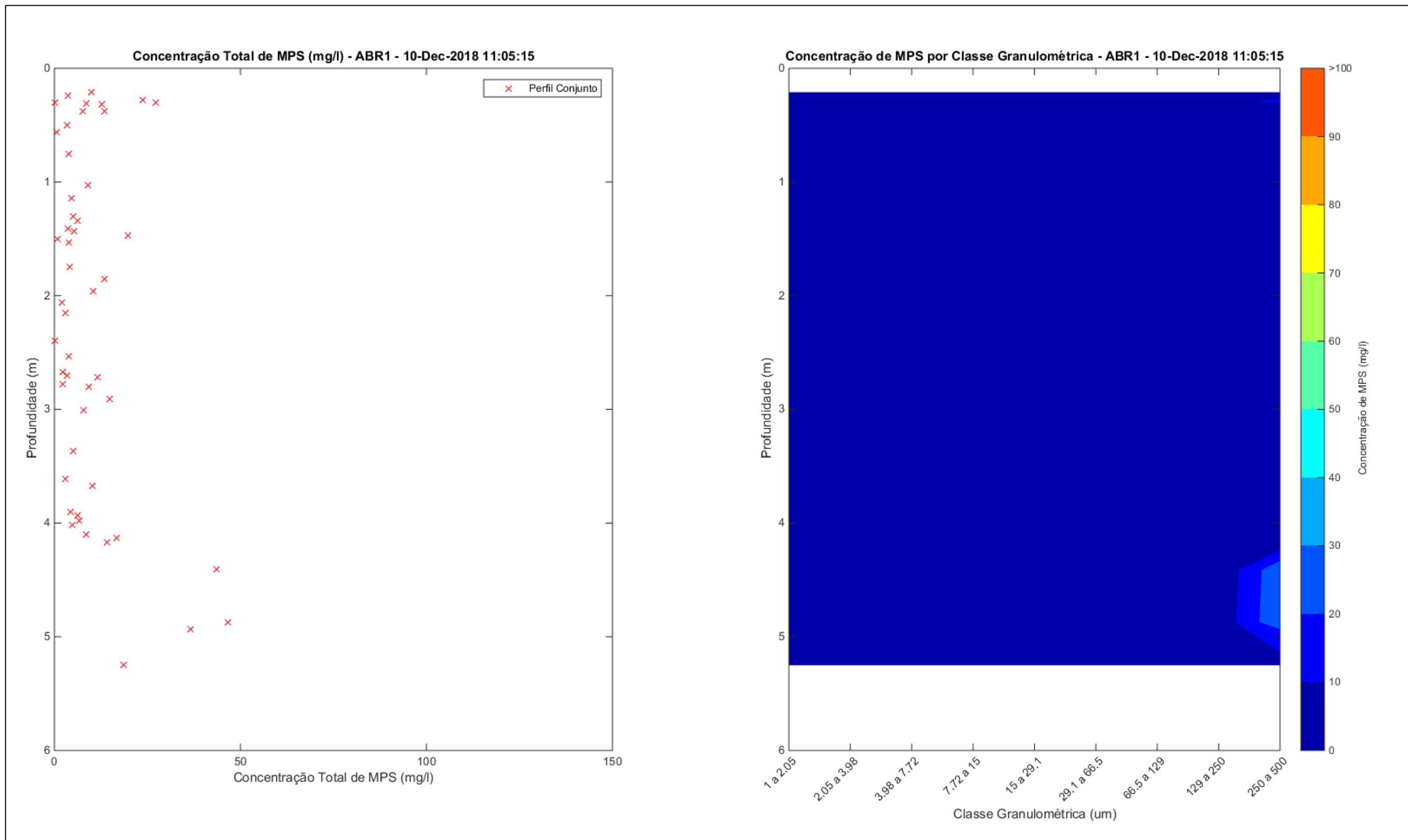
3 REFERÊNCIAS

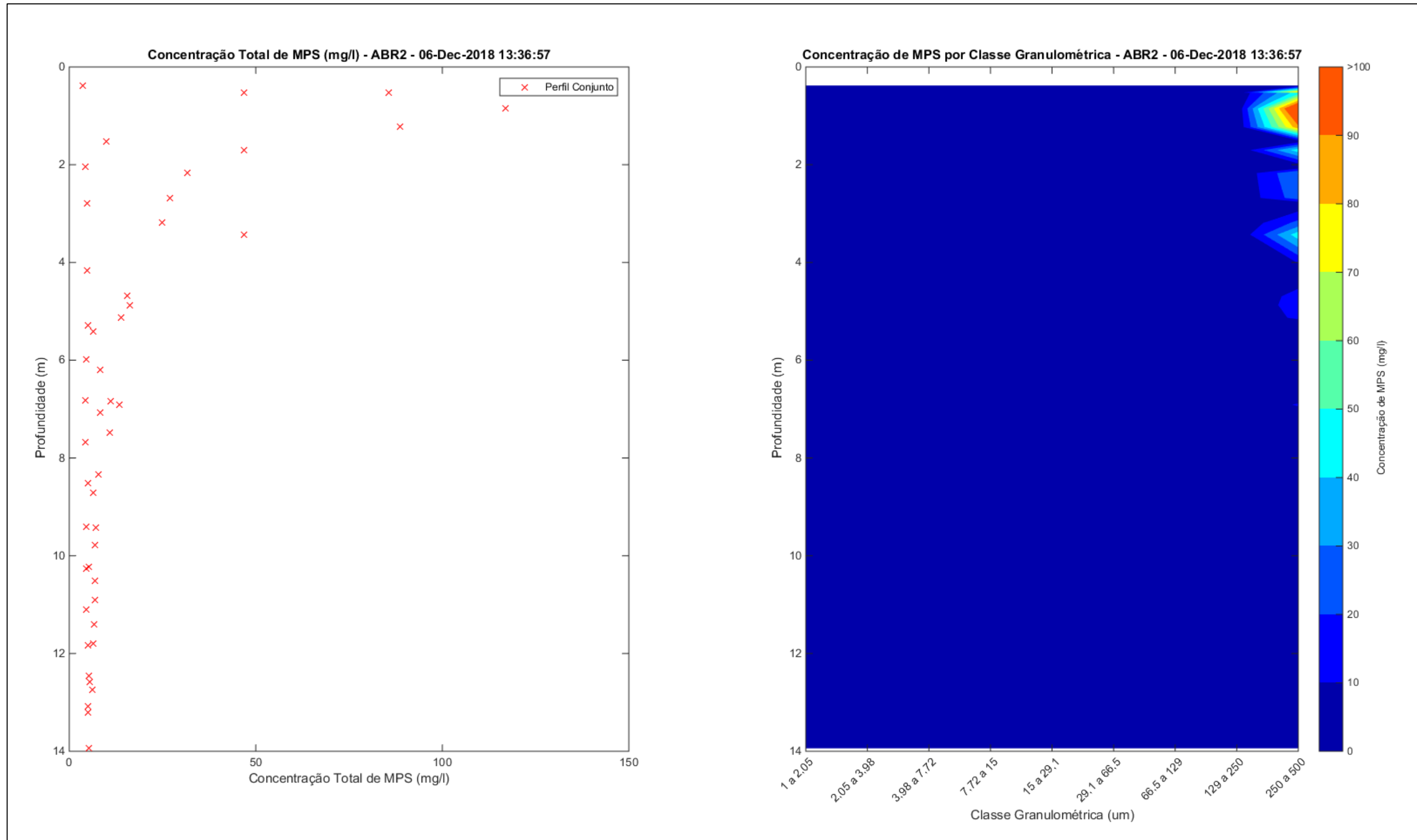
- Amos, C.L., Bergamasco, A., Umgieser, G., Cappucci, S., Cloutier, D., DeNat, L., Flindt, M., Bonardi, M., Cristante, S., 2004. The stability of tidal flats in Venice Lagoon—the results of in-situ measurements using two benthic, annular flumes. *Journal of Marine Systems* 51, 211-241.
- Blott, S.J. Pye, K. (2001) GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248.
- Boer, G.J.D., Winterwerp, A.R.v.D.J.C., 2009. Wave damping by fluid mud Wave damping by fluid mud, pp. 2008-2009.
- Calliari LJ, Holland KT, Pereira PS, et al (2007) The Influence of Mud on the Inner Shelf, Shoreface, Beach, and Surf Zone Morphodynamics — Cassino, Southern Brazil. In: *Coastal Sediments '07*. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, pp 1455–1465.
- Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Dias, M. A. F.; Justi da Silva, M. G. A.: (Organizadores). *Tempo e Clima no Brasil*. Autores: vários. Editora: Oficina de Textos. 1ª edição, 2009.
- Cuthbertson, A.J.S., Ibikunle, O., McCarter, W.J., Starrs, G., 2016. Monitoring and characterisation of sand-mud sedimentation processes. *Ocean Dynamics*, 867–891.
- Dorr, Van. *Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, Brasil*. [S.l.]: Ministerio de Agricultura, 1960.
- Gabioux, M., Vinzon, S.B., Paiva, A.M., 2005. Tidal propagation over fluid mud layers on the Amazon shelf. *Continental Shelf Research* 25, 13.
- Ferreira, M M; Fernandes, B e Curi, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. *Revista brasileira de ciência do solo*, v. 23, n. 3, p. 507–514, 1999.
- Grabowski, R.C., Droppo, I.G., Wharton, G., 2011. Erodibility of cohesive sediment: The importance of sediment properties. *Earth-Science Reviews* 105, 101-120.
- Grilo, C.F., Quaresma, V.d.S., Amorim, G.F.L., Bastos, A.C., 2018. Changes in flocculation patterns of cohesive sediments after an iron ore mining dam failure. *Marine Geology* 400, 1-11.
- McAnally William, H., Friedrichs, C., Hamilton, D., Hayter, E., Shrestha, P., Rodriguez, H., Sheremet, A., Teeter, A., null, n., 2007. Management of Fluid Mud in Estuaries, Bays, and Lakes. I: Present State of Understanding on Character and Behavior. *Journal of Hydraulic Engineering* 133, 9-22.
- Mehta, A.J., 1991. Understanding Fluid Mud in a Dynamic Environment. *Geo-Marine Letters* 11, 5.
- Mehta, A.J., 2013. *An Introduction to Hydraulics of Fine Sediment Transport*. World Scientific, New Jersey.
- Mitchener, H., Torfs, H., 1996. Erosion of mud/sand mixtures. *Coastal Engineering* 29, 25.

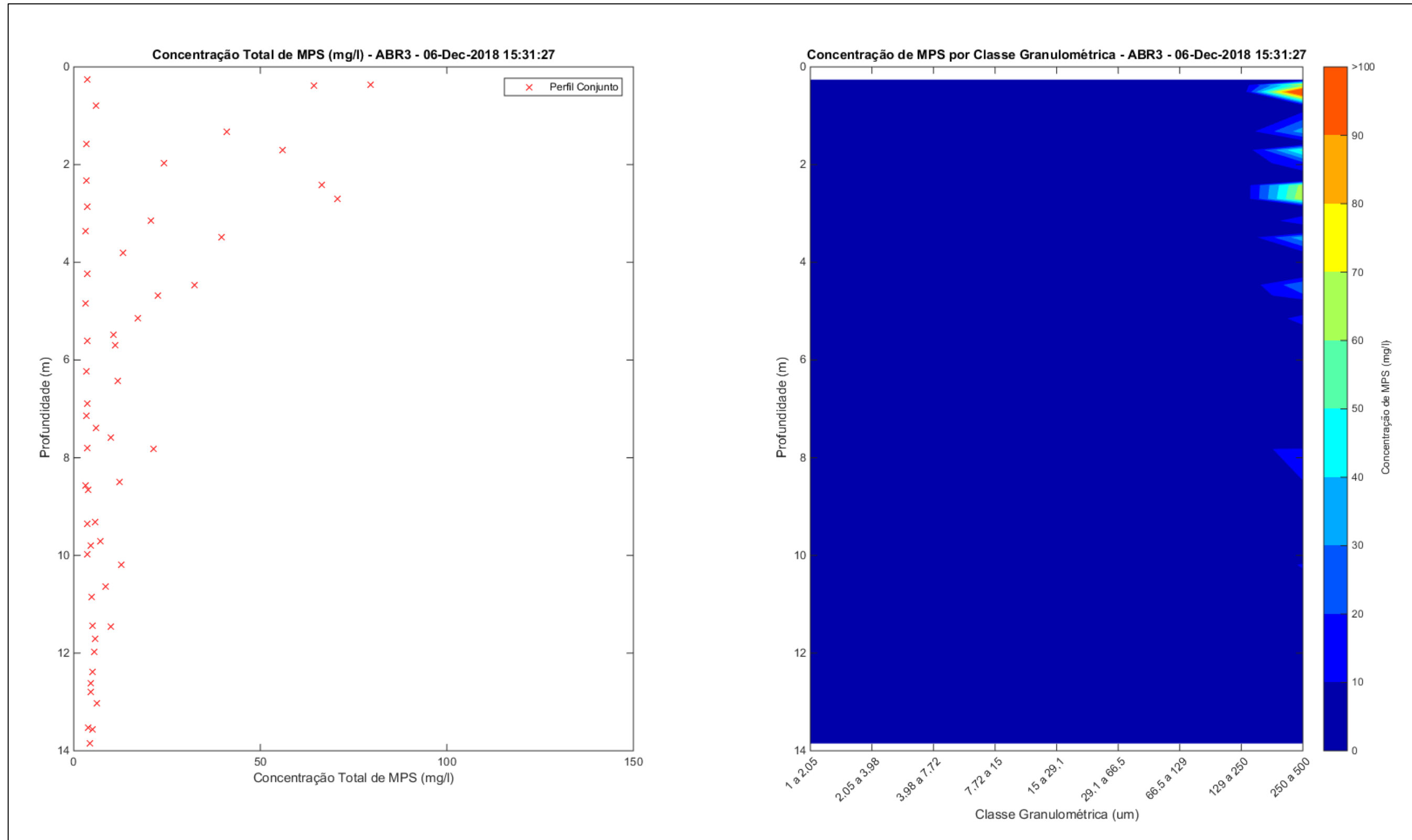
- Mook, D. H., C. M. Hoskin, 1982. Organic determinations by ignition: caution advised. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 15: 697–699.
- Nimer, E.: *Climatologia do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 421p. Rio de Janeiro, RJ. 1989.
- Nogueira, I. C. M.: *Caracterização do clima de ondas na bacia do Espírito Santo através de modelagem numérica*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014.
- Panagiotopoulos, I., Voulgaris, G., Collins, M.B., 1997. The influence of clay on the threshold of movement of fine sandy beds. *Coastal Engineering* 32, 19-43.
- Rasmussen, Birger e colab. Greenalite precipitation linked to the deposition of banded iron formations downslope from a late Archean carbonate platform. *Precambrian Research*, v. 290, p. 49–62, 2017.
- Torfs, H., Mltchener, H., Huysentruyt, H., Toorman, E., 1996. Sttling and consolidation of mud/sand mixtures. *Coastal Engineering* 29, 27-45.
- Resende, Mauro. *Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações*. [S.l.]: UFLA, 2005.
- Rosière, Carlos A e CHEMALE JR, Farid. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero—uma visão geral e discussão. *Revista Geonomos*, v. 8, n. 2, 2000.
- Spier, Carlos A e colab. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, v. 152, n. 3–4, p. 170–206, 2007.
- Traykovski, P., Geyer, W.R., Irish, J.D., Lynch, J.F., 2000. The role of wave-induced density-driven fluid mud flows for cross-shelf transport on the Eel River continental shelf. *Continental Shelf Research* 20, 27.
- Vinzon, S.B., Winterwerp, J.C., Nogueira, R., de Boer, G.J., 2009. Mud deposit formation on the open coast of the larger Patos Lagoon–Cassino Beach system. *Continental Shelf Research* 29, 572-588.
- Winterwerp, J.C., 1999. On the dynamics of high-concentrated mud suspensions, *Civil Engineering and Geosciences*. Delft University of Technology, p. 204.
- Winterwerp, J.C., 2002. On the flocculation and settling velocity of estuarine mud. *Continental Shelf Research* 22 22.
- Winterwerp, J.C., Graaff, R.F.D., Groeneweg, J., Luijendijk, a.P., 2007. Modelling of wave damping at Guyana mud coast. *Coastal Engineering* 54, 13.

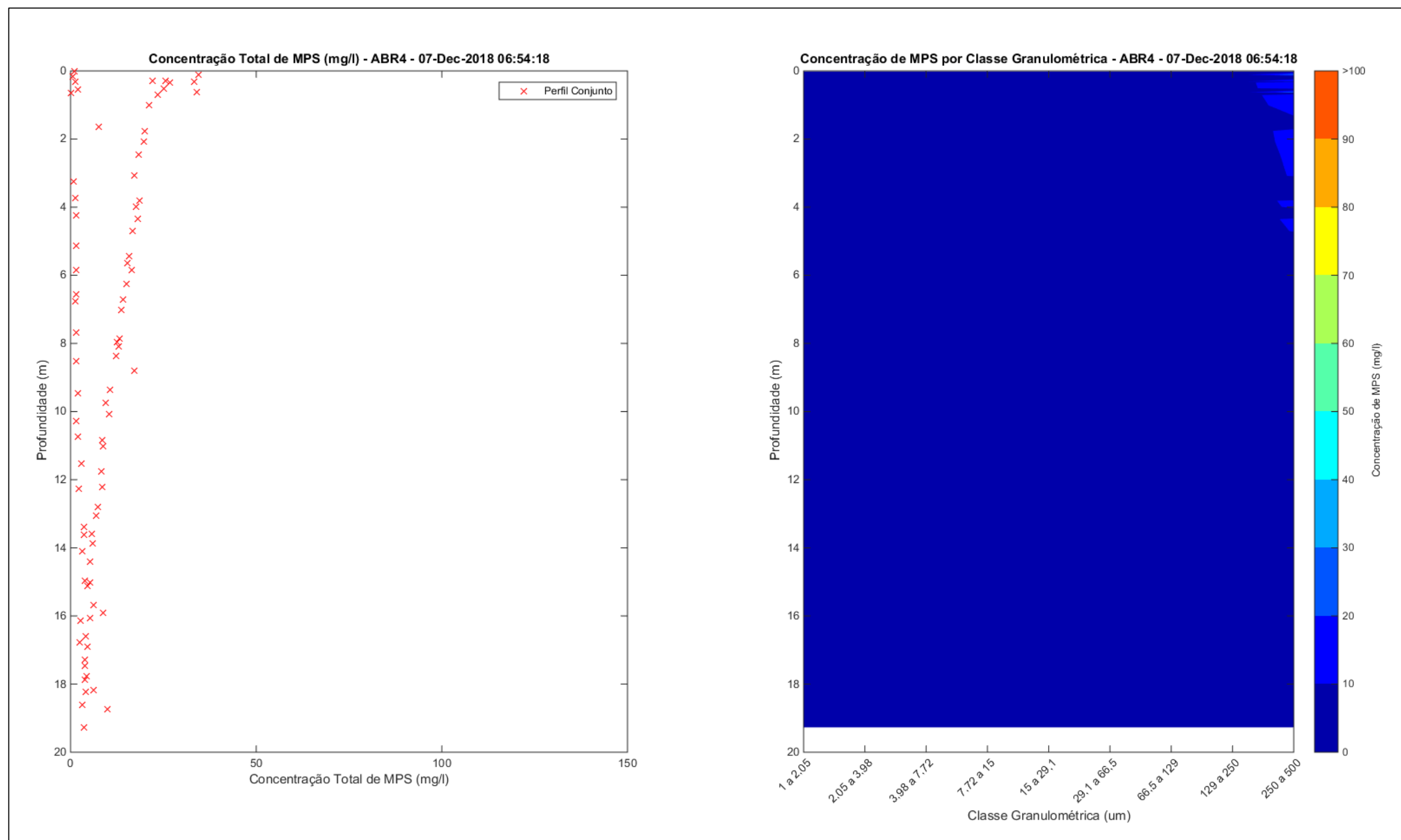
4 APÊNDICES

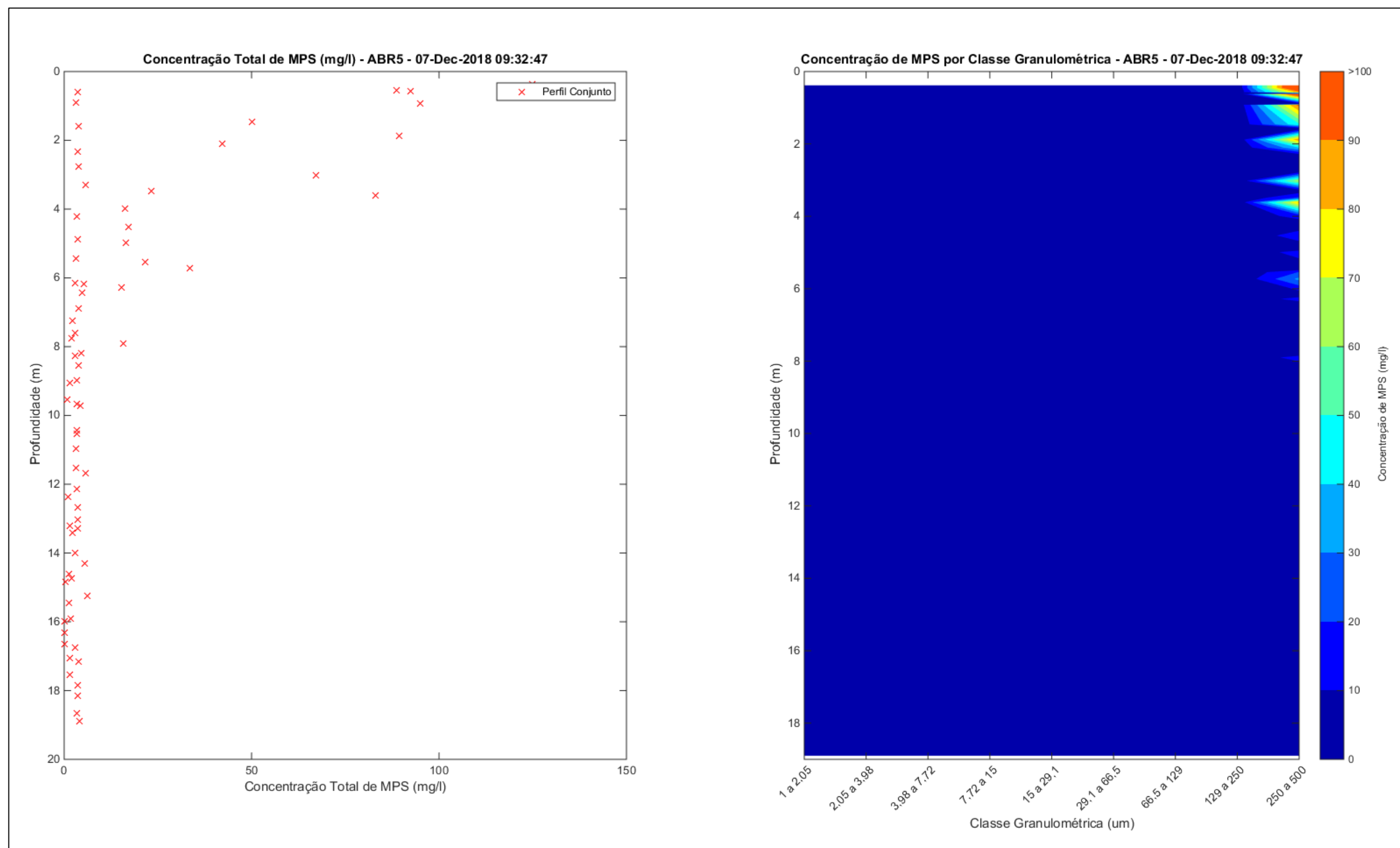
Apêndice 1: Perfilagens realizadas pelo LISST na Campanha 1.

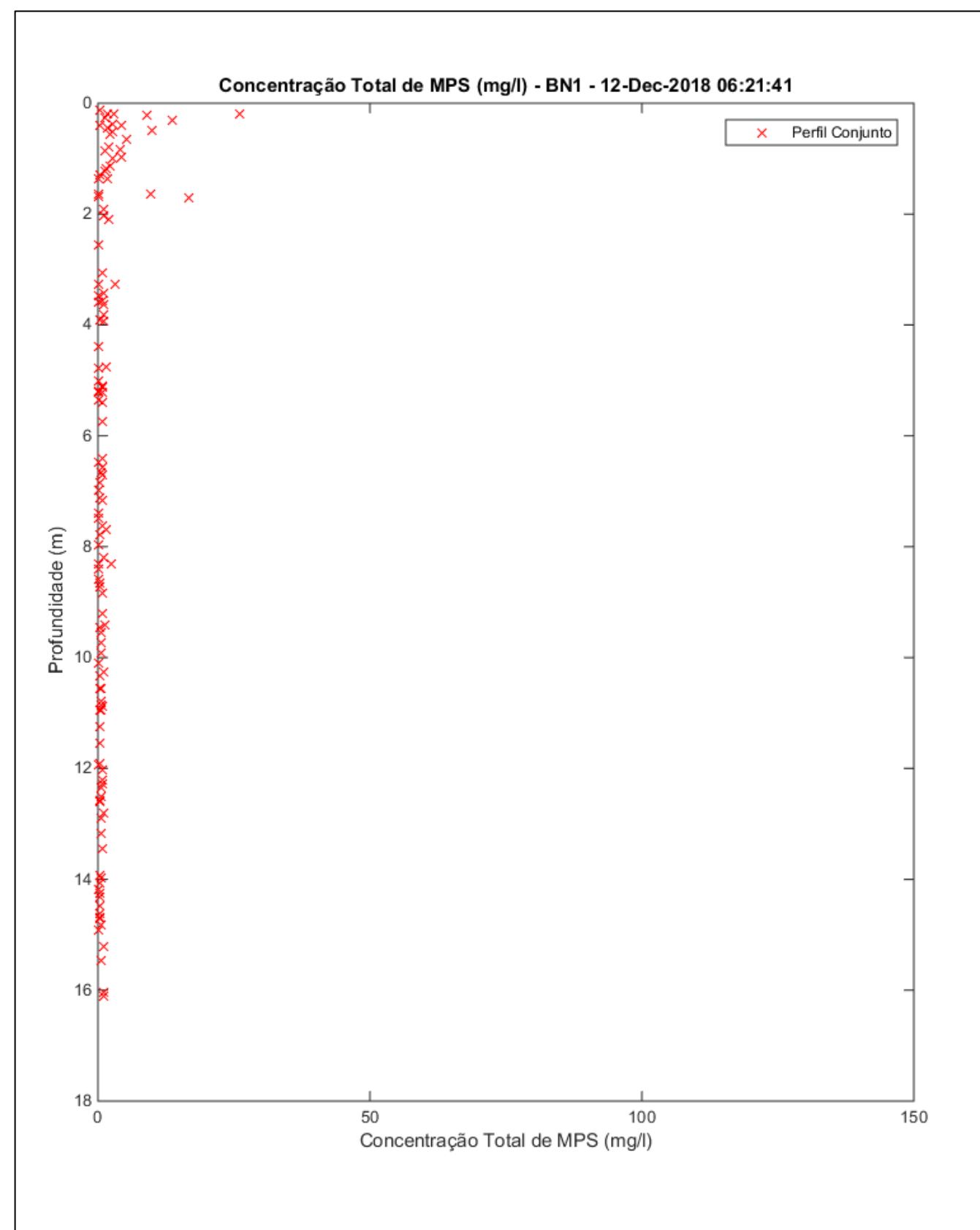


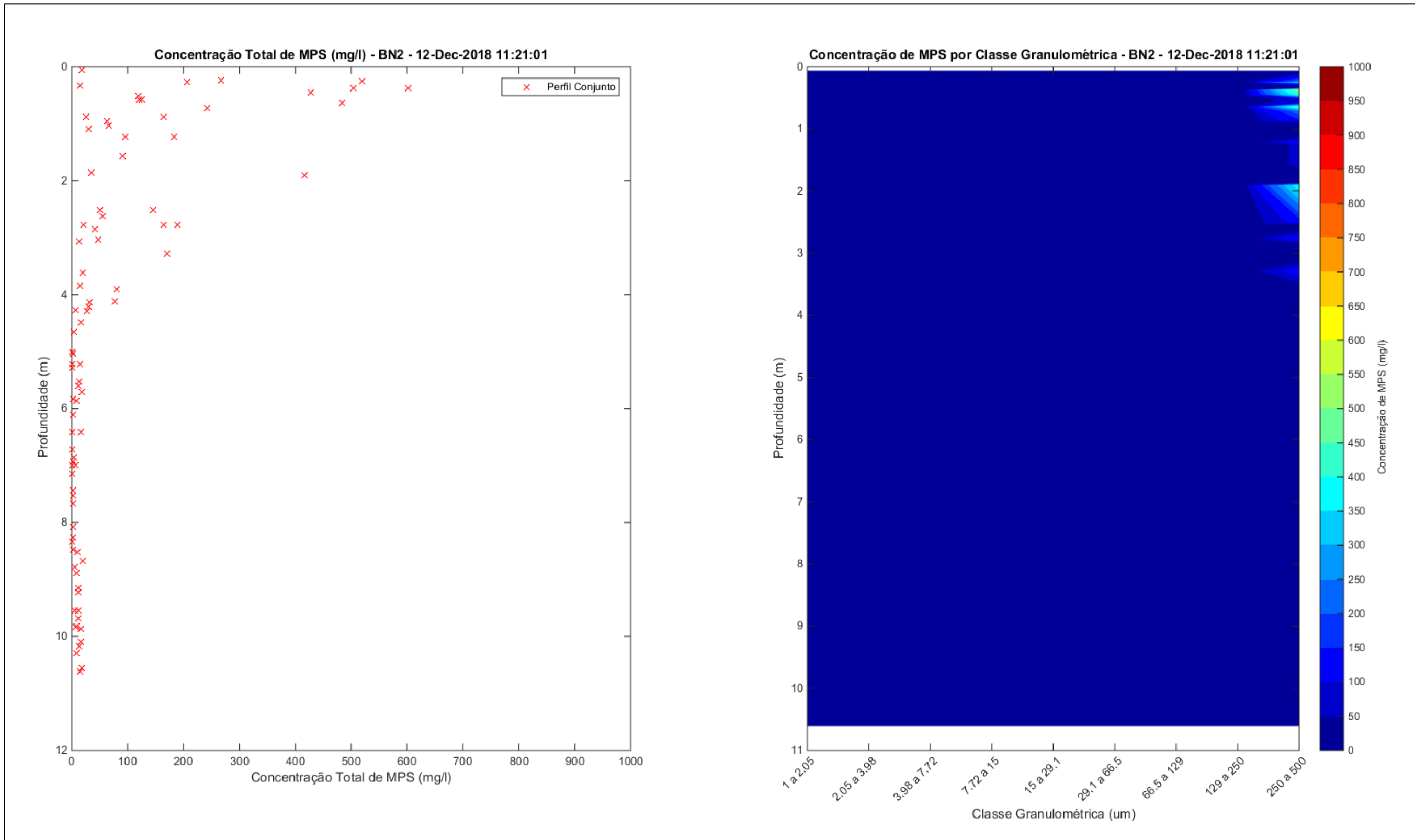


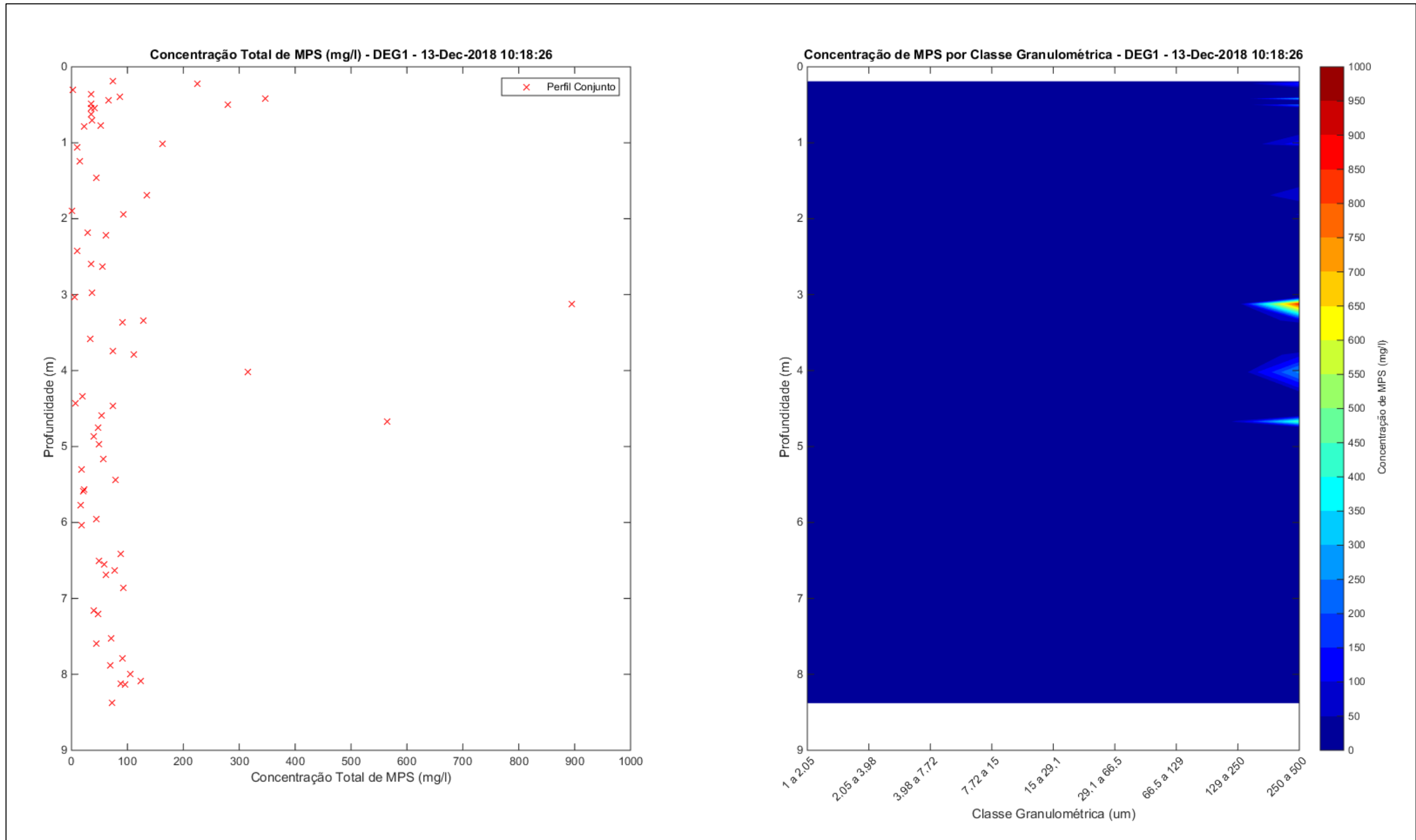


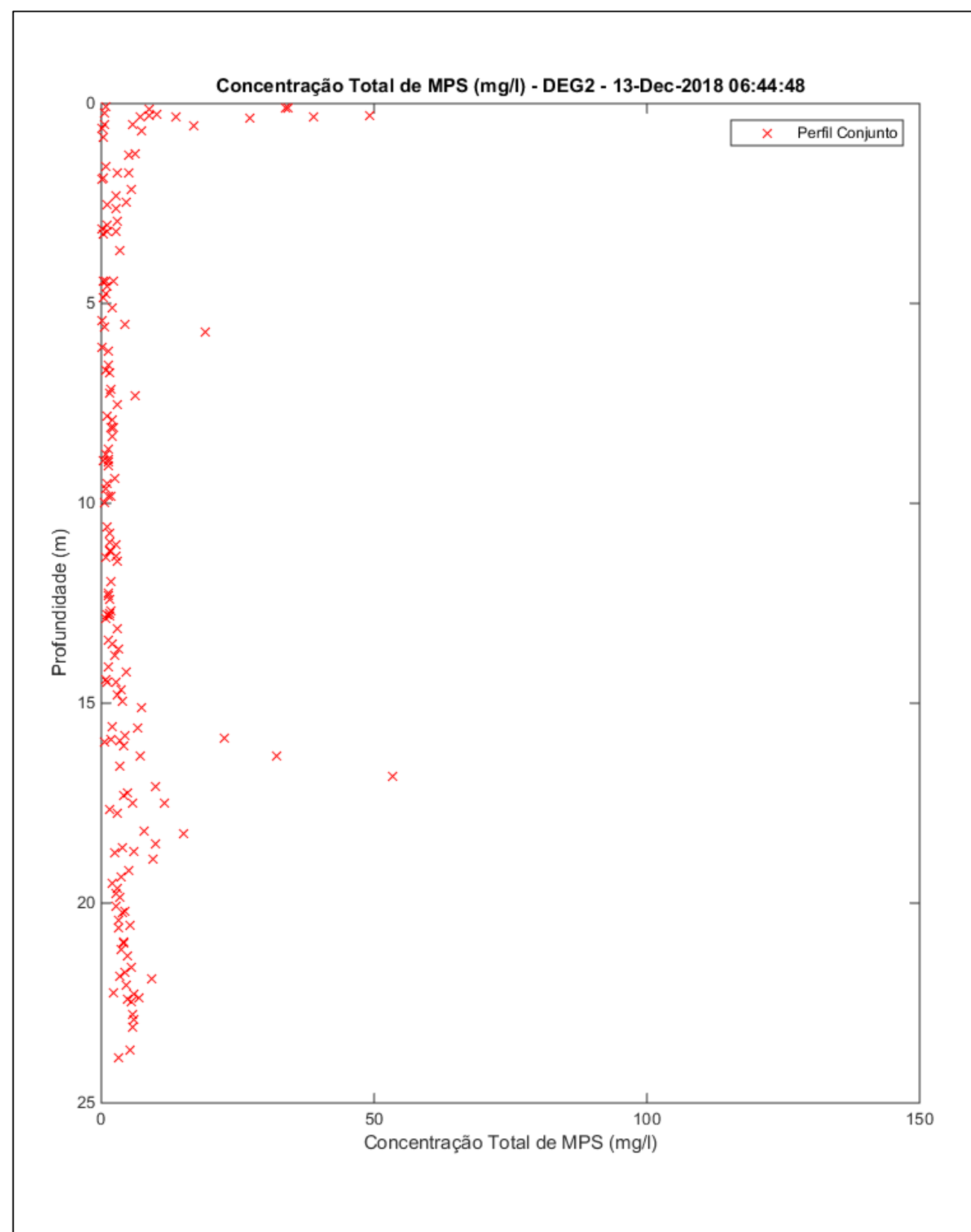


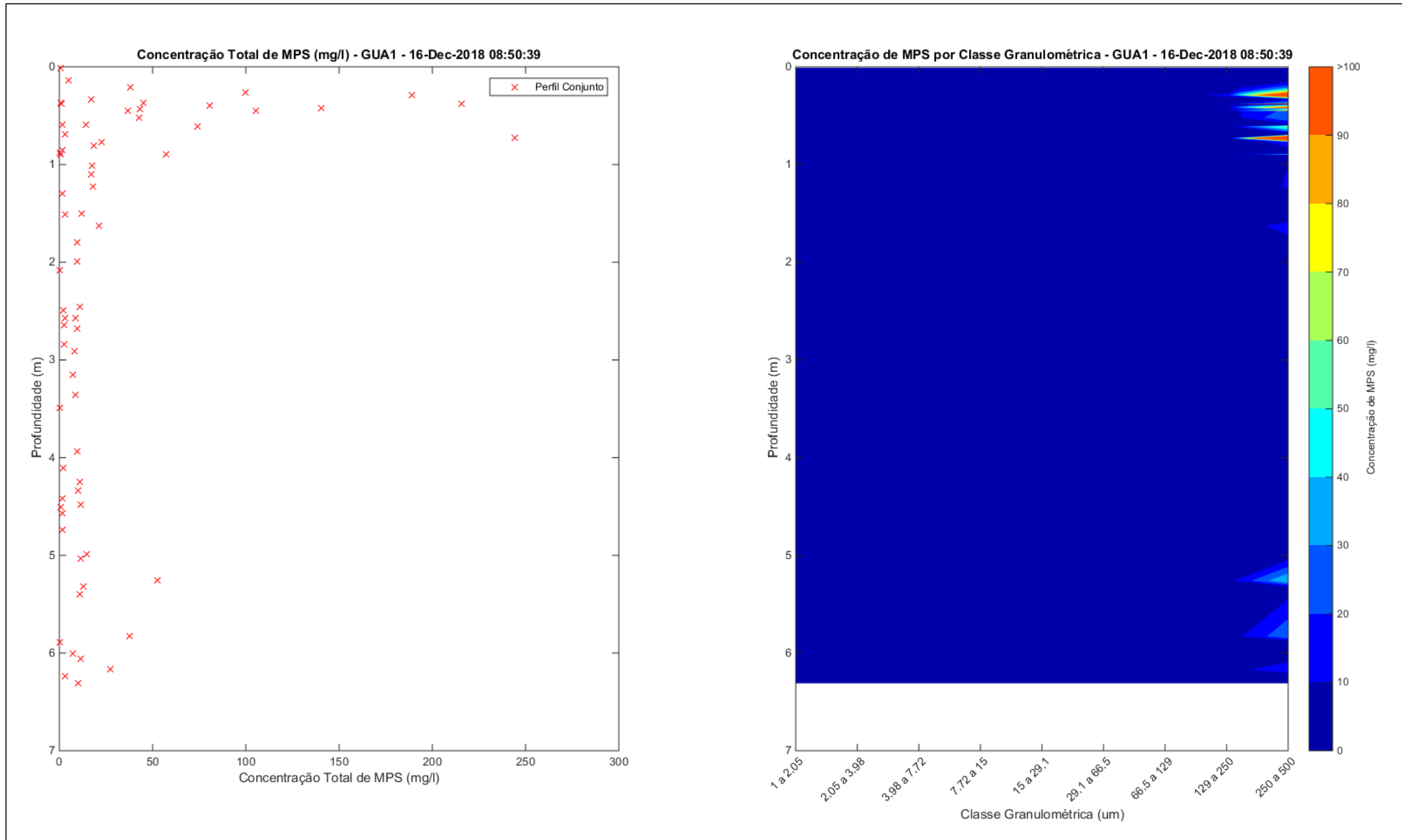


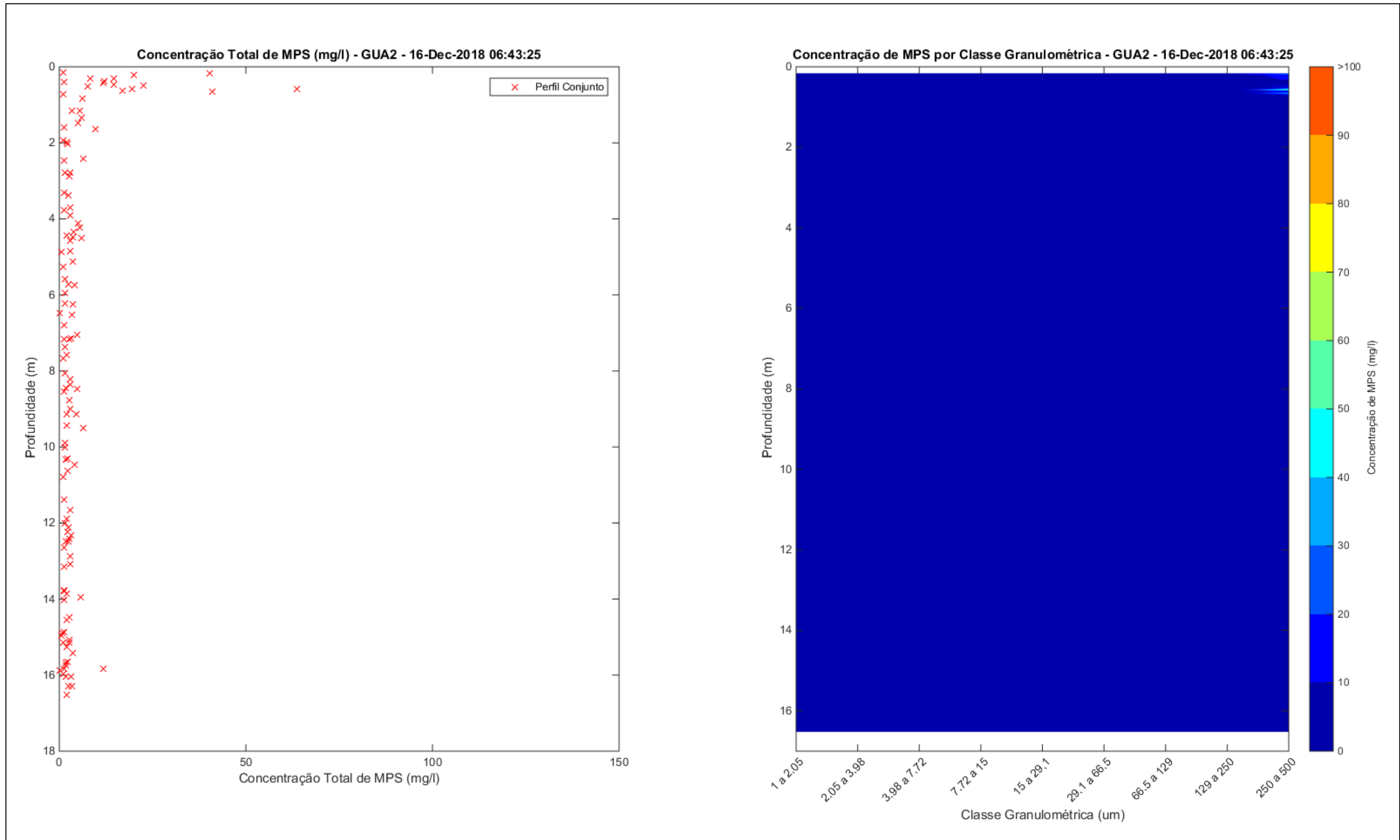


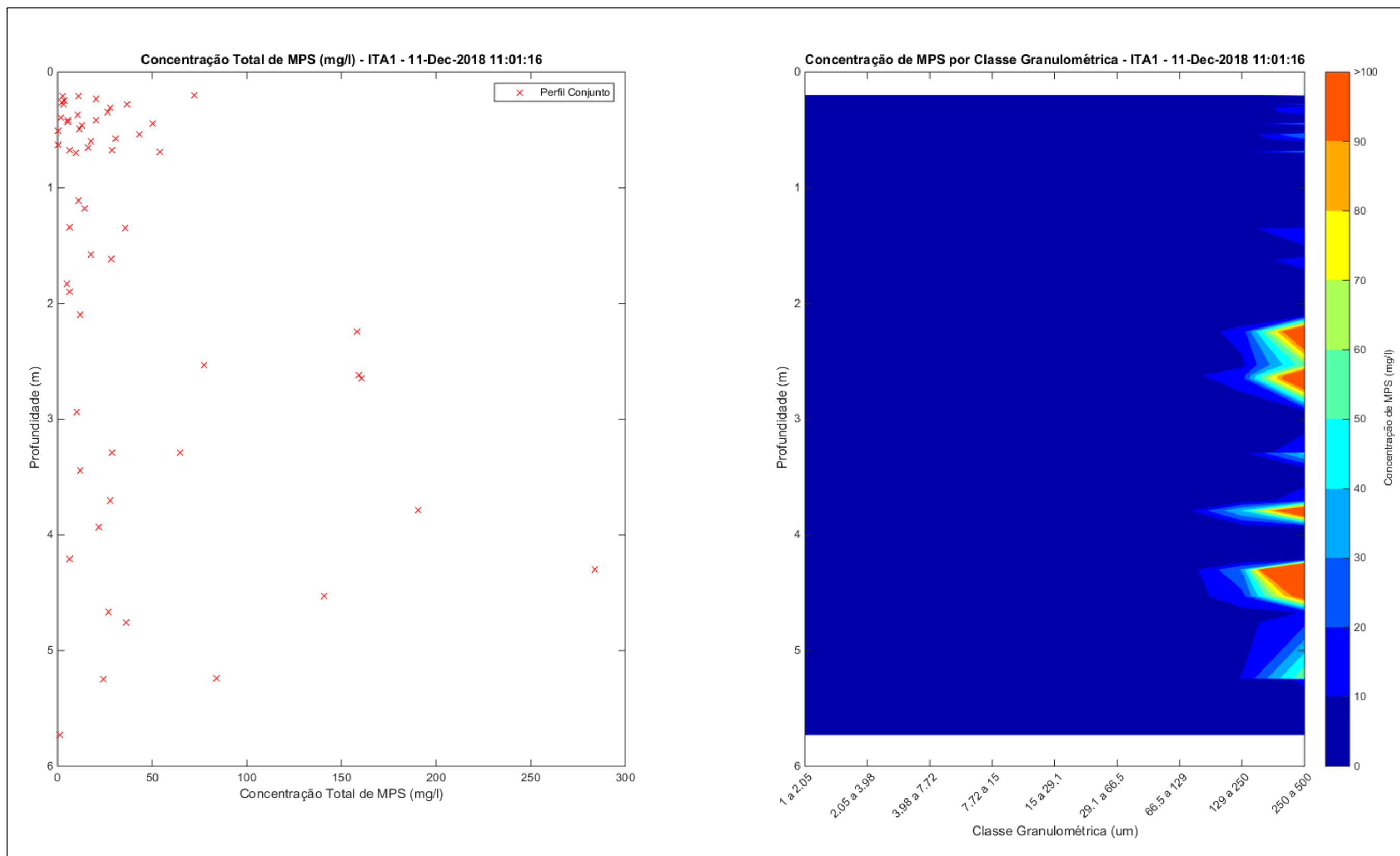


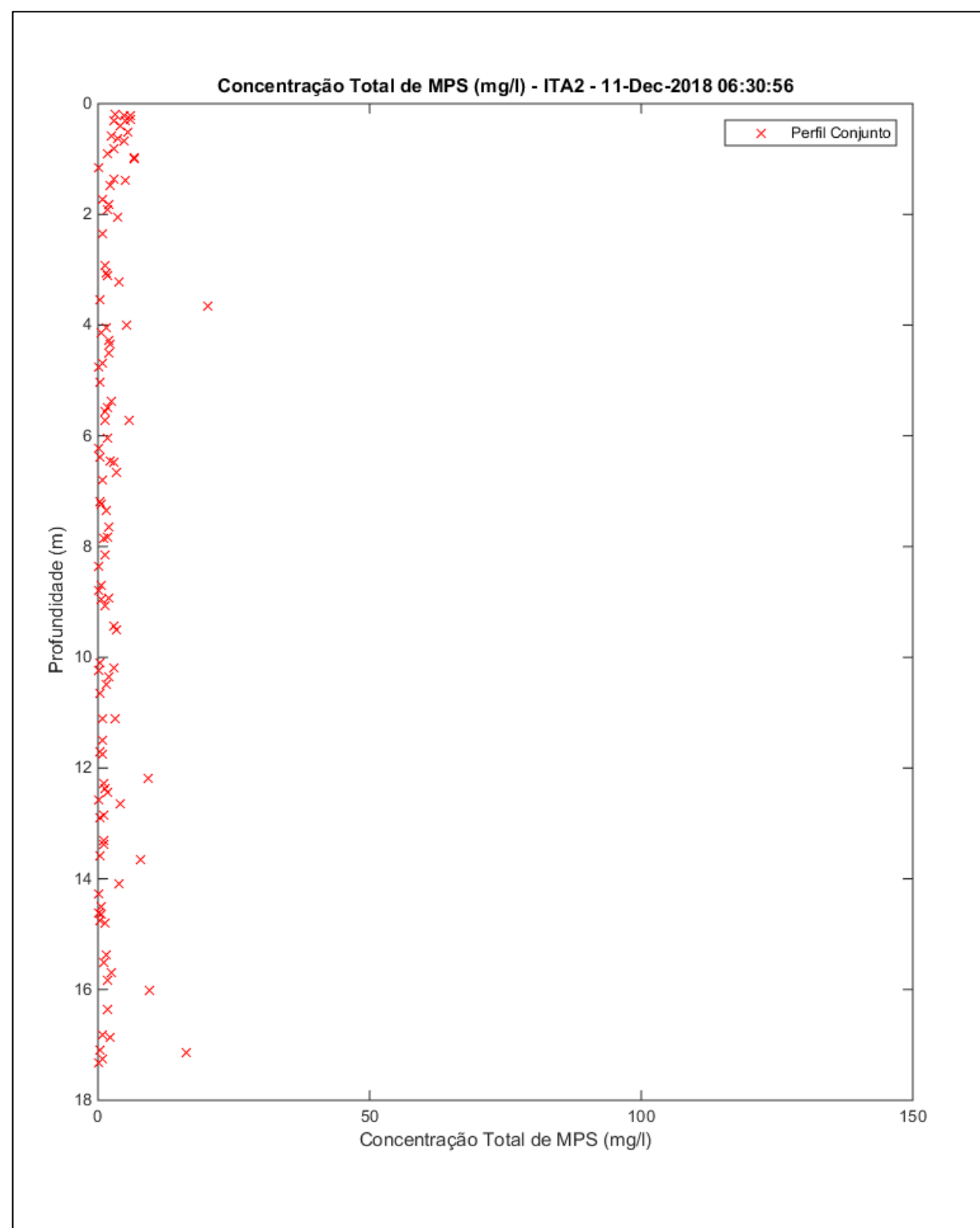


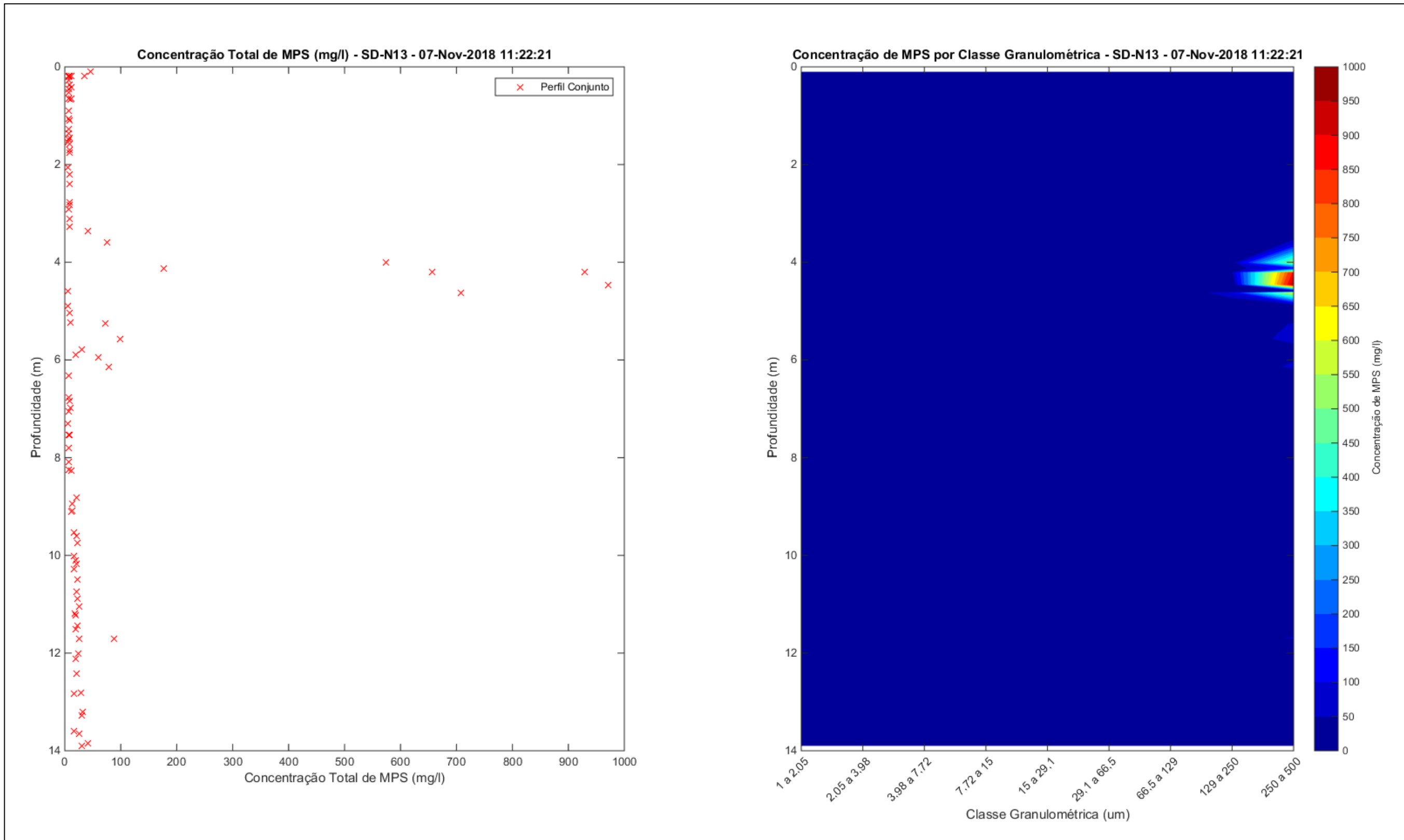


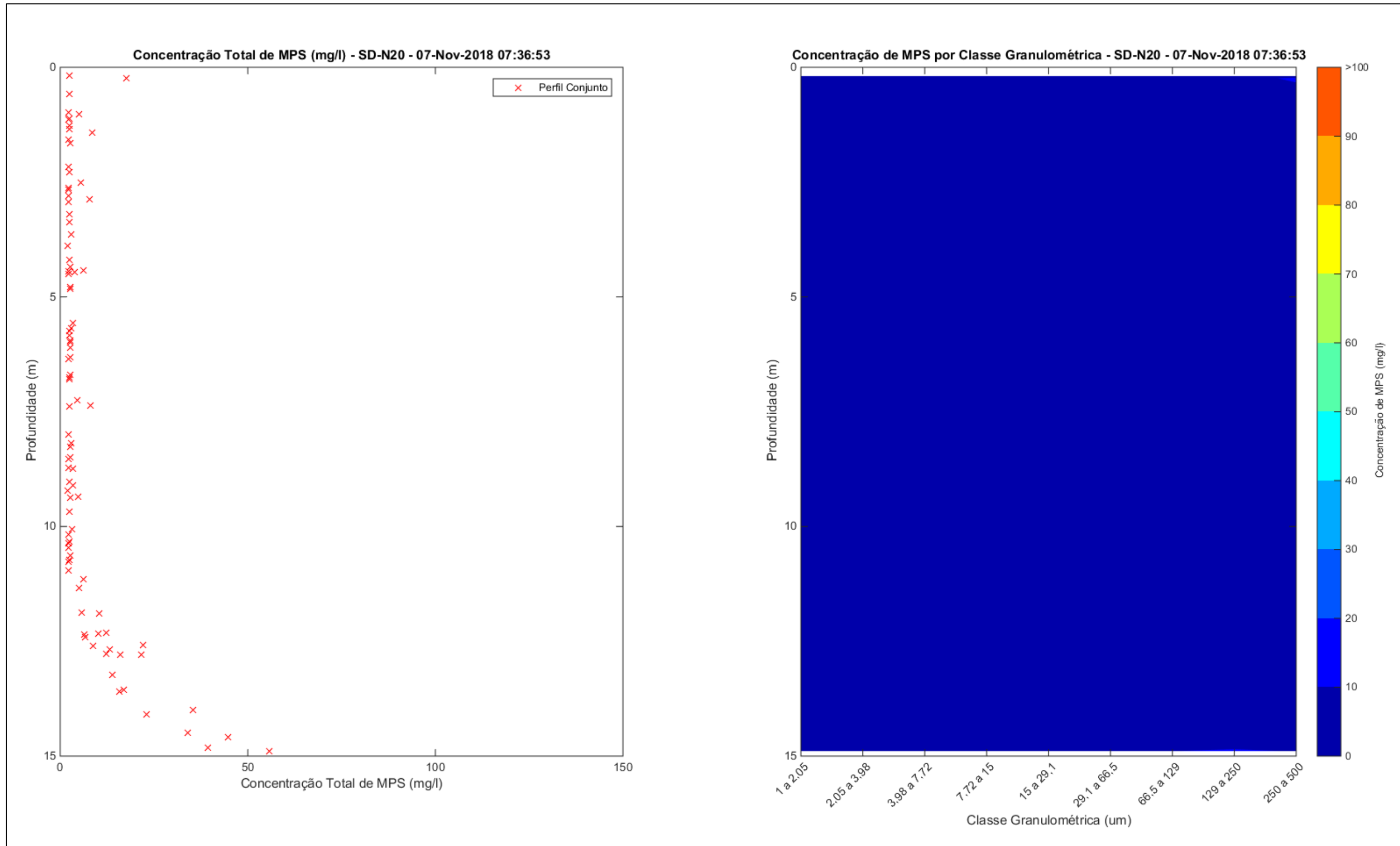


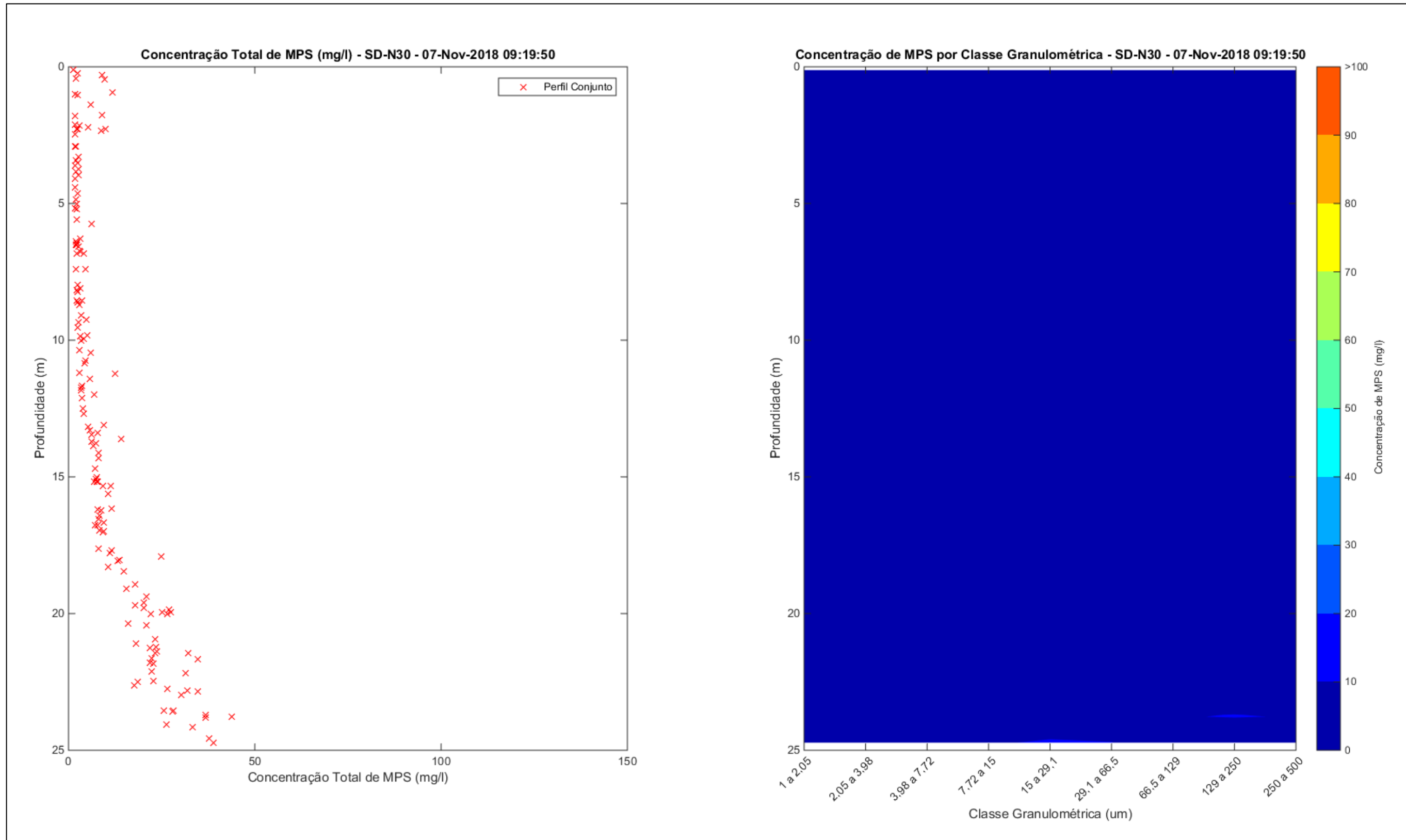


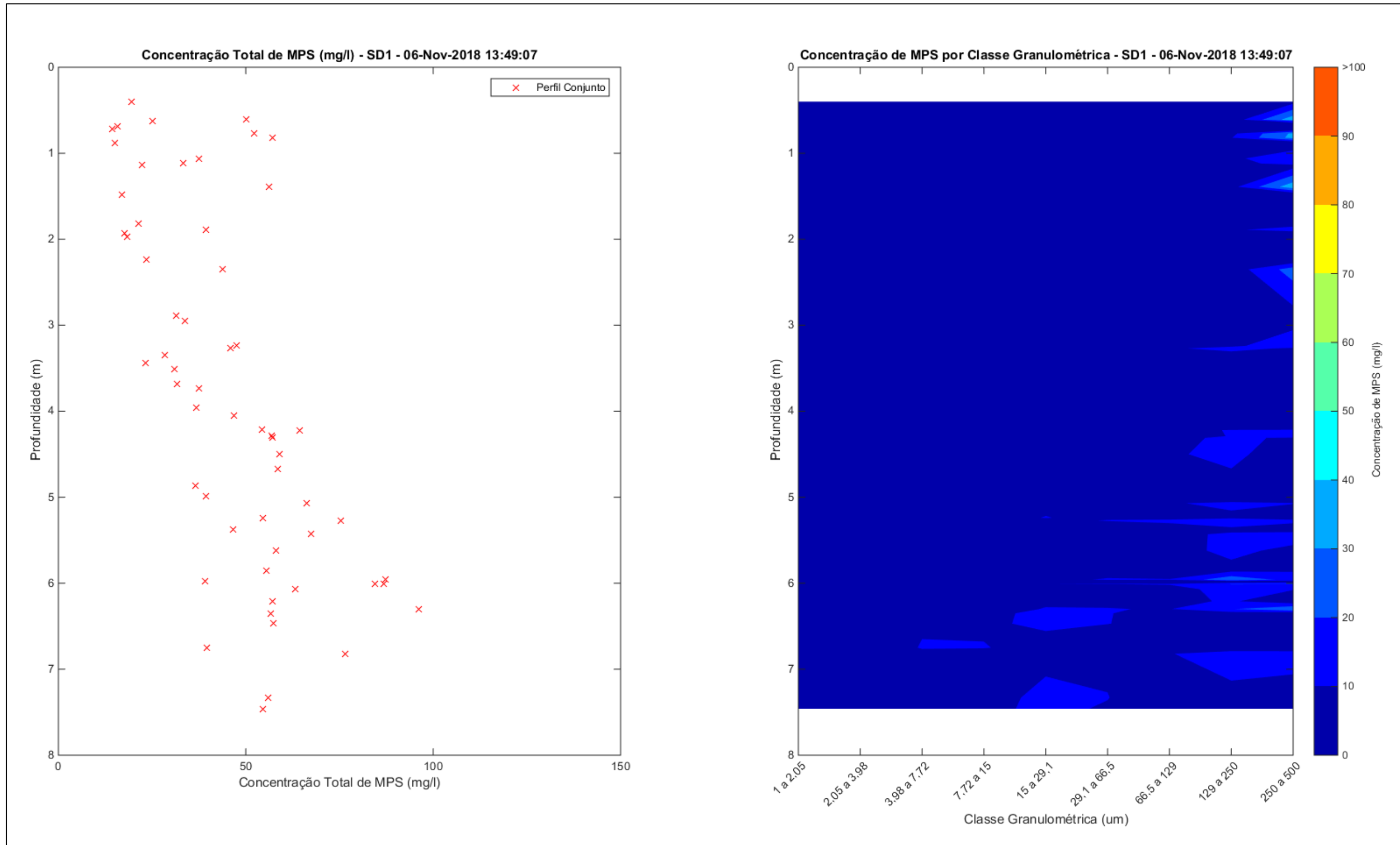


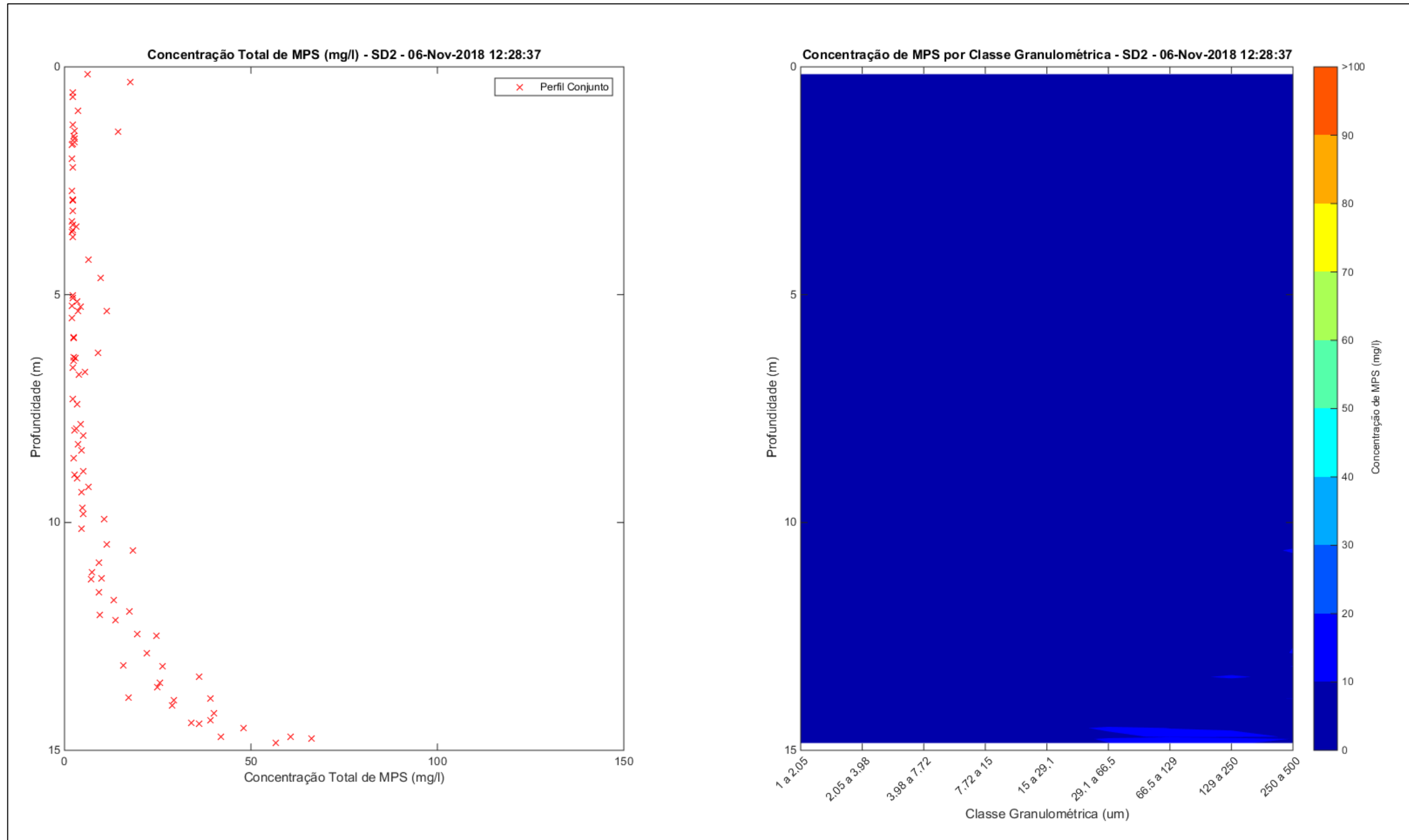


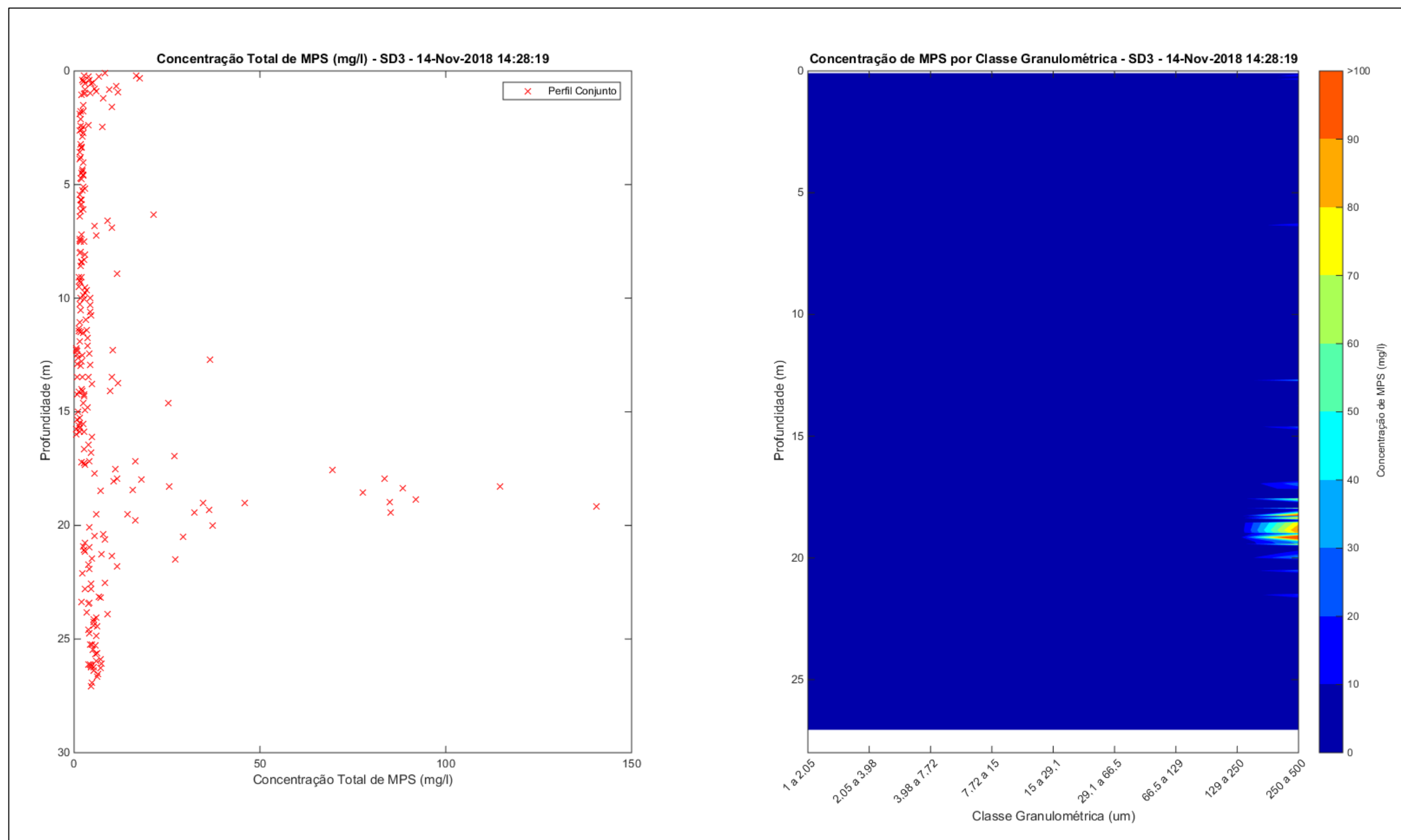


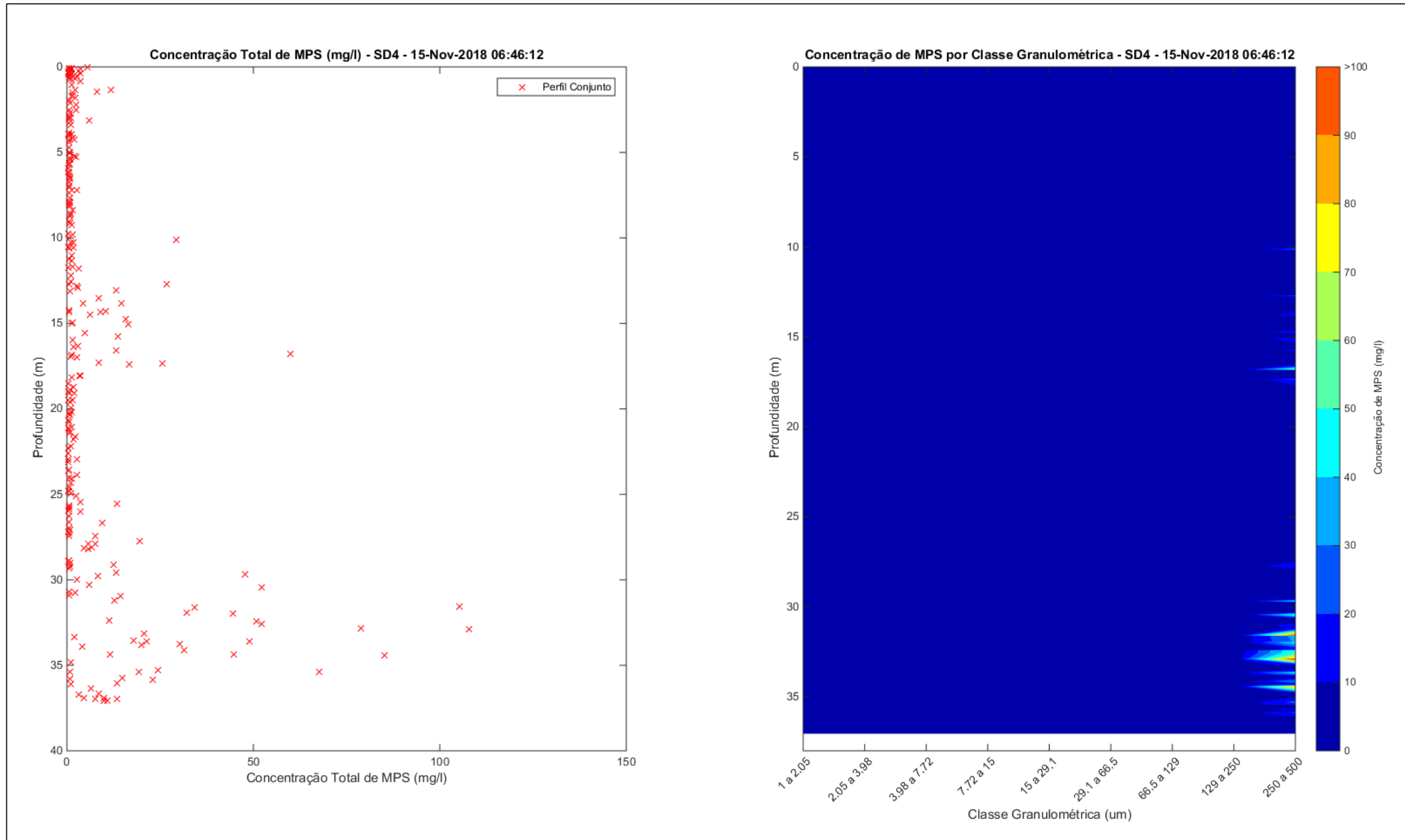


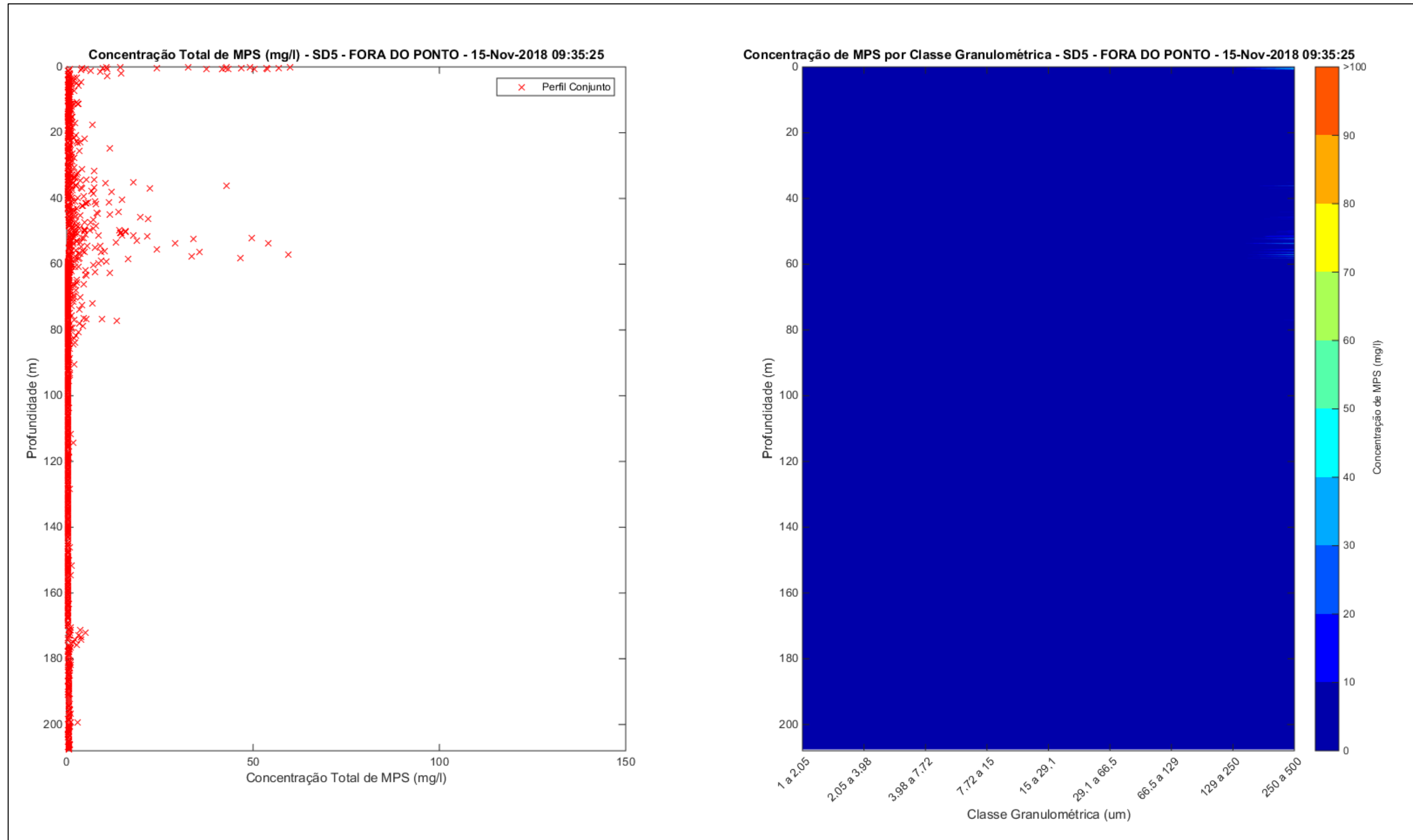


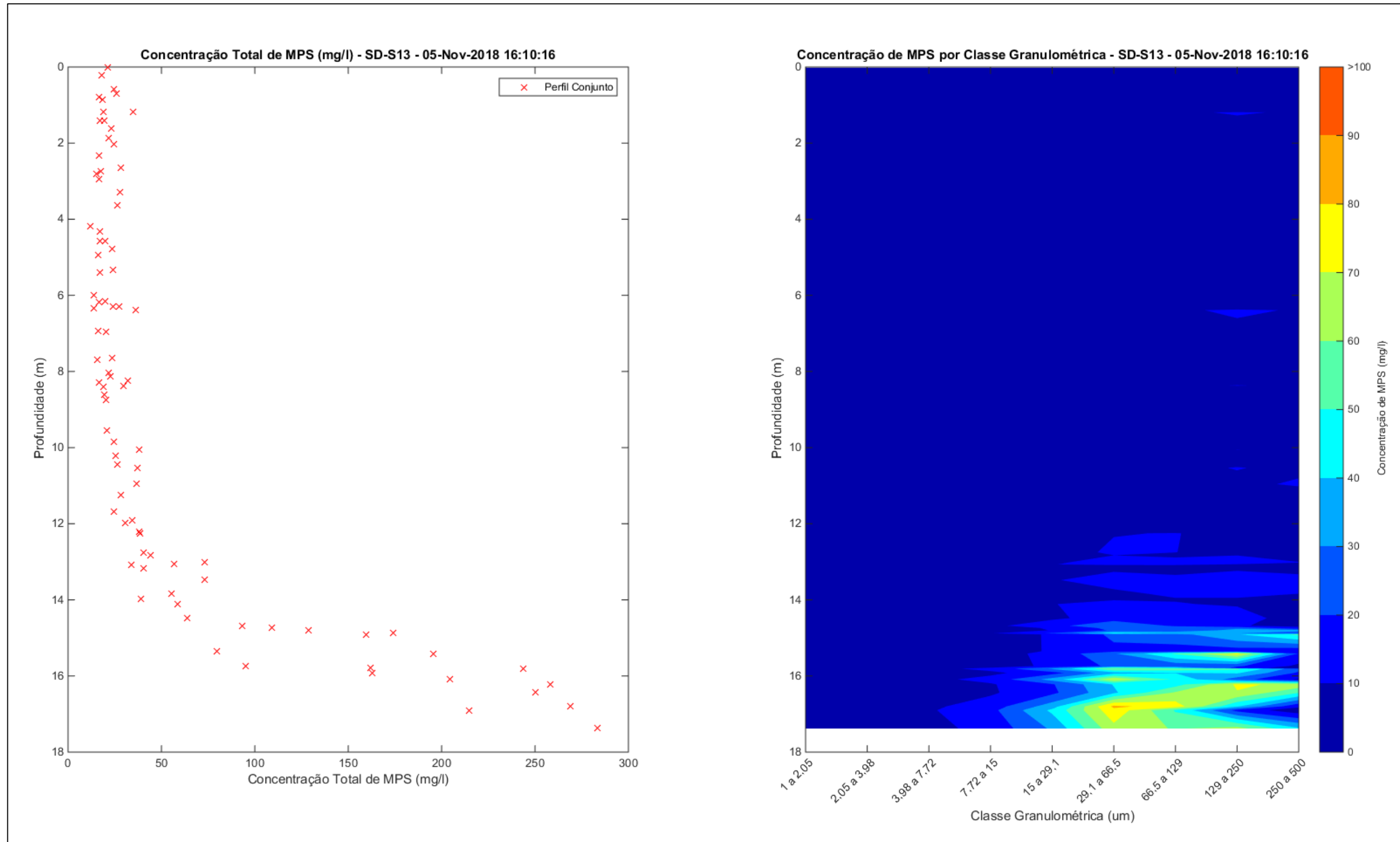


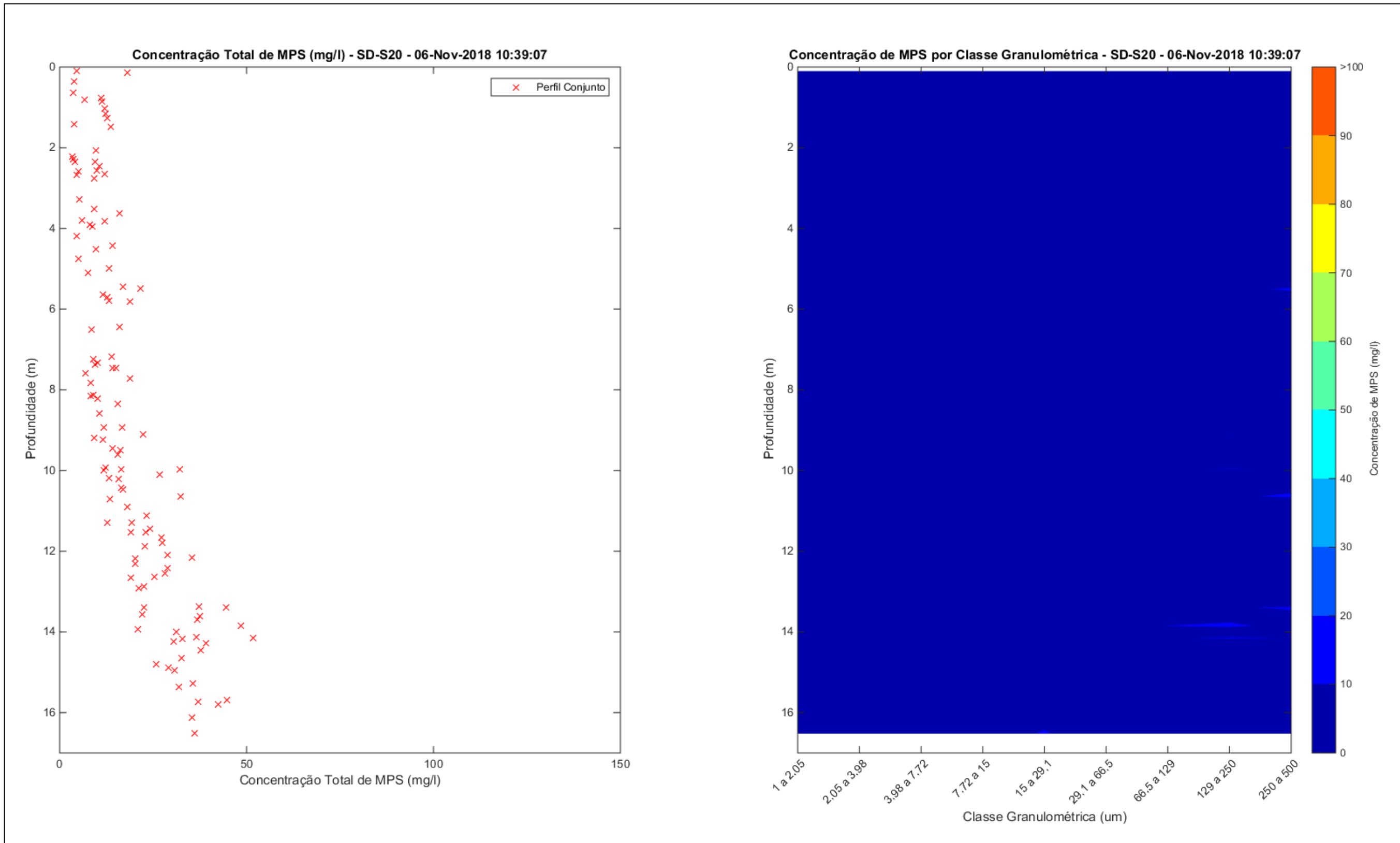


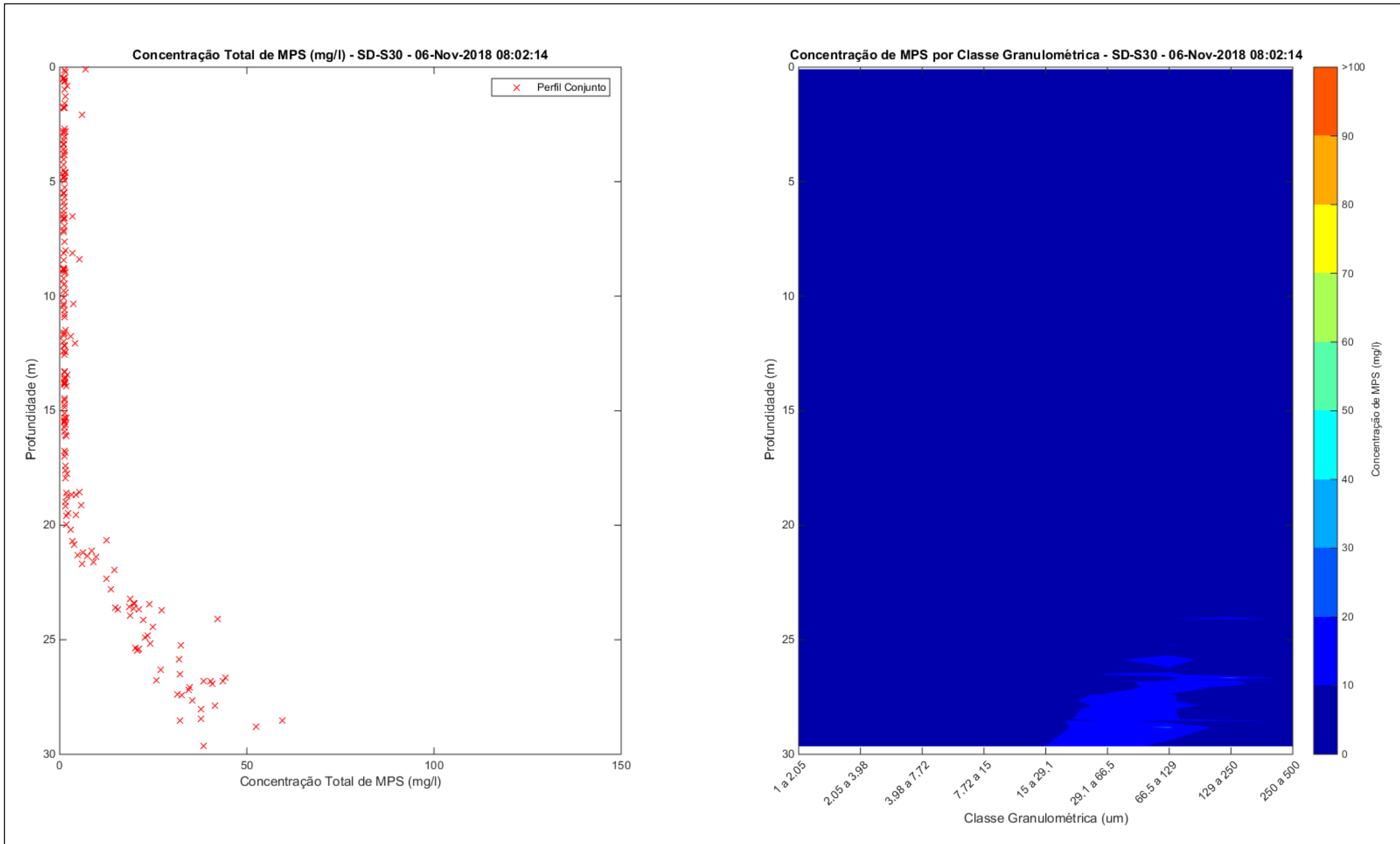


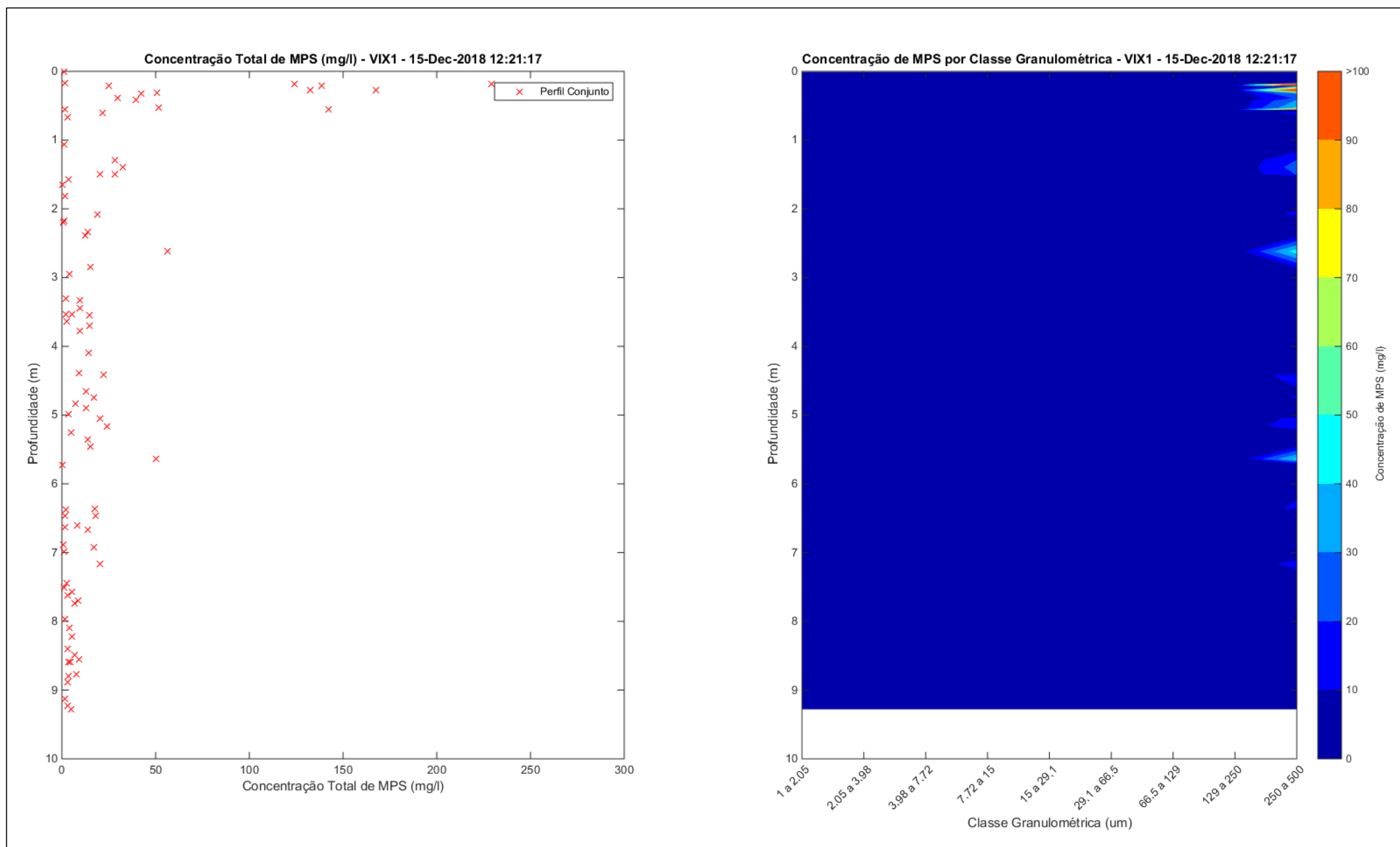


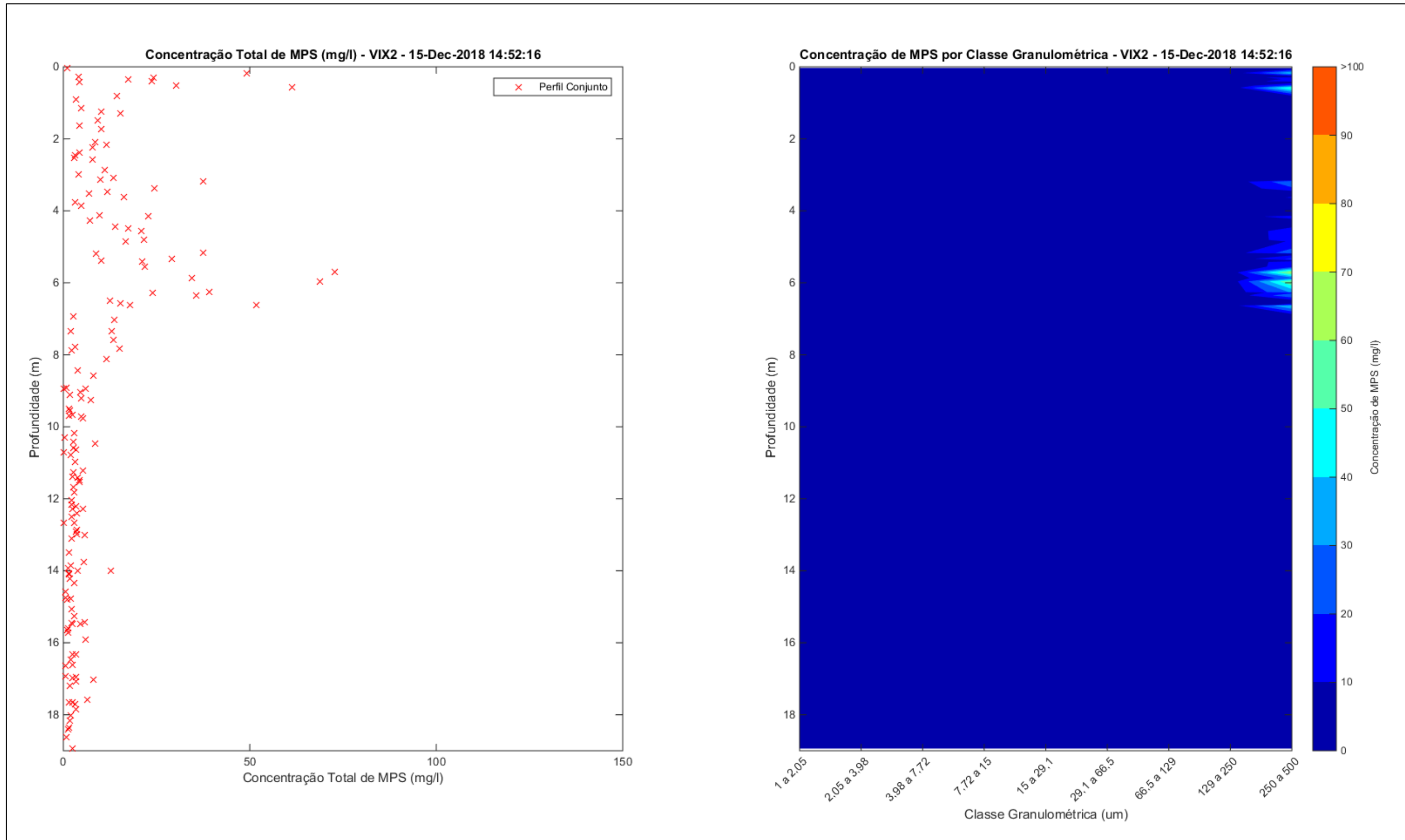




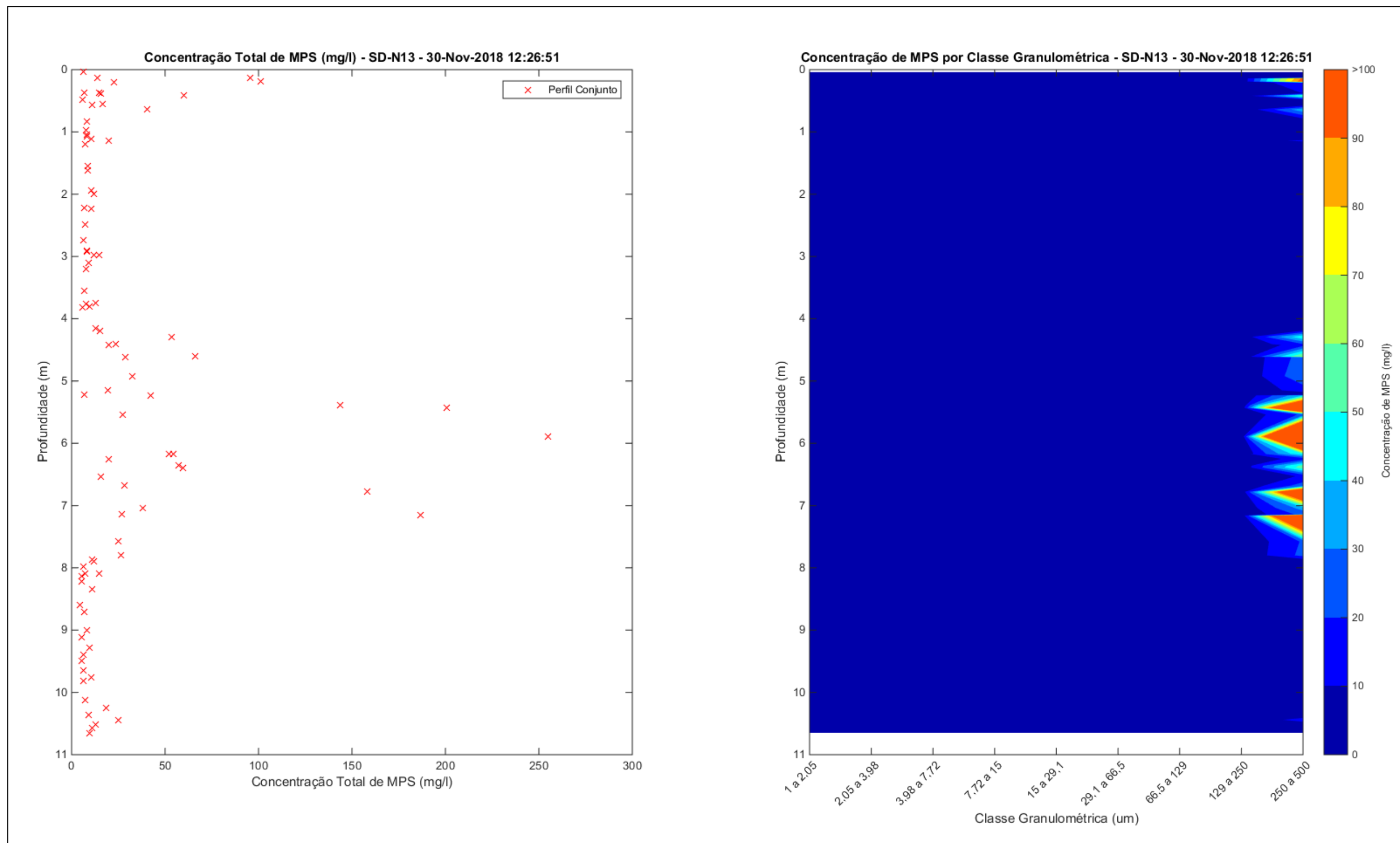


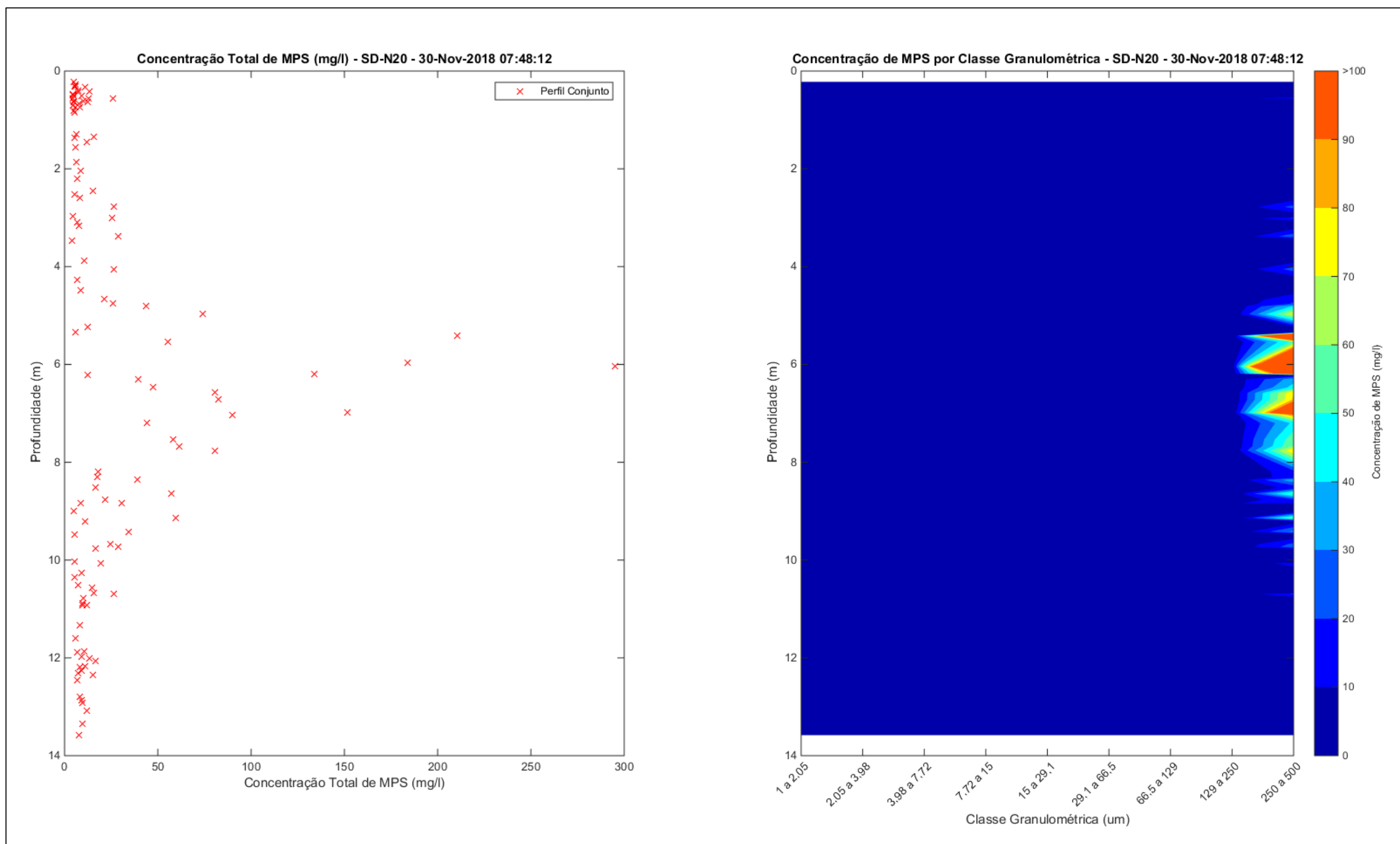


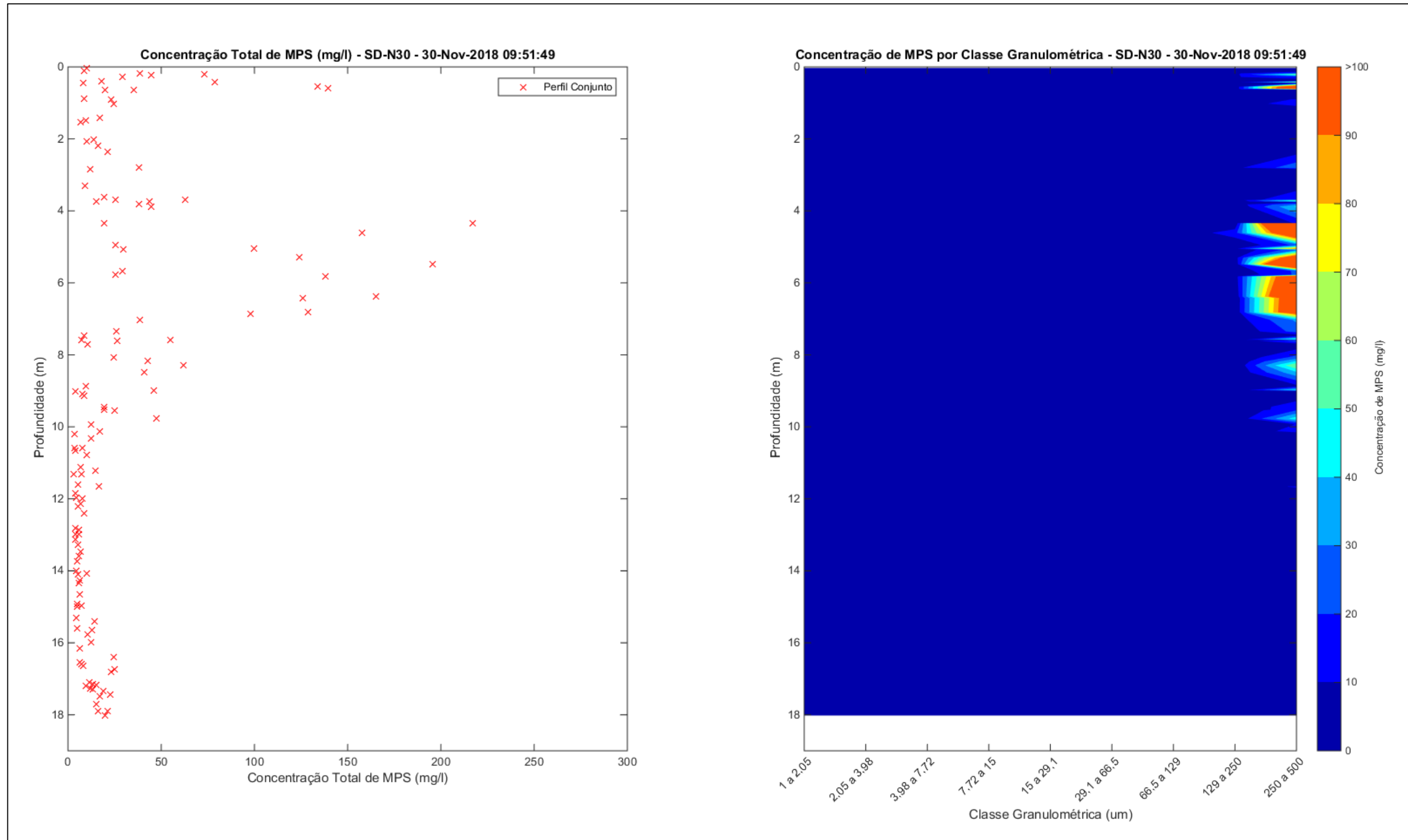


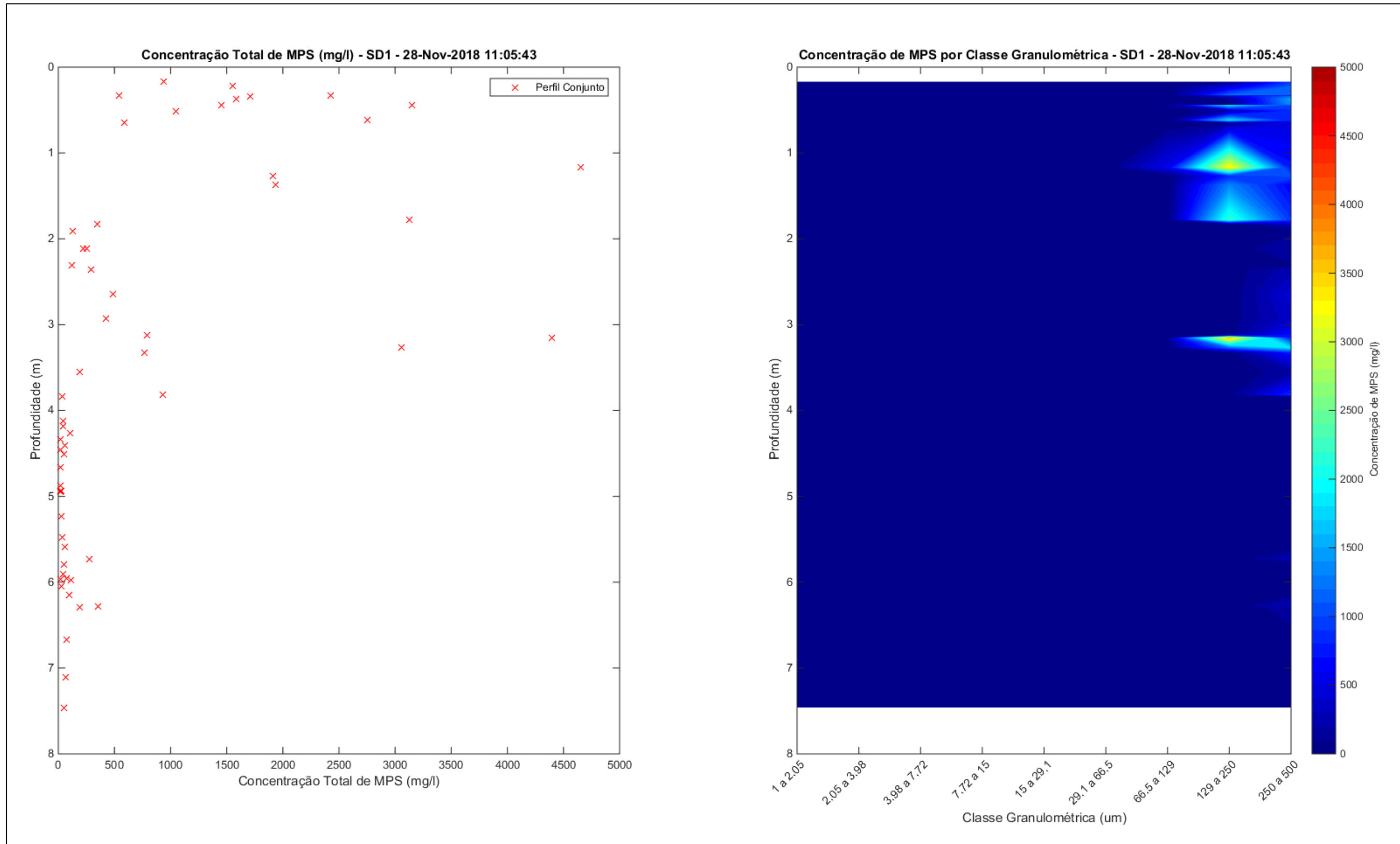


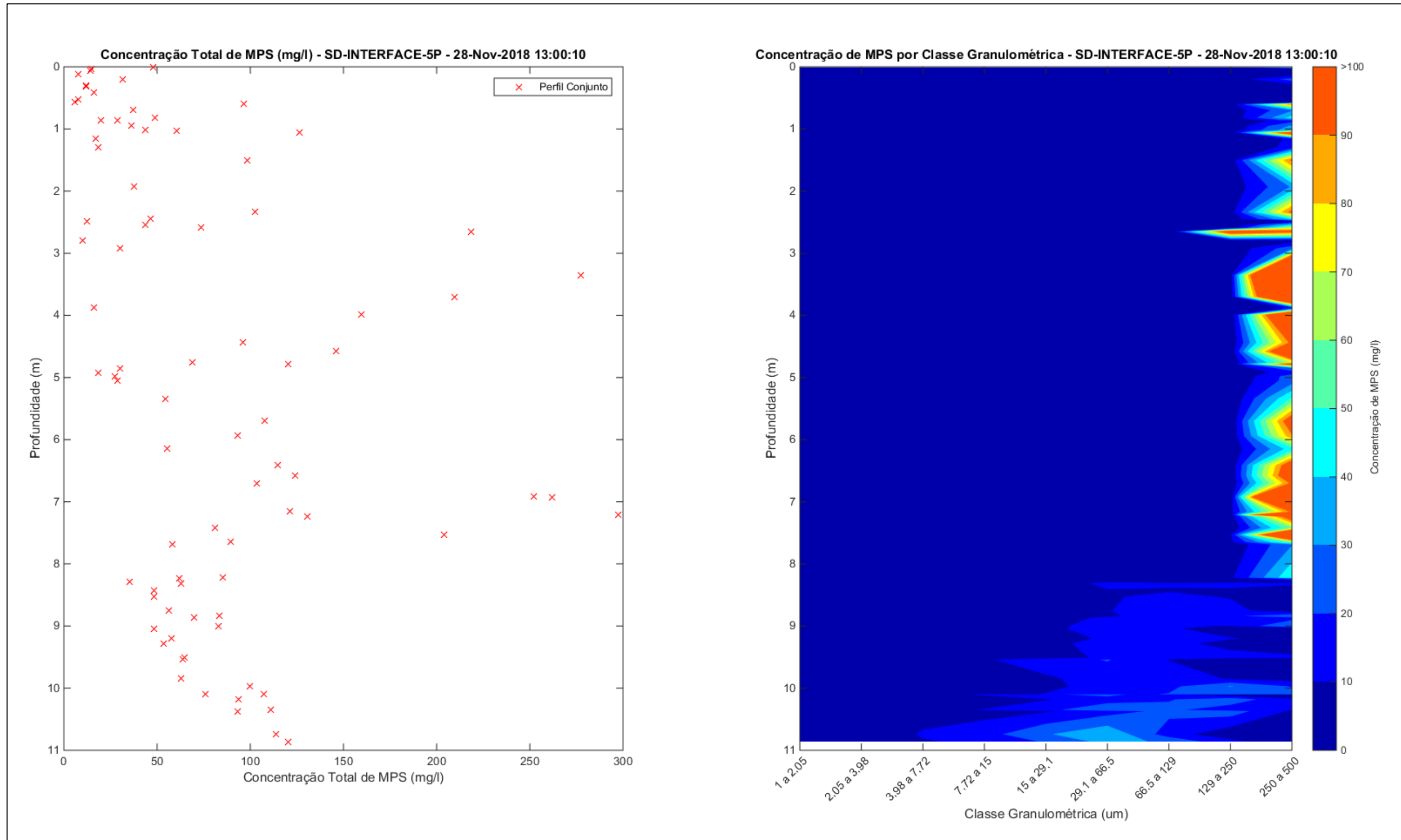
Apêndice 2: Perfisagens realizadas pelo LISST na Campanha 2.

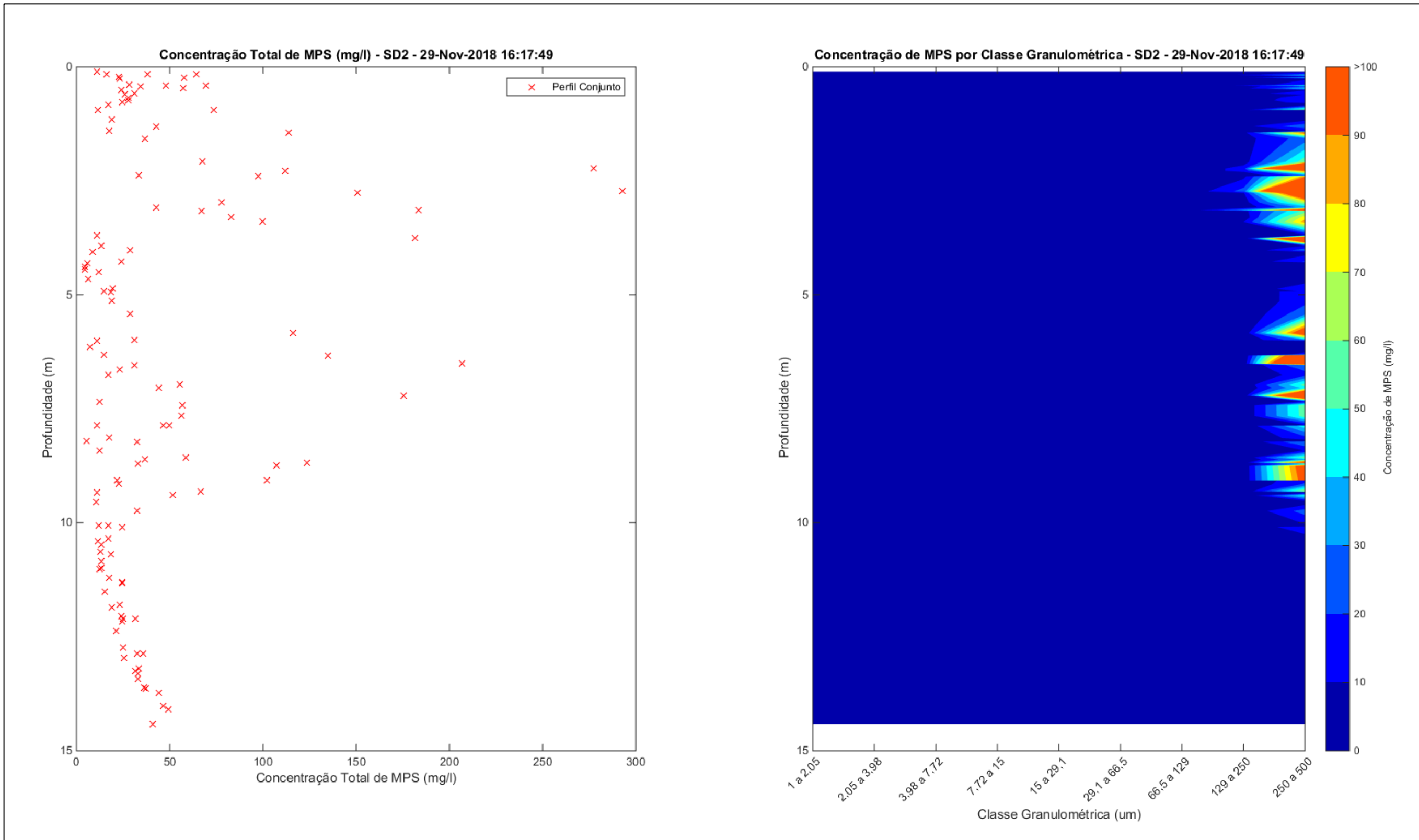


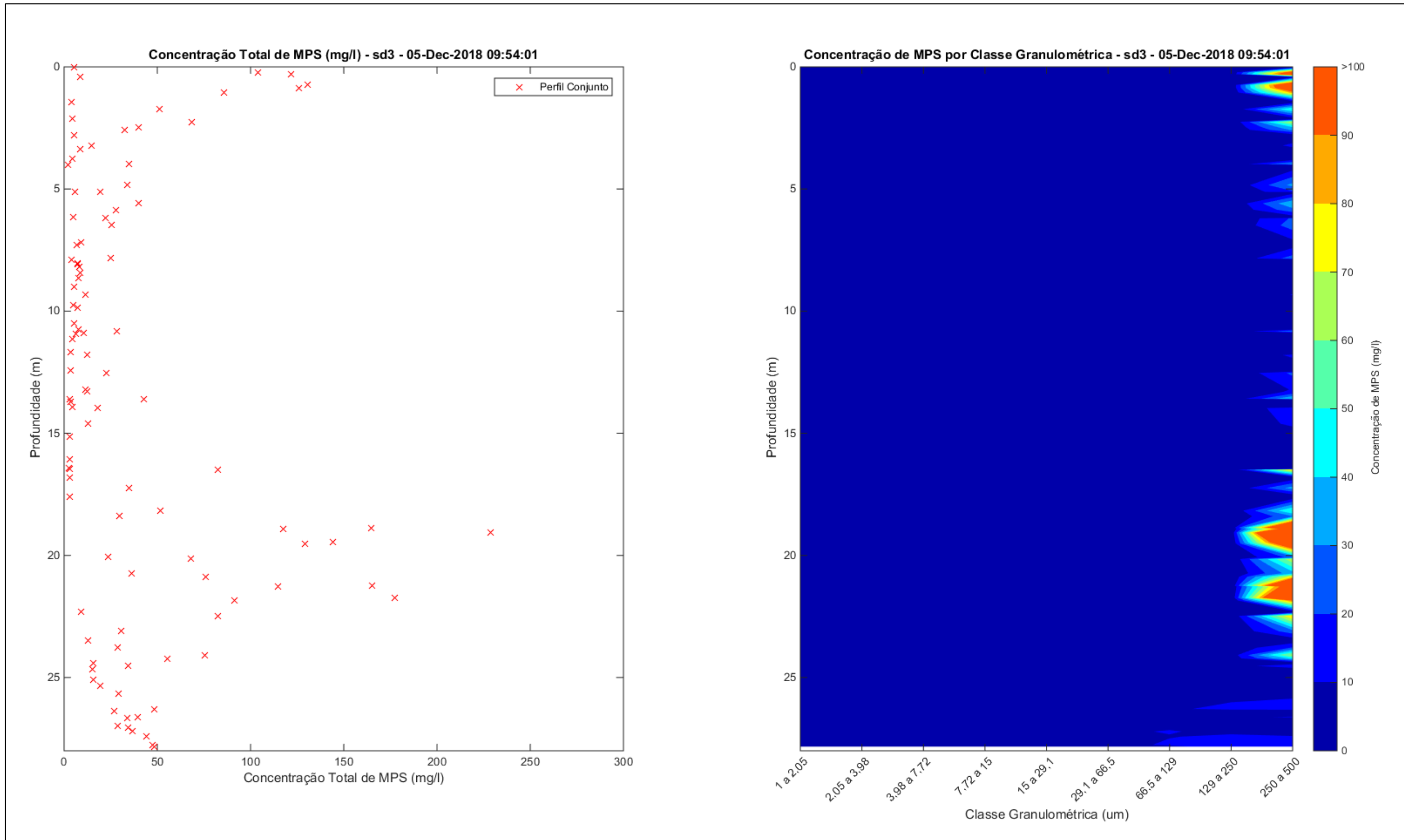


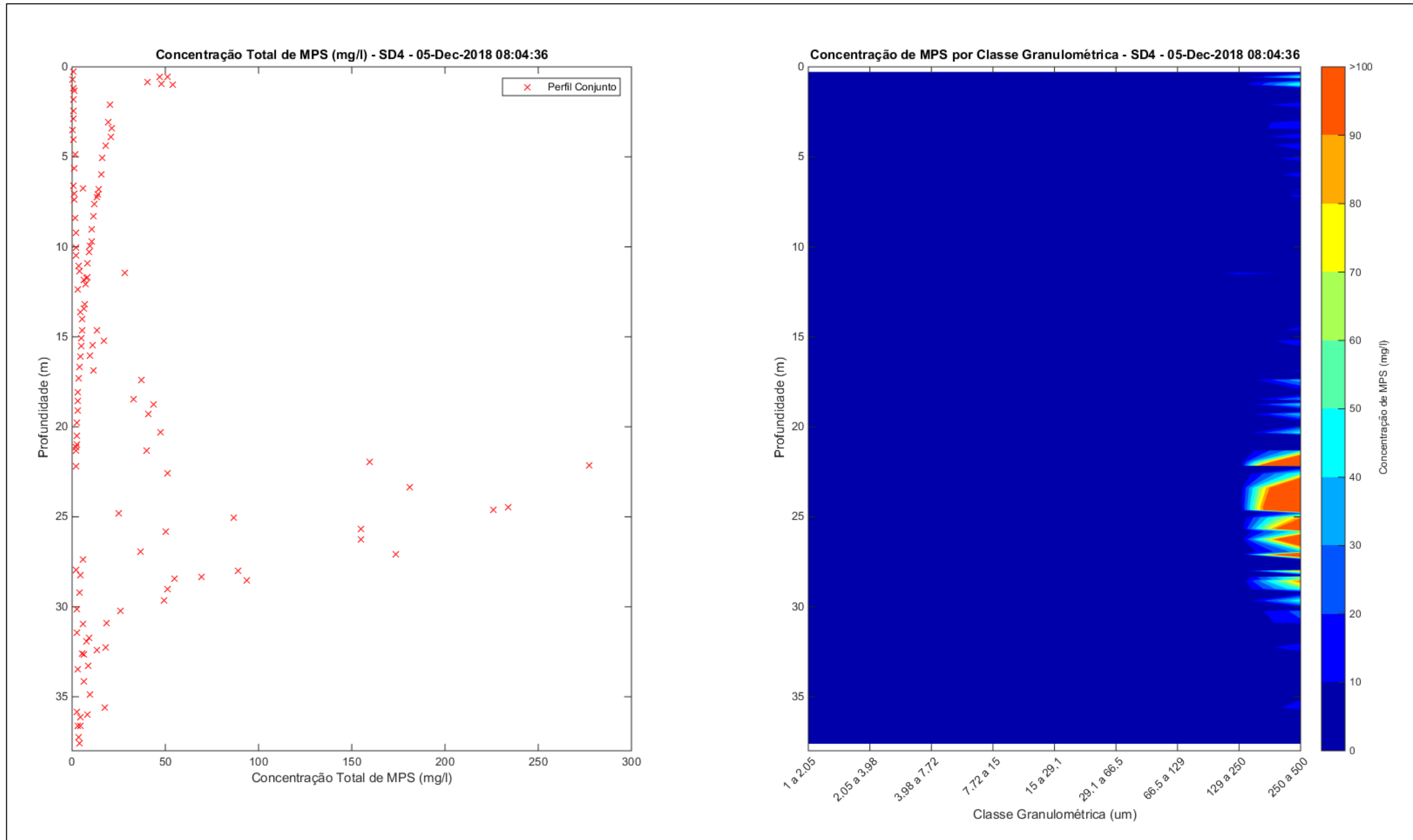


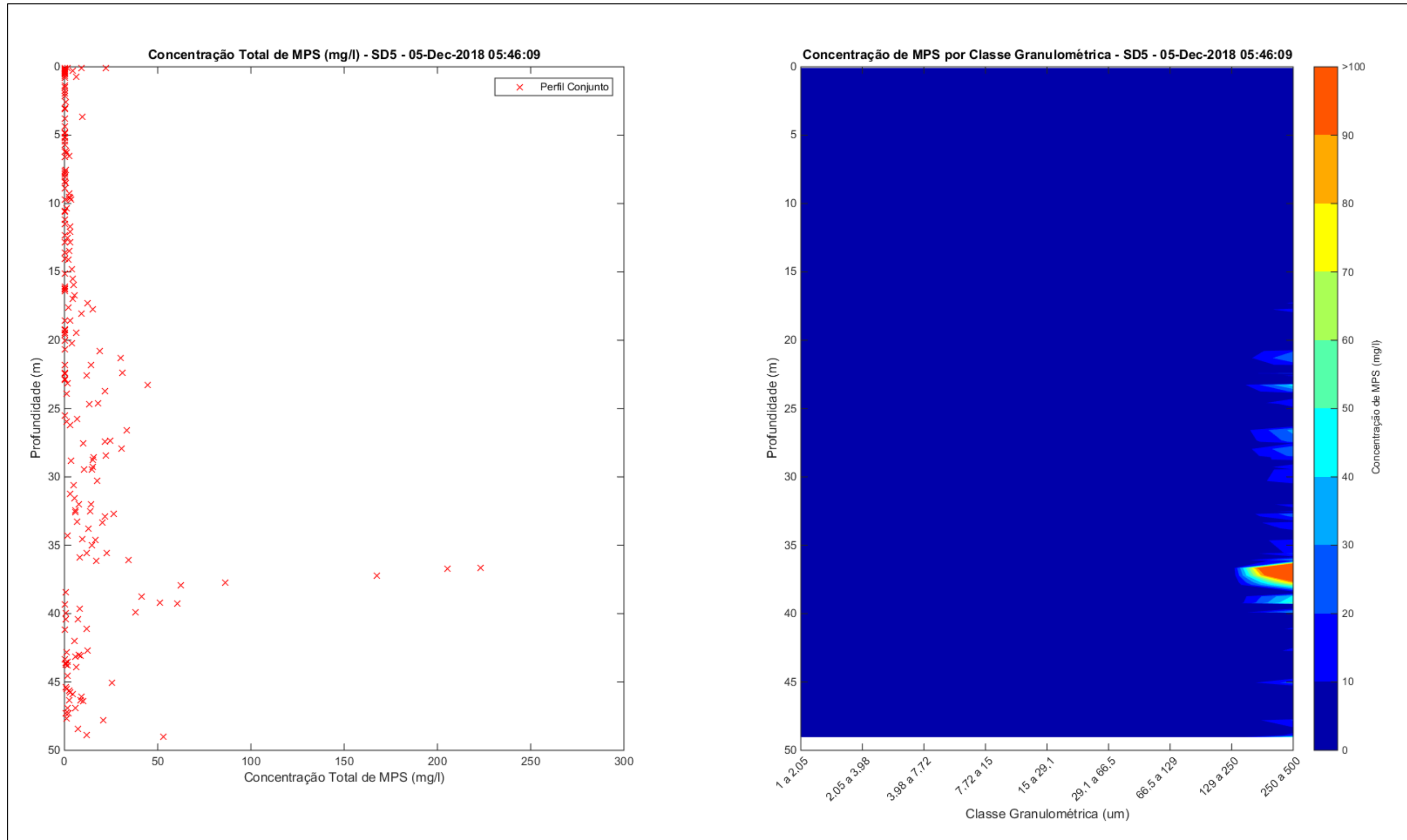


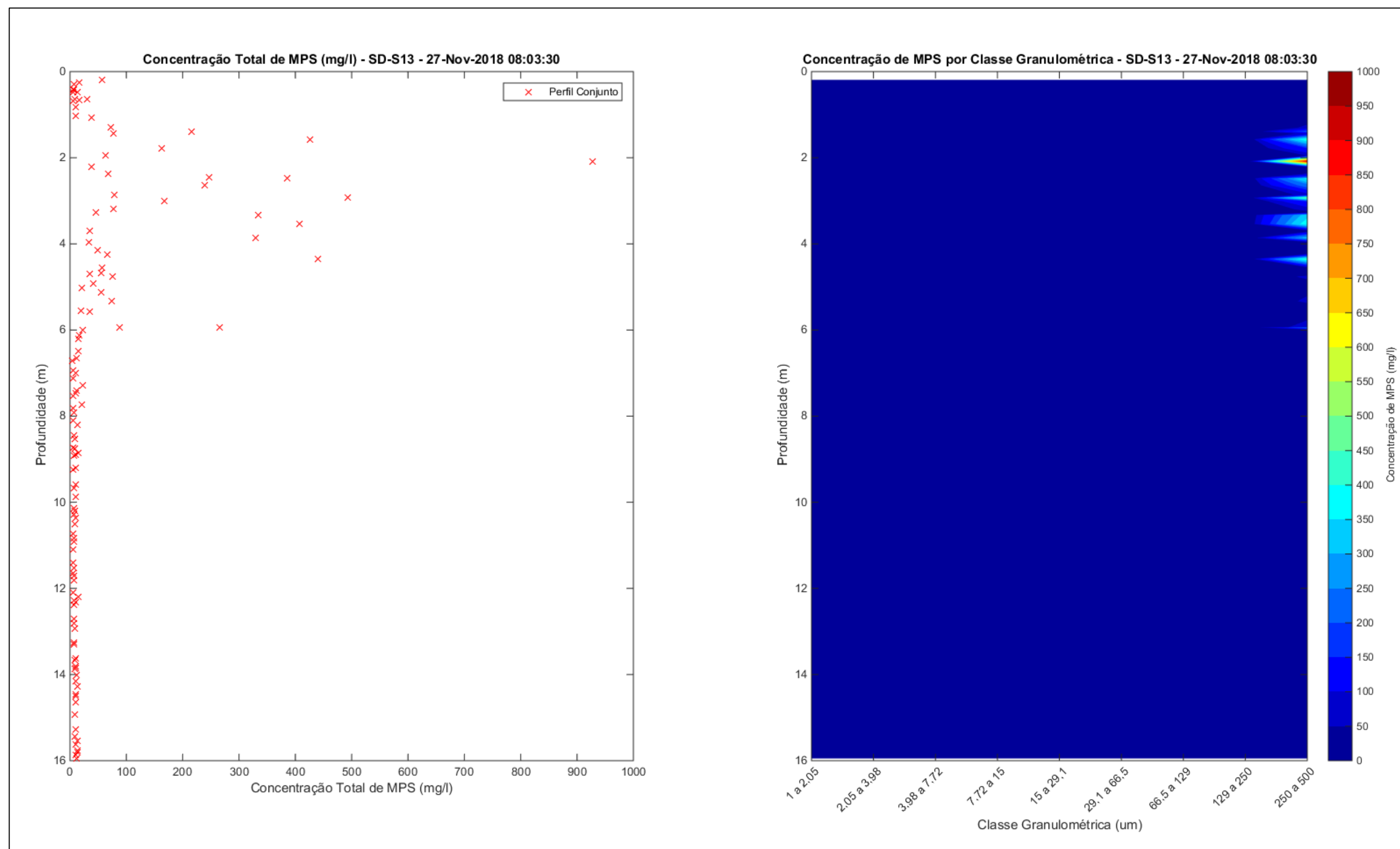


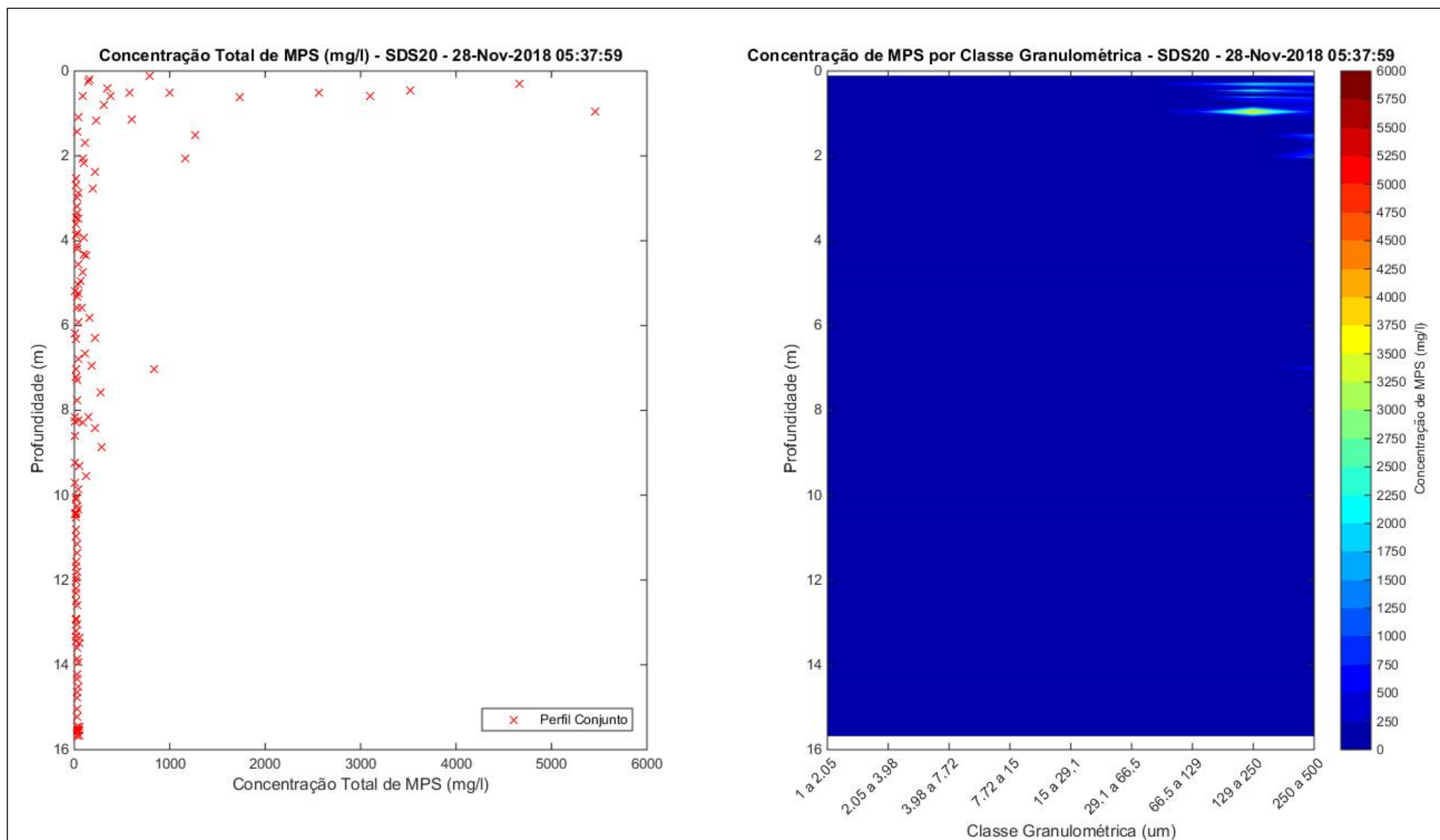


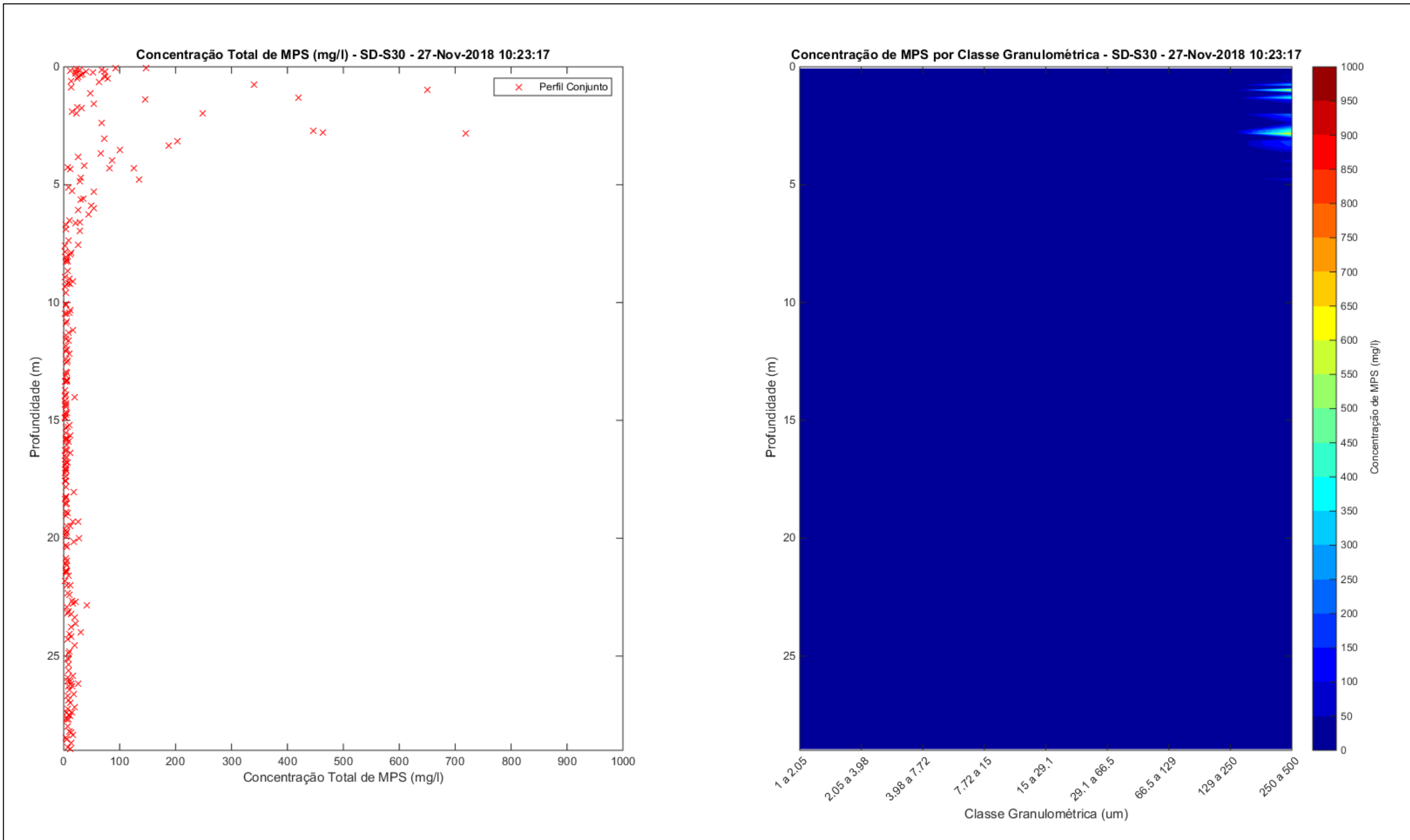




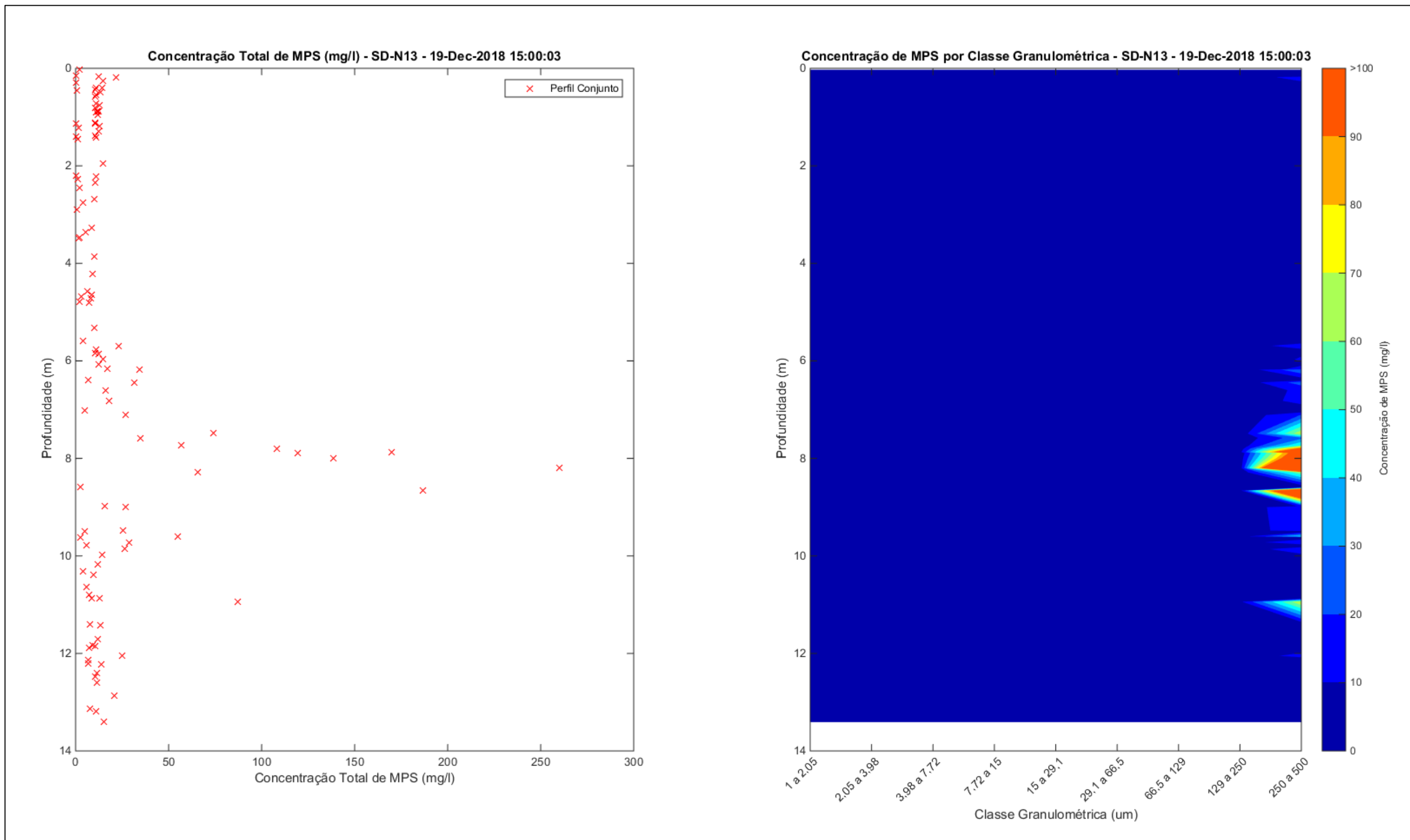


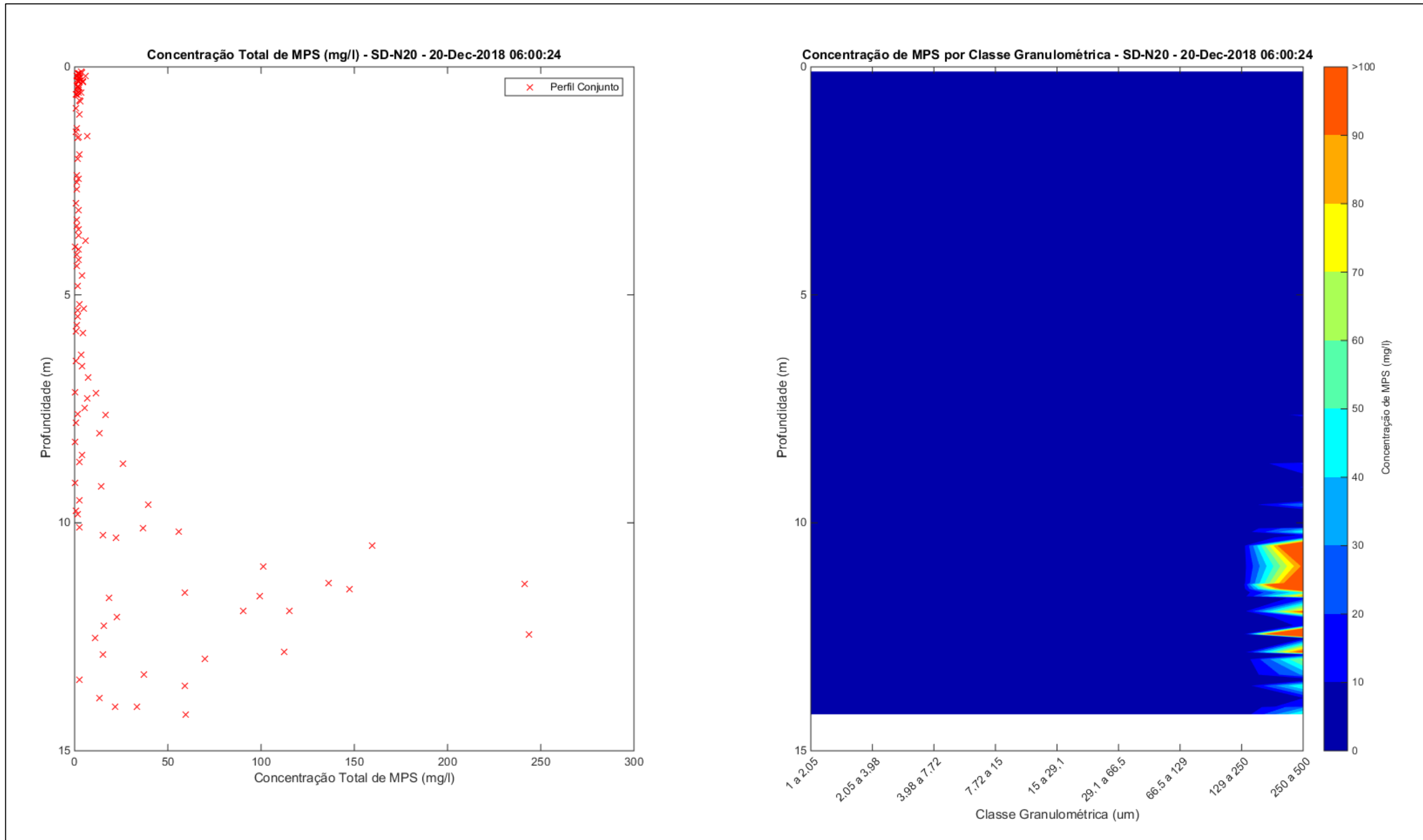


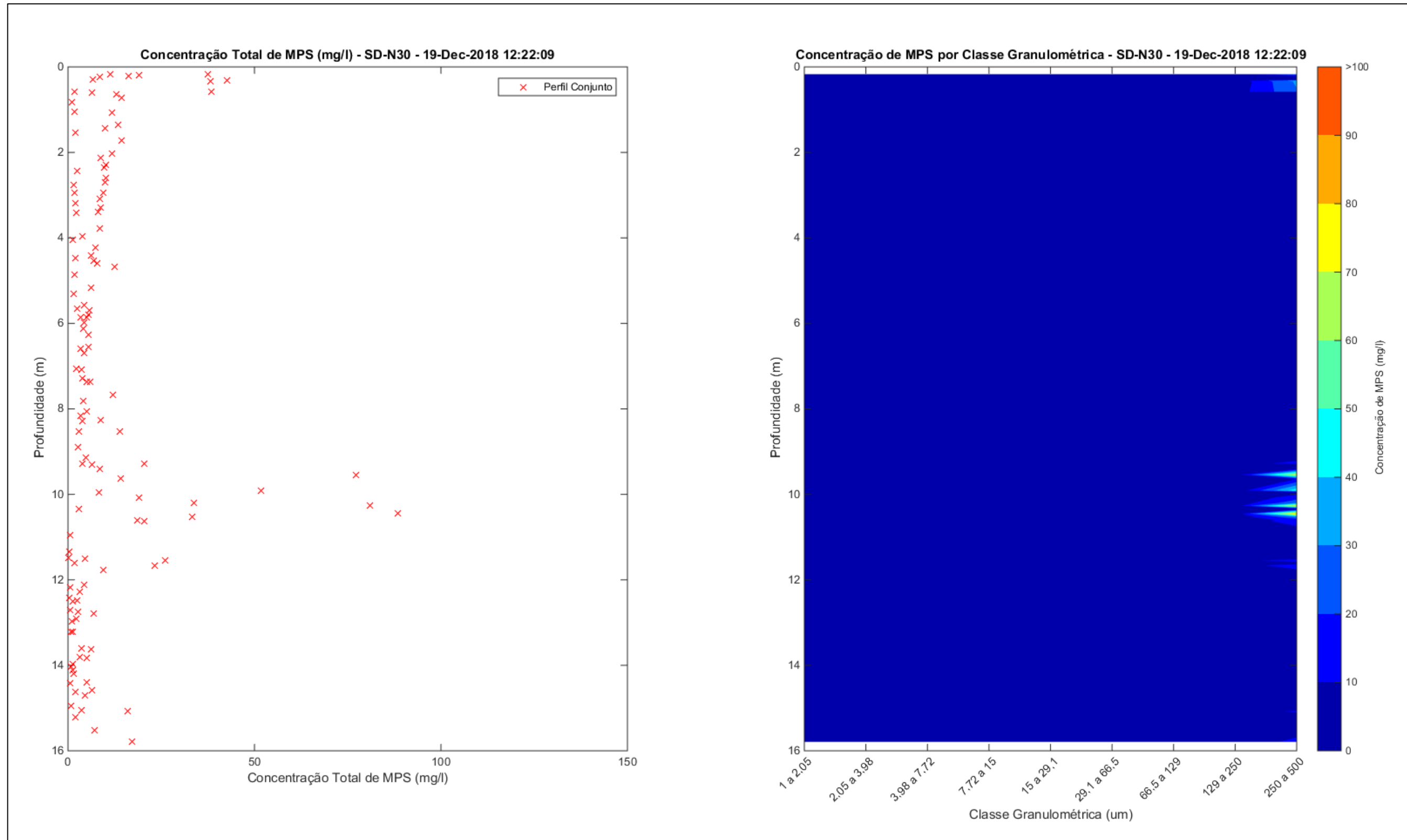


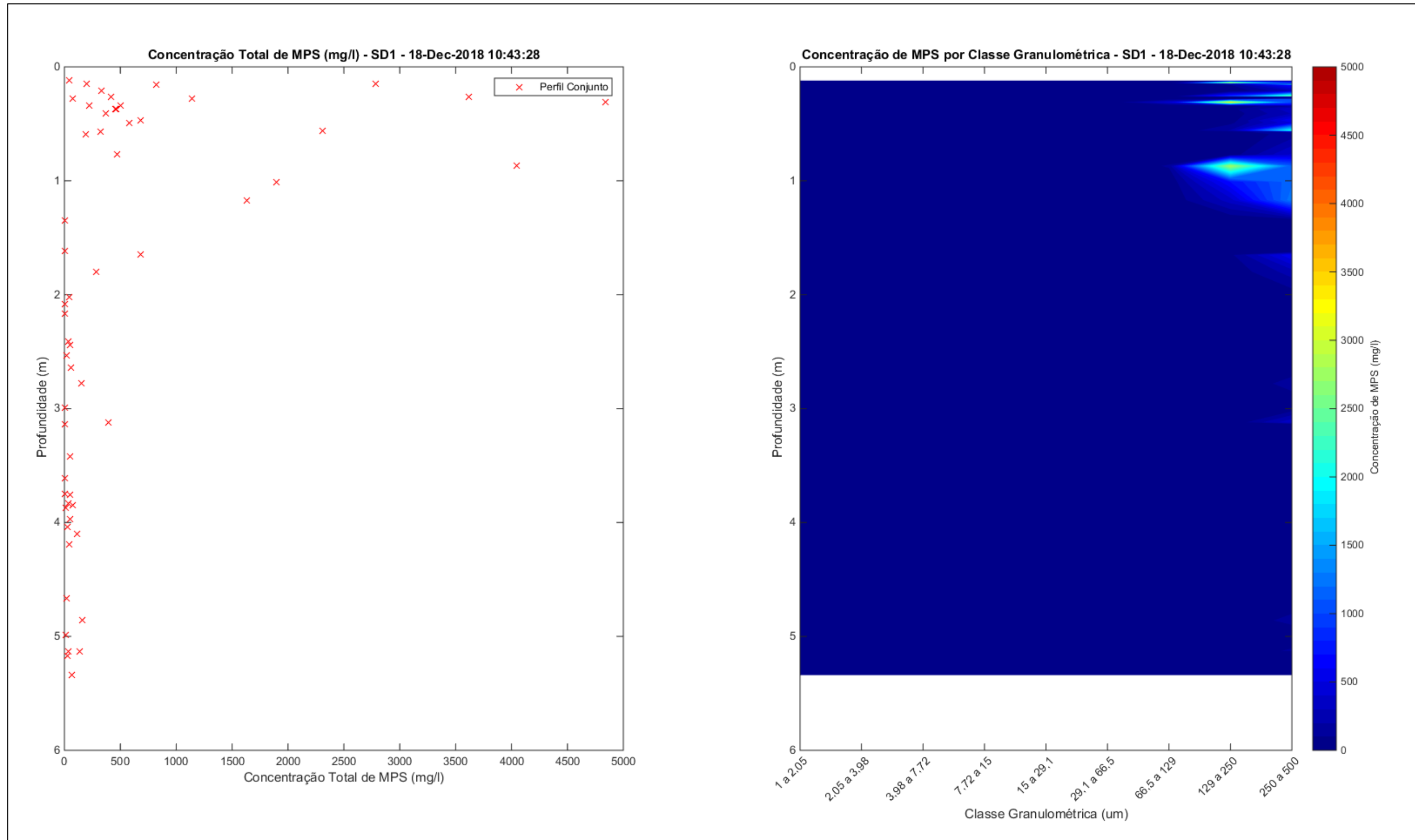


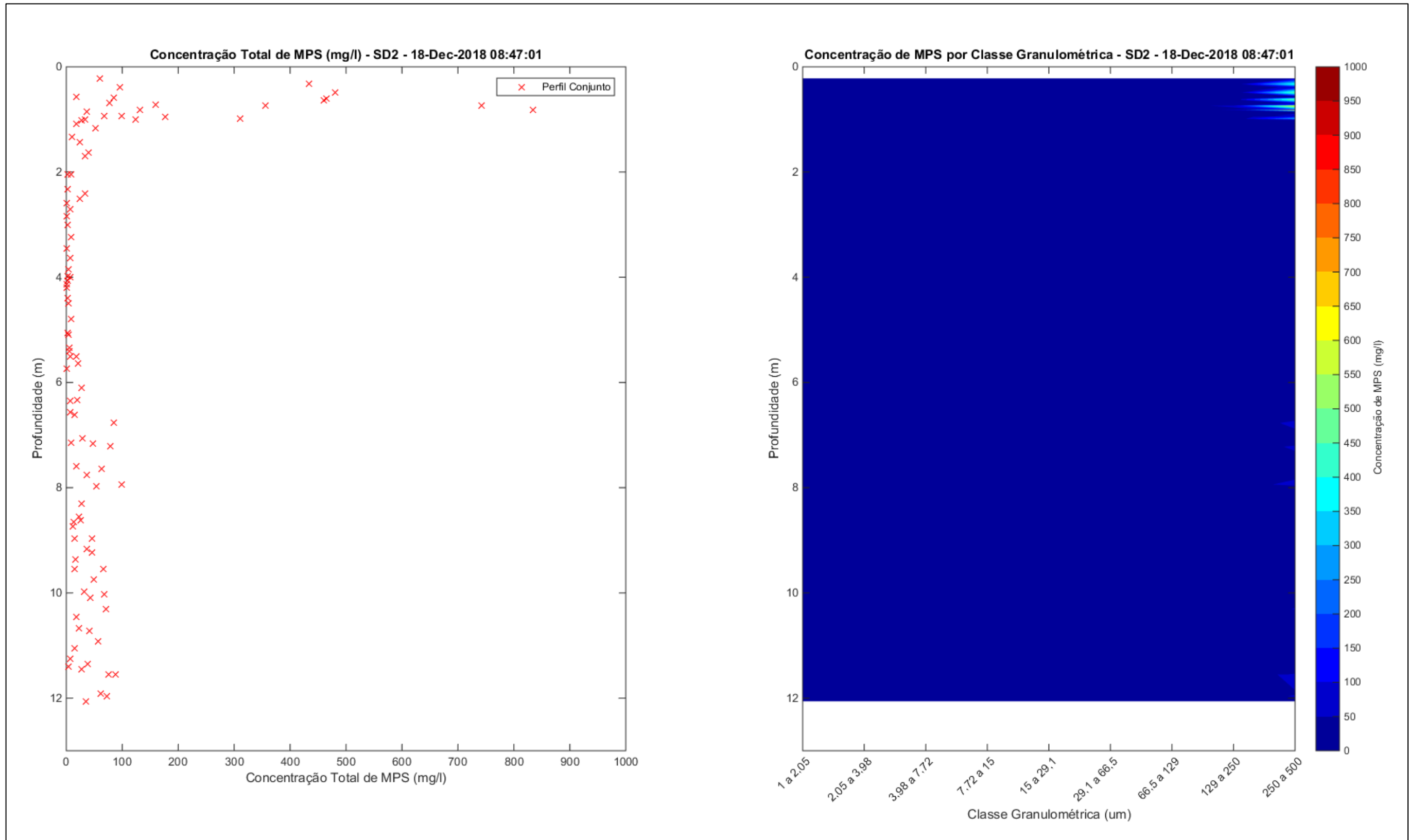
Apêndice 3: Perfilagens realizadas pelo LISST na Campanha 3.

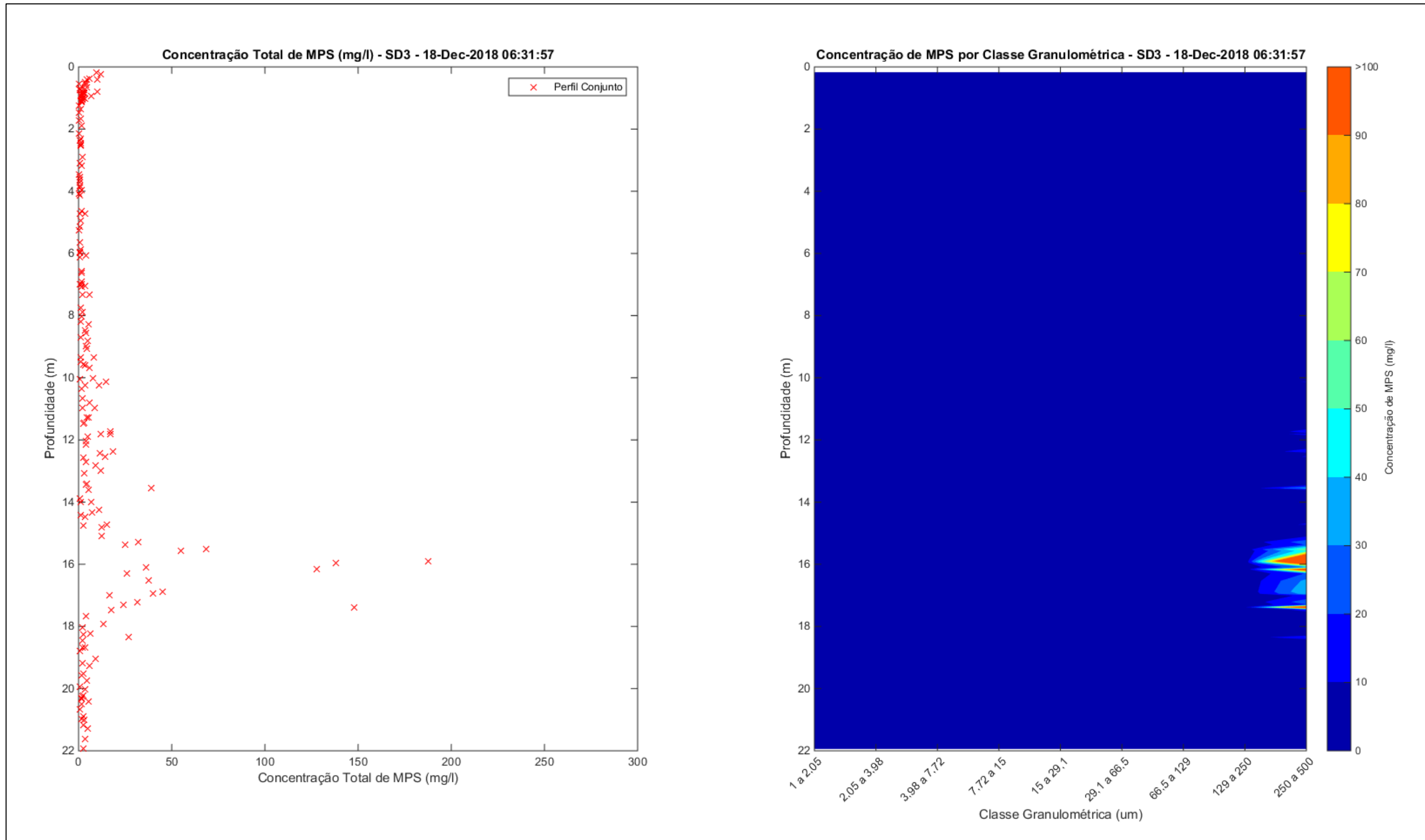


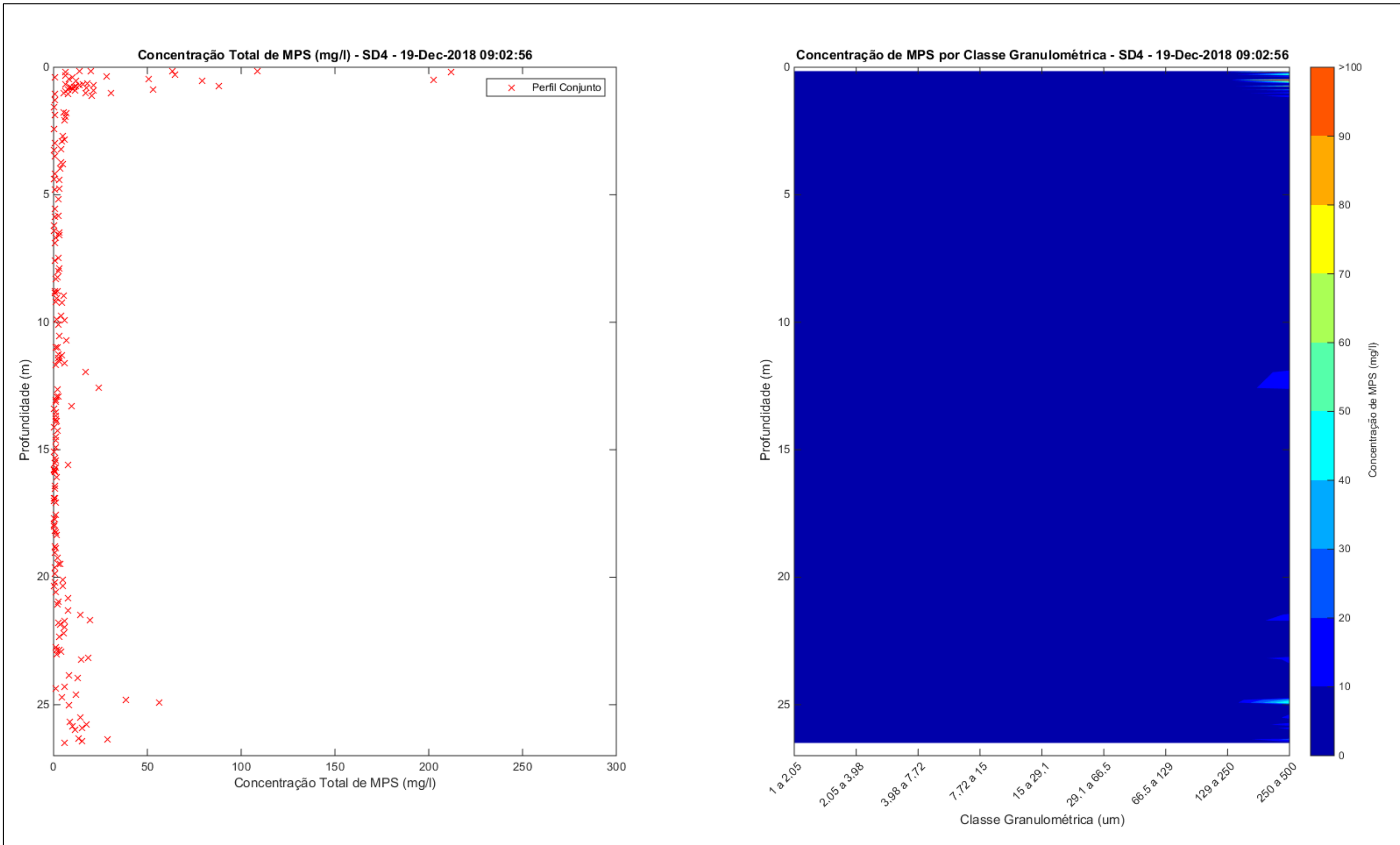


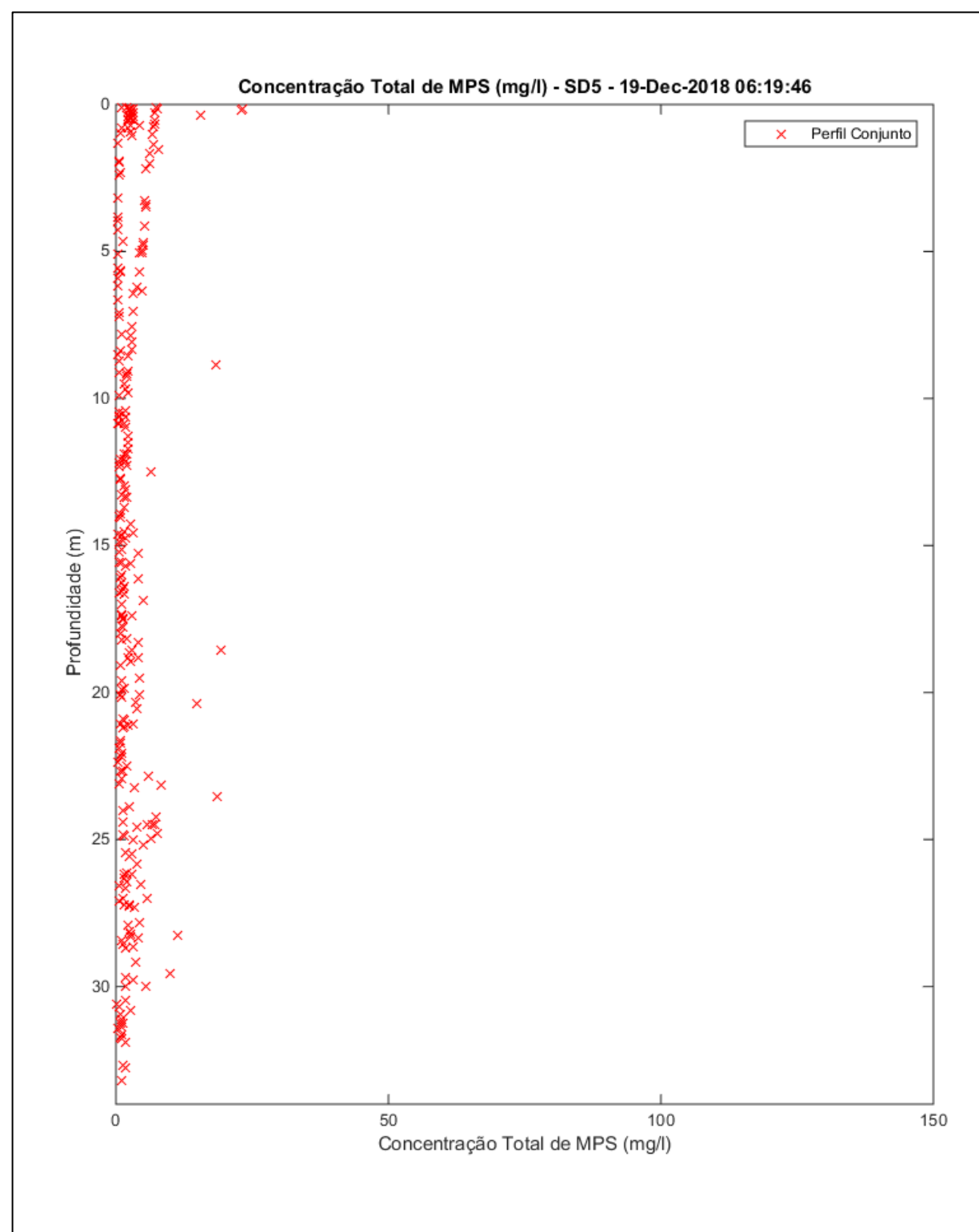


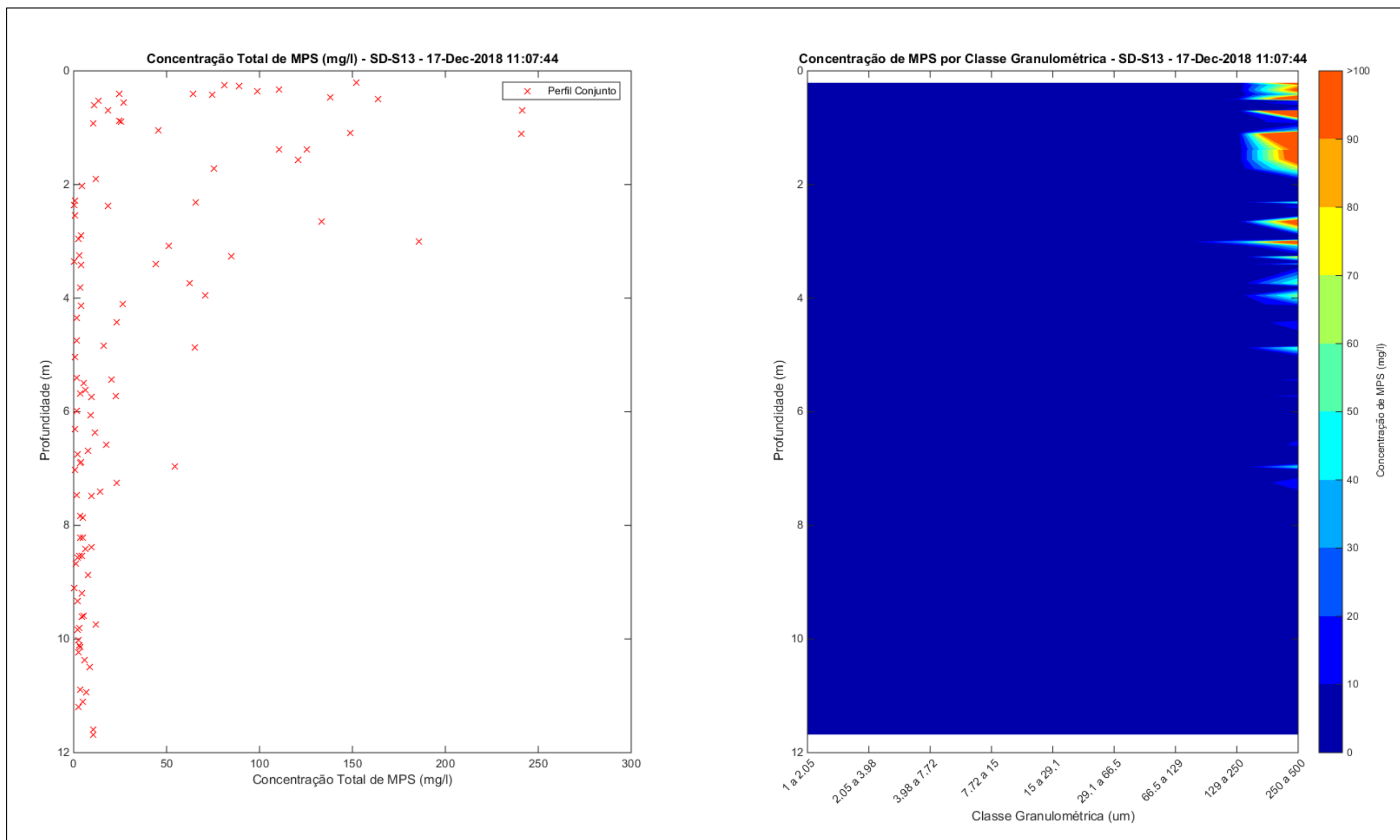


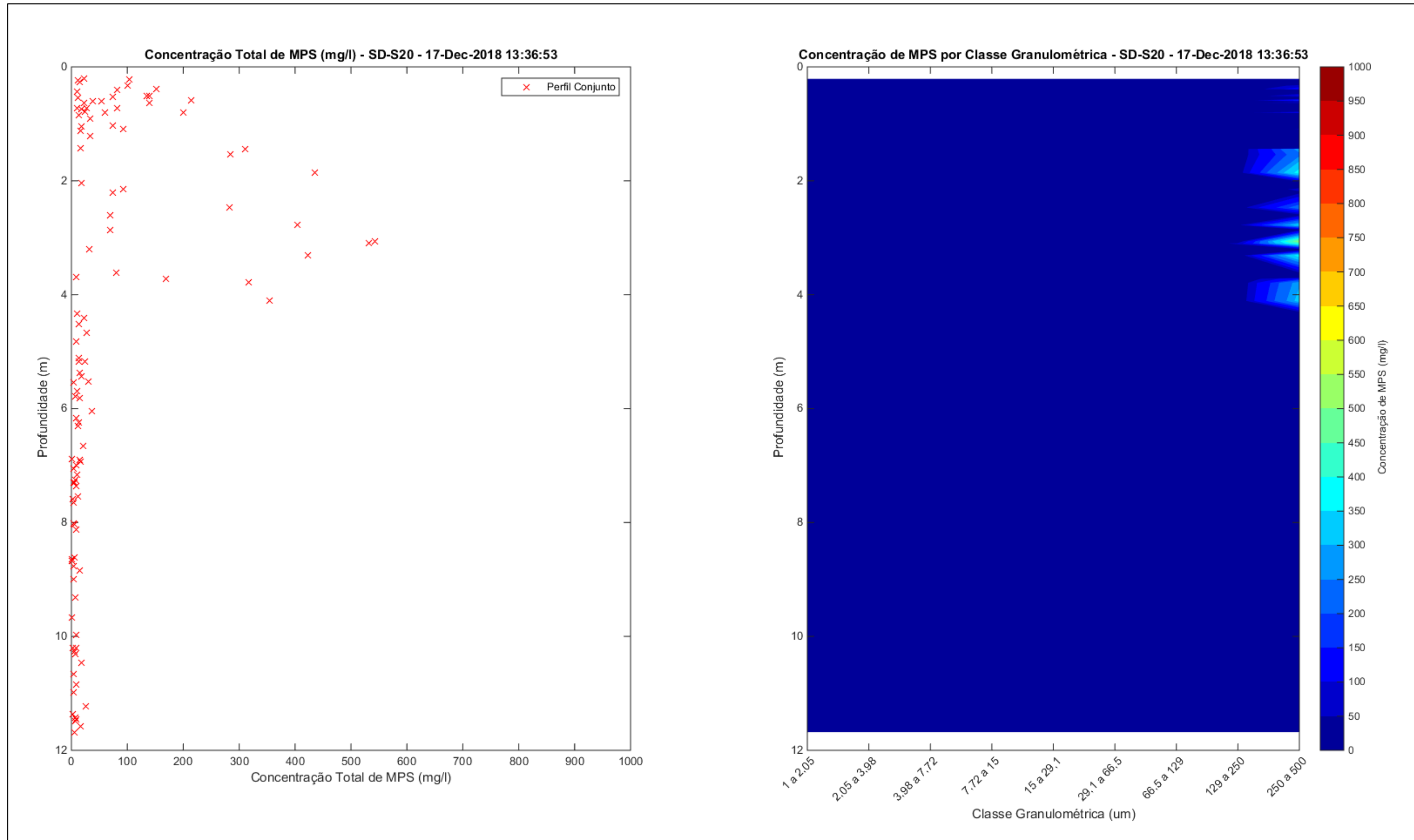


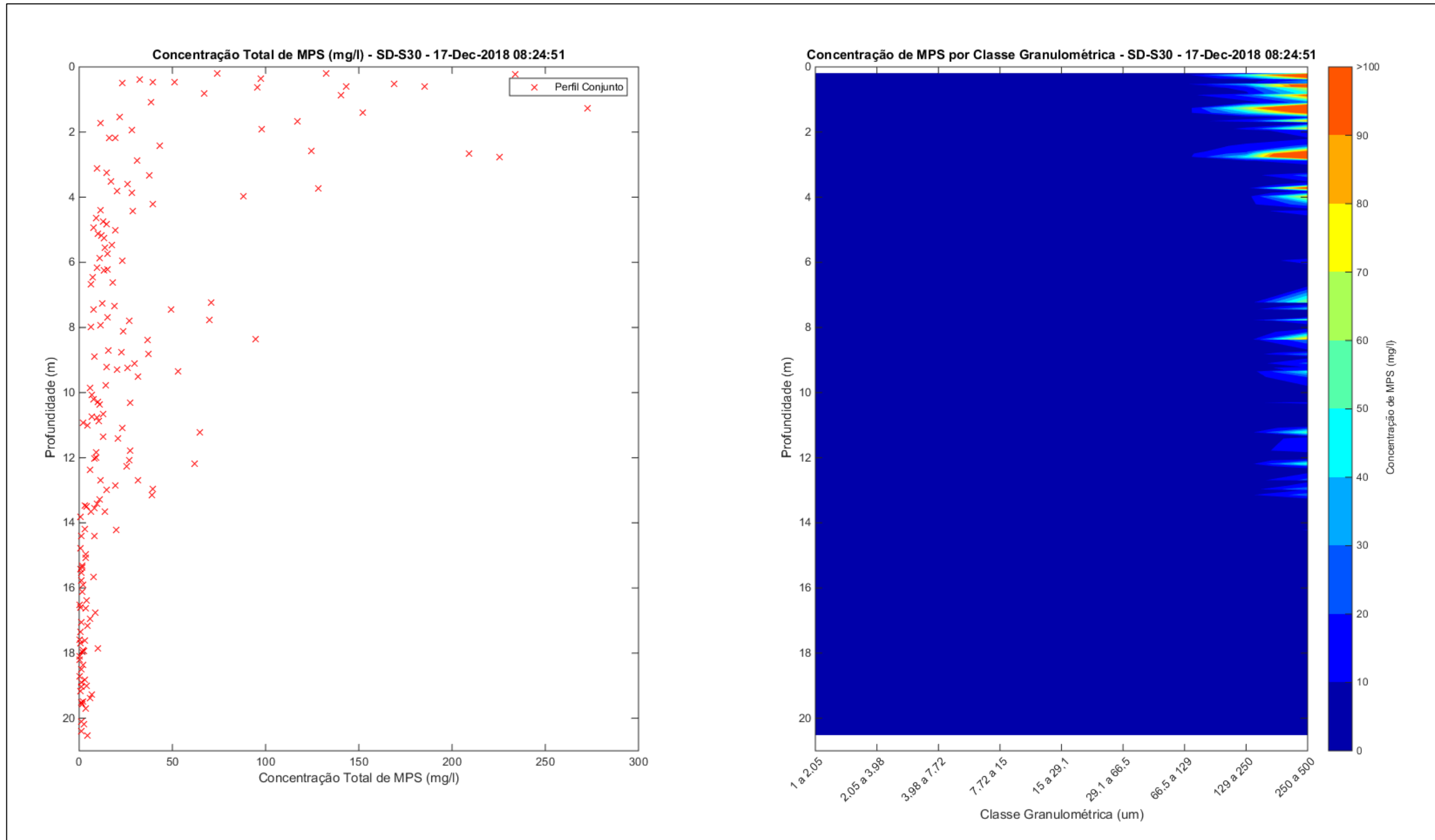




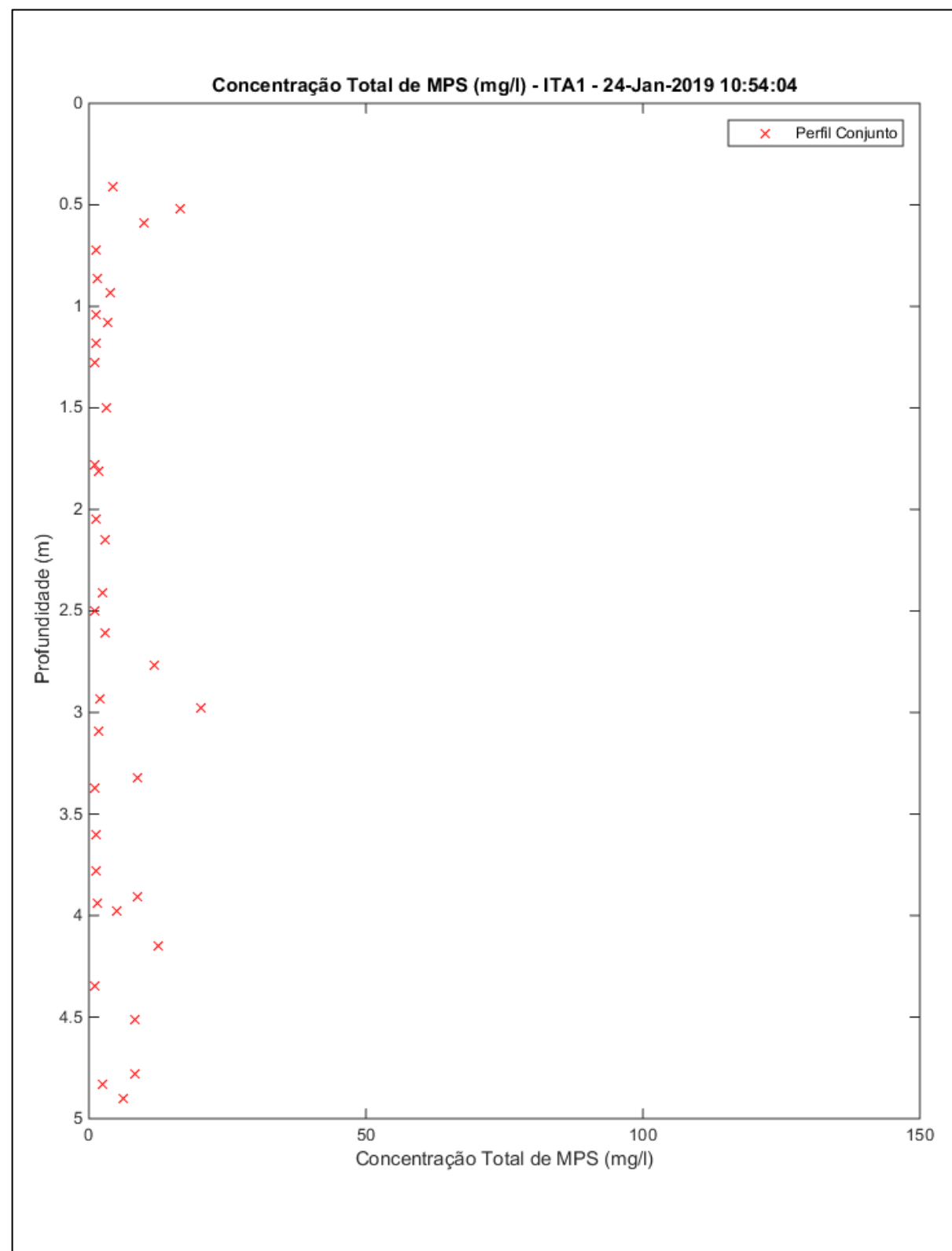


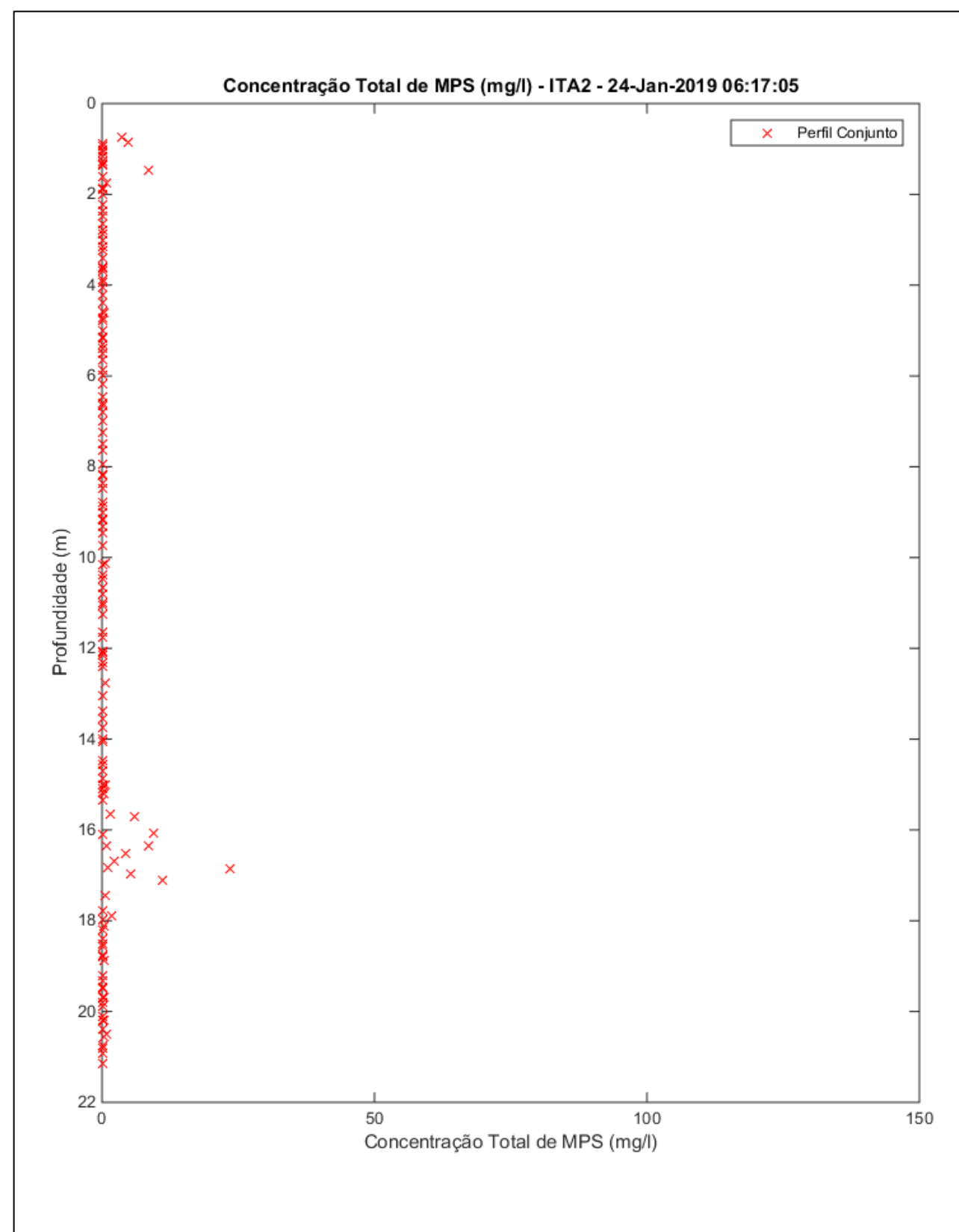


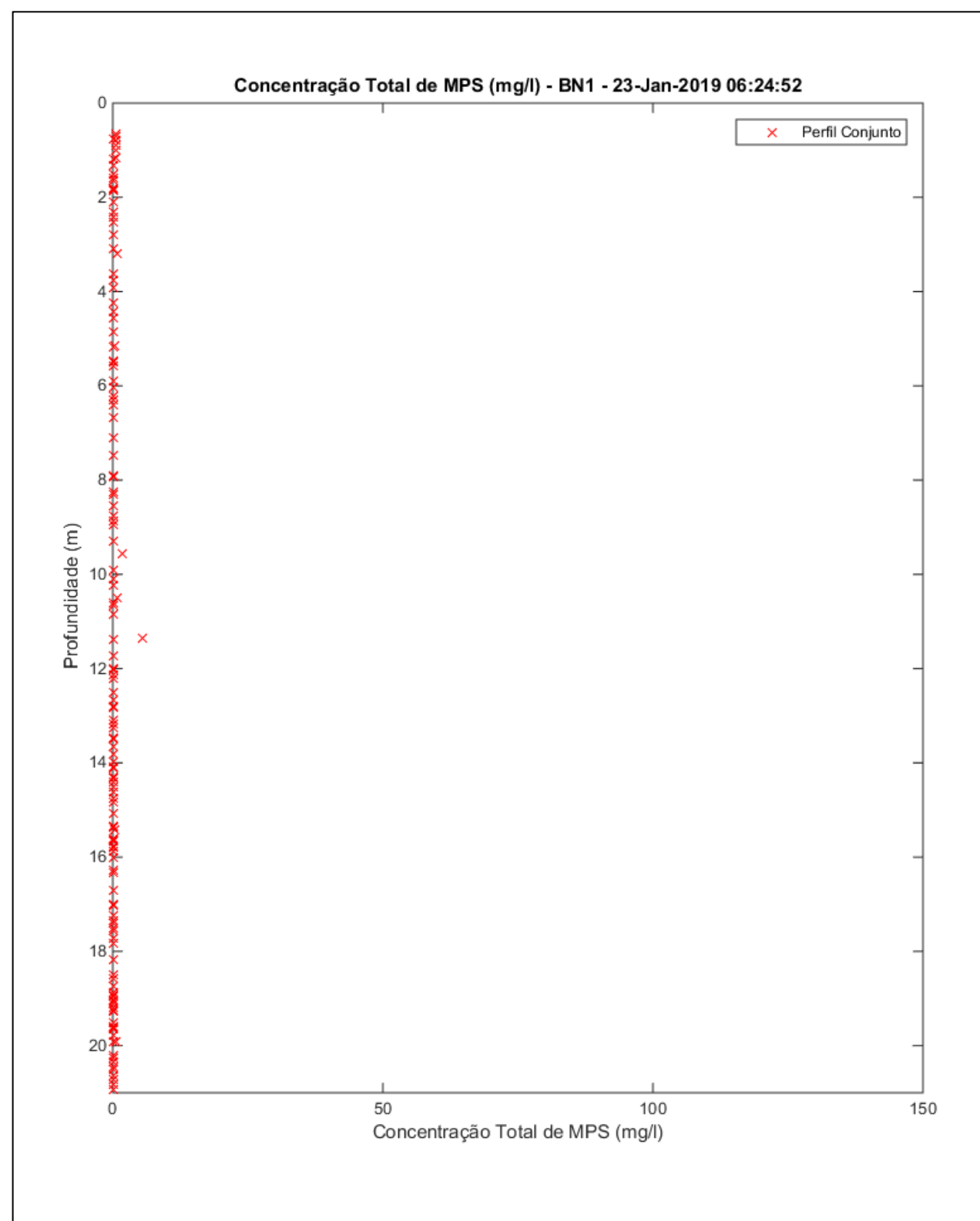


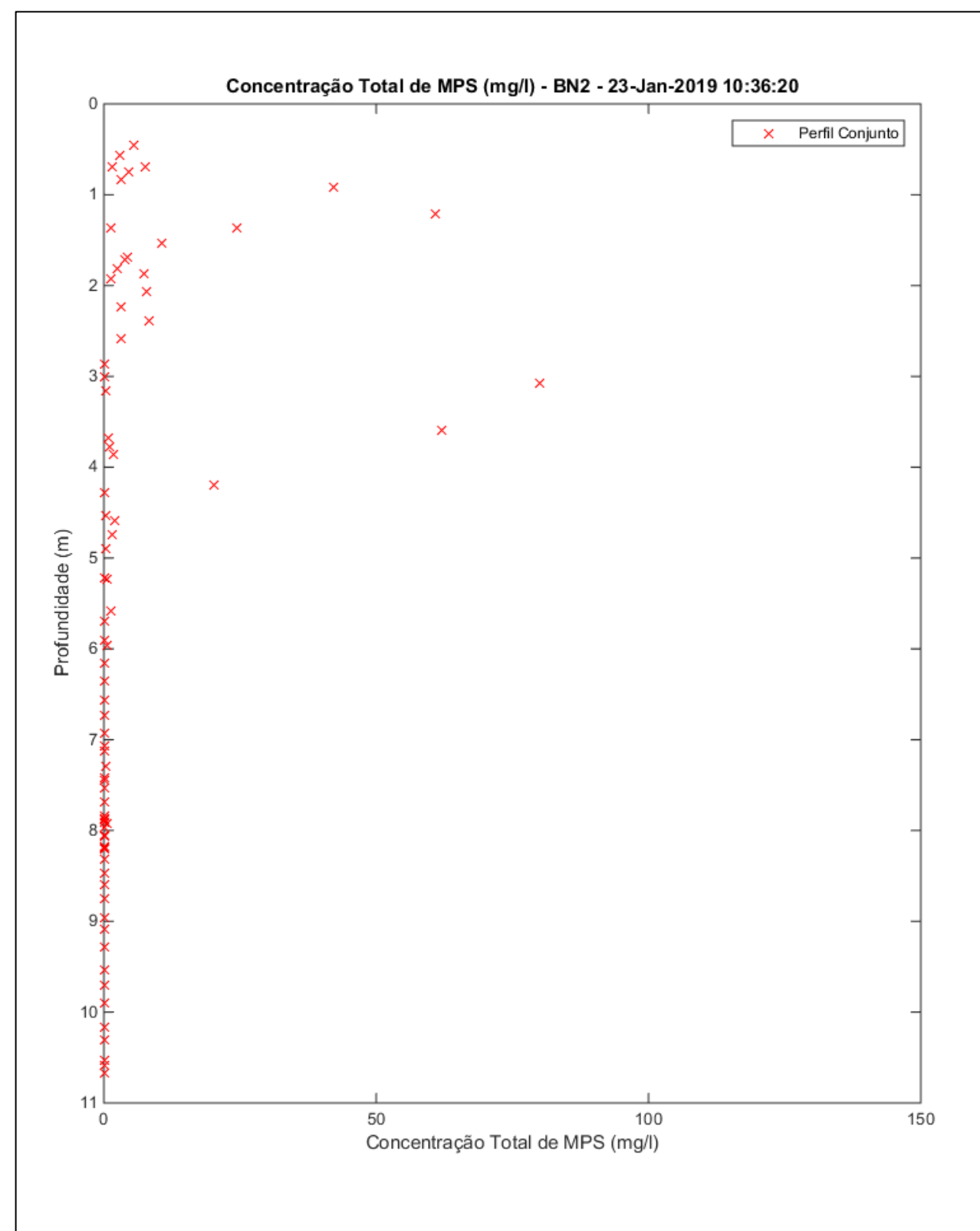


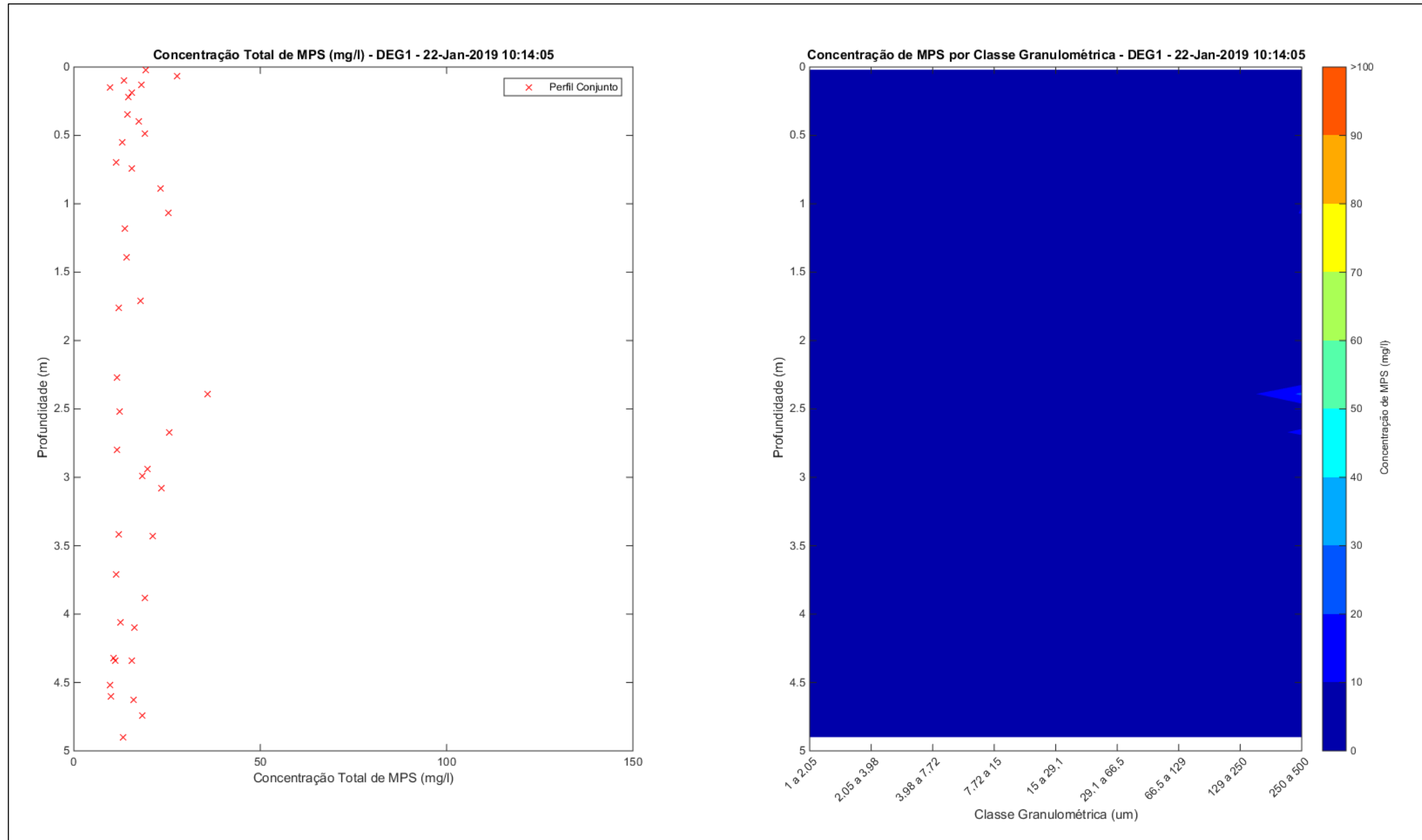
Apêndice 4: Perfis realizados pelo LISST na Campanha 4.

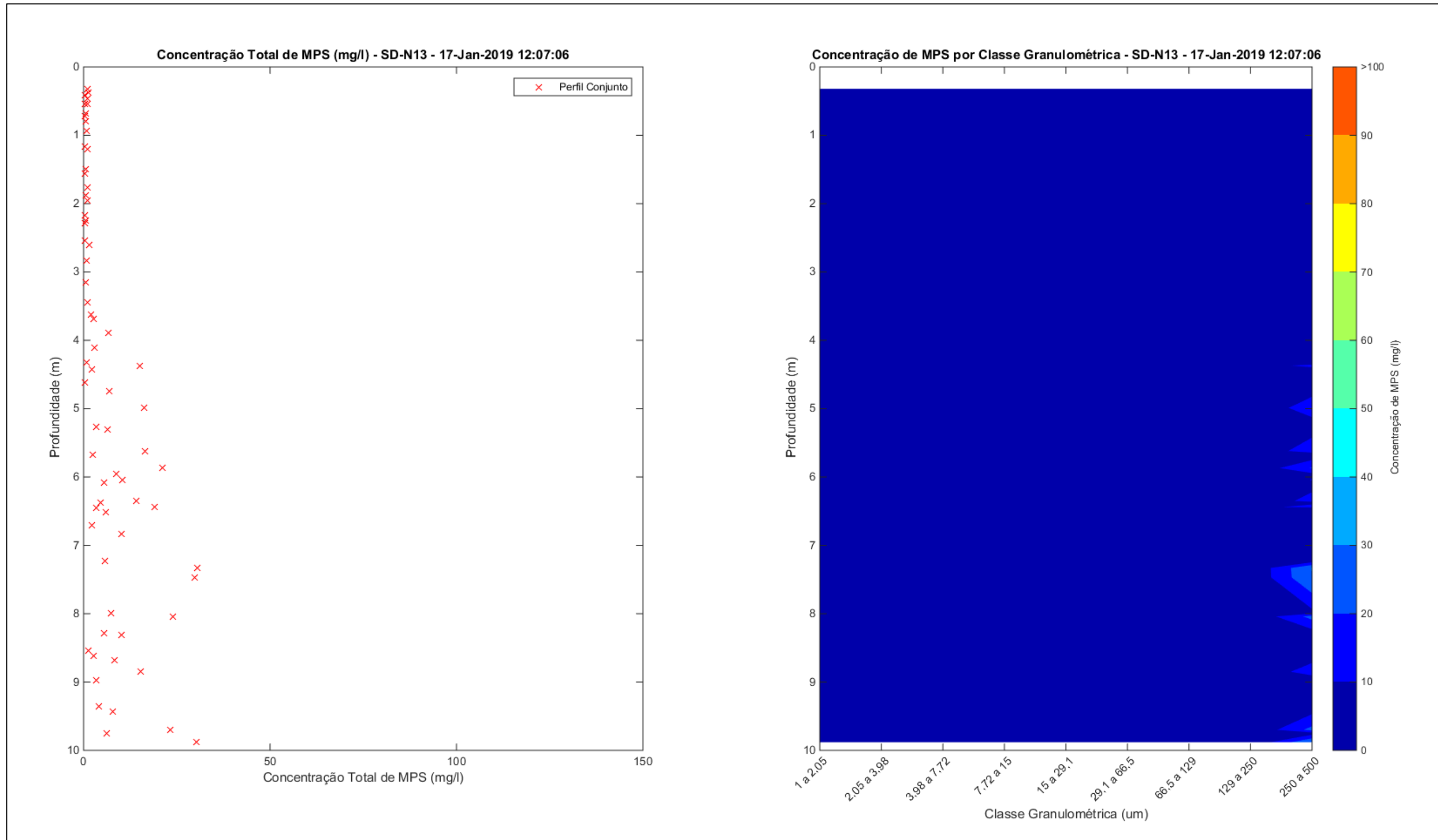


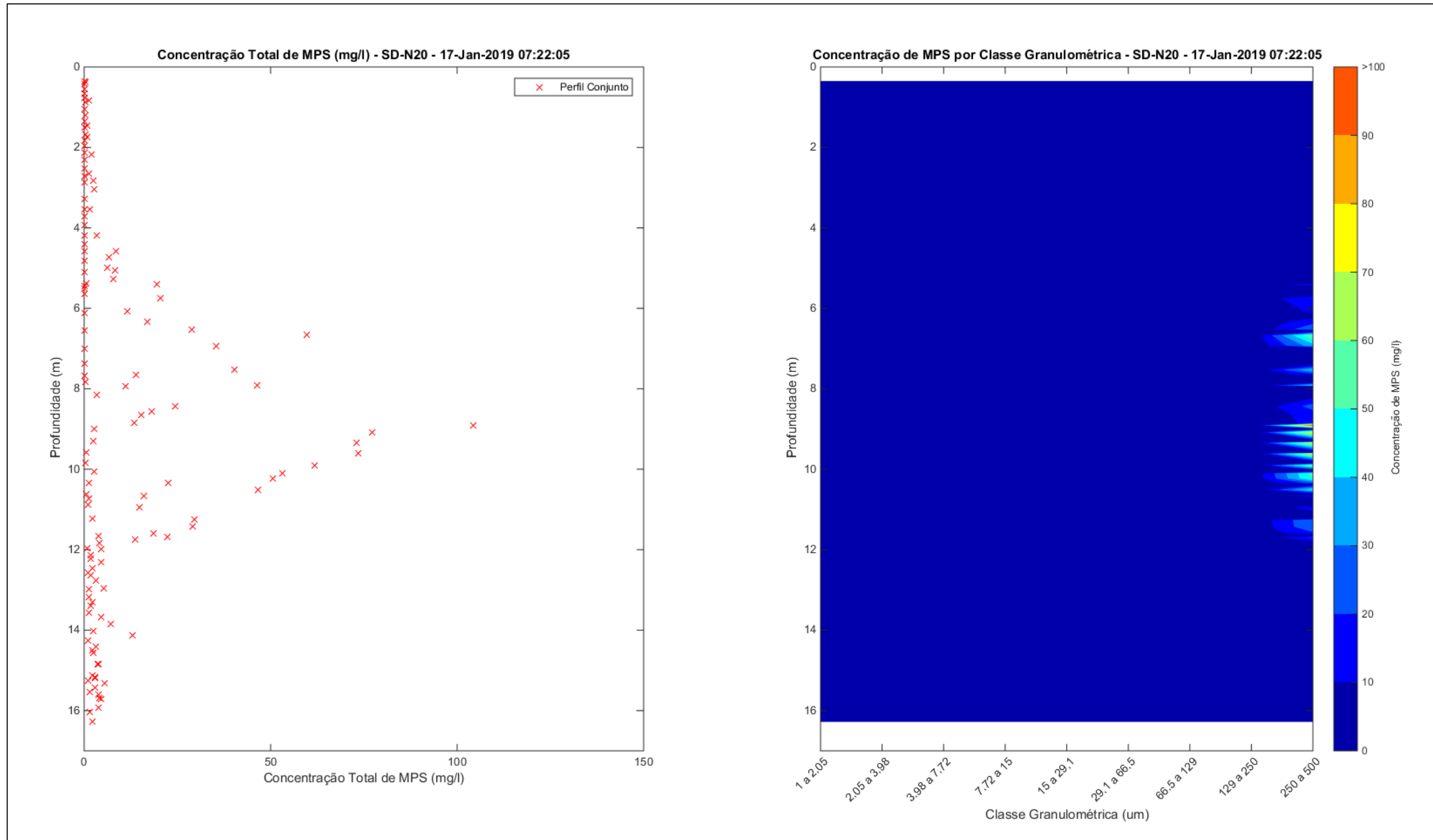


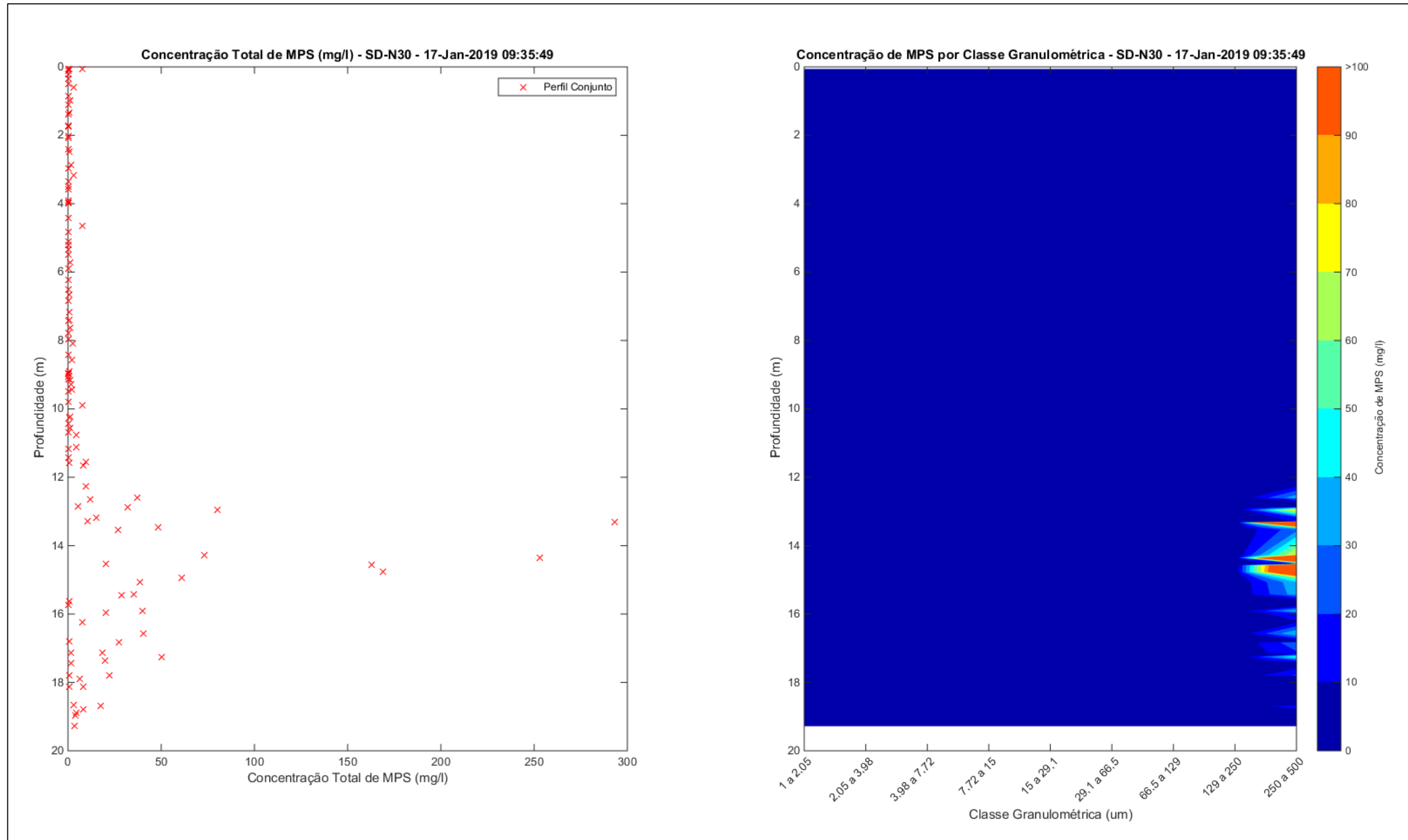


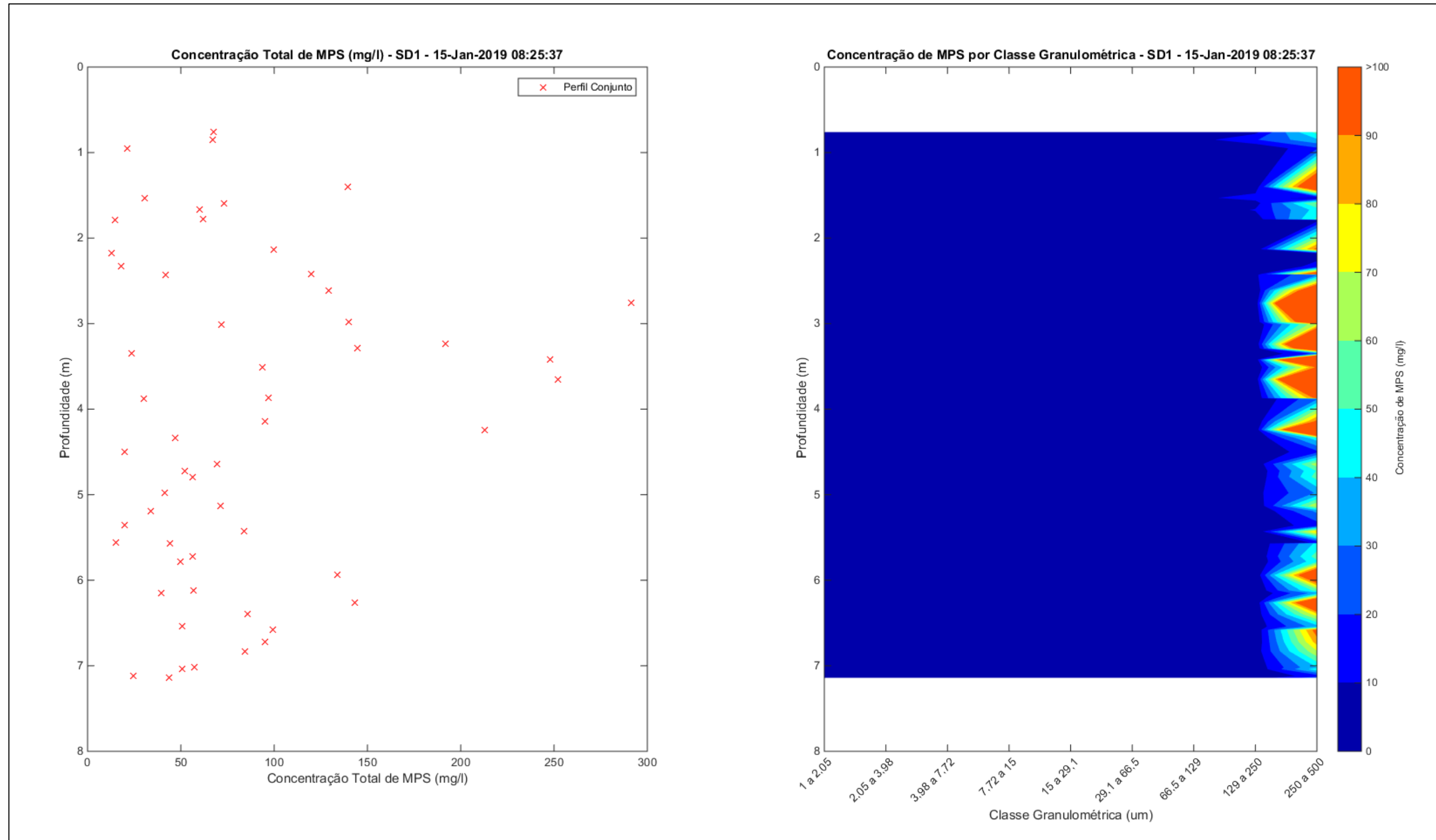


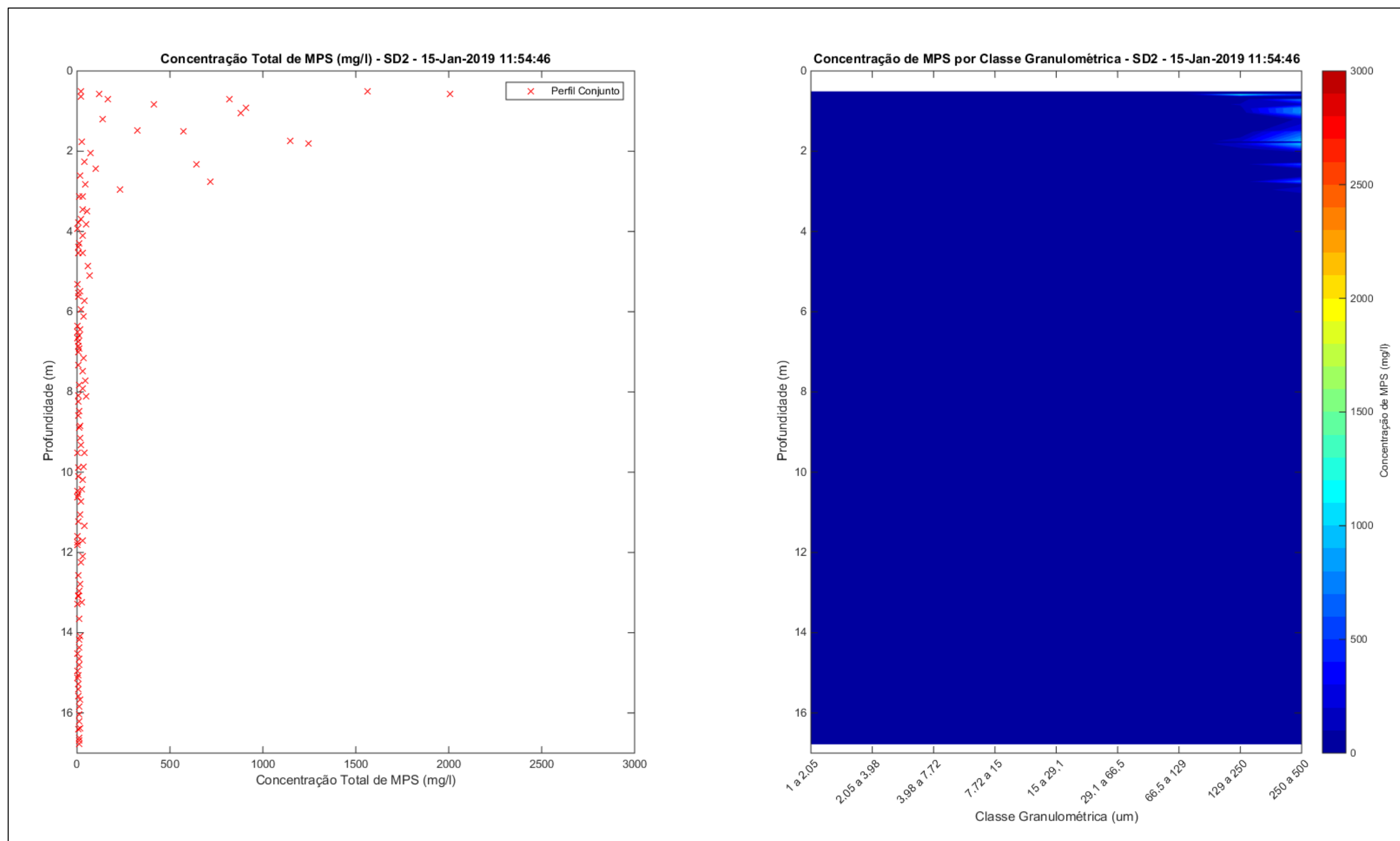


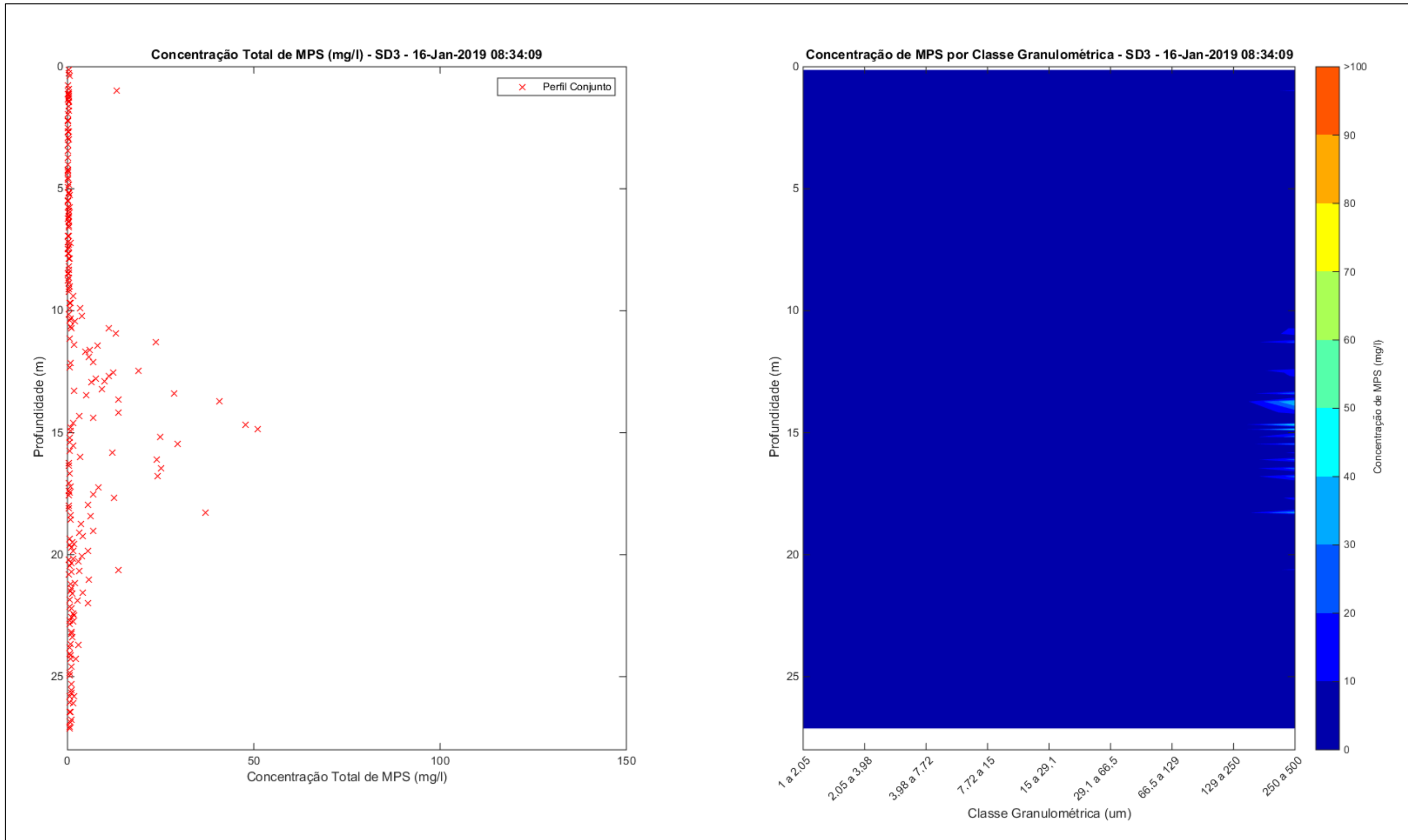


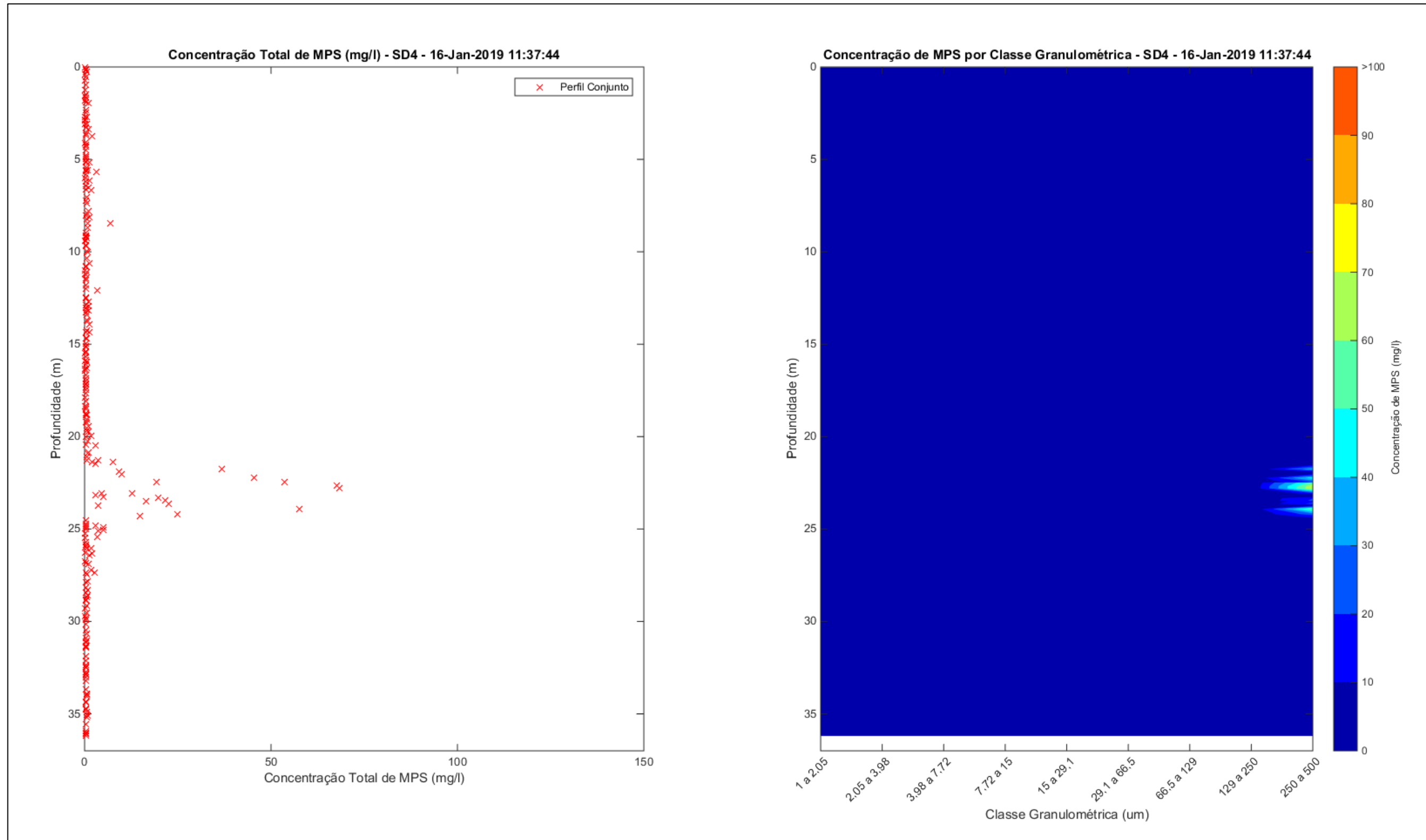


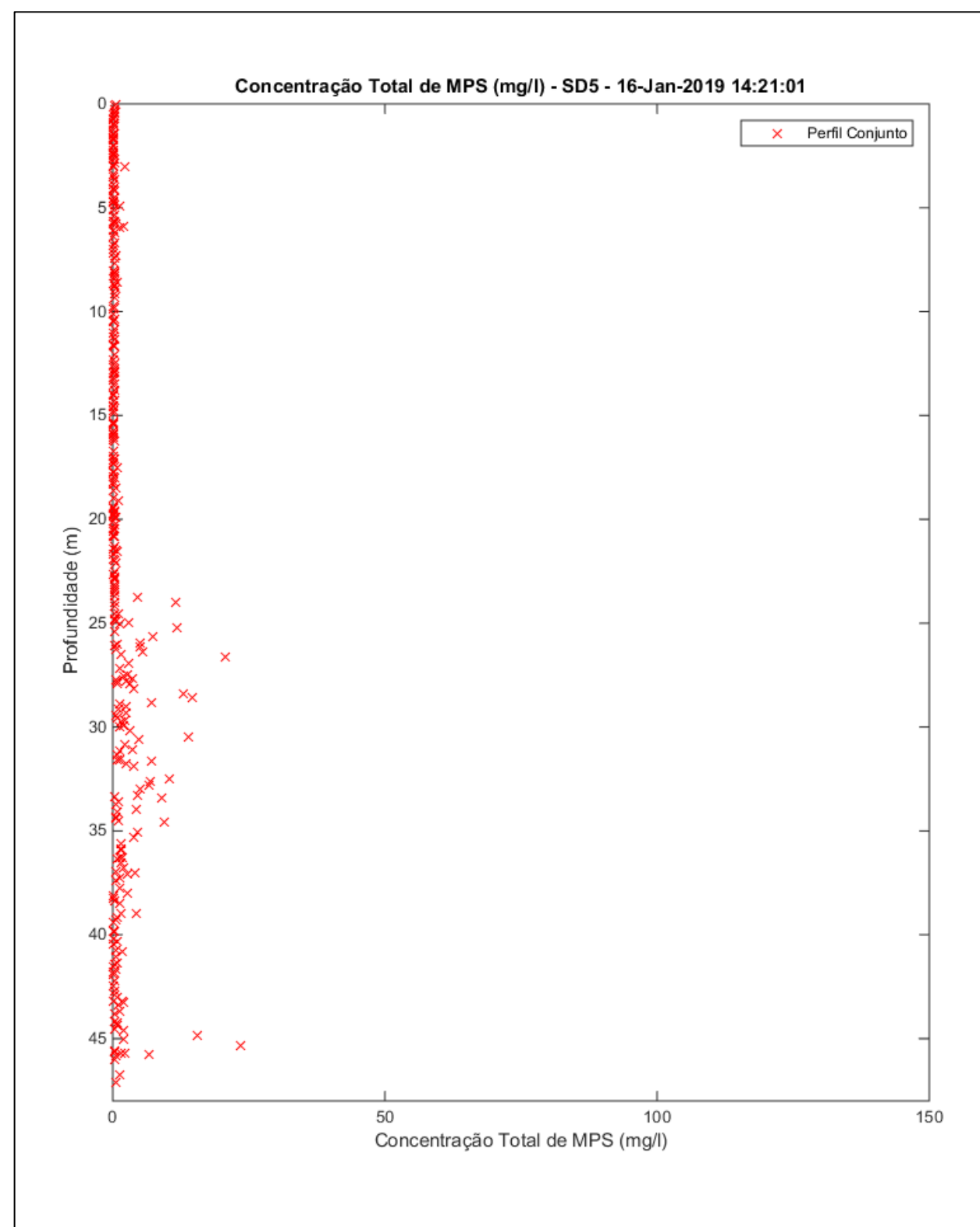


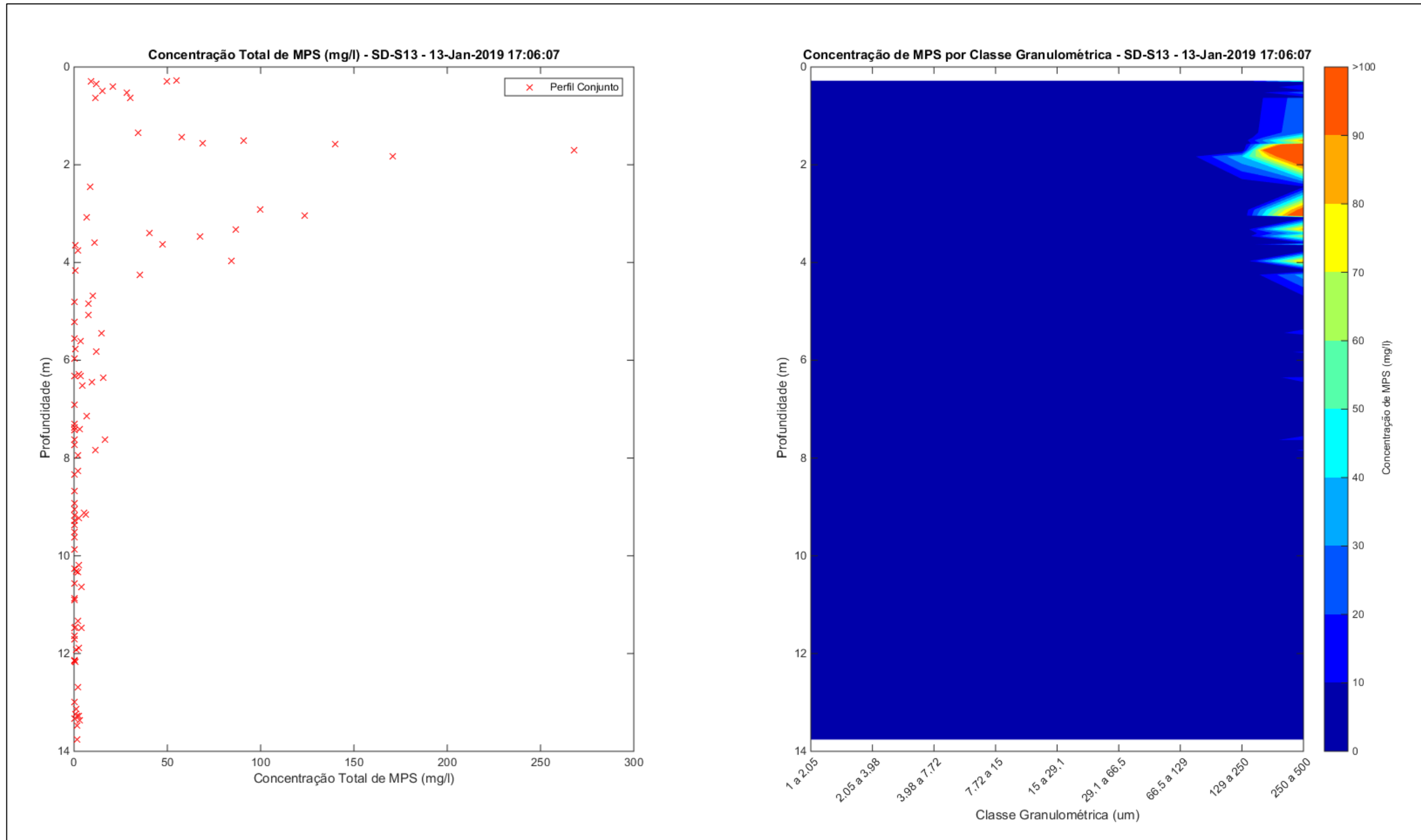


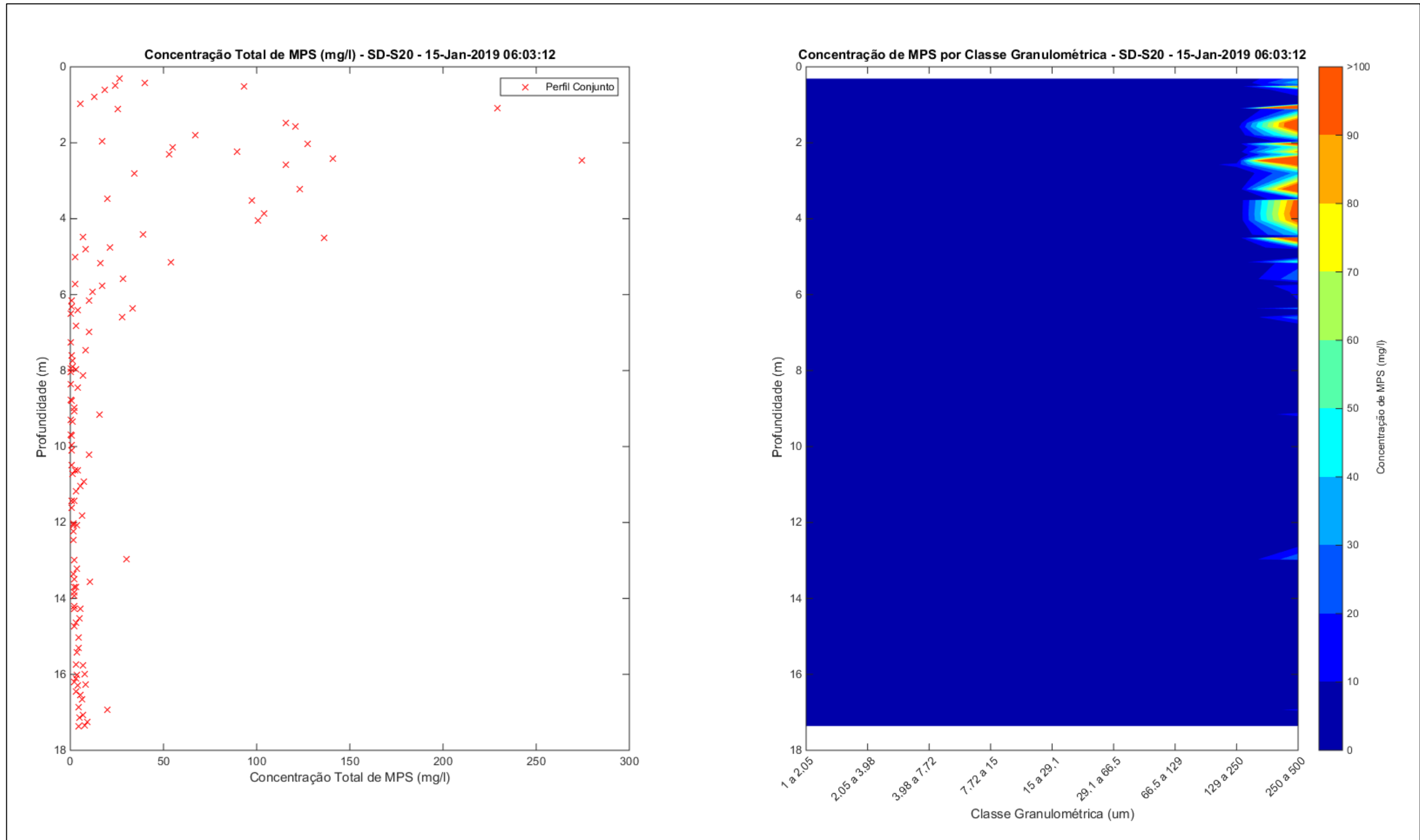


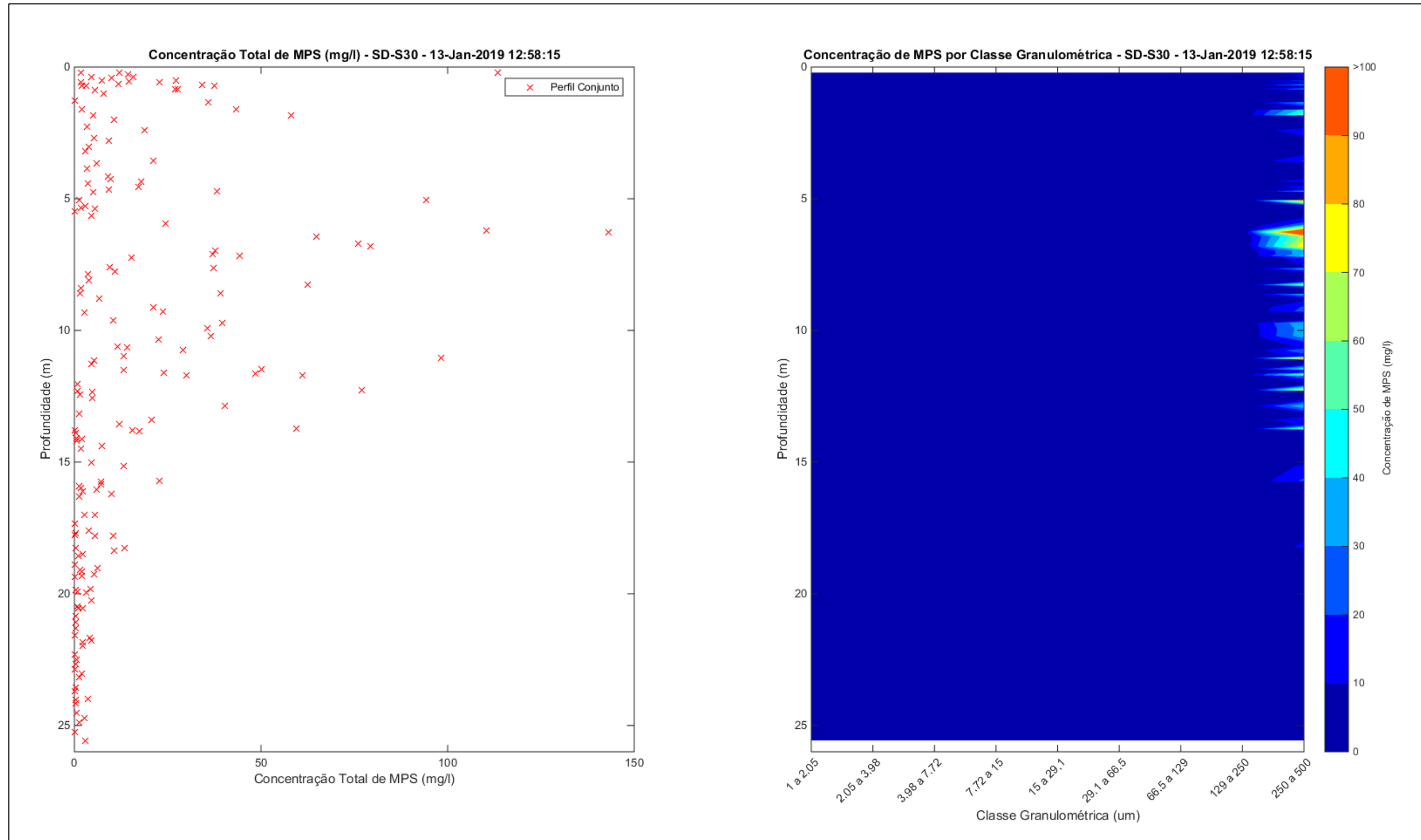


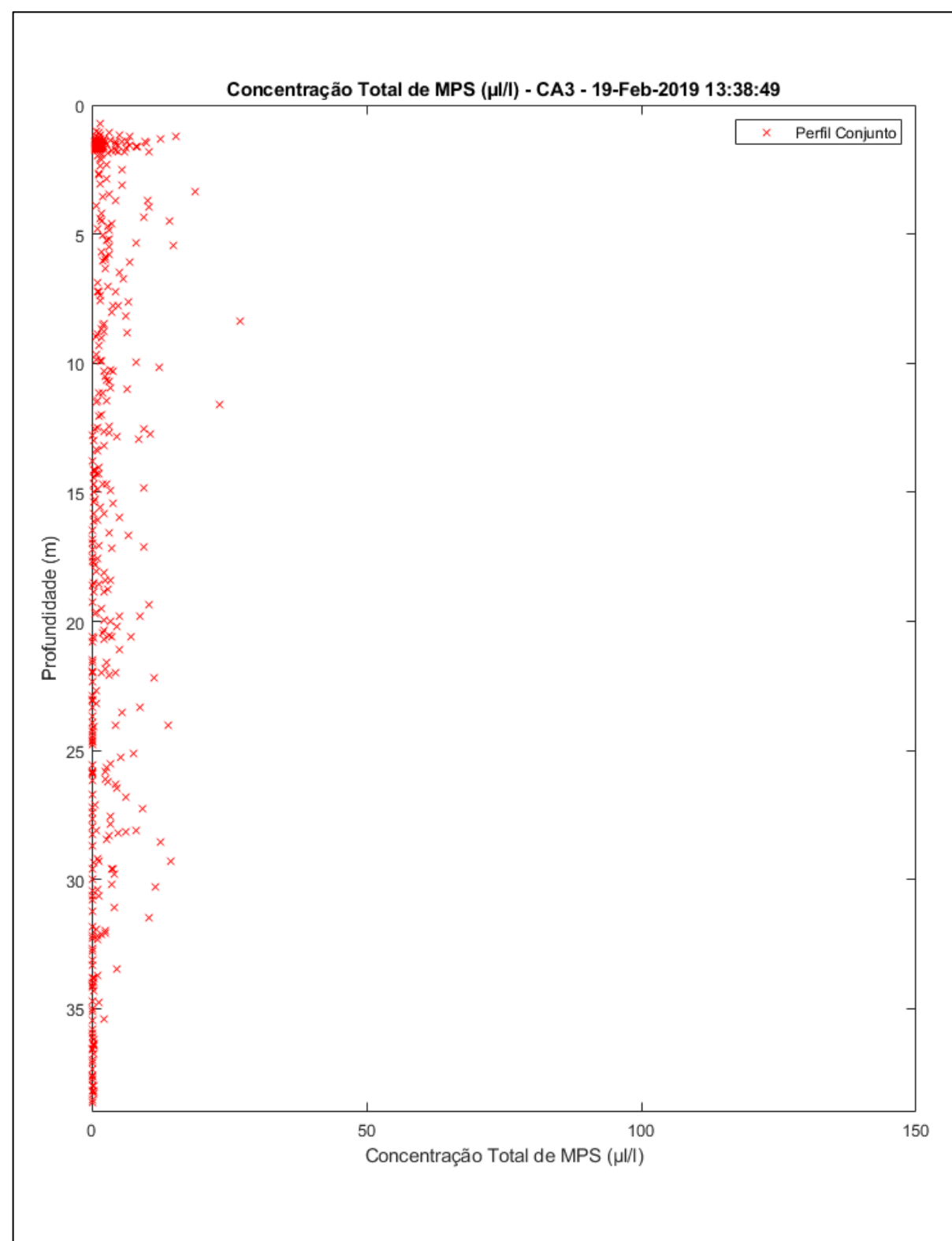


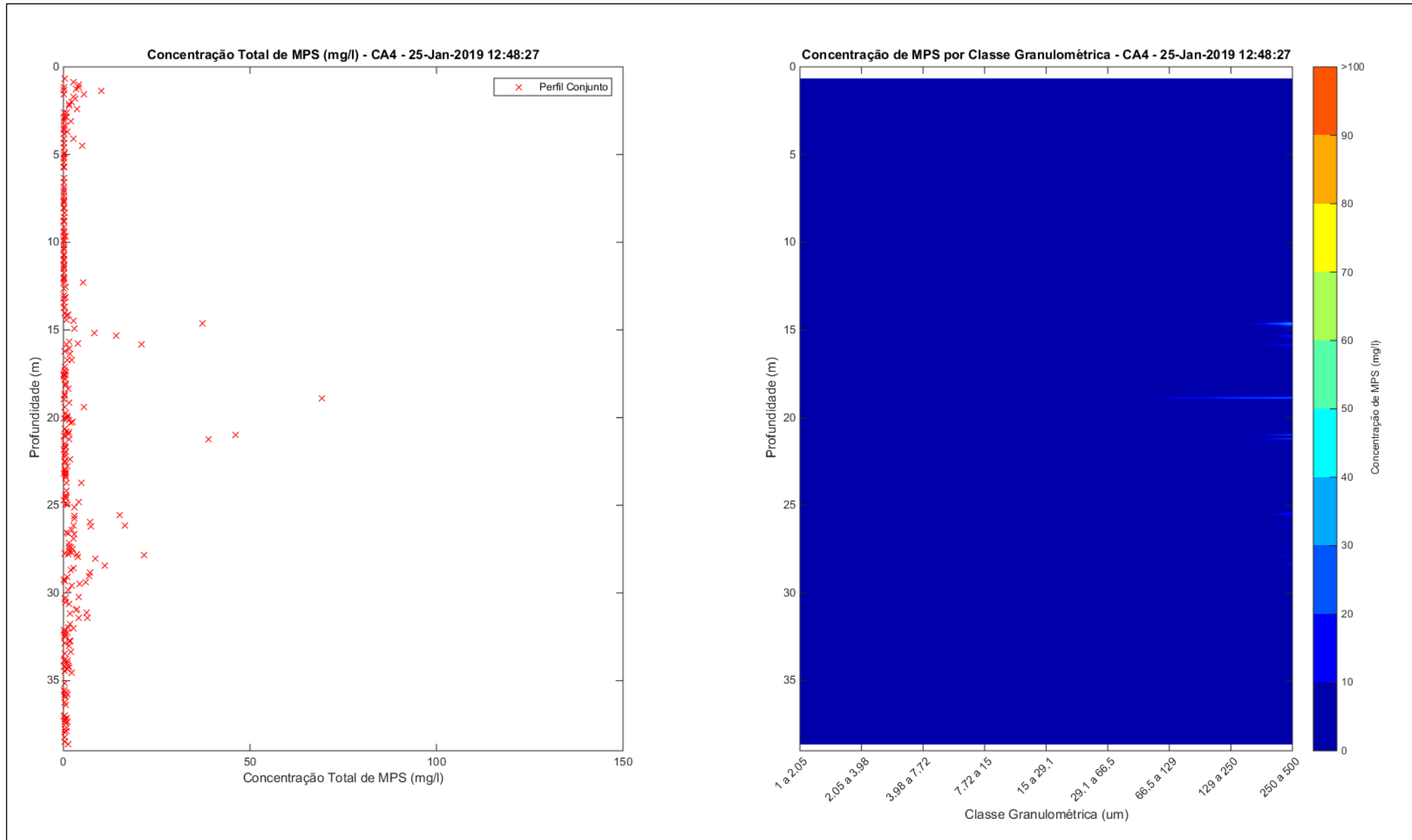


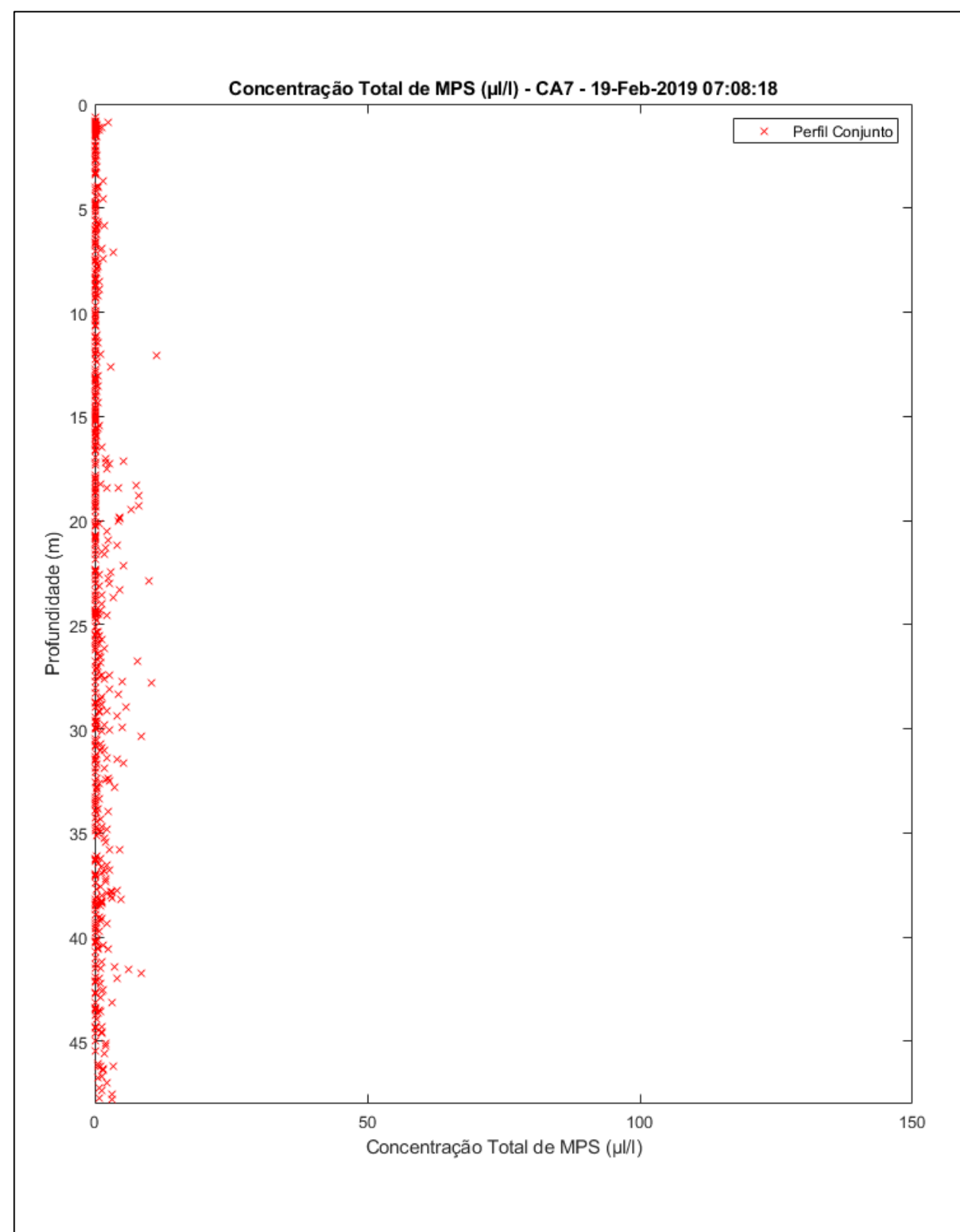


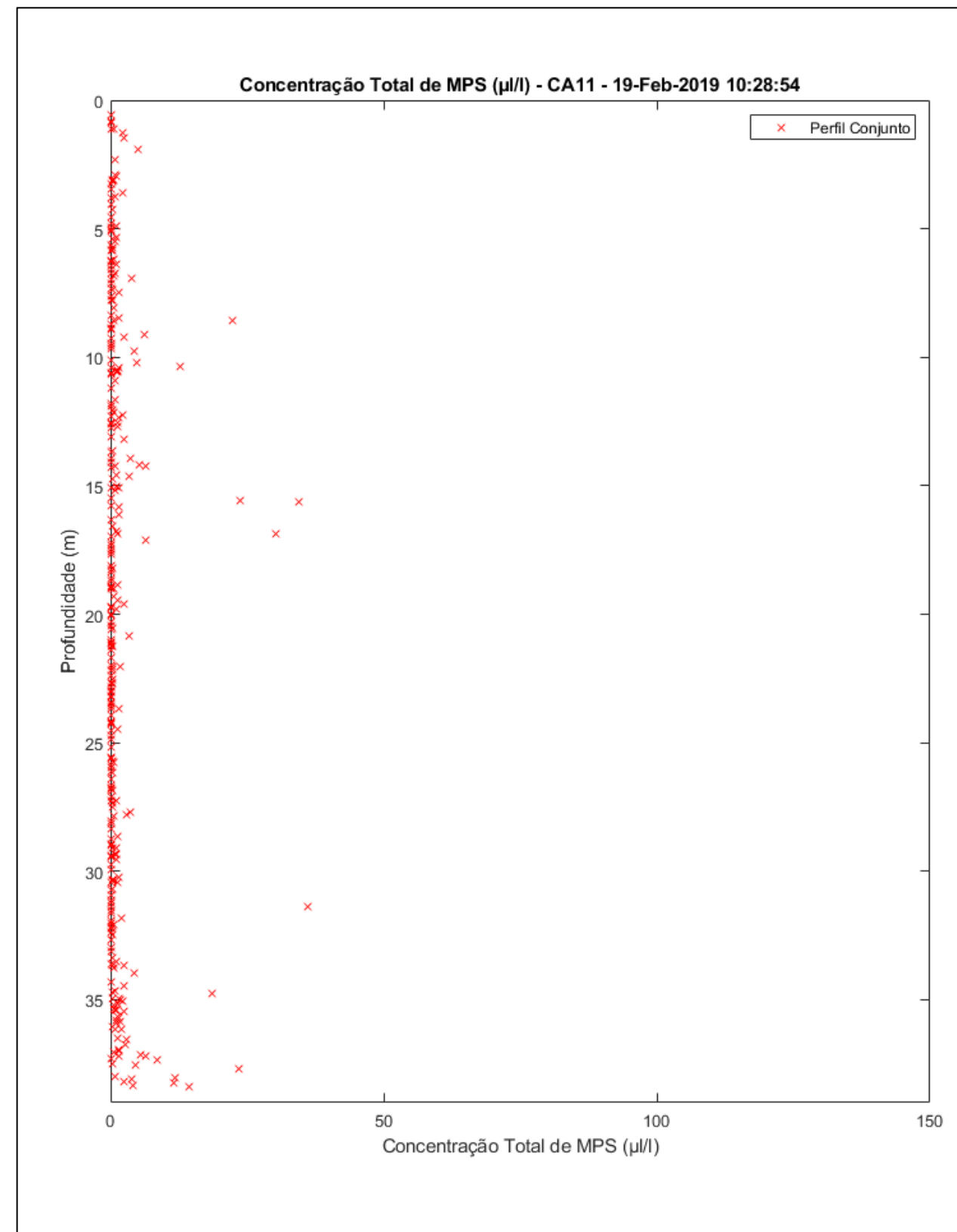


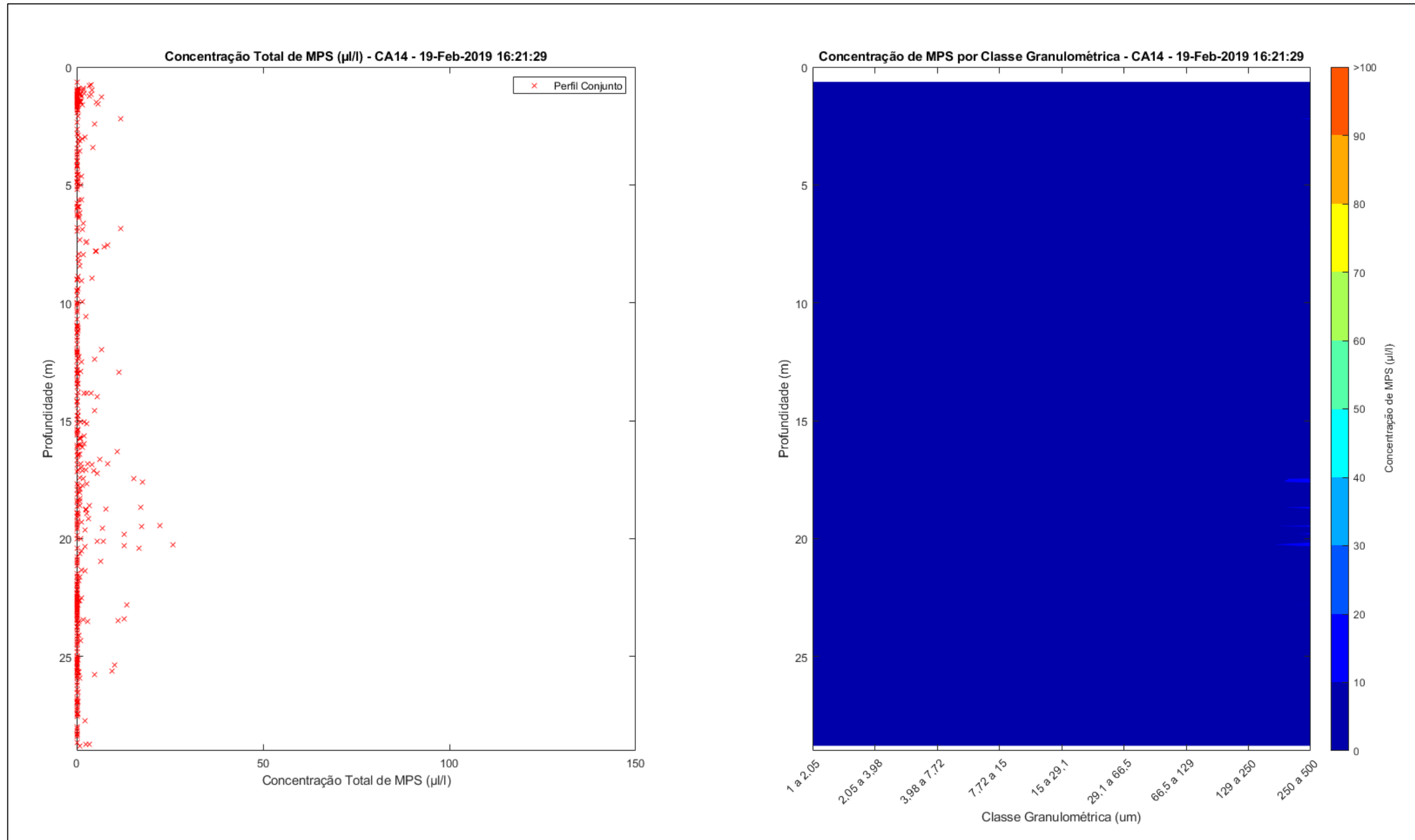


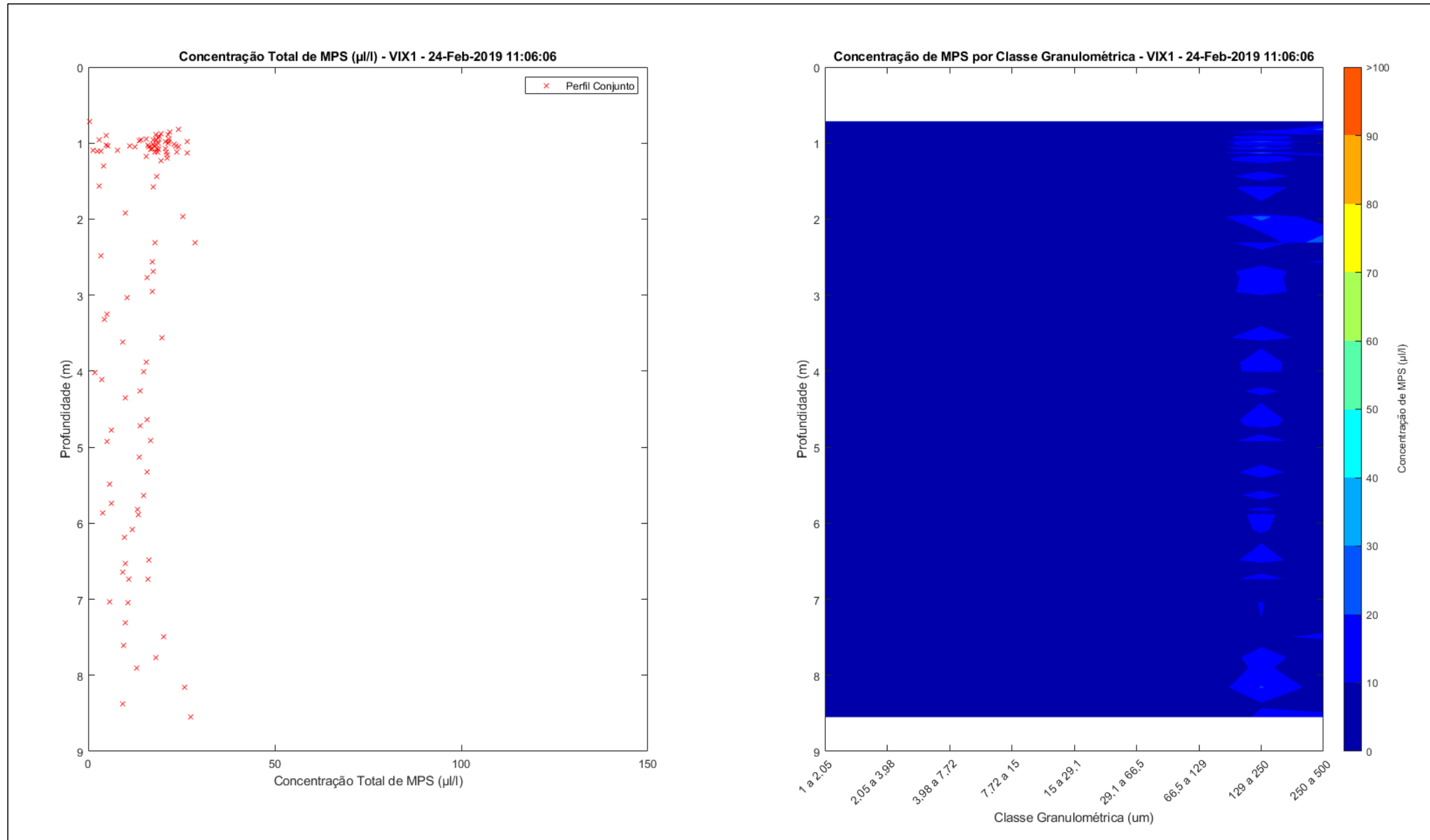


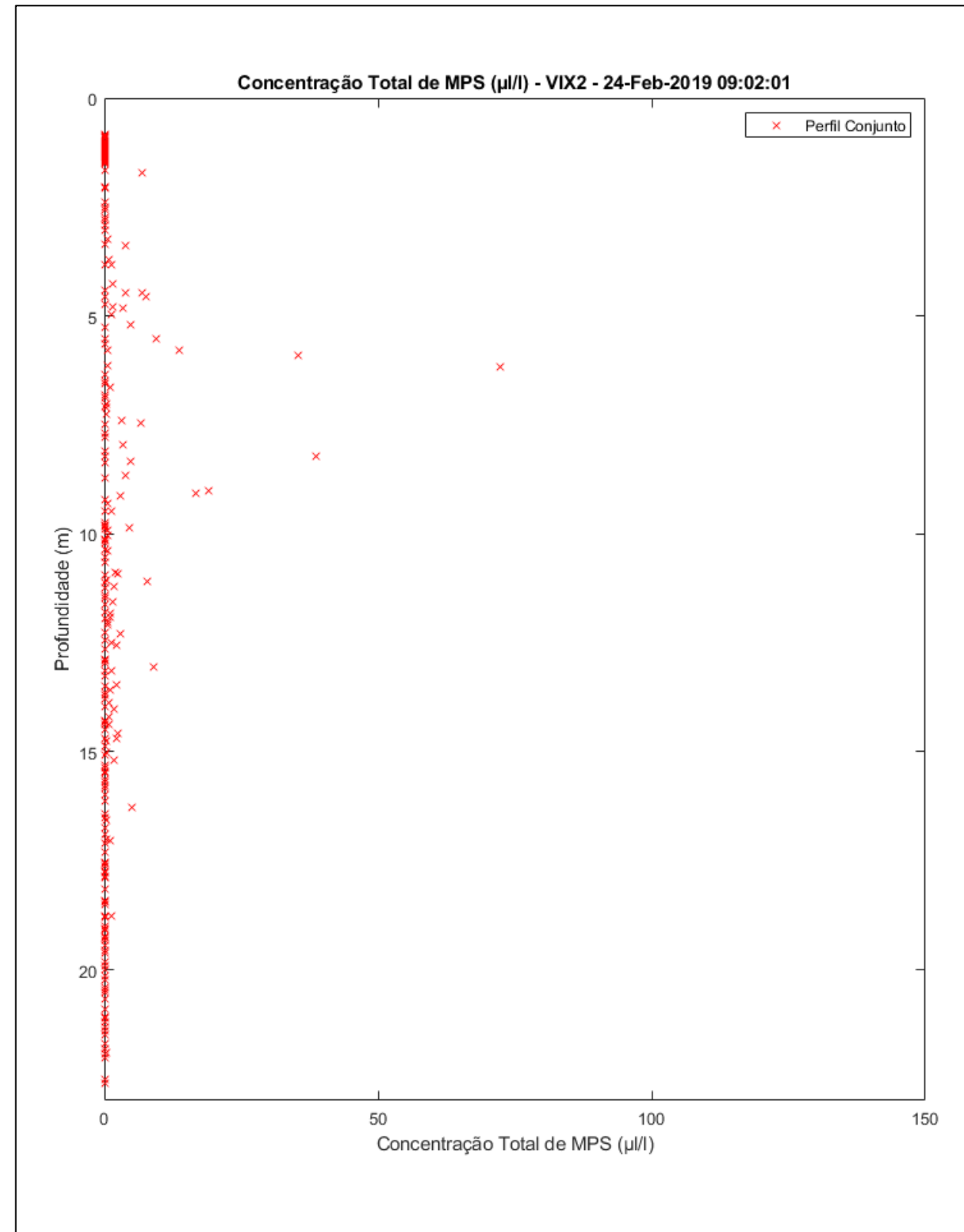




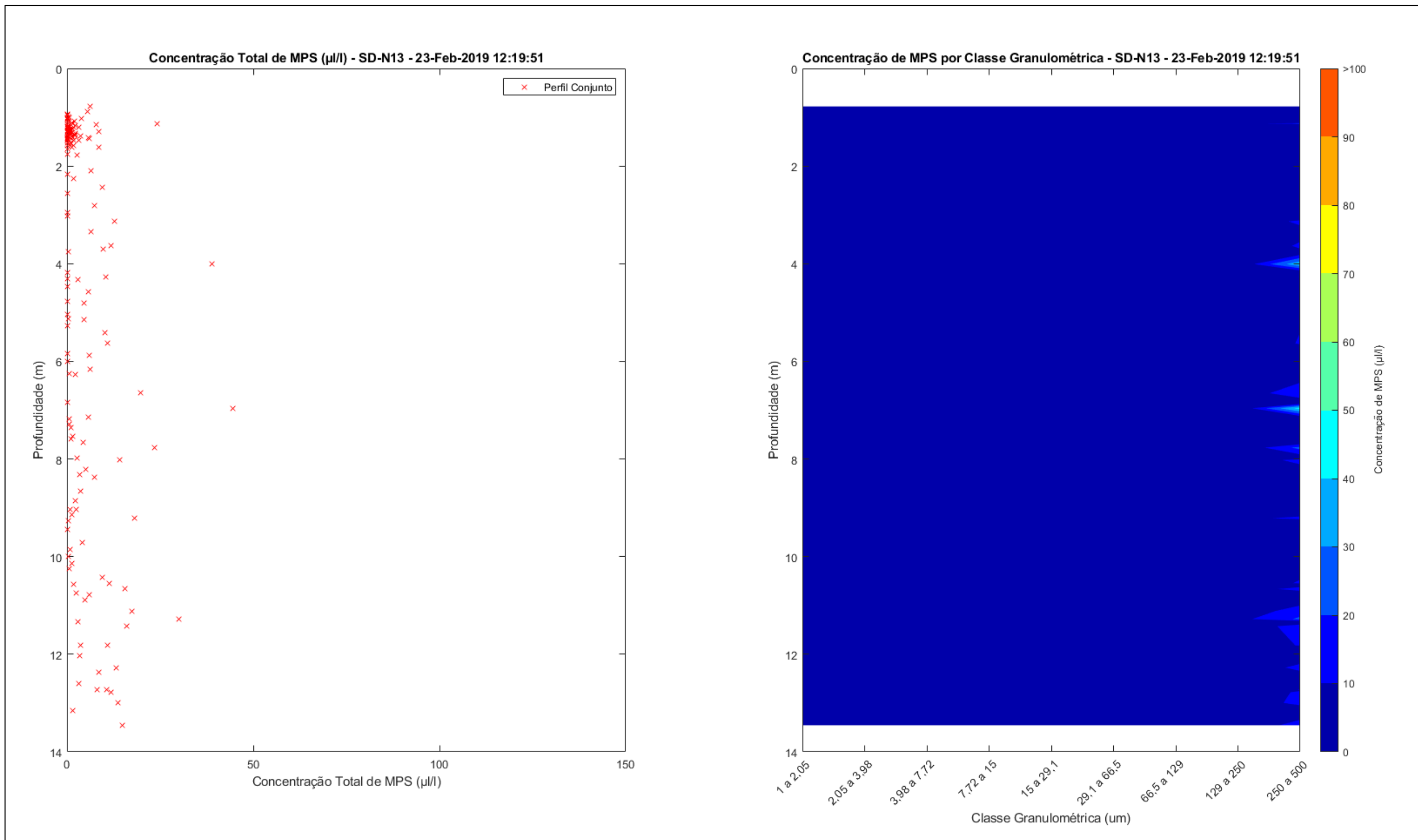


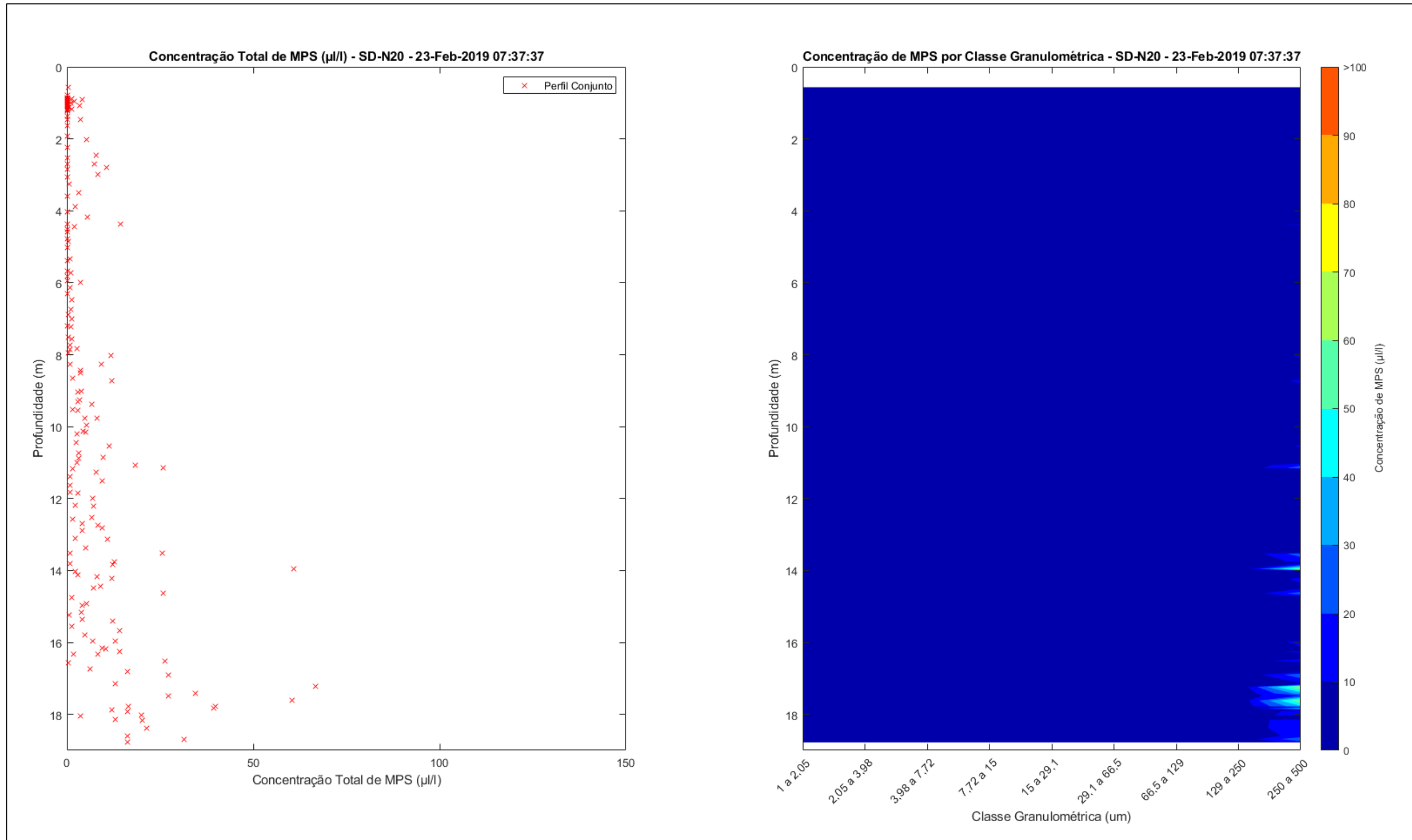


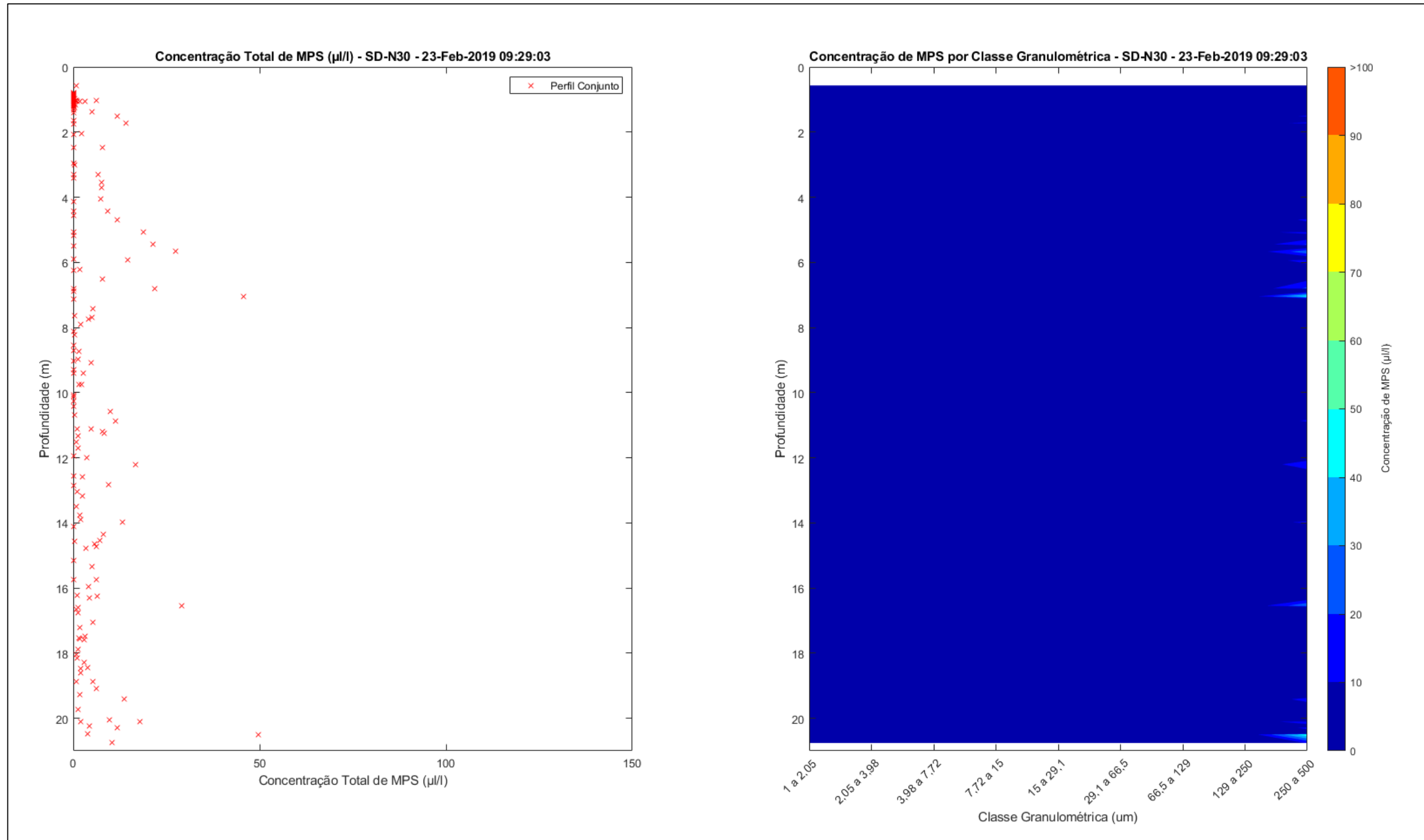


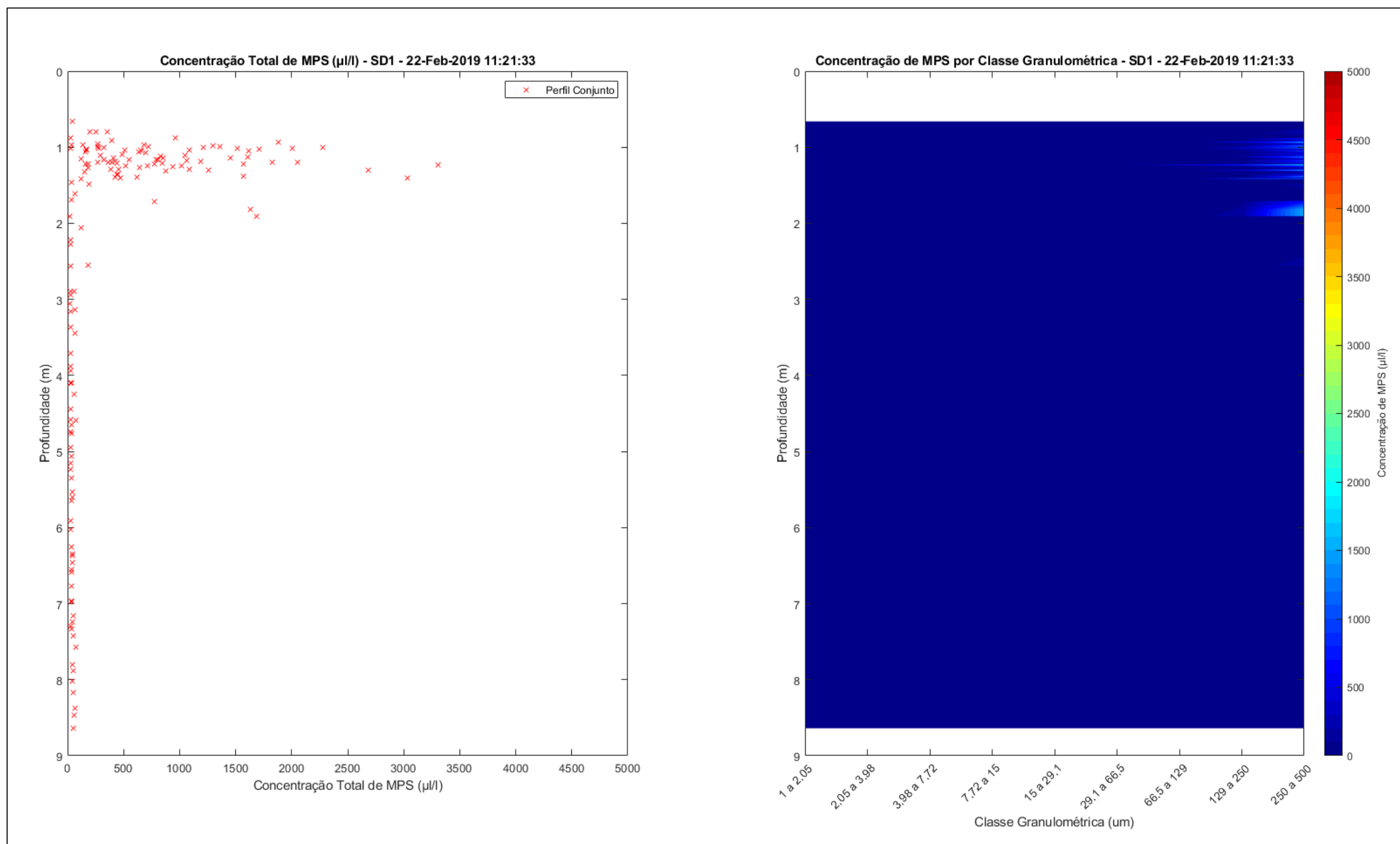


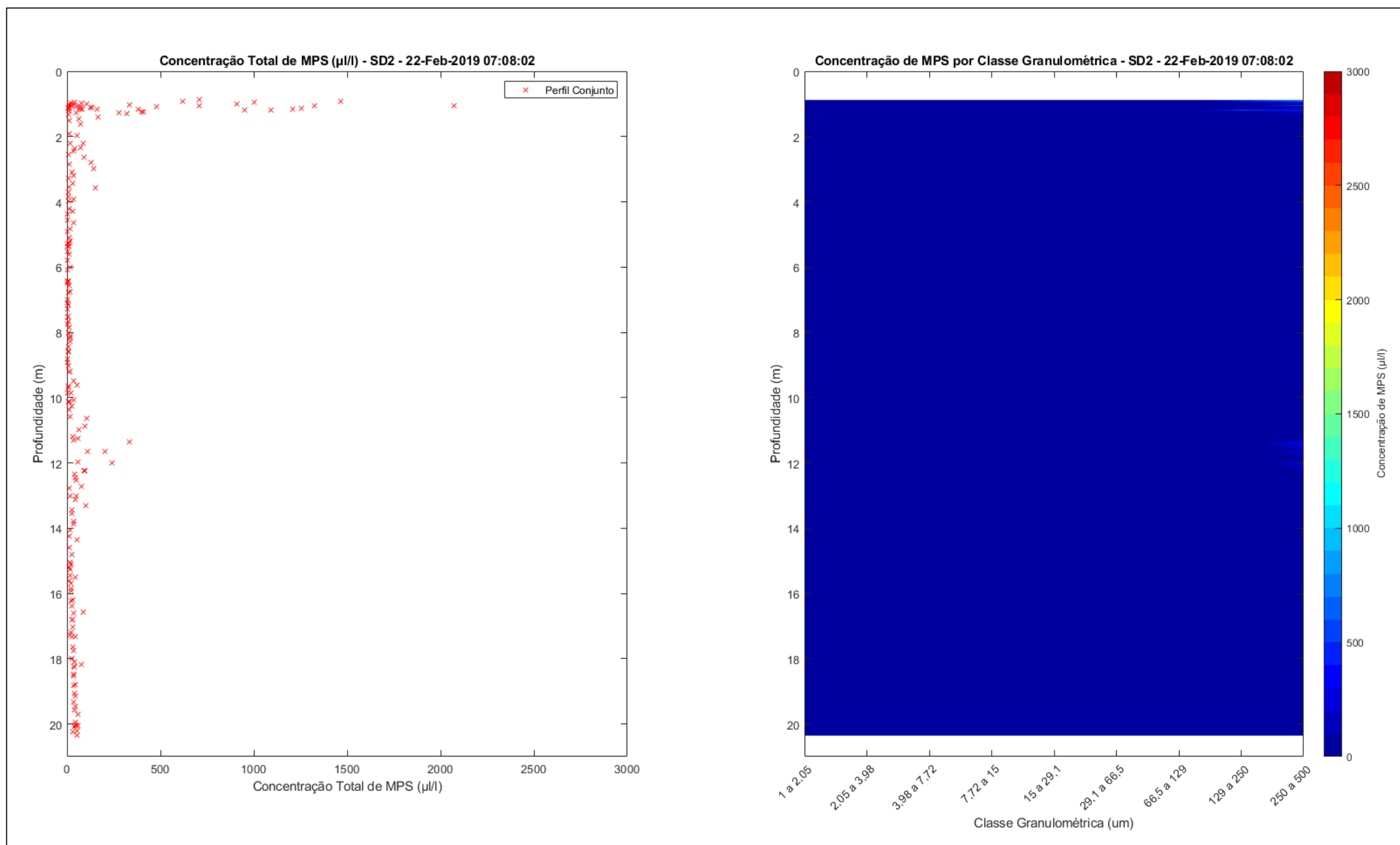
Apêndice 5: Perfisagens realizadas pelo LISST na Campanha 5.

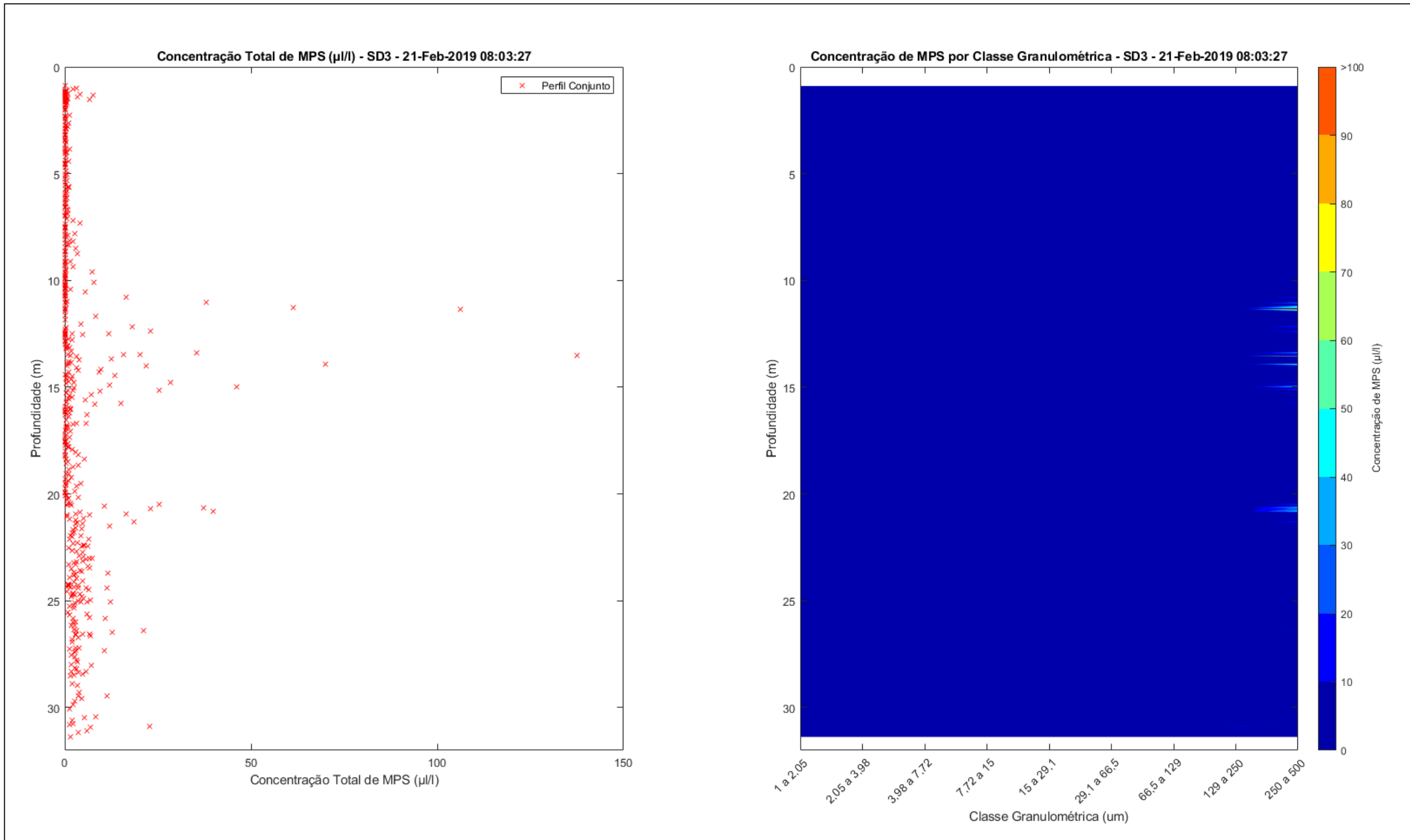


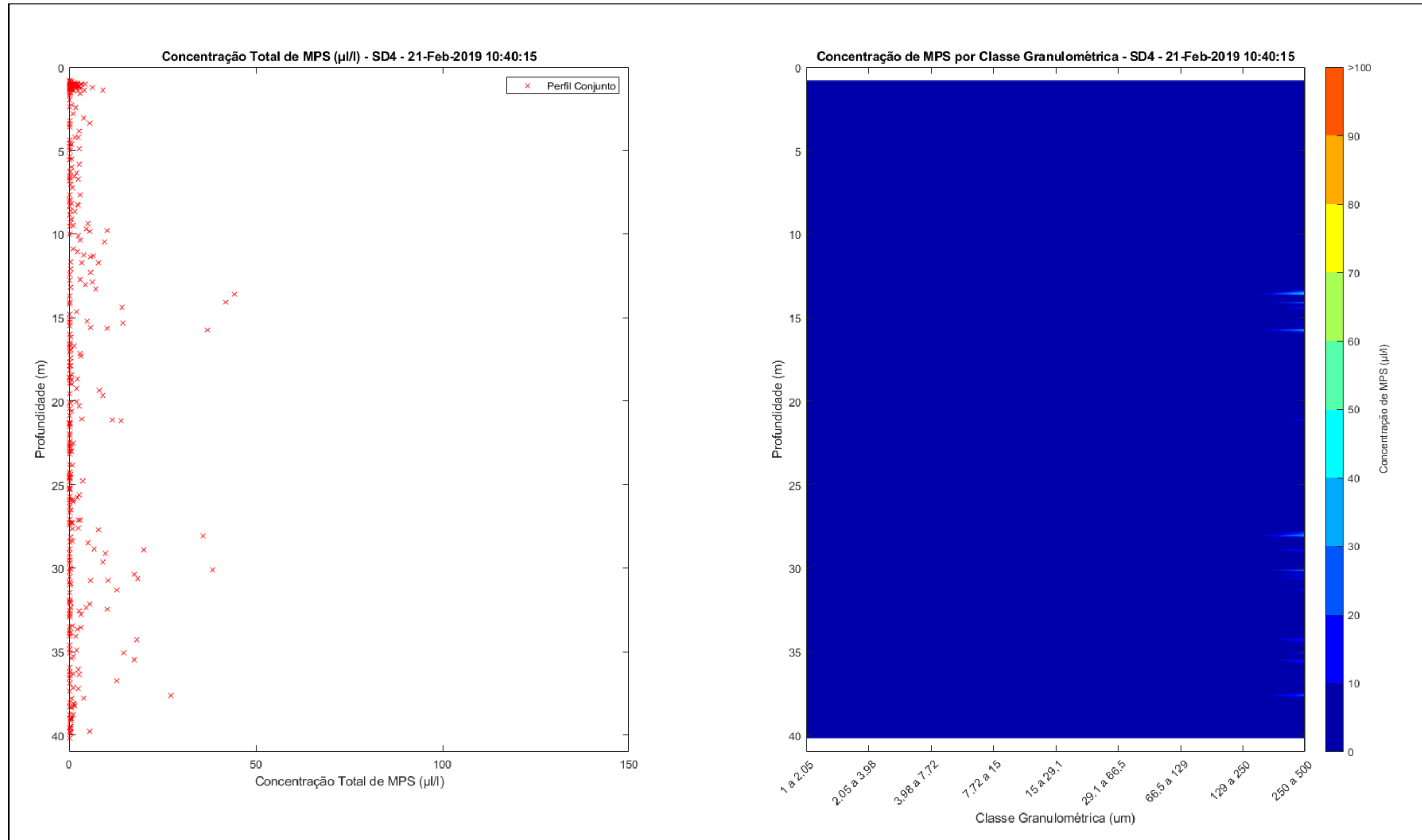


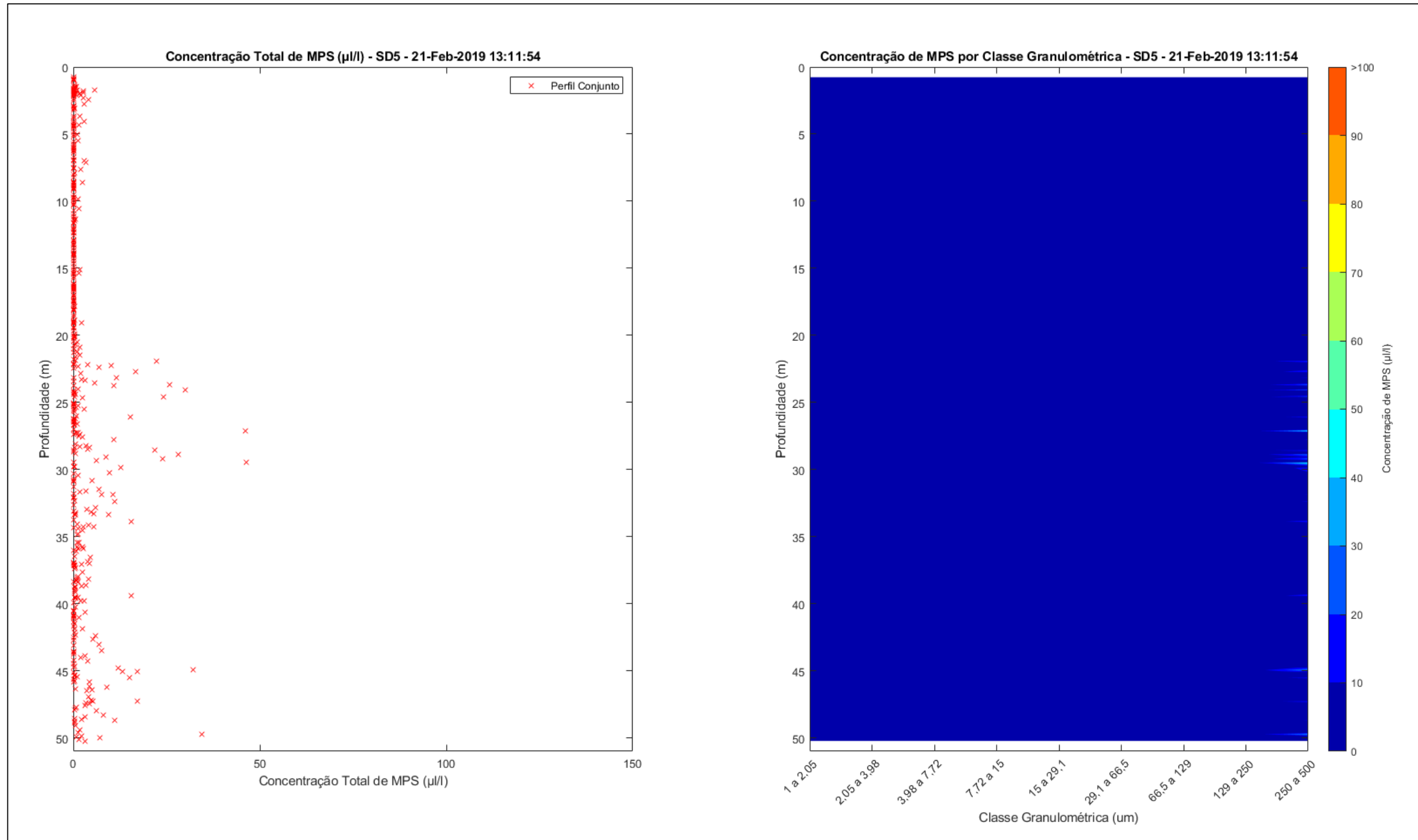


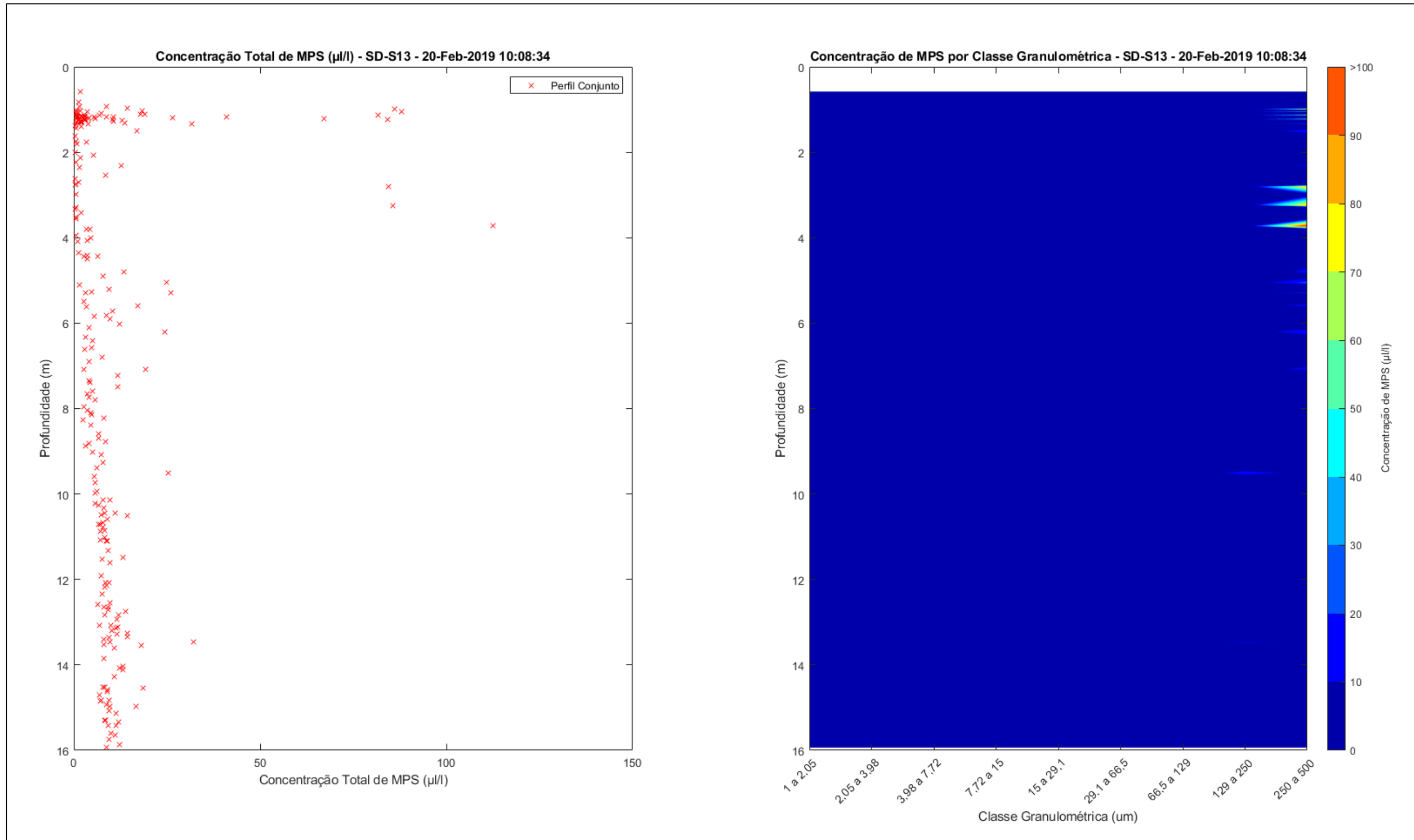


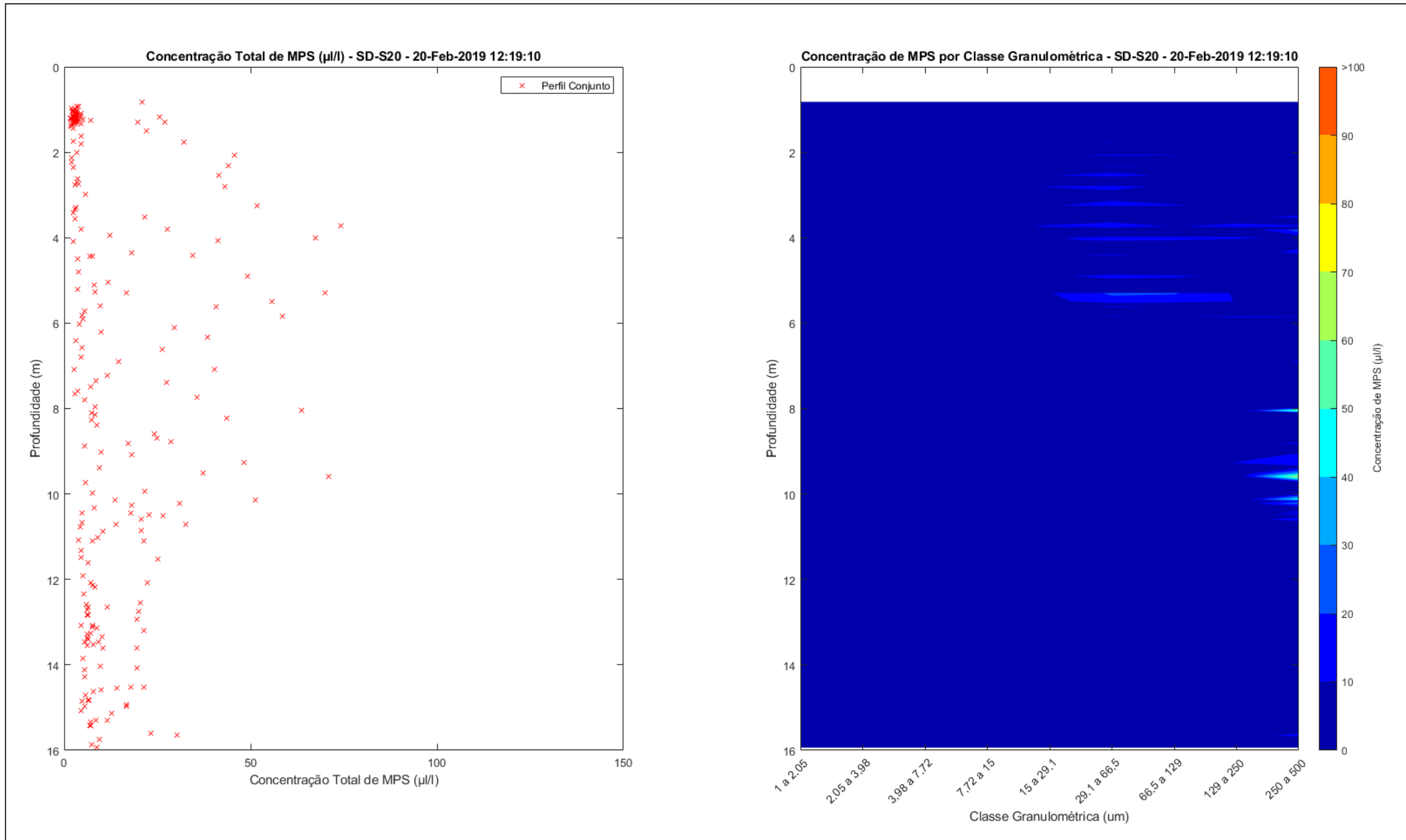


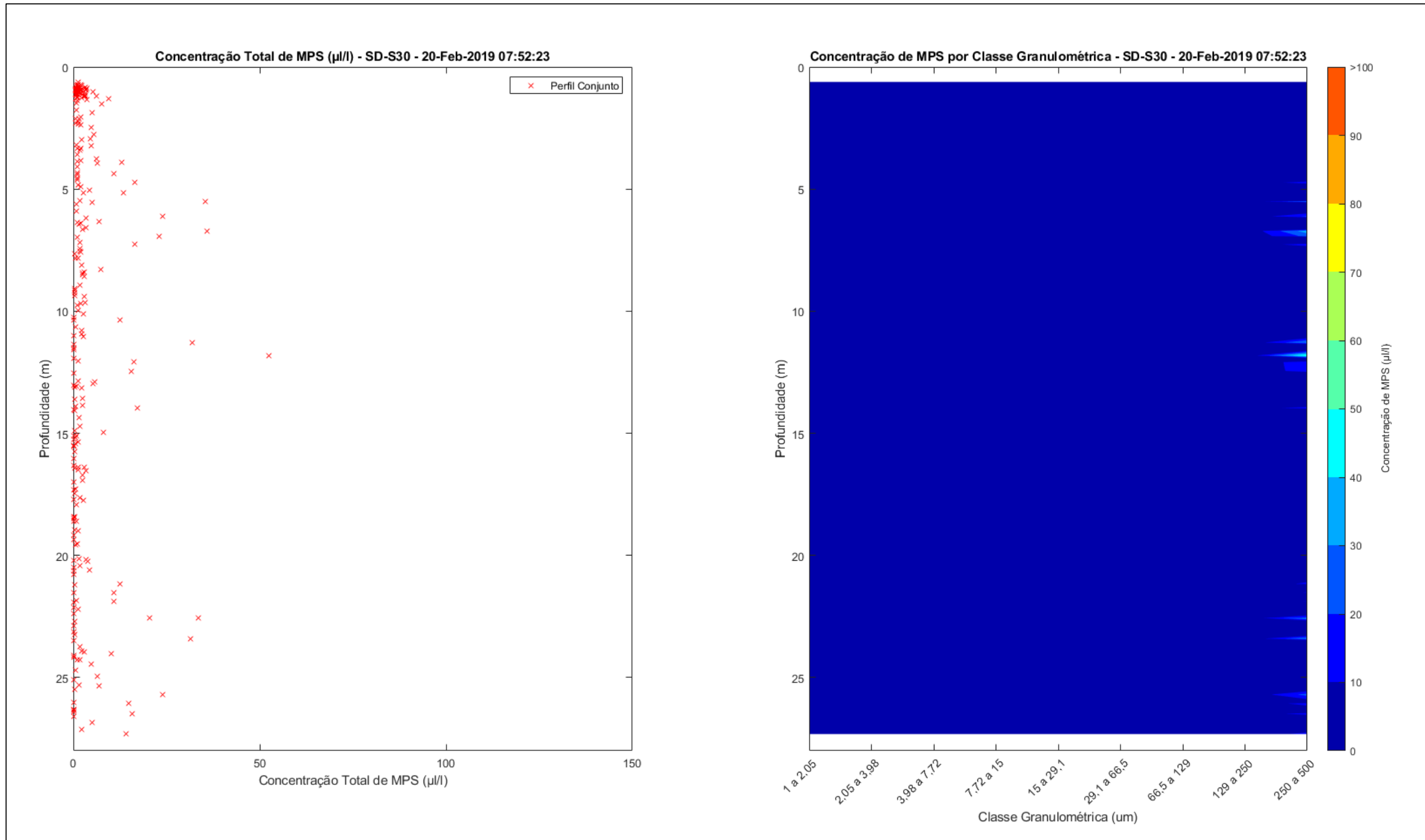




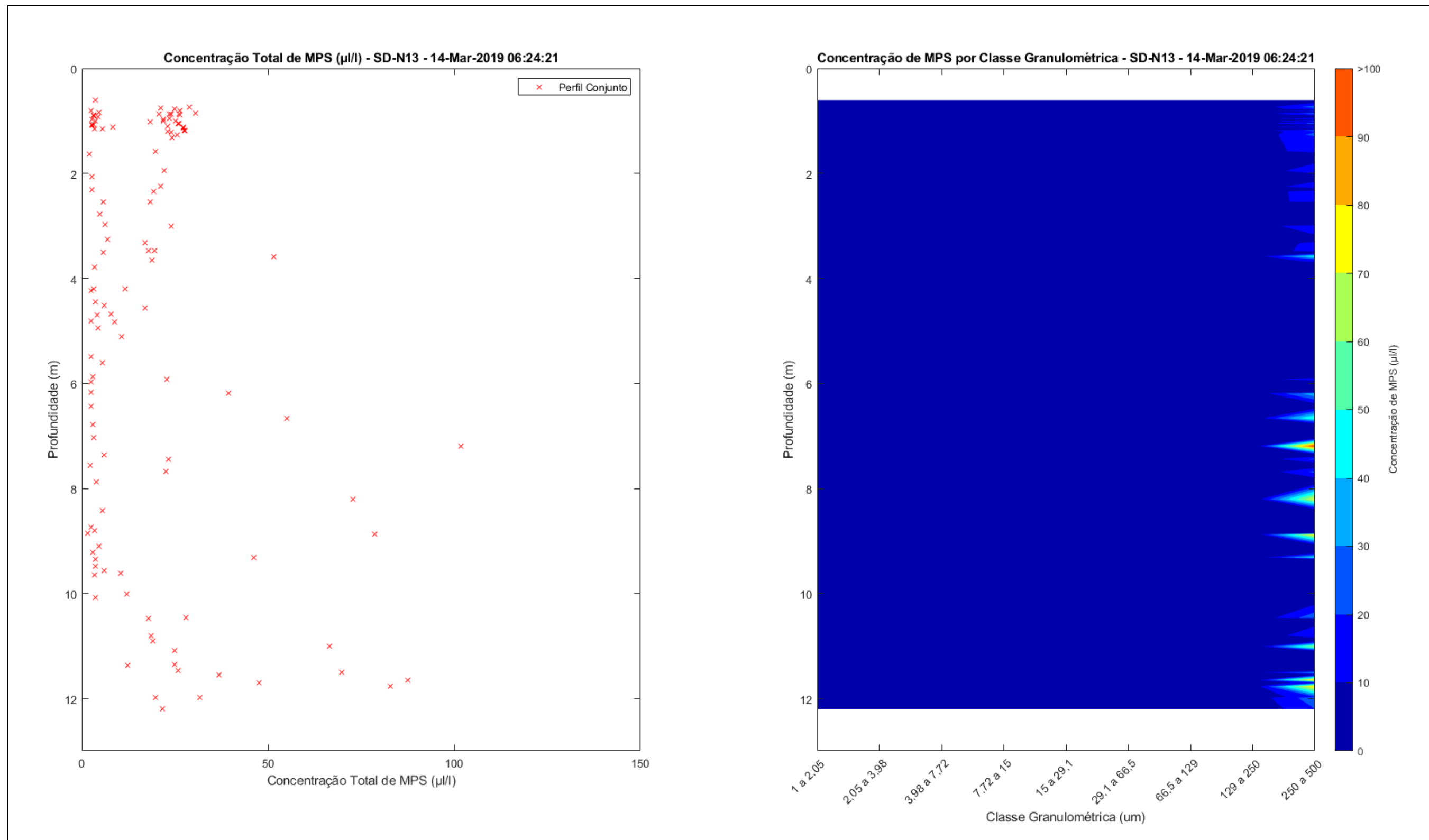


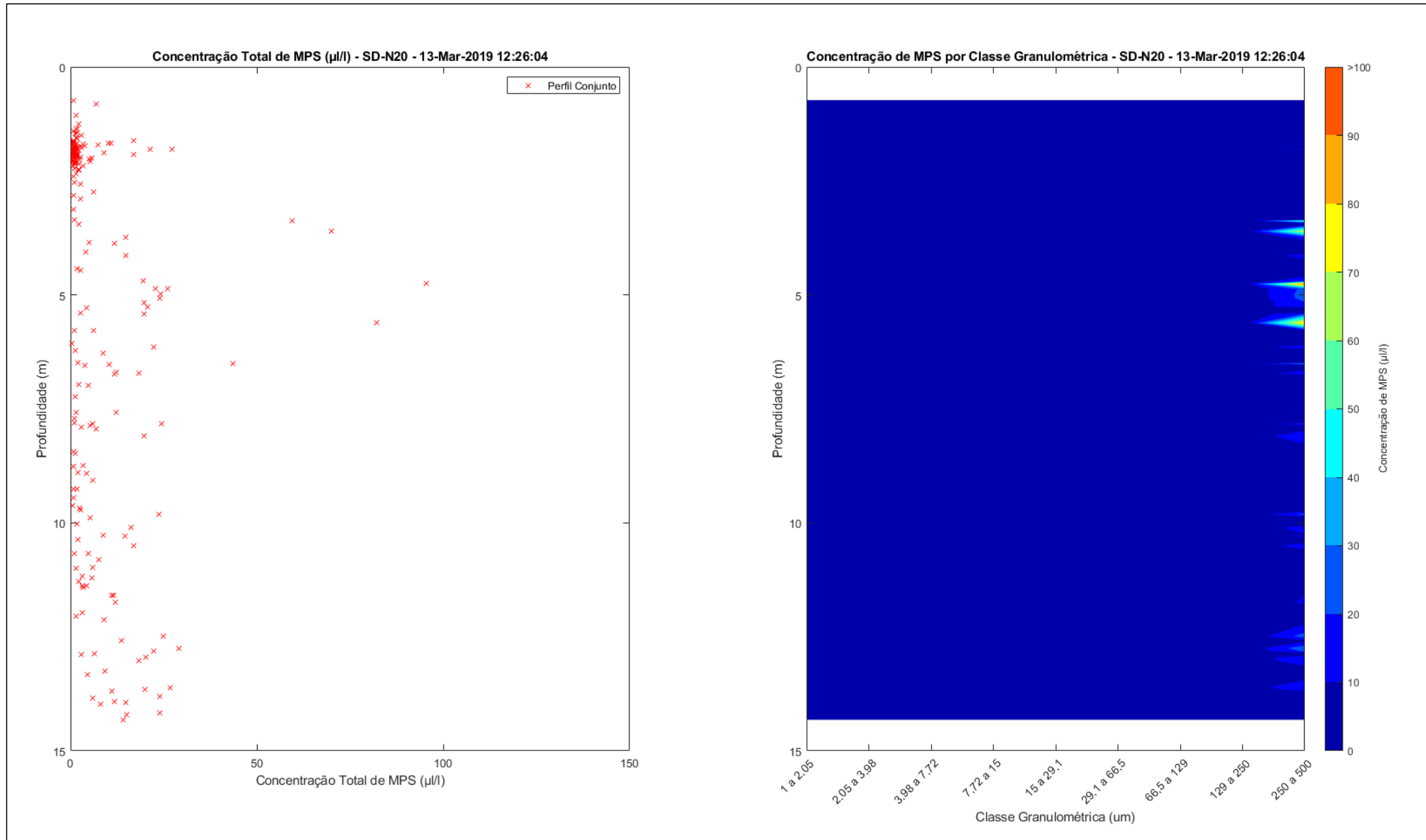


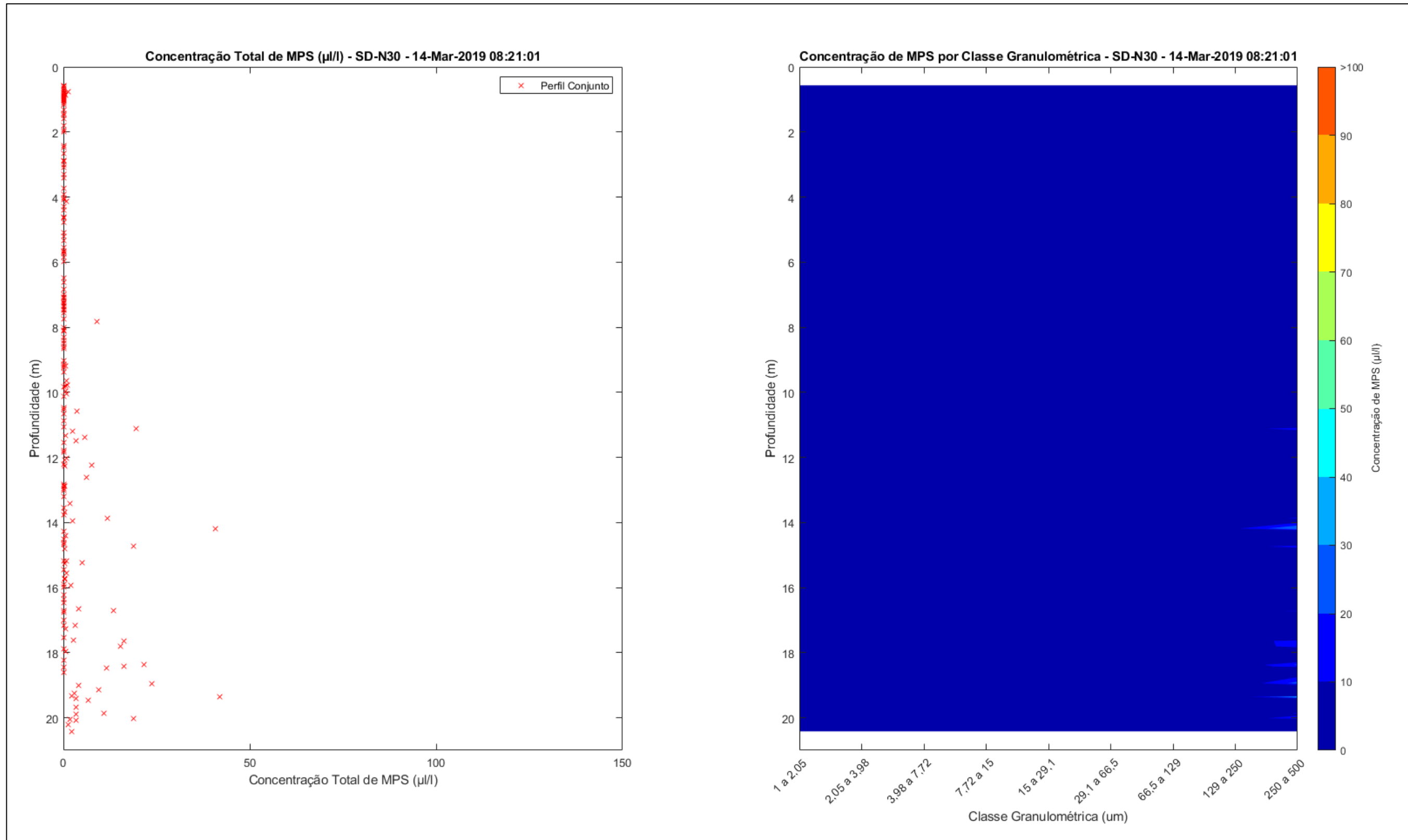


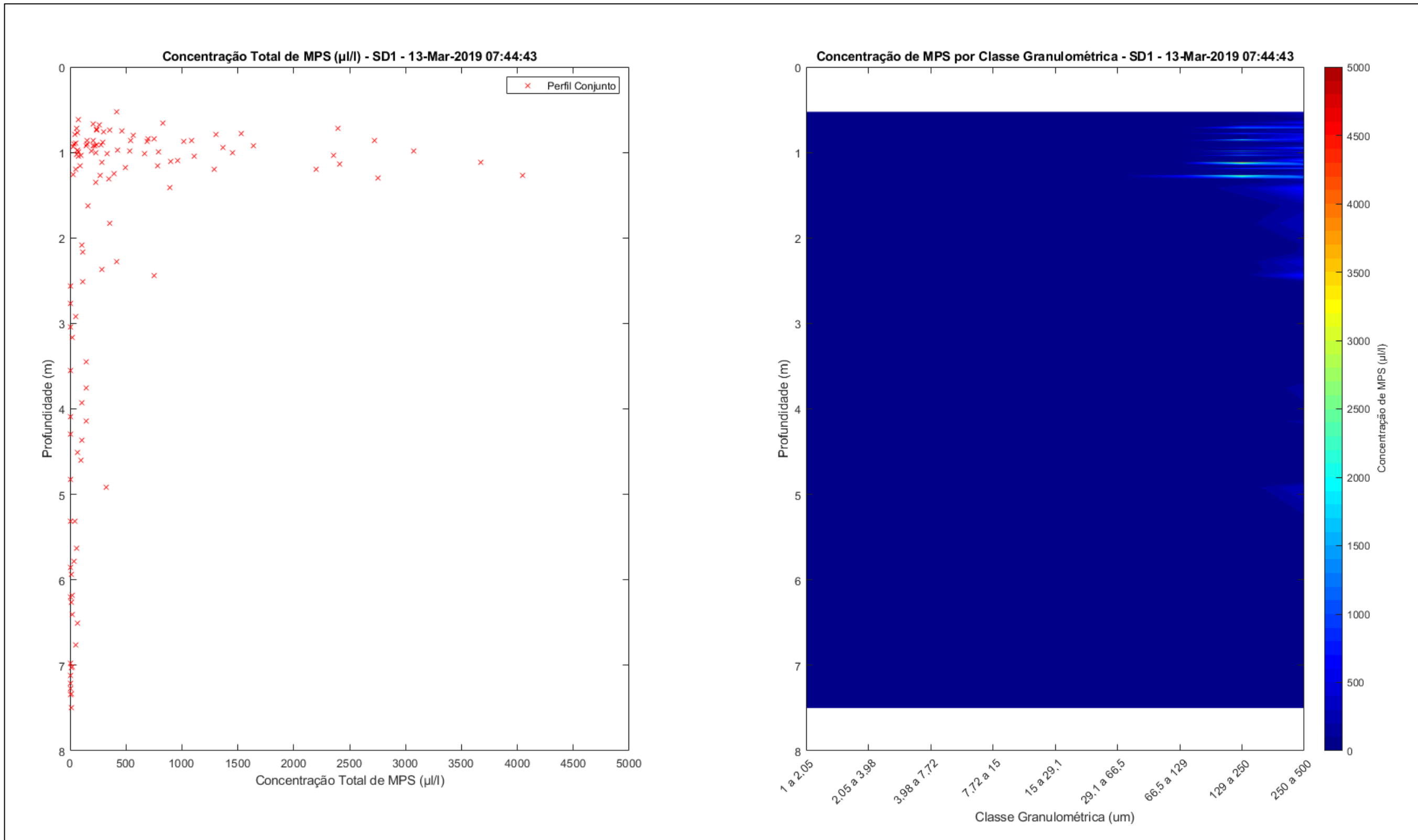


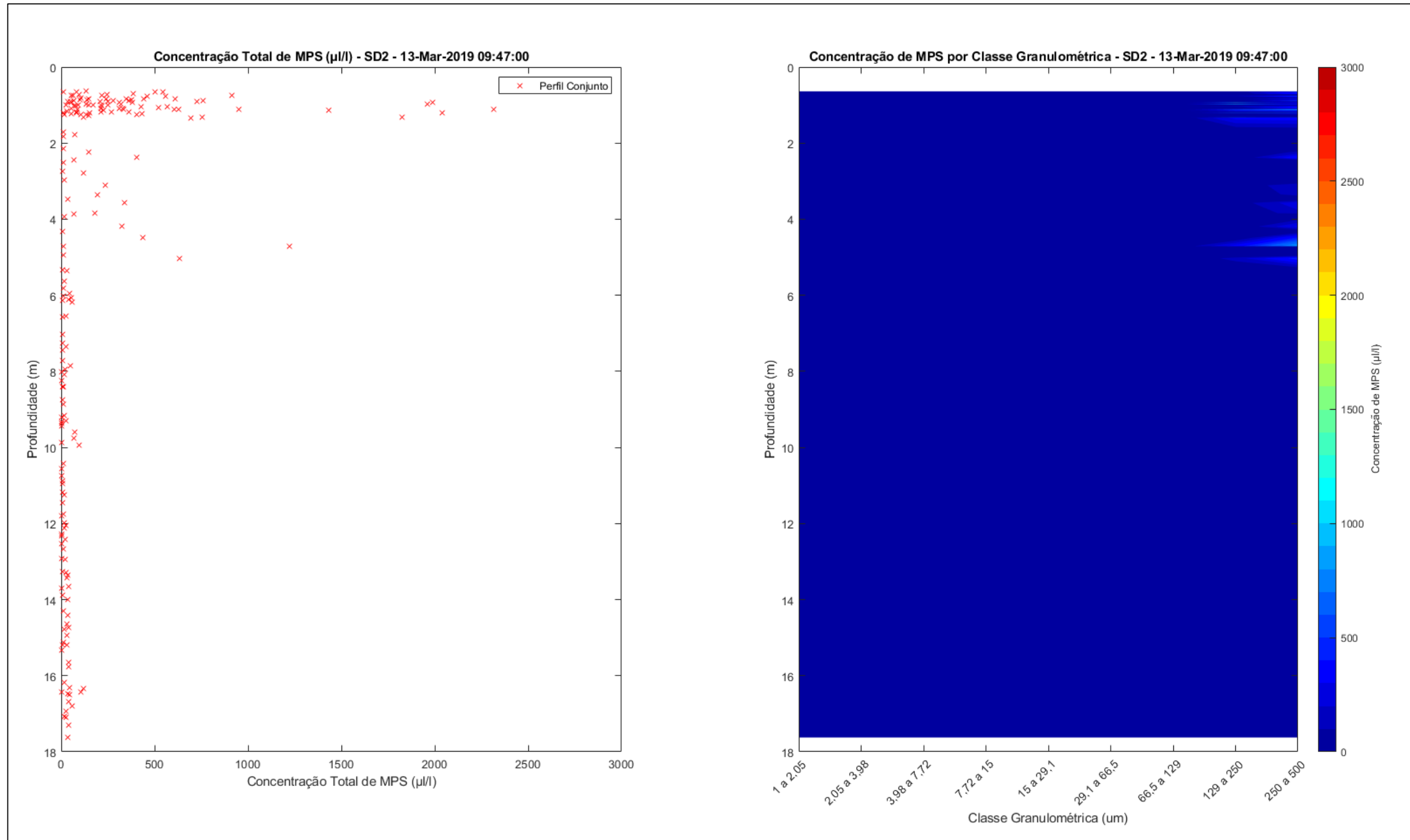
Apêndice 6: Perfilagens realizadas pelo LISST na Campanha 6.

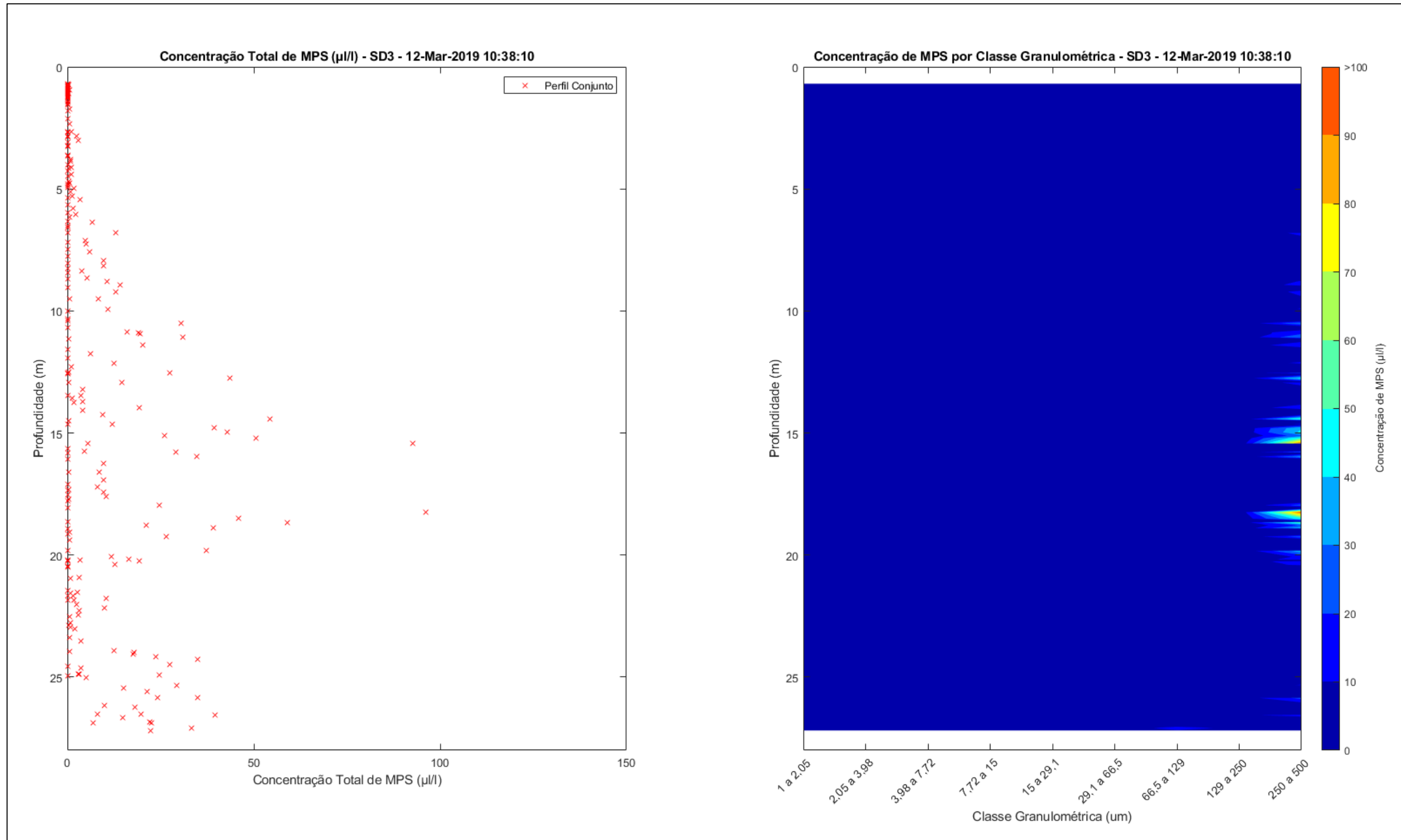


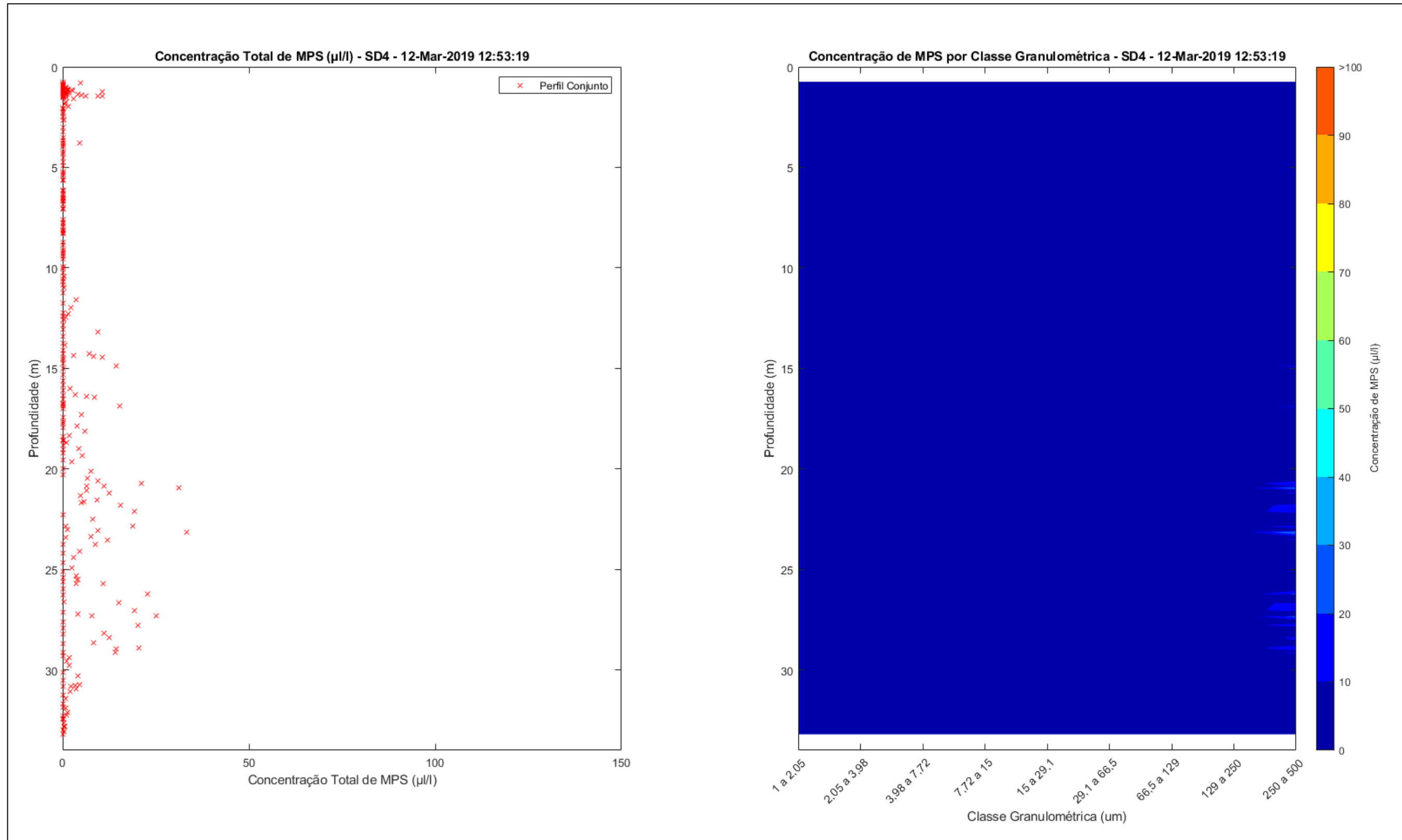




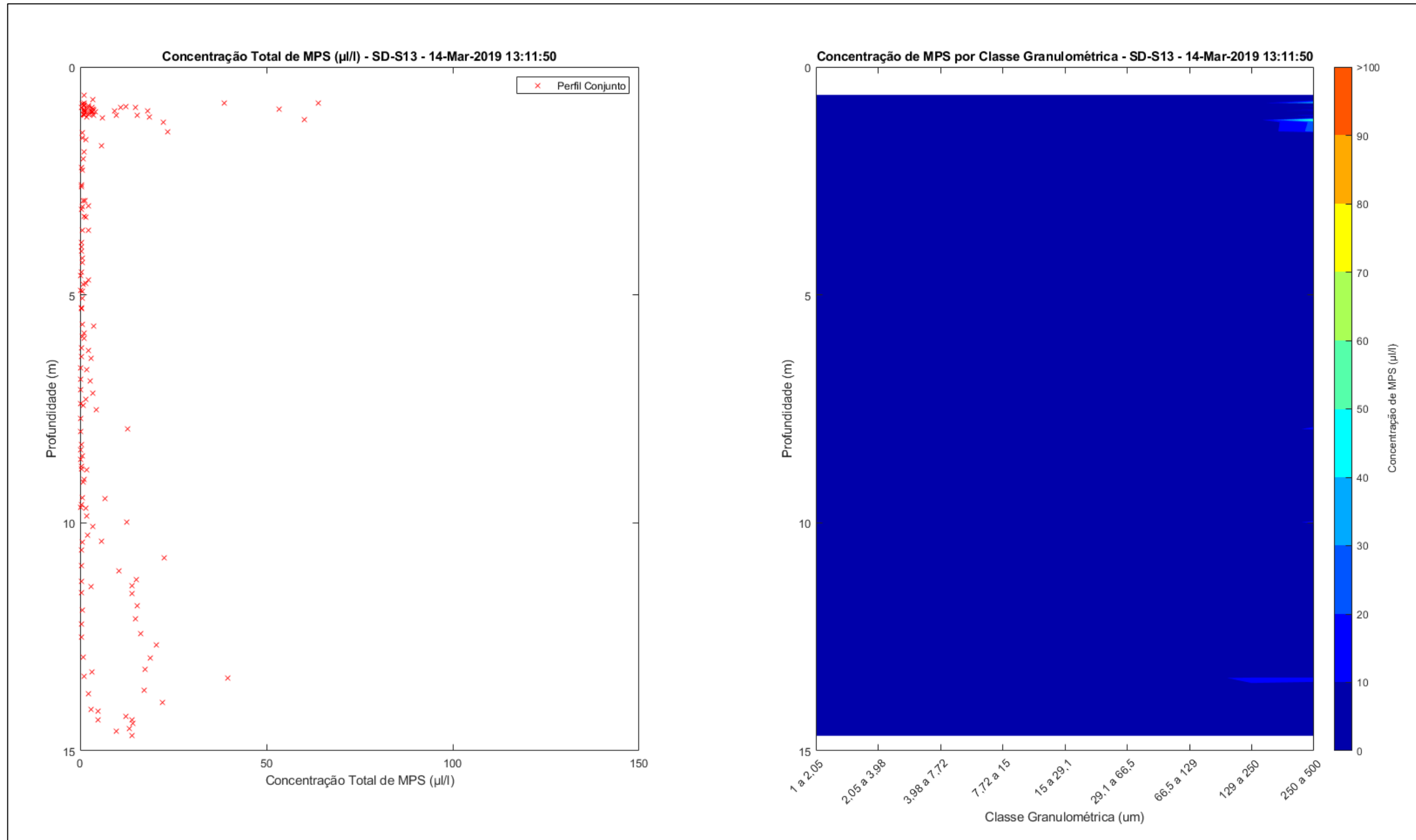


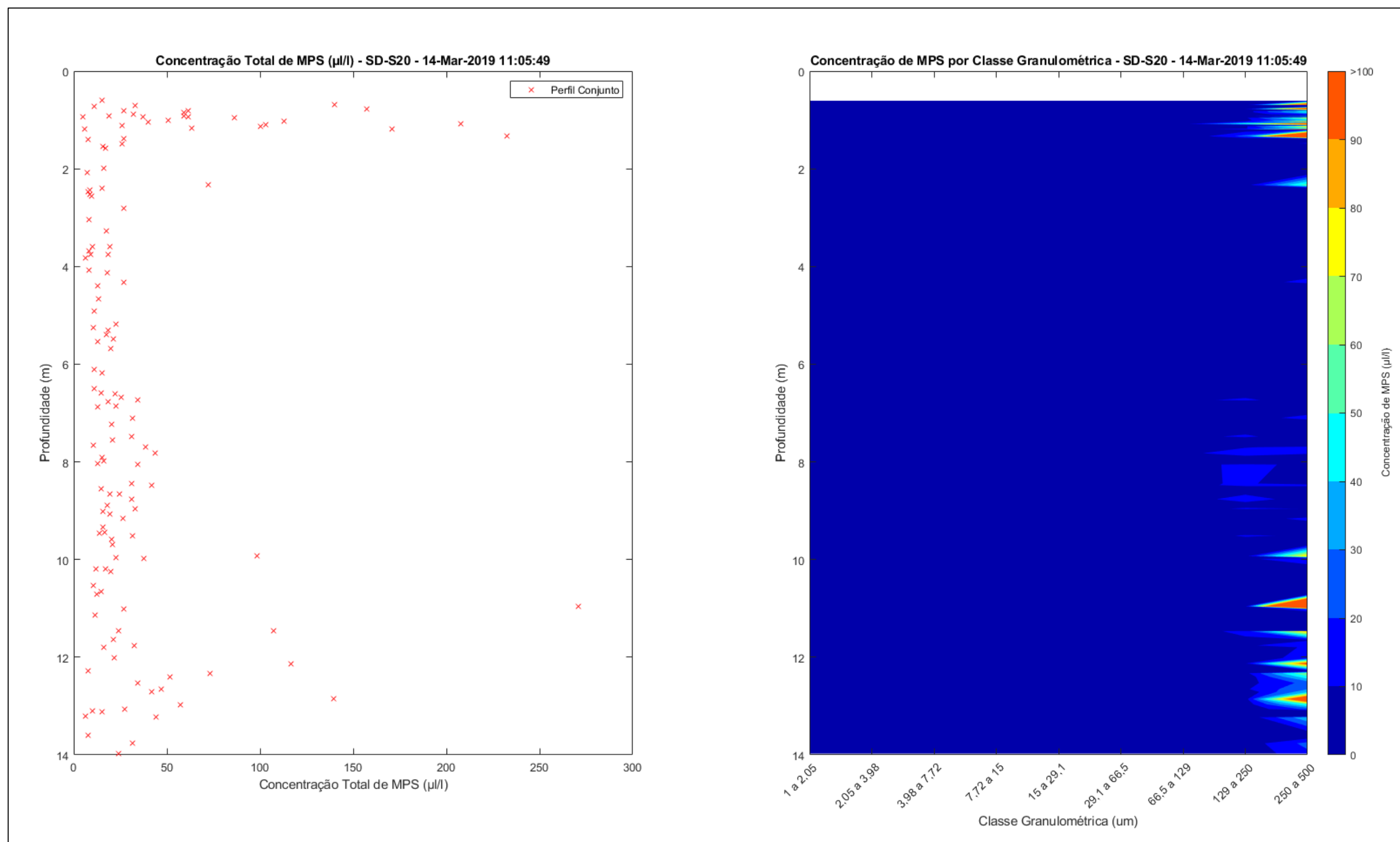


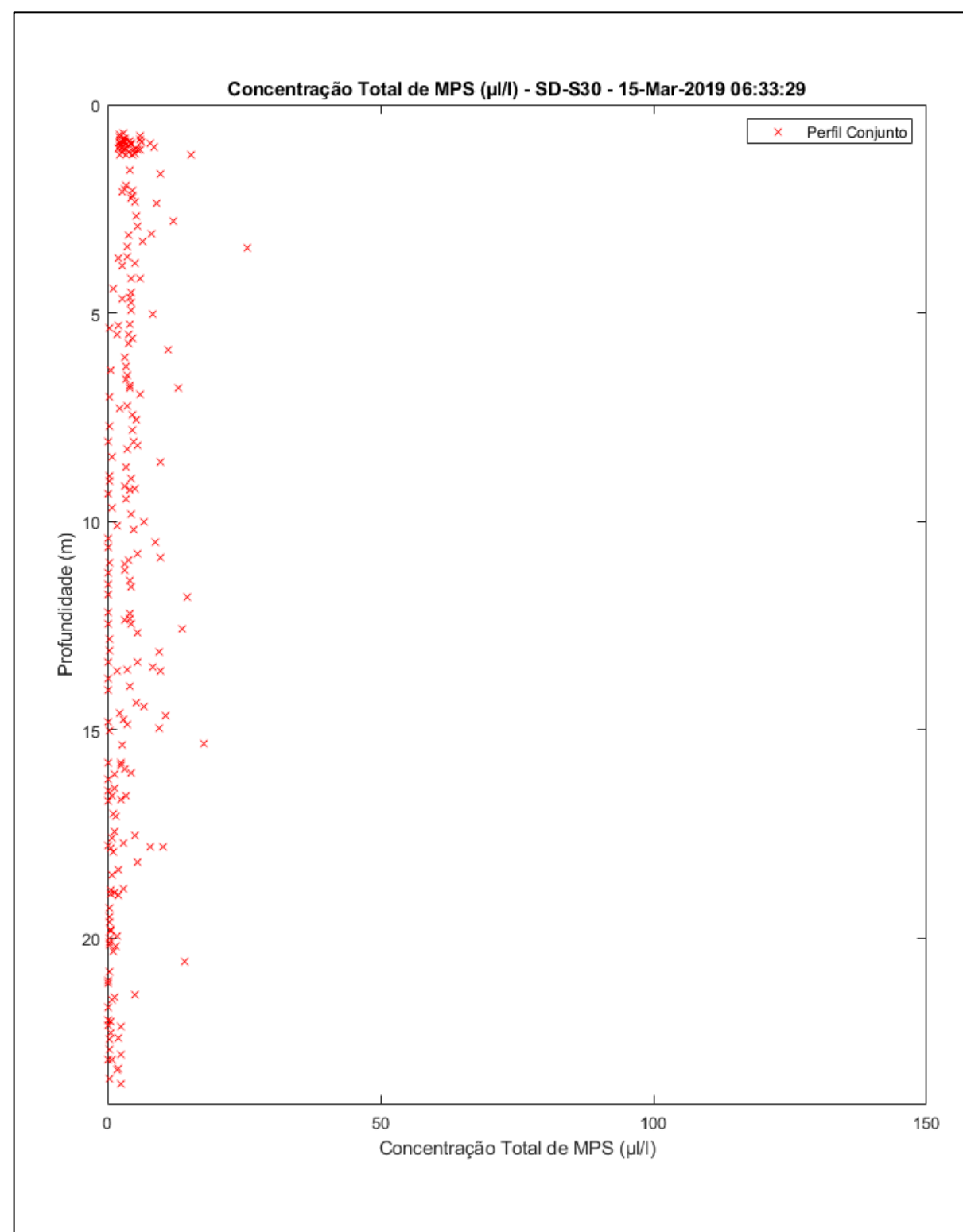




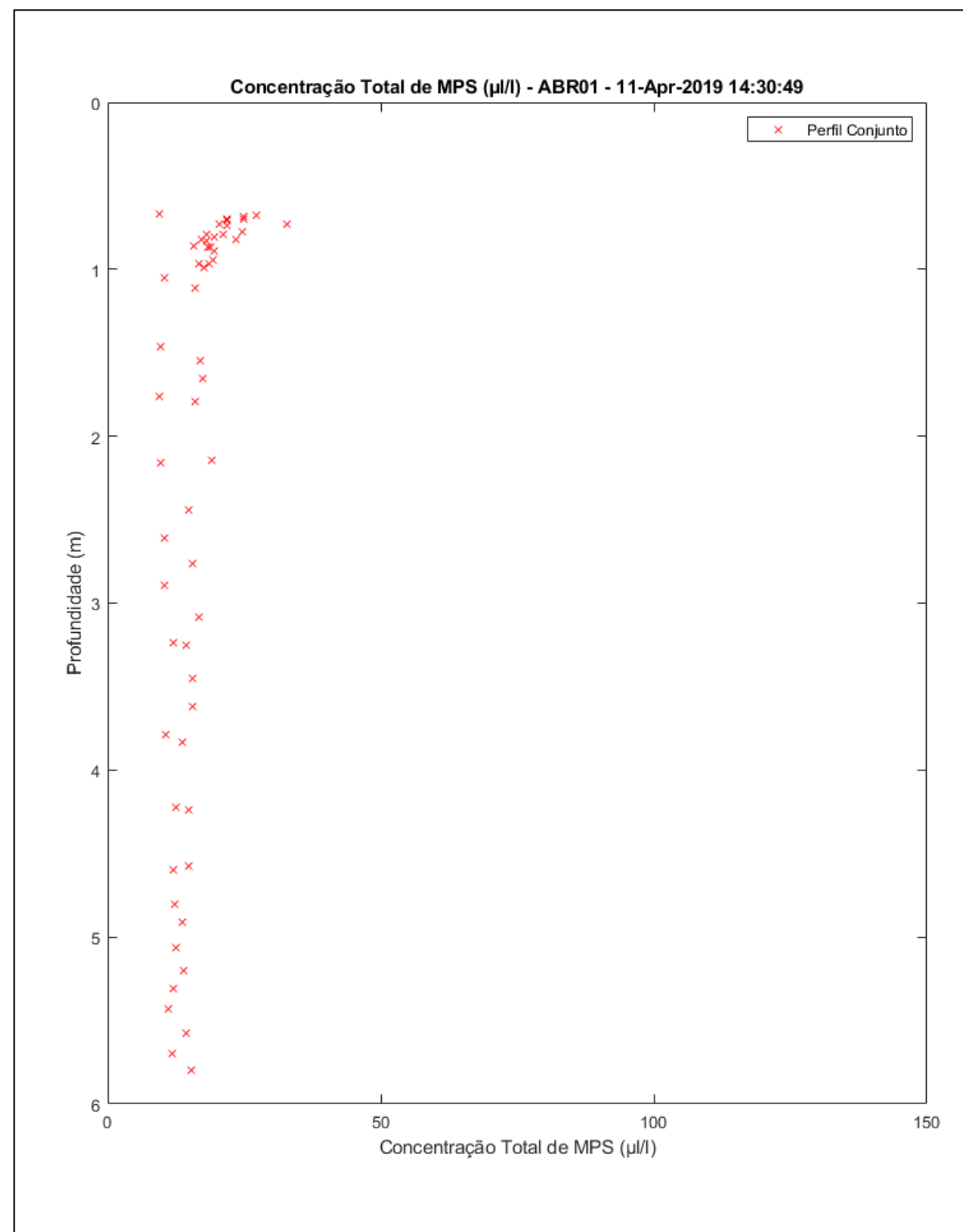


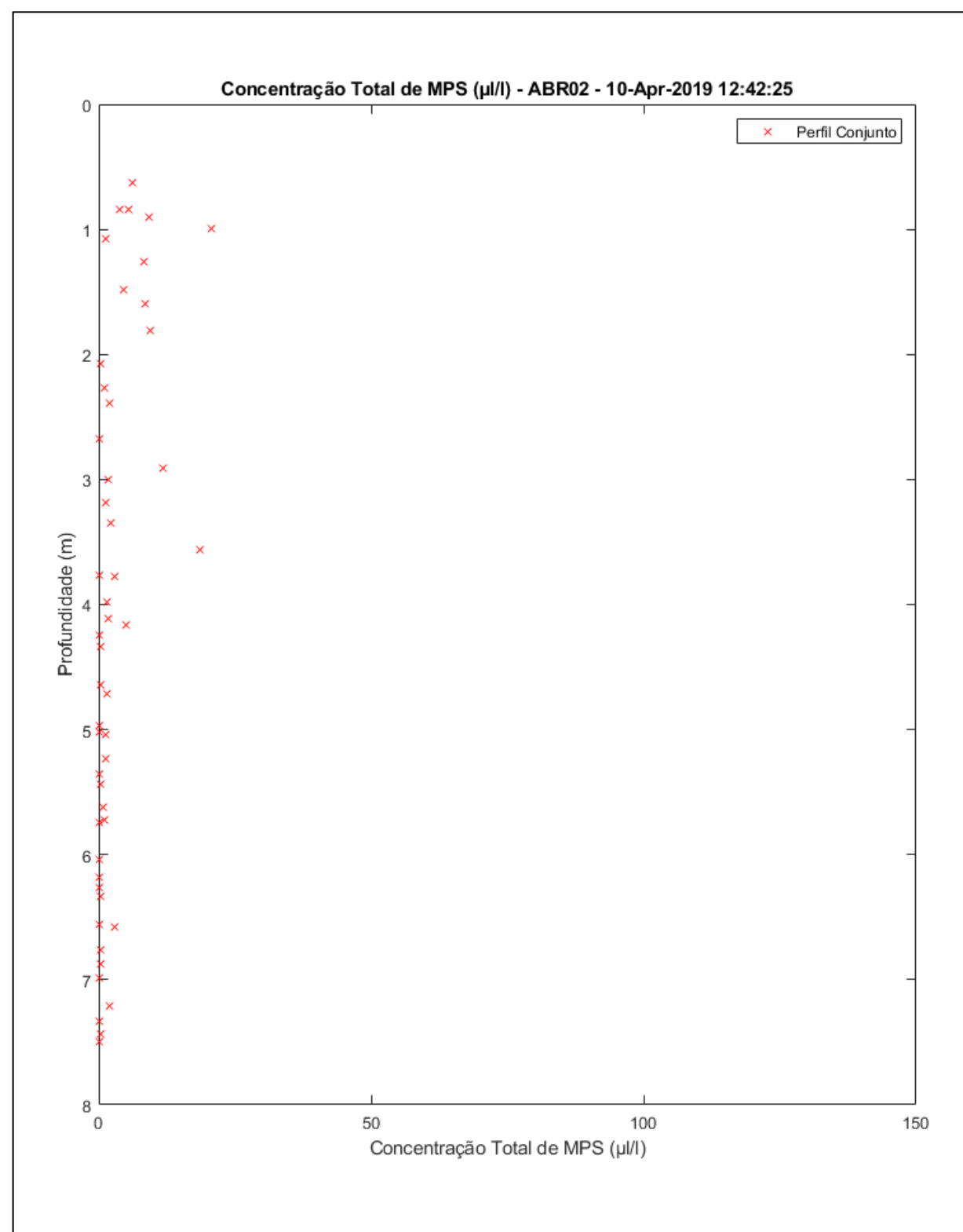


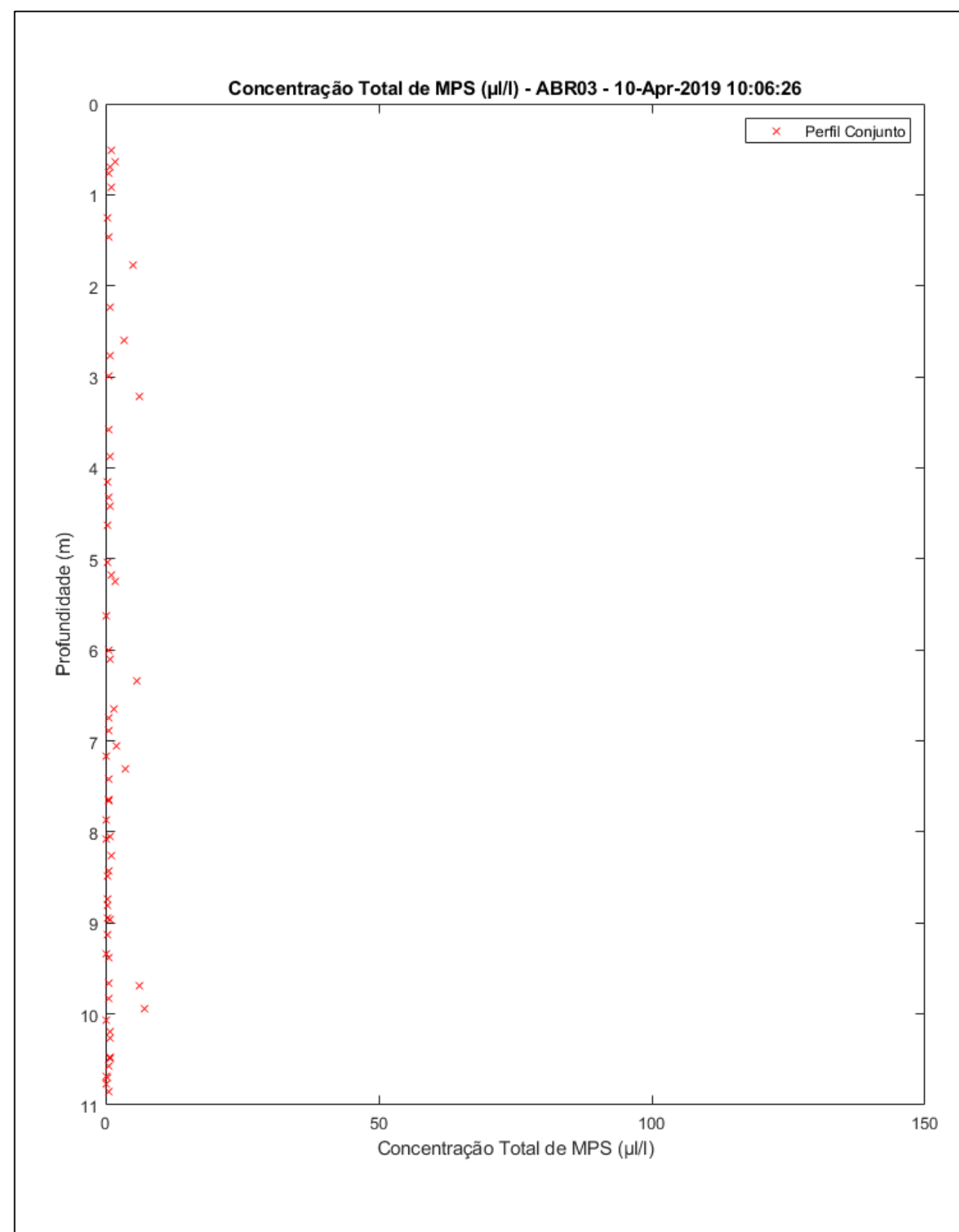


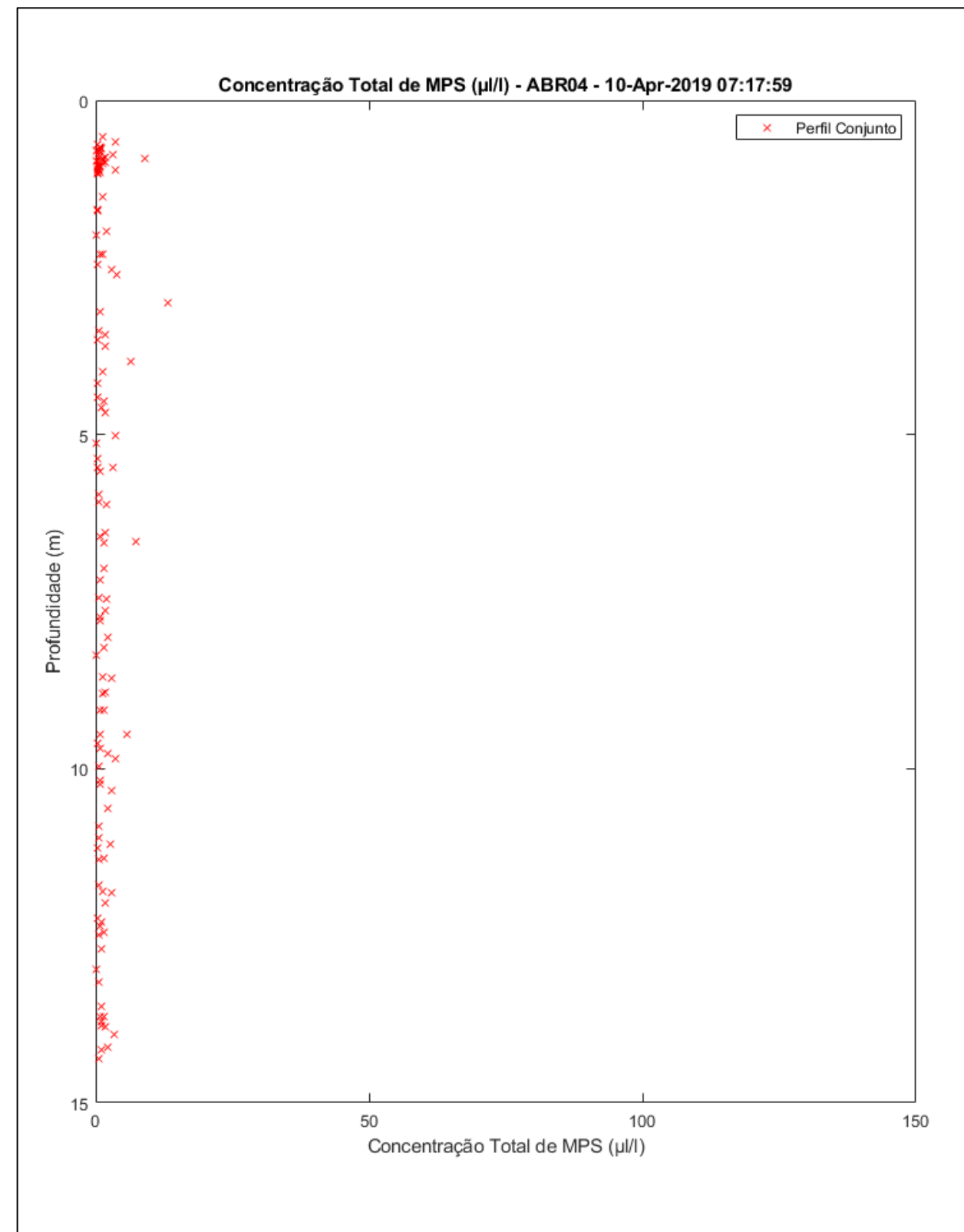


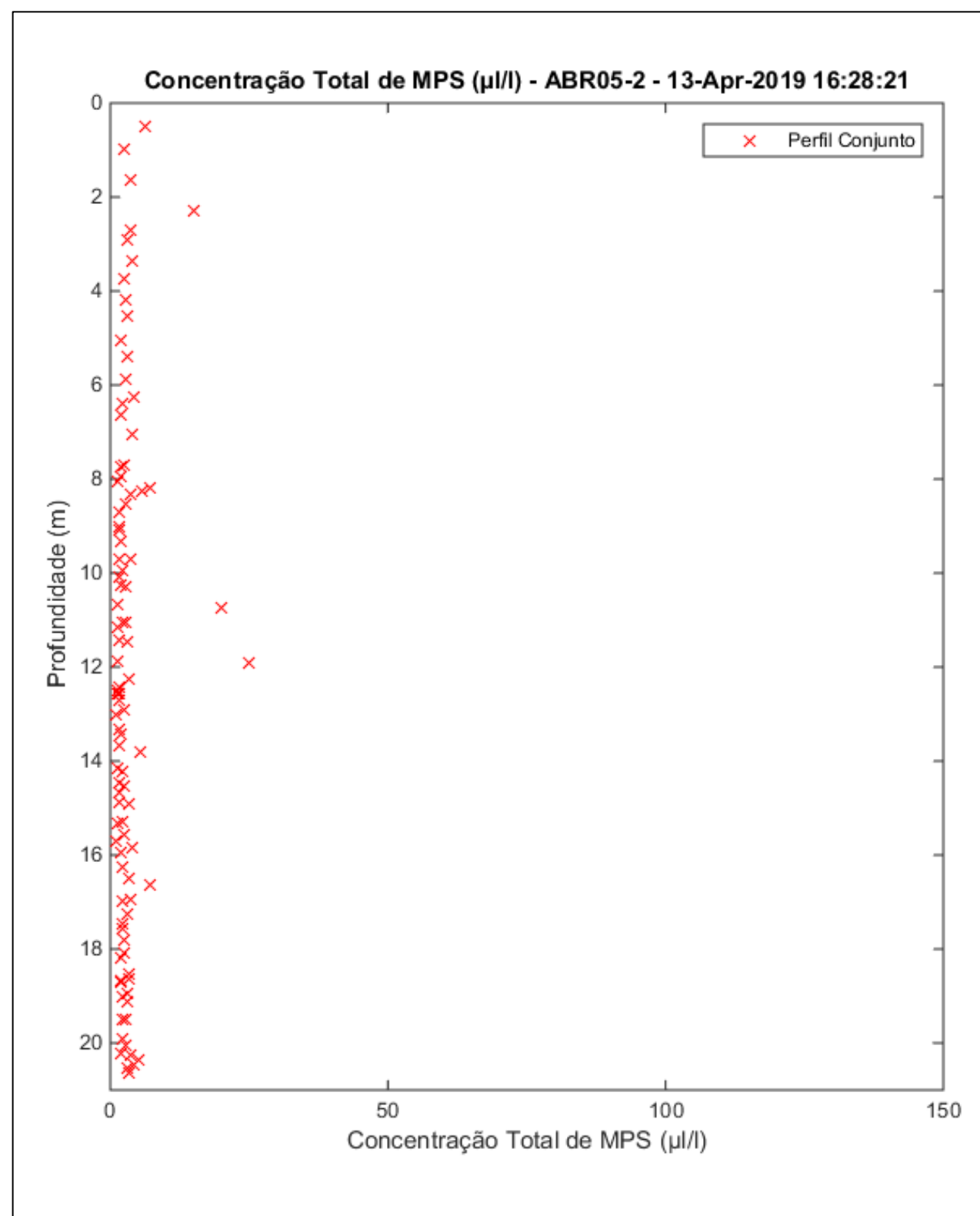
Apêndice 7: Perfisagens realizadas pelo LISST na Campanha 7.

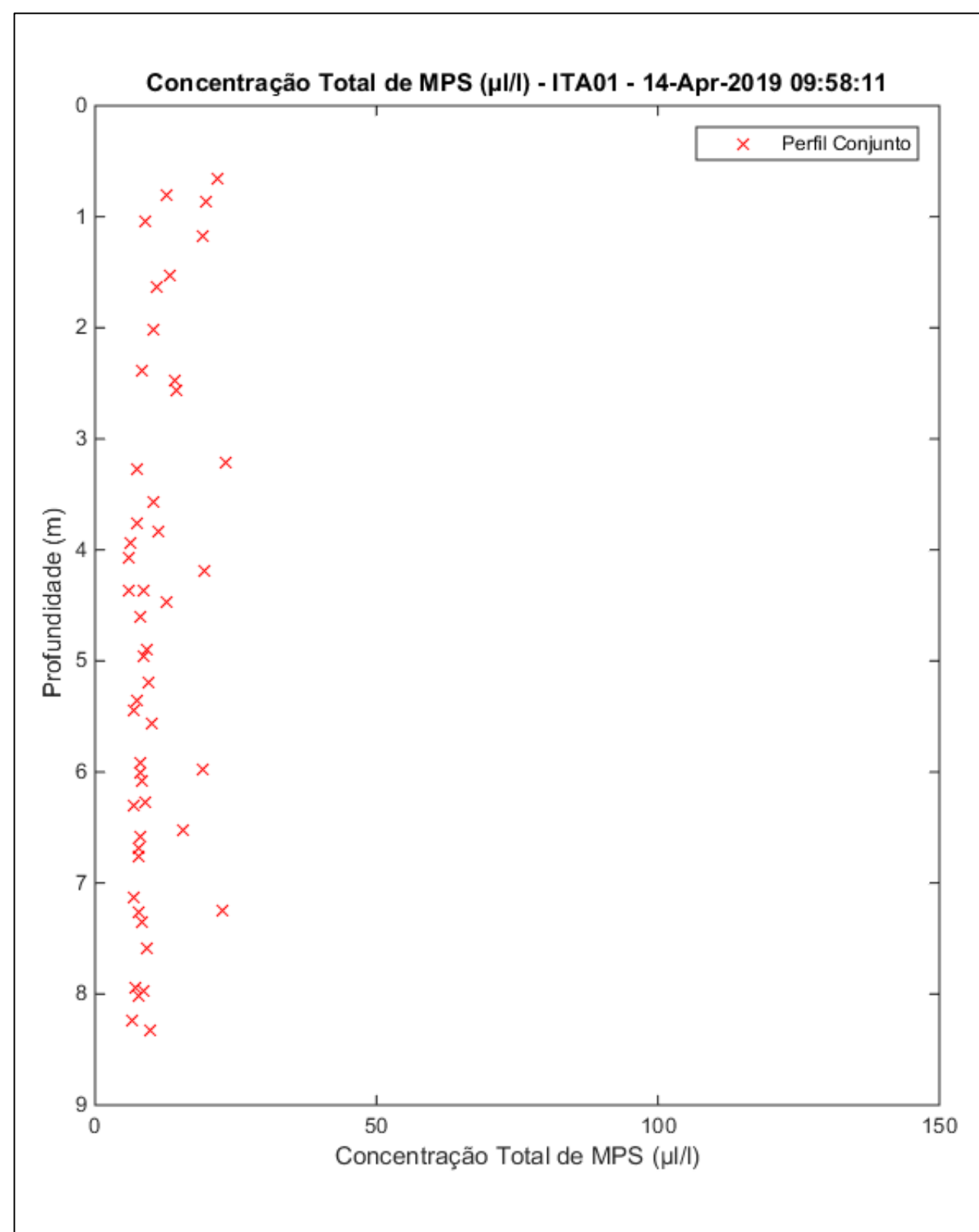


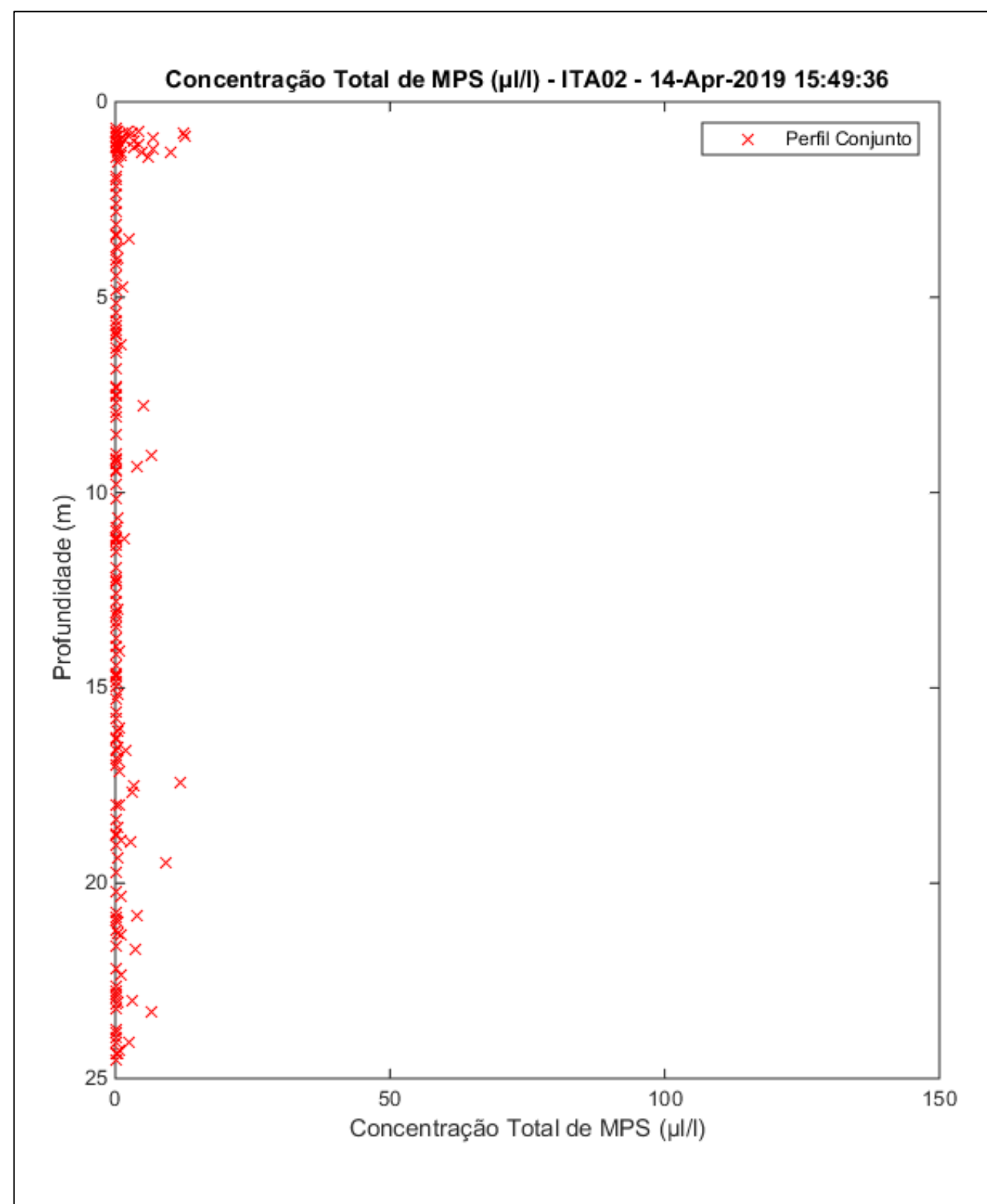


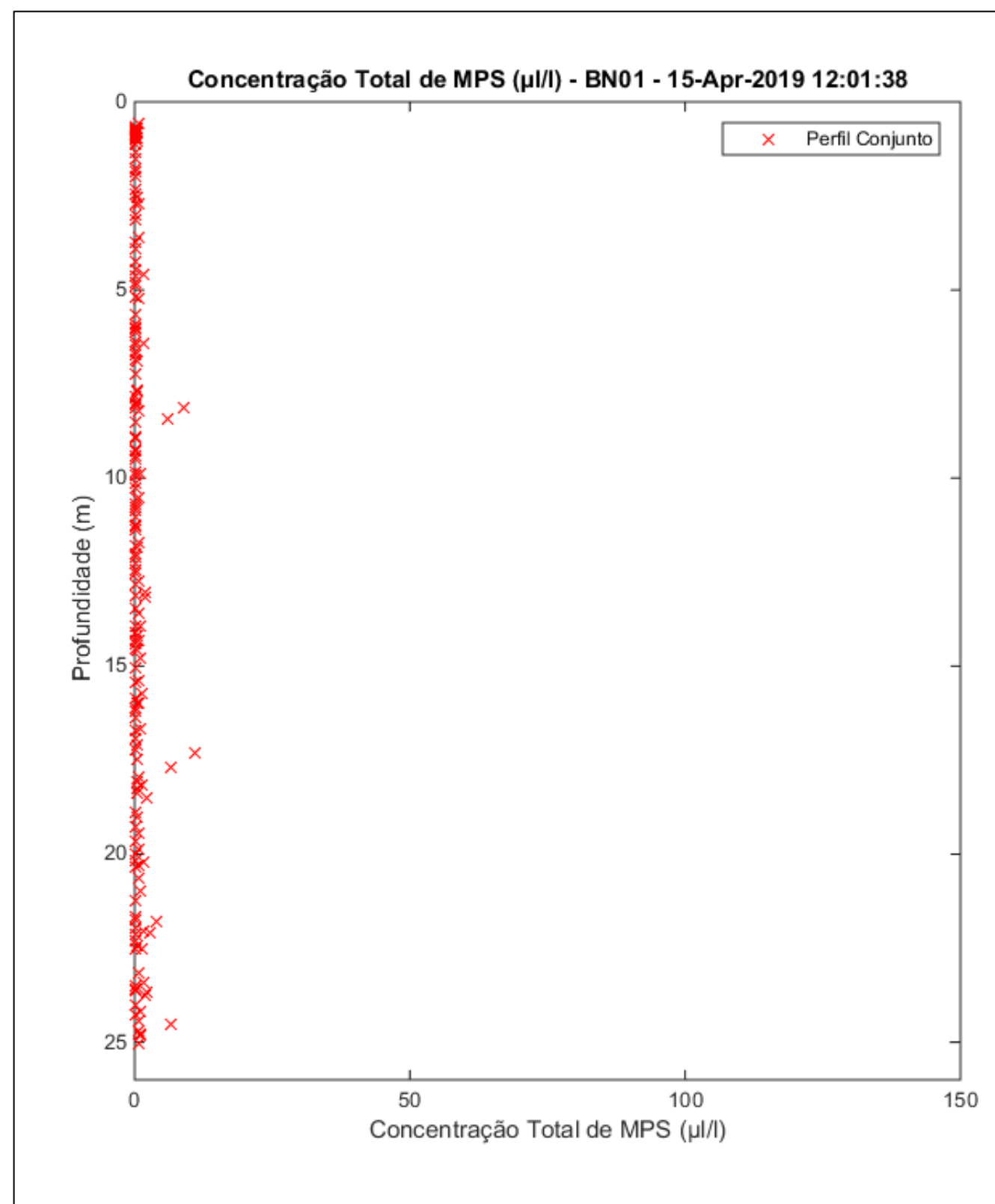


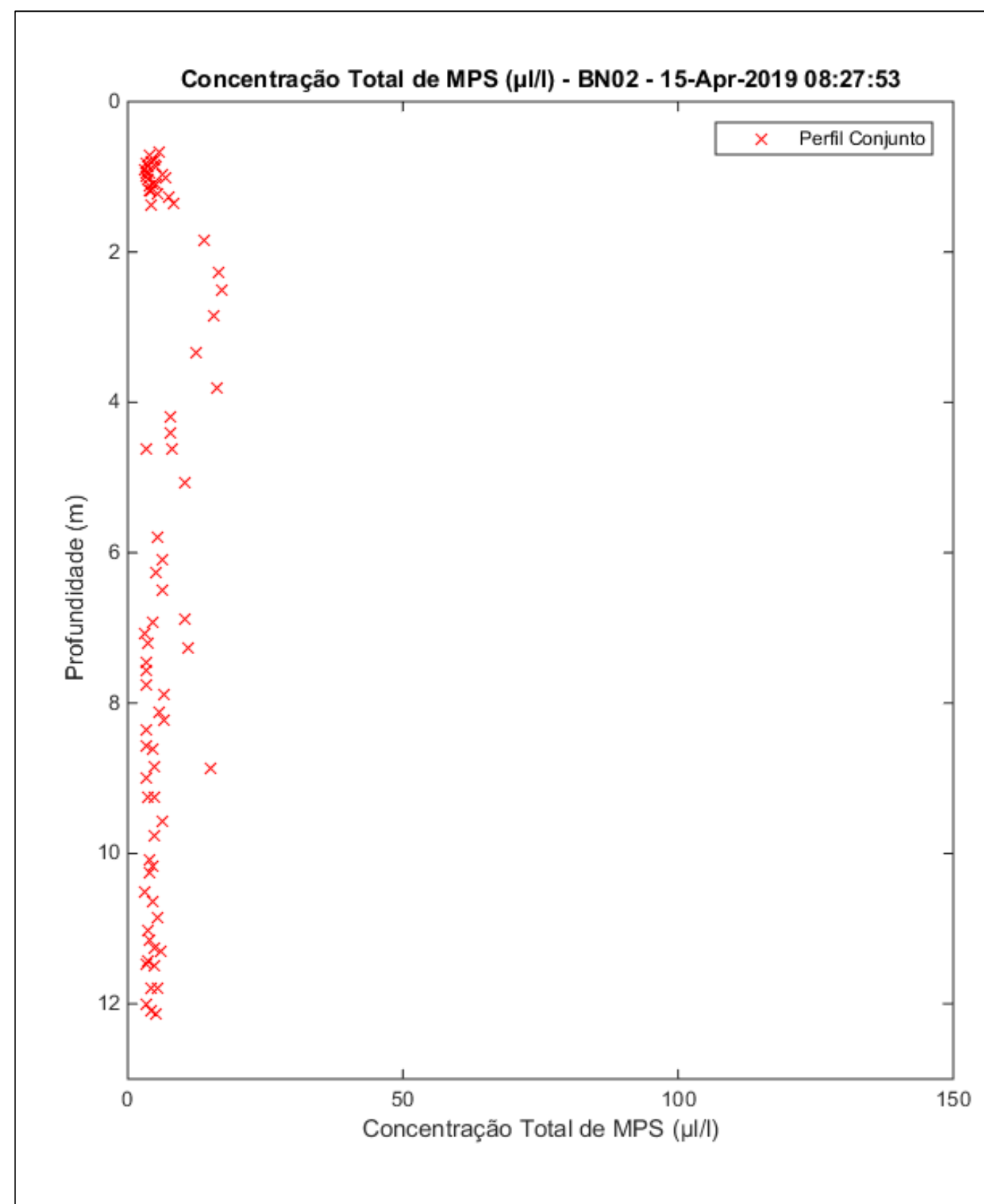


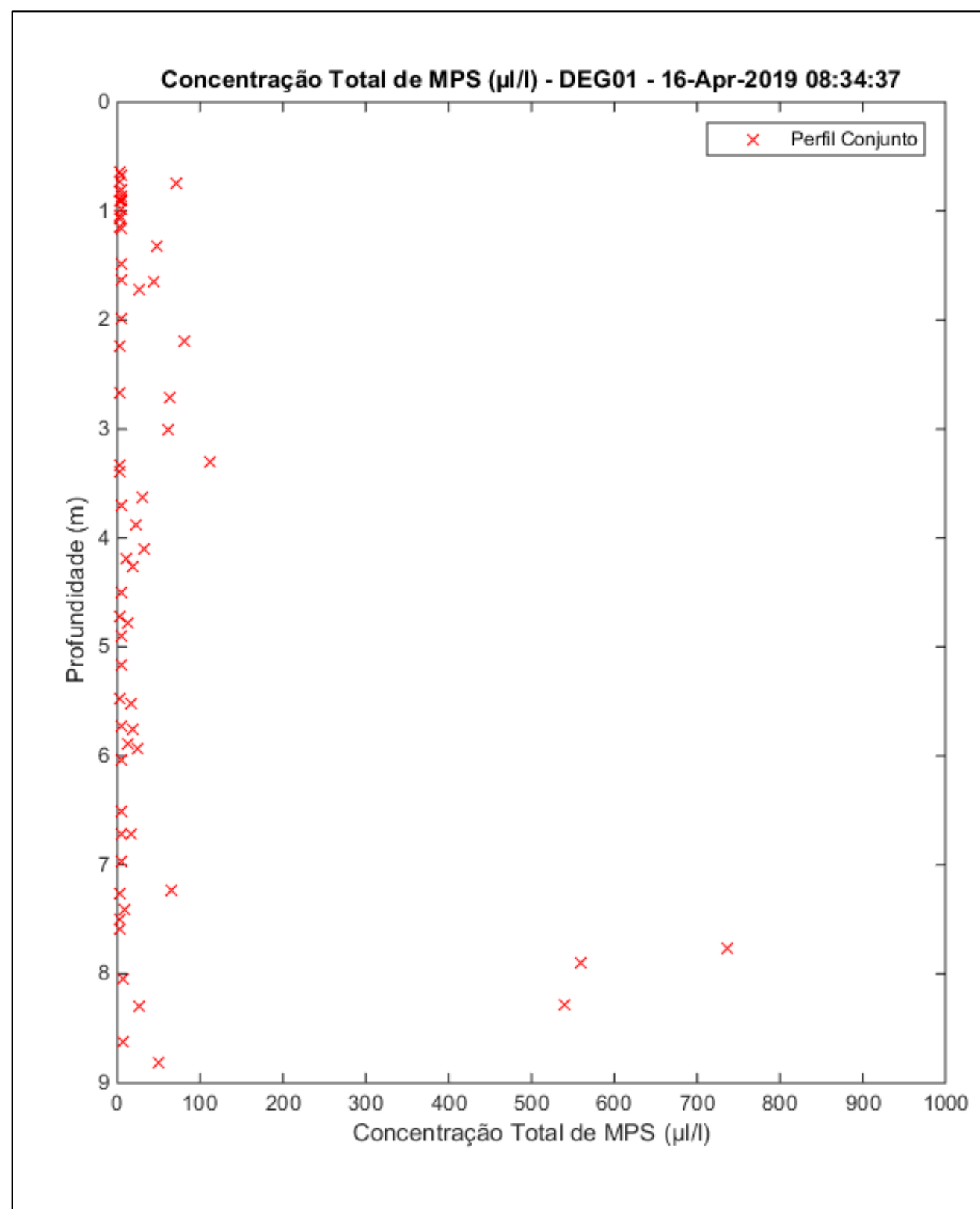


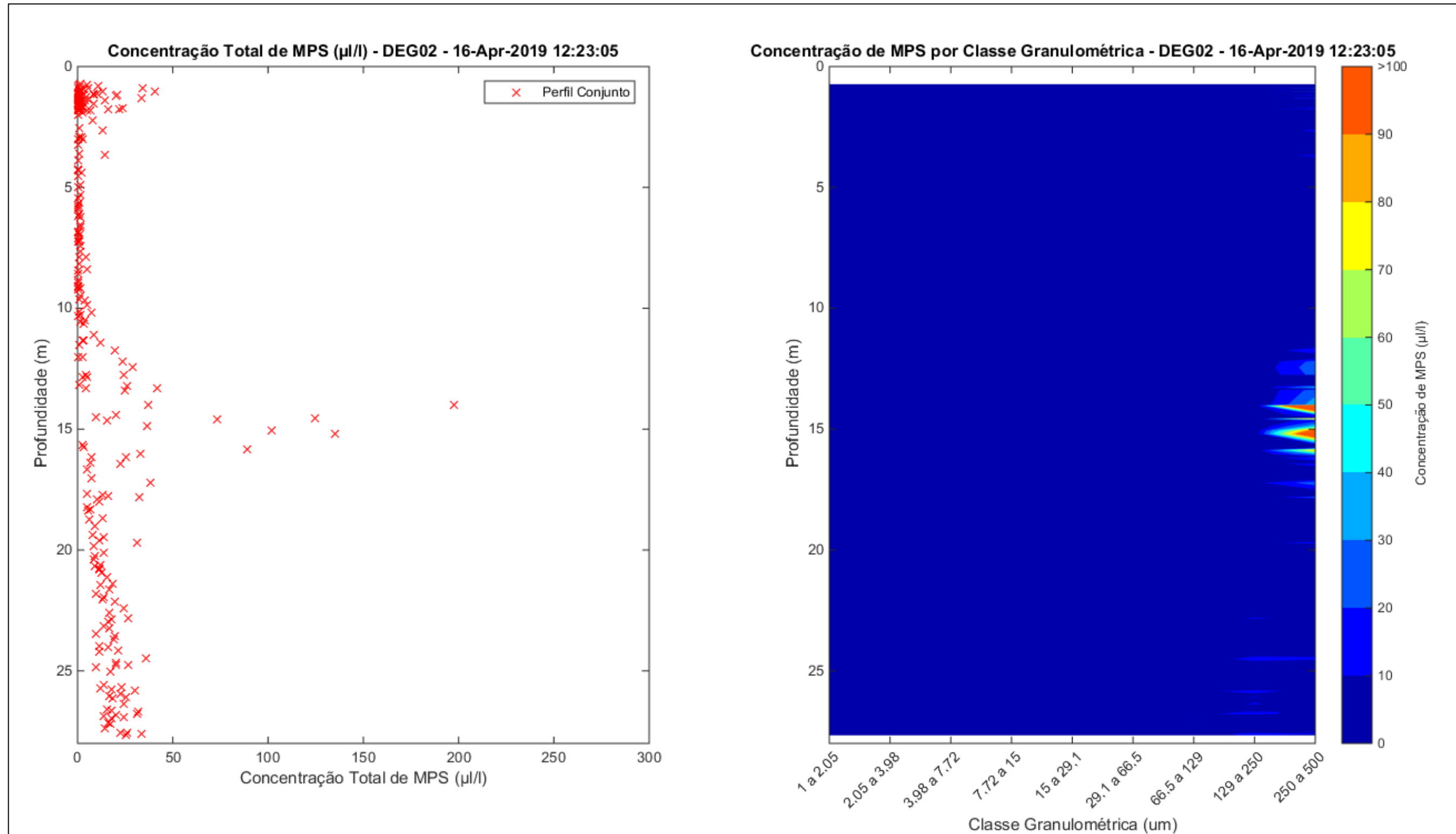


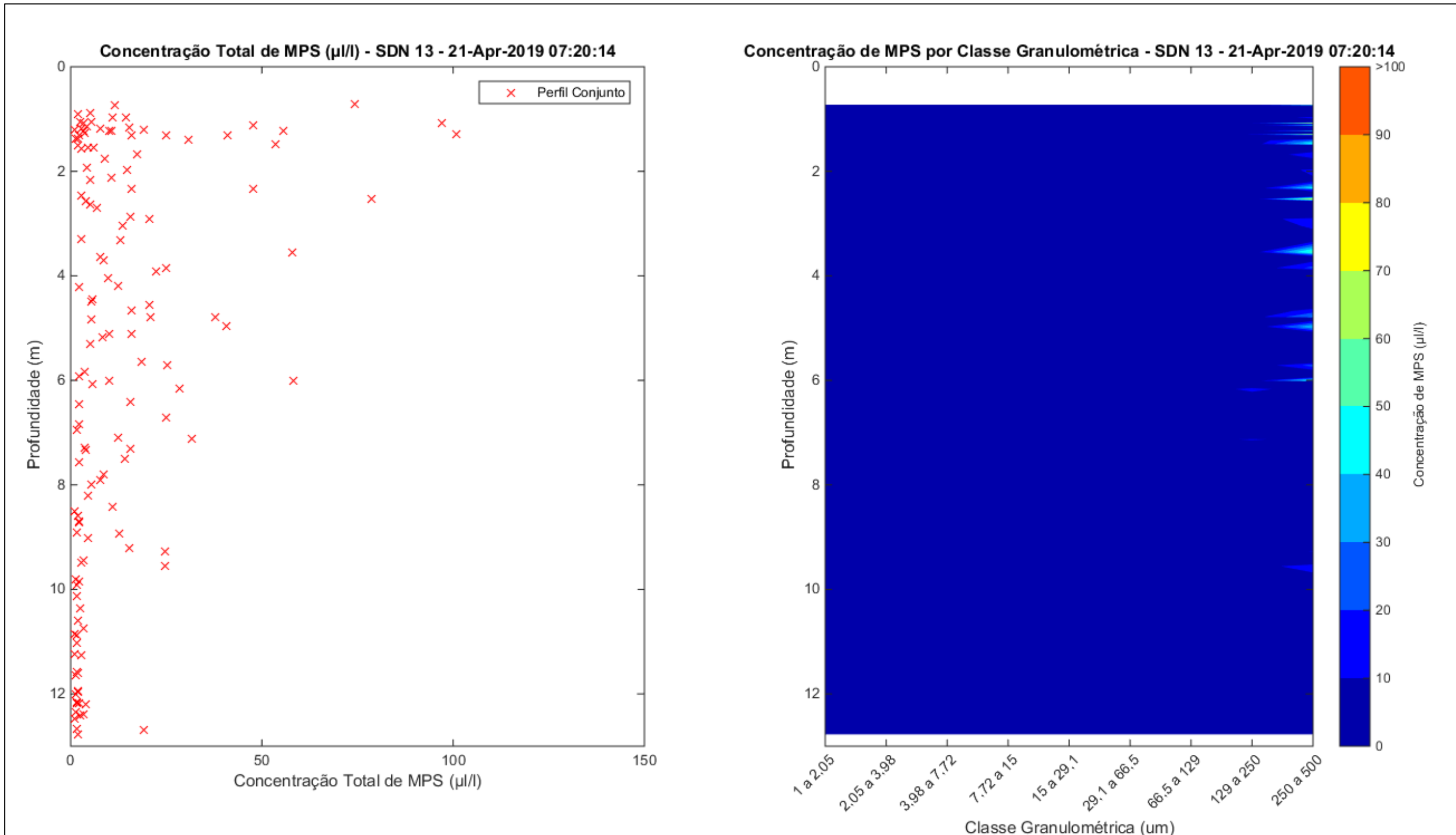


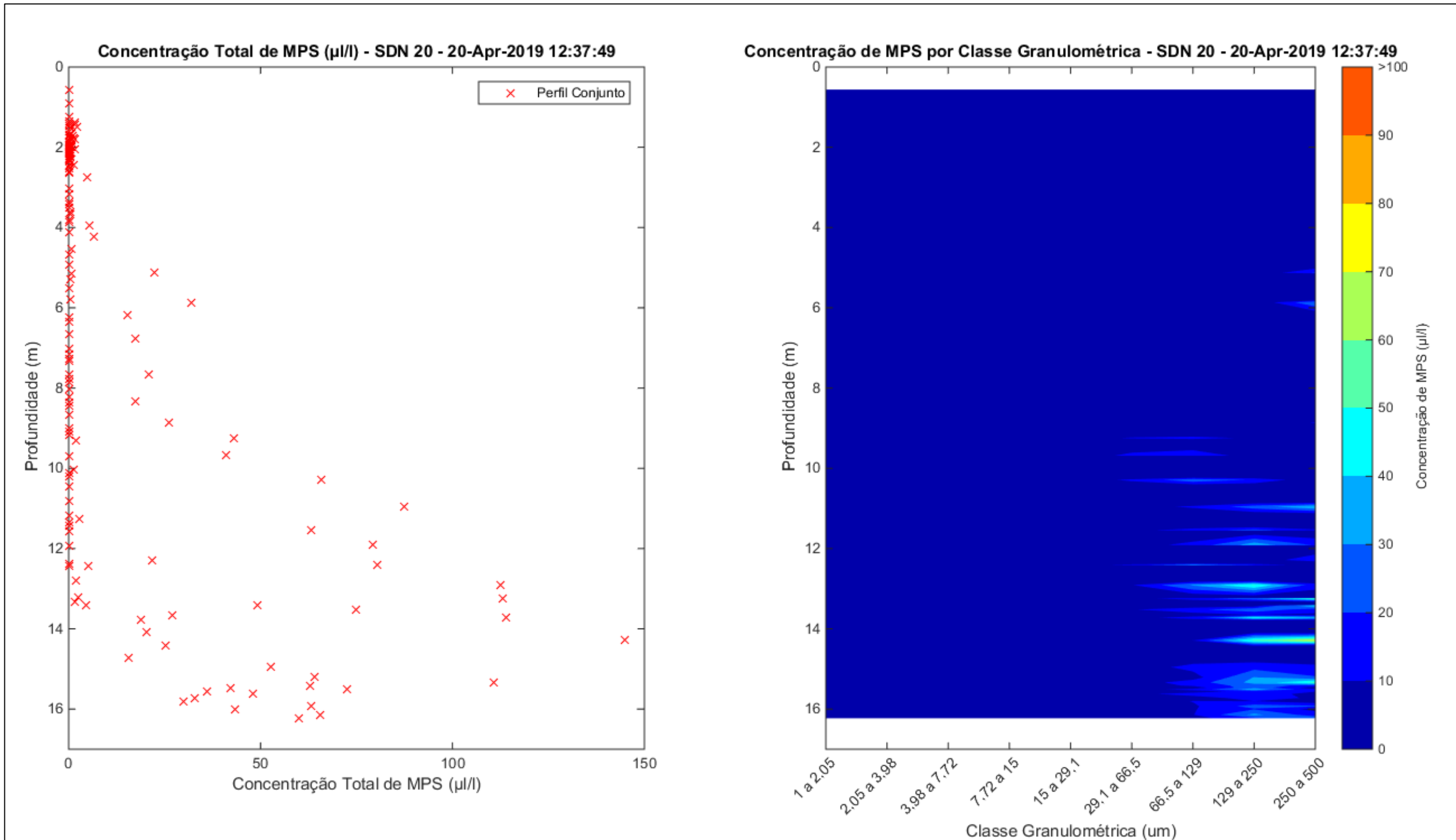


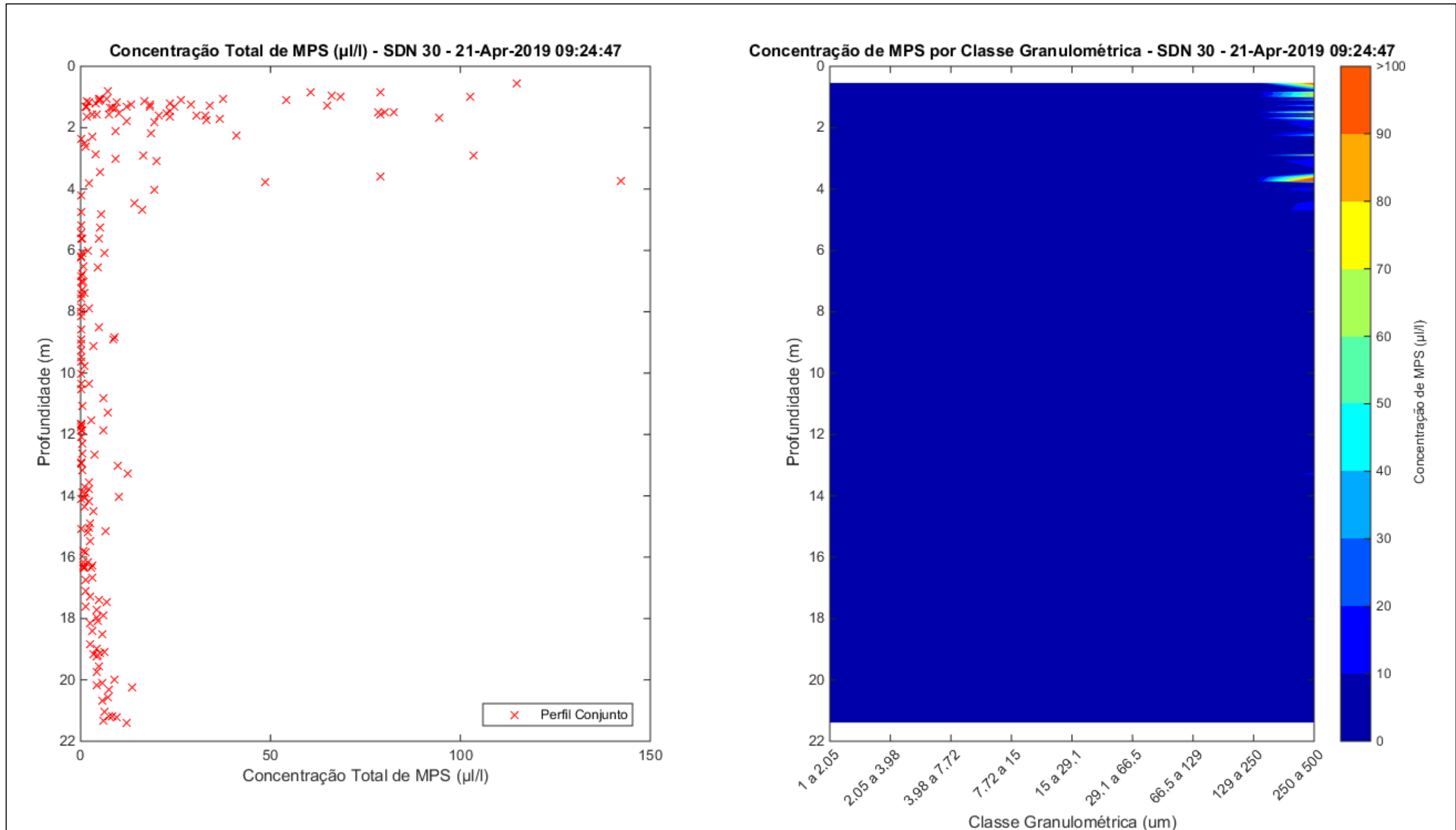


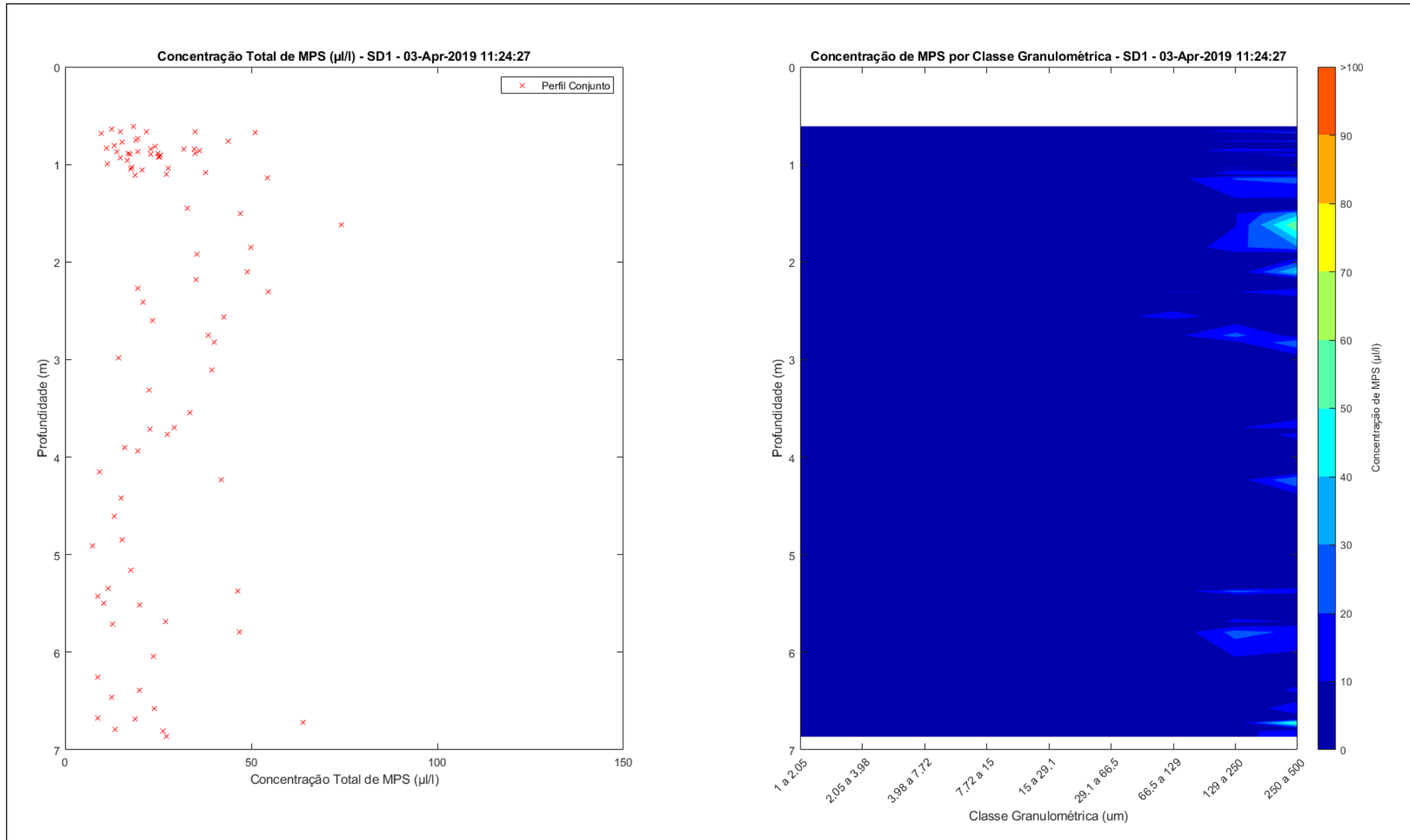


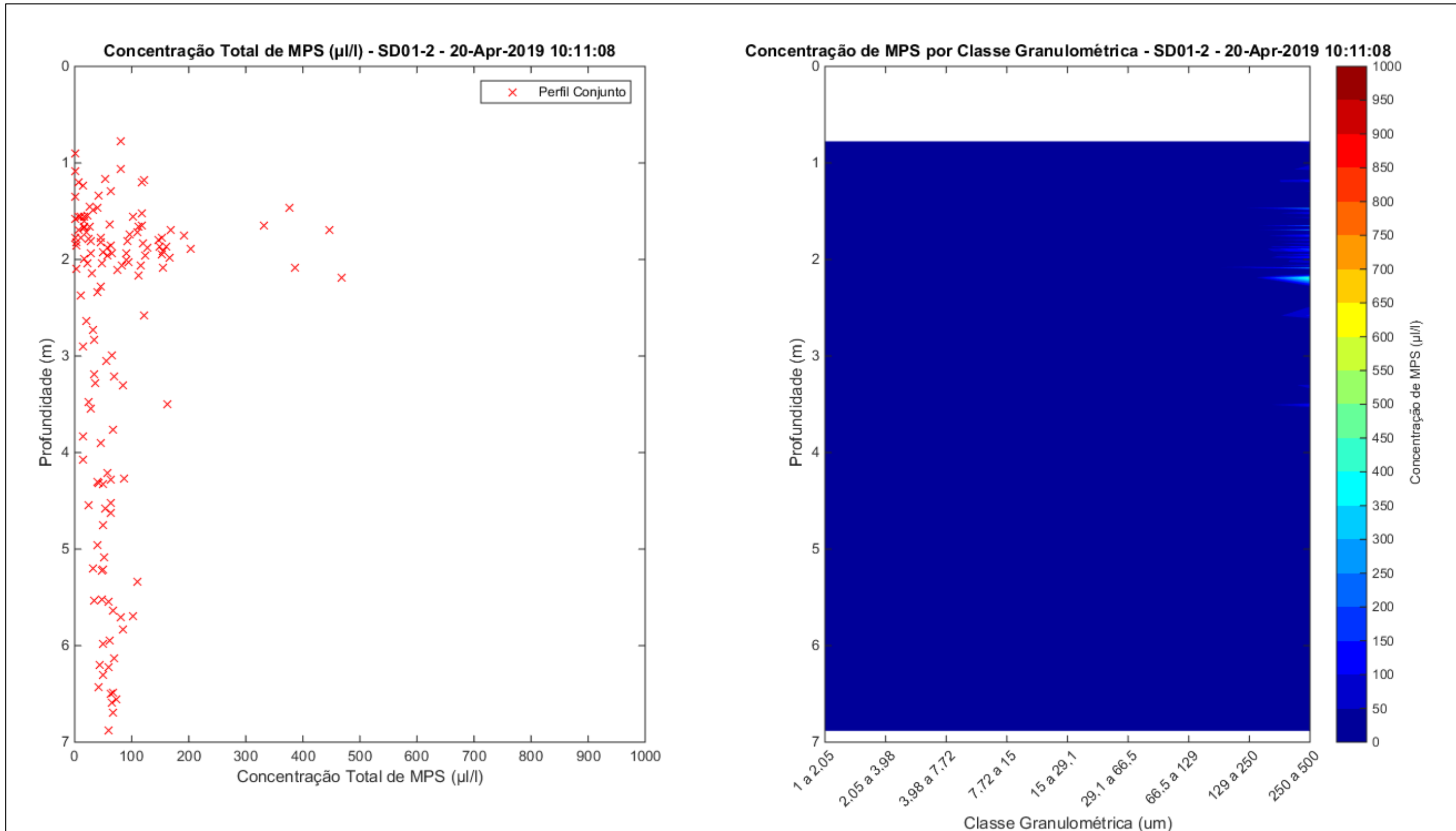


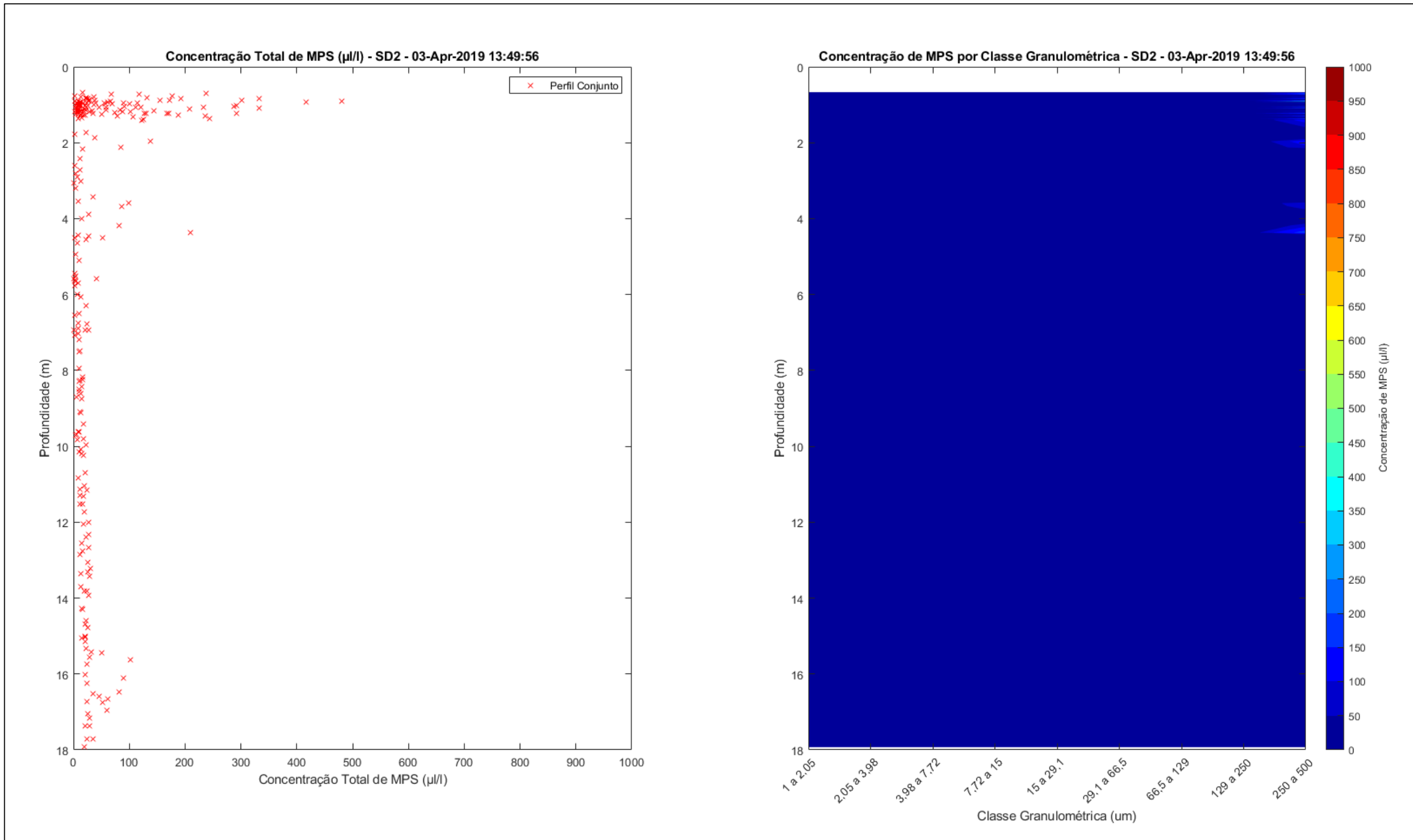


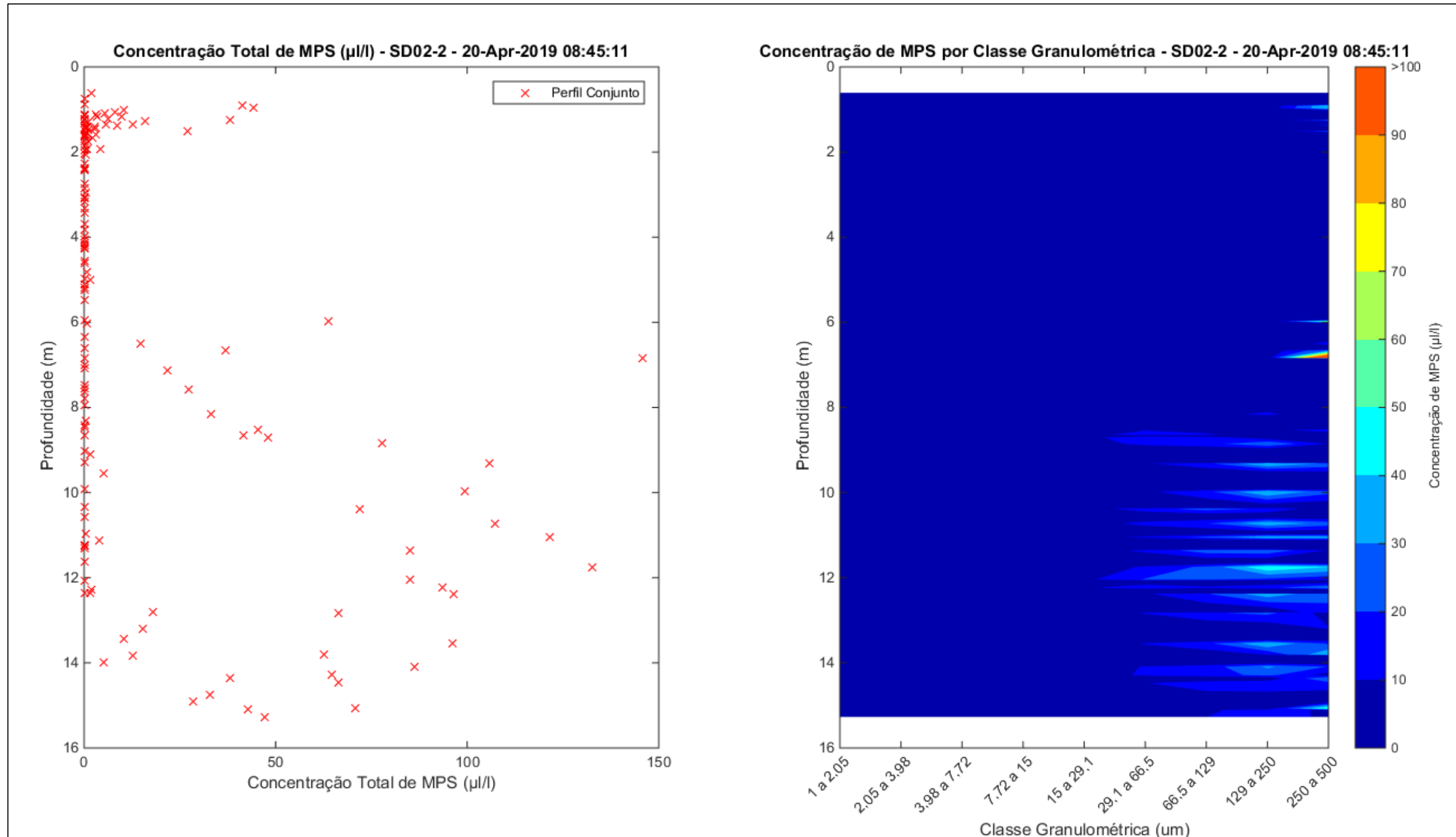


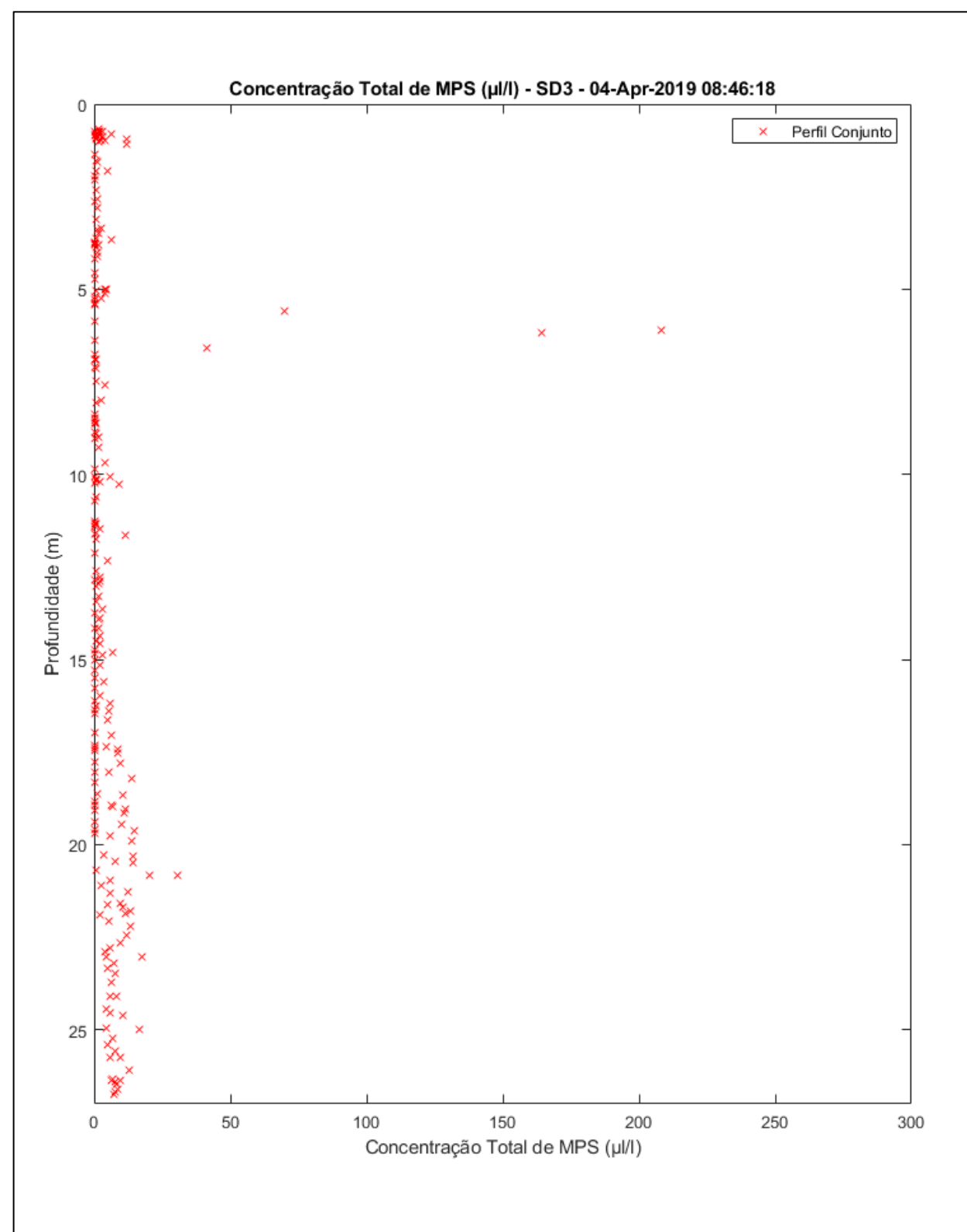


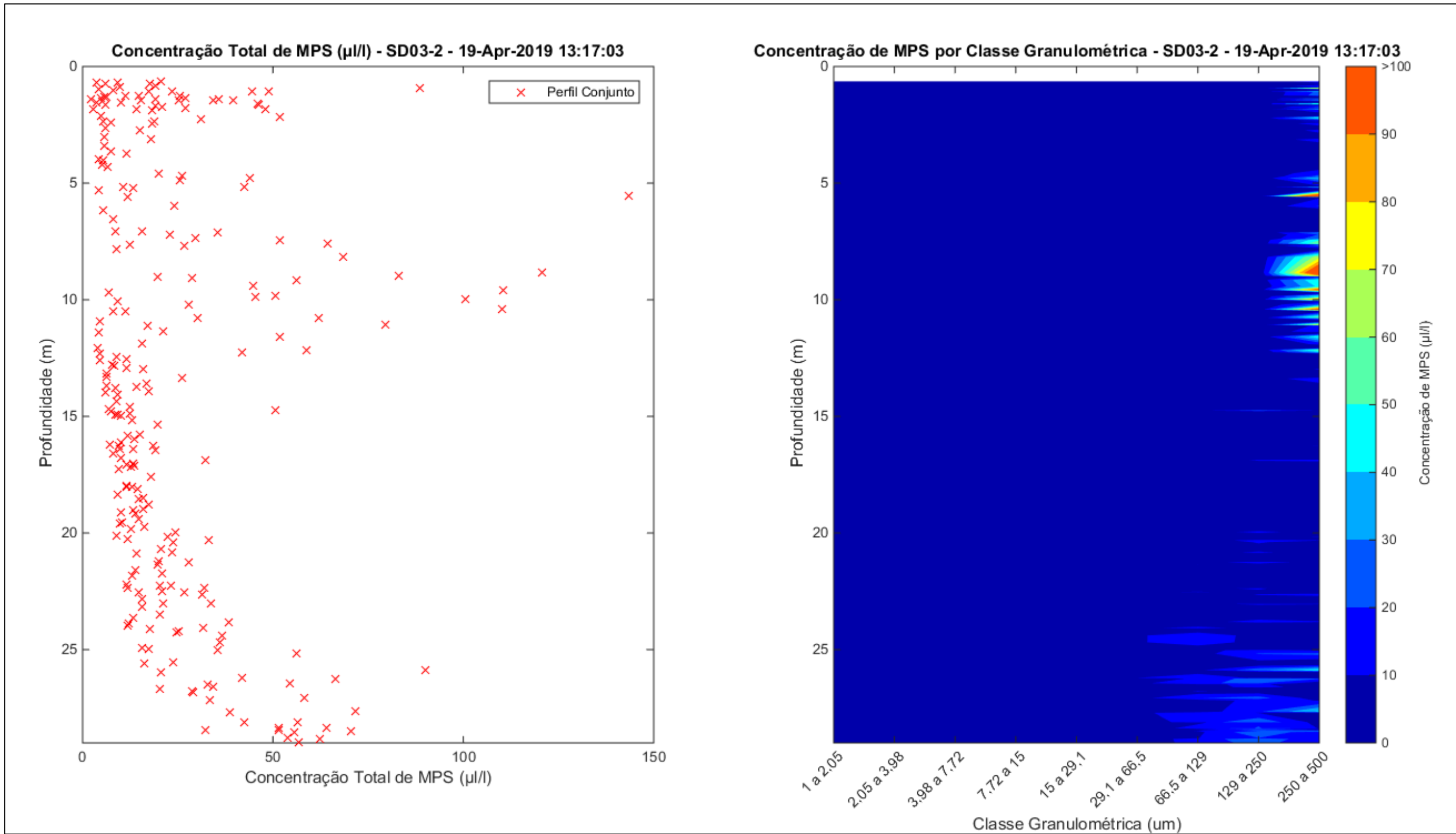


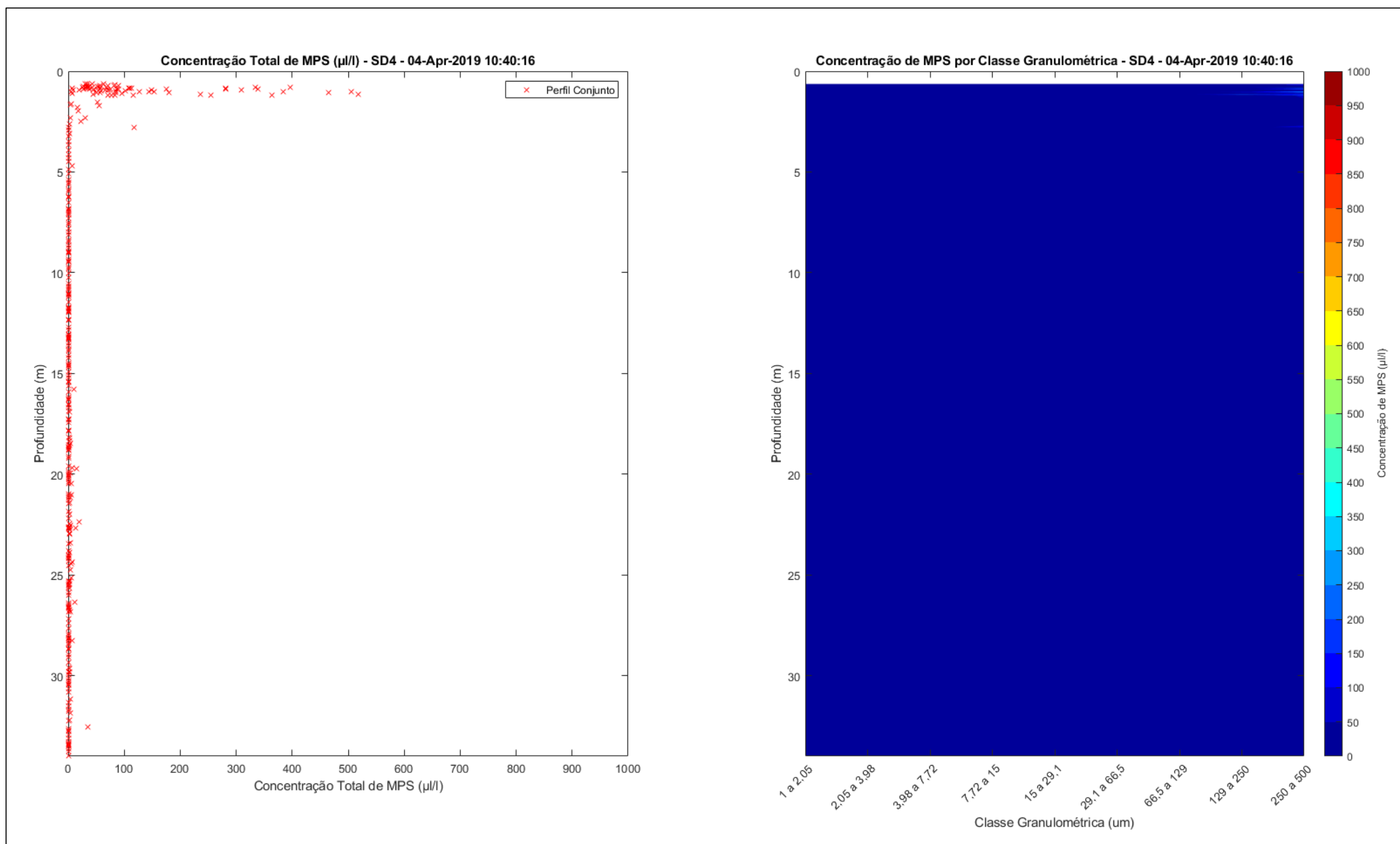


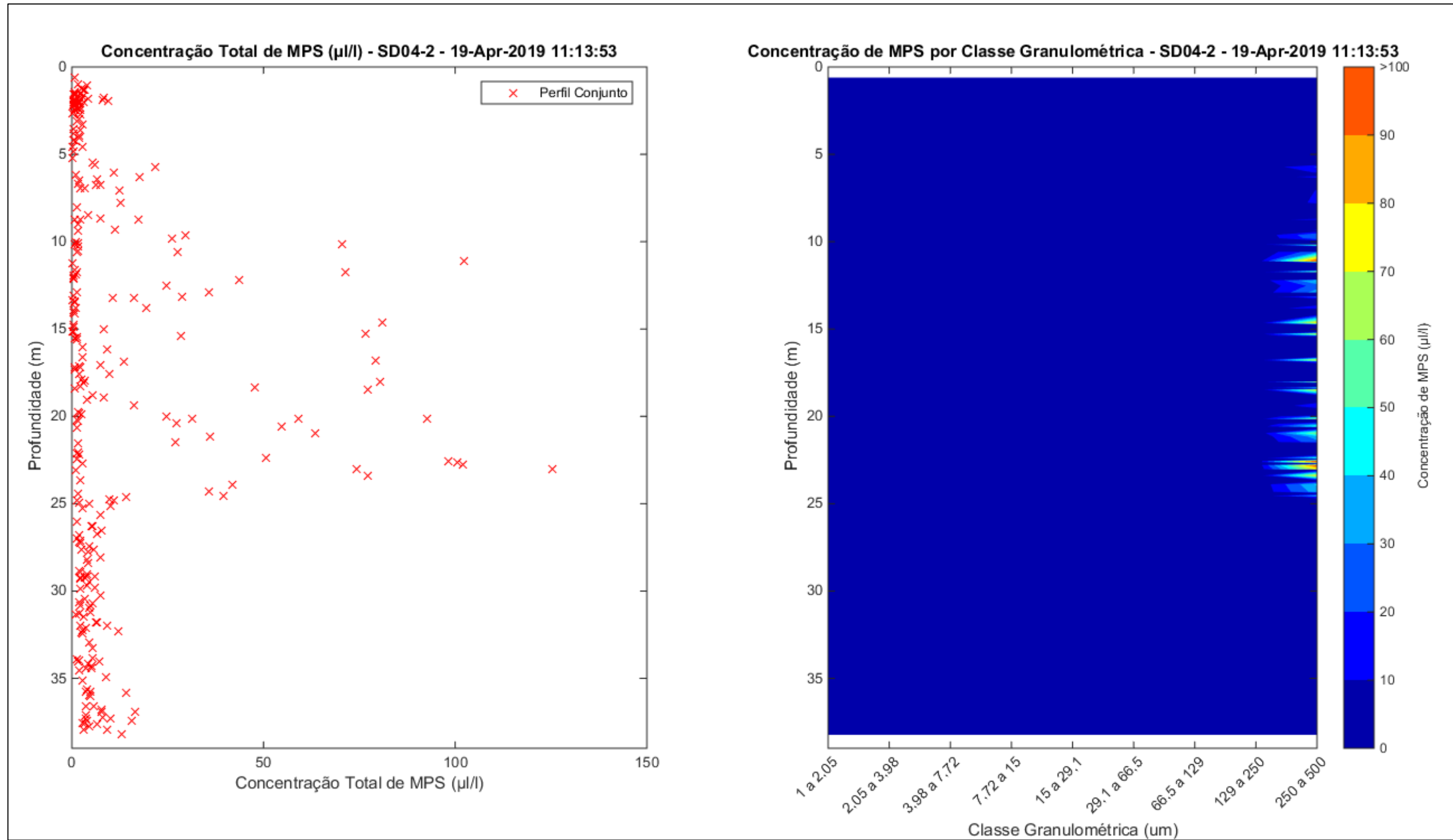


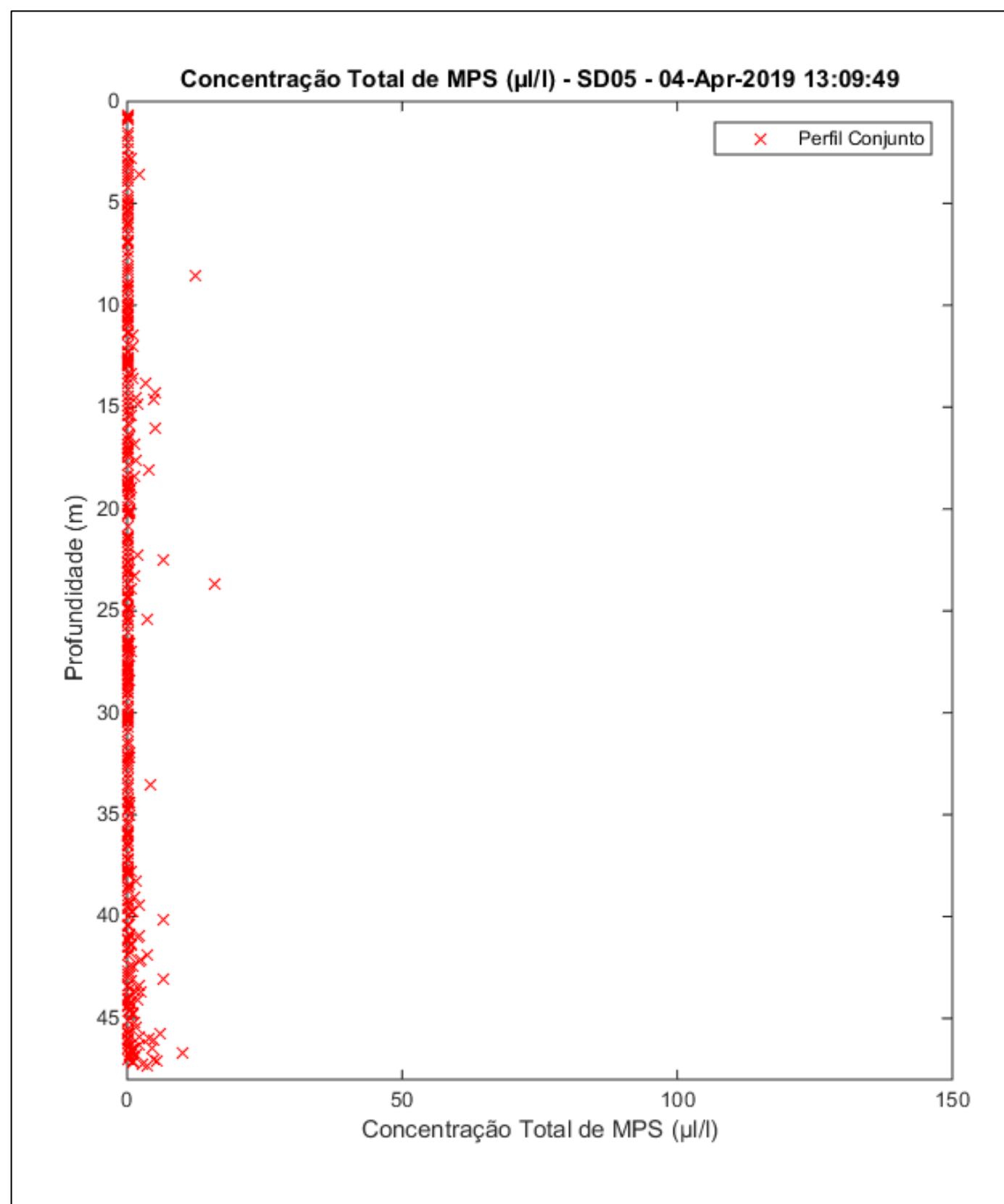


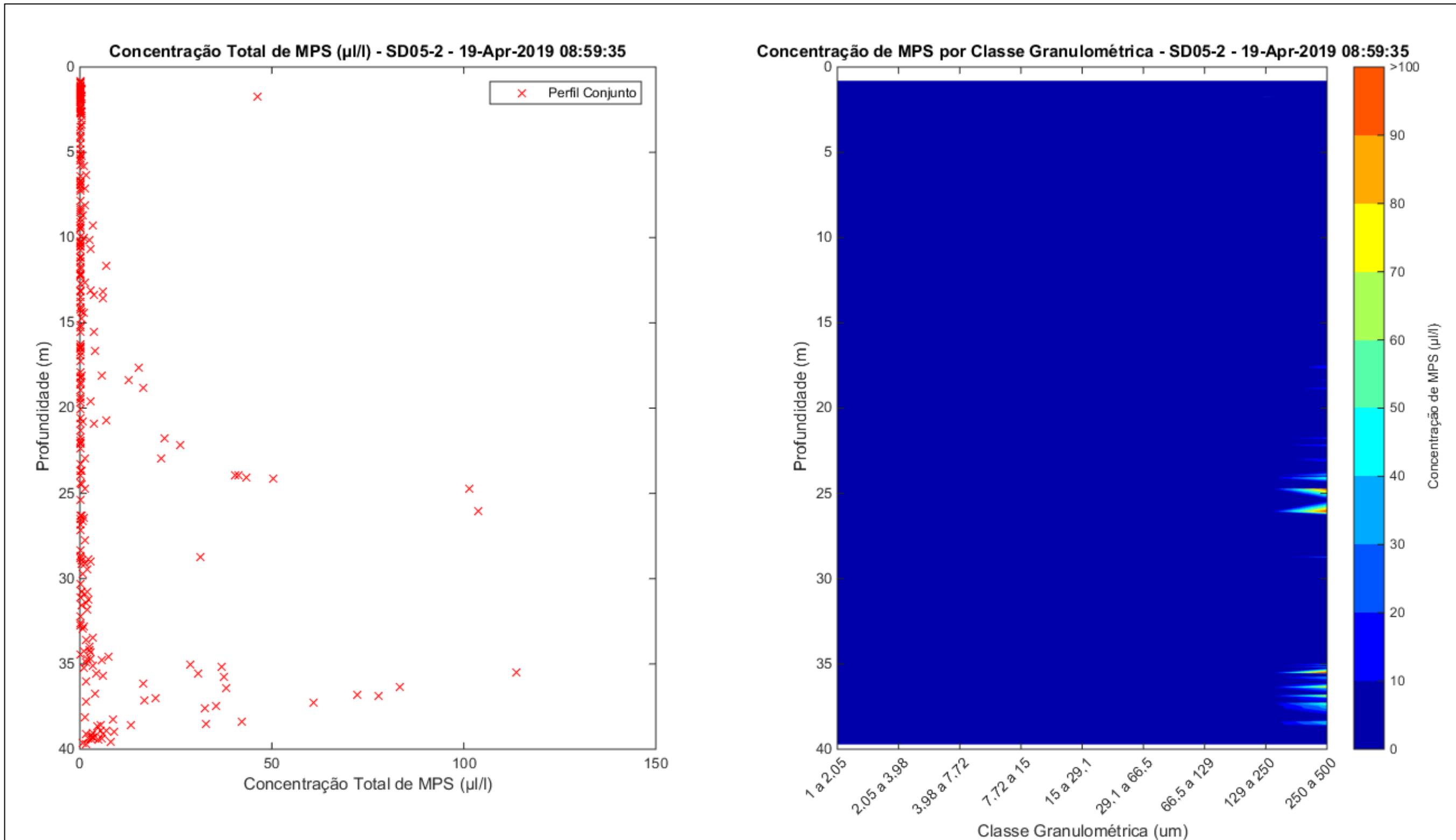


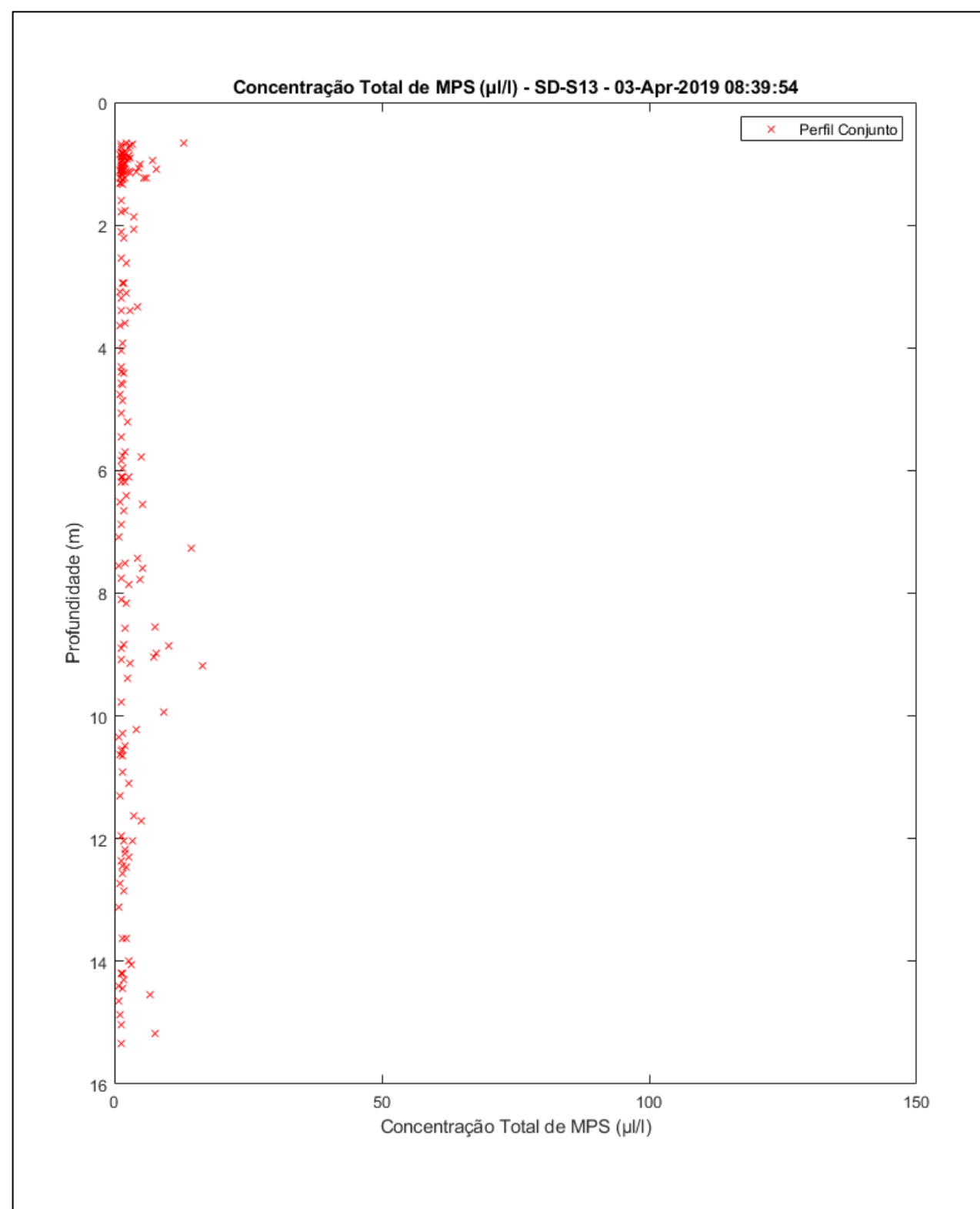


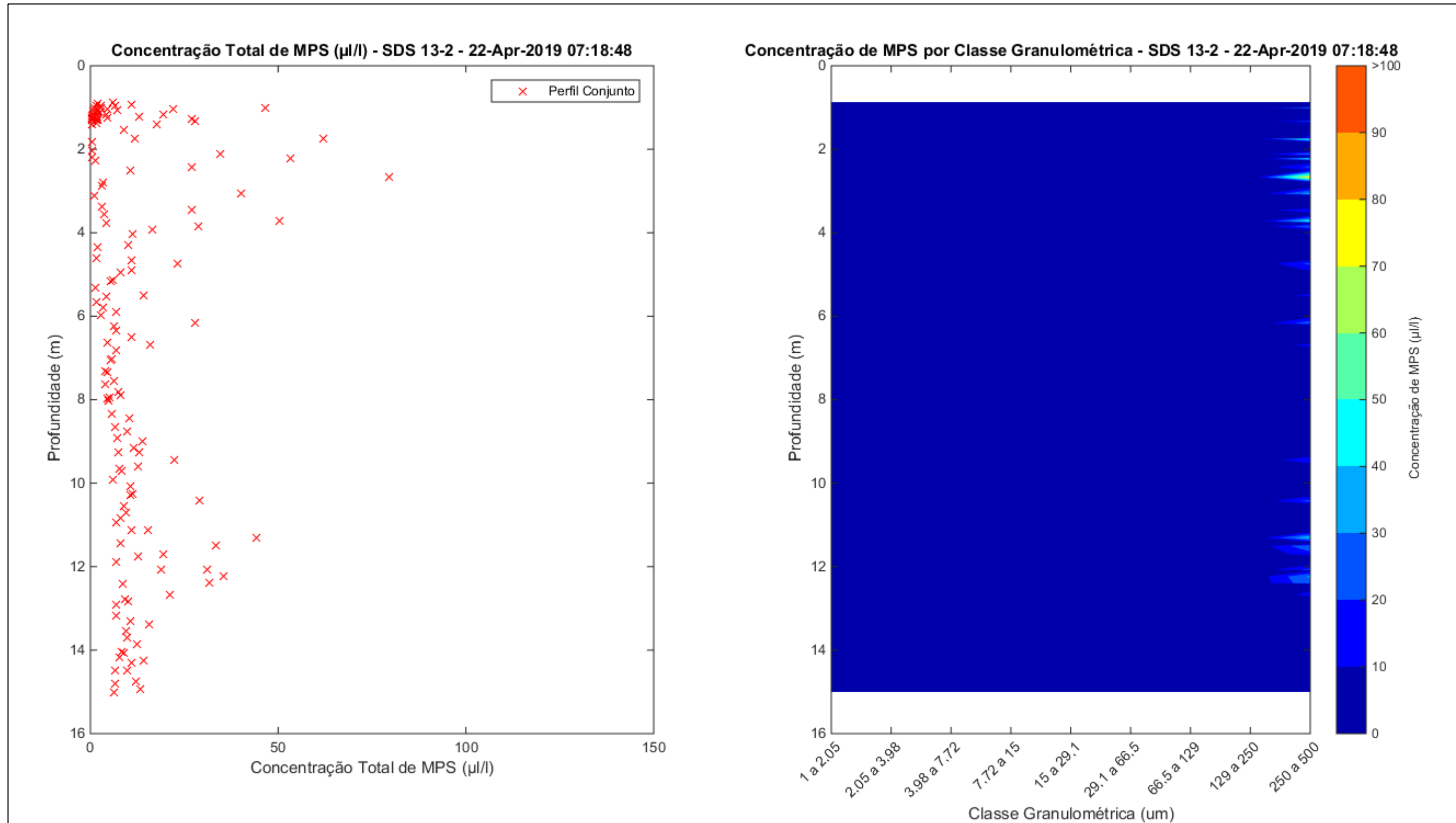


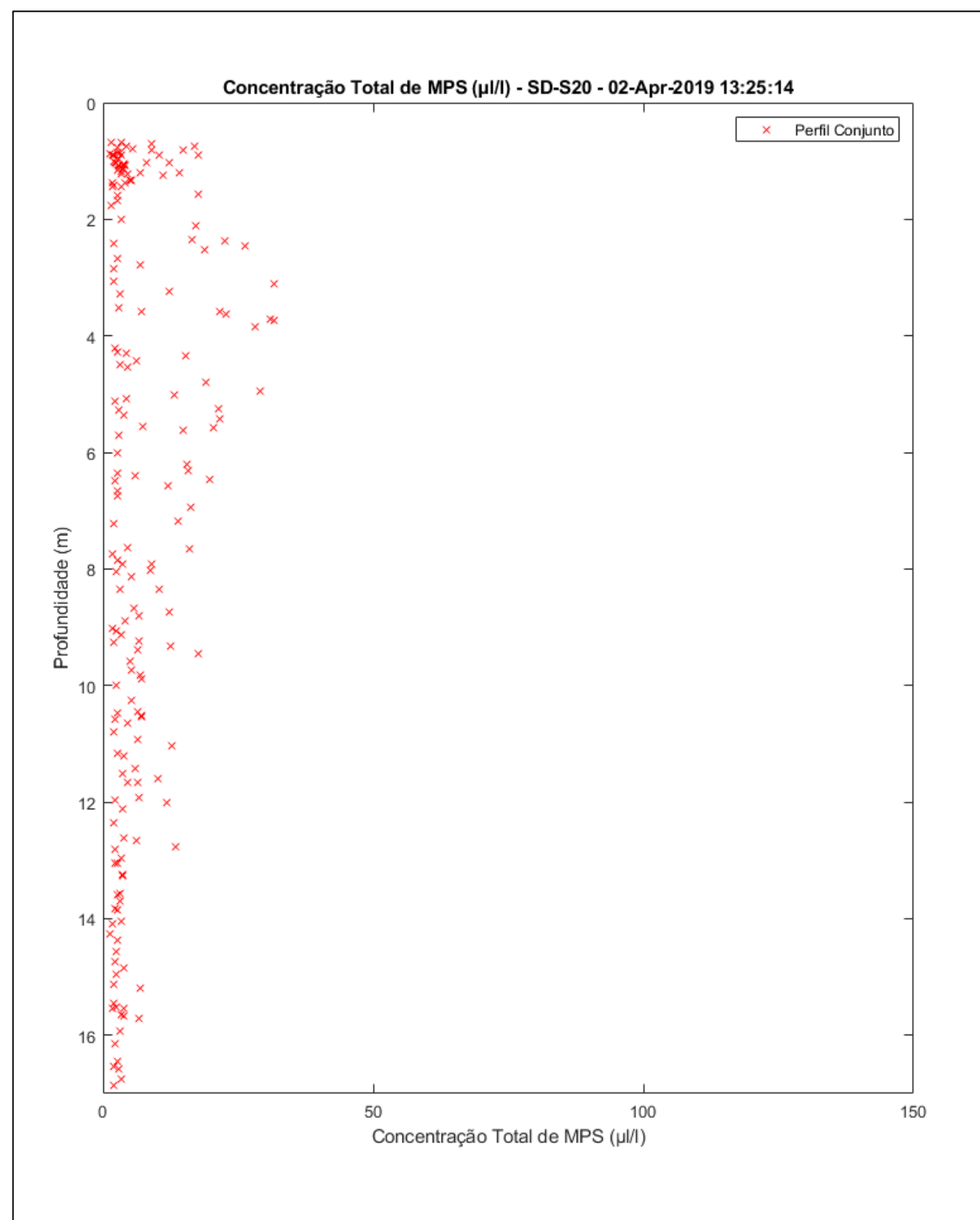


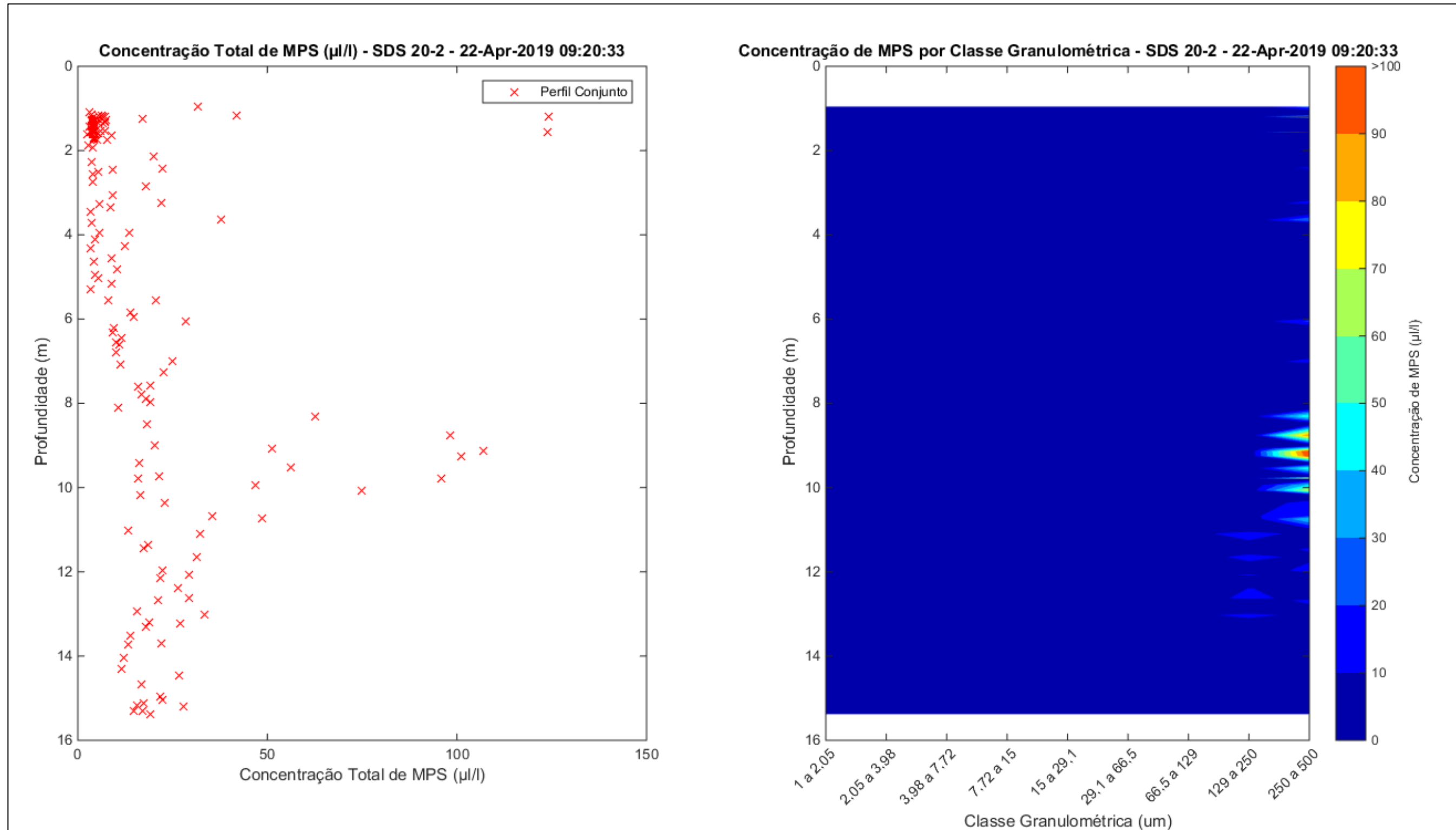


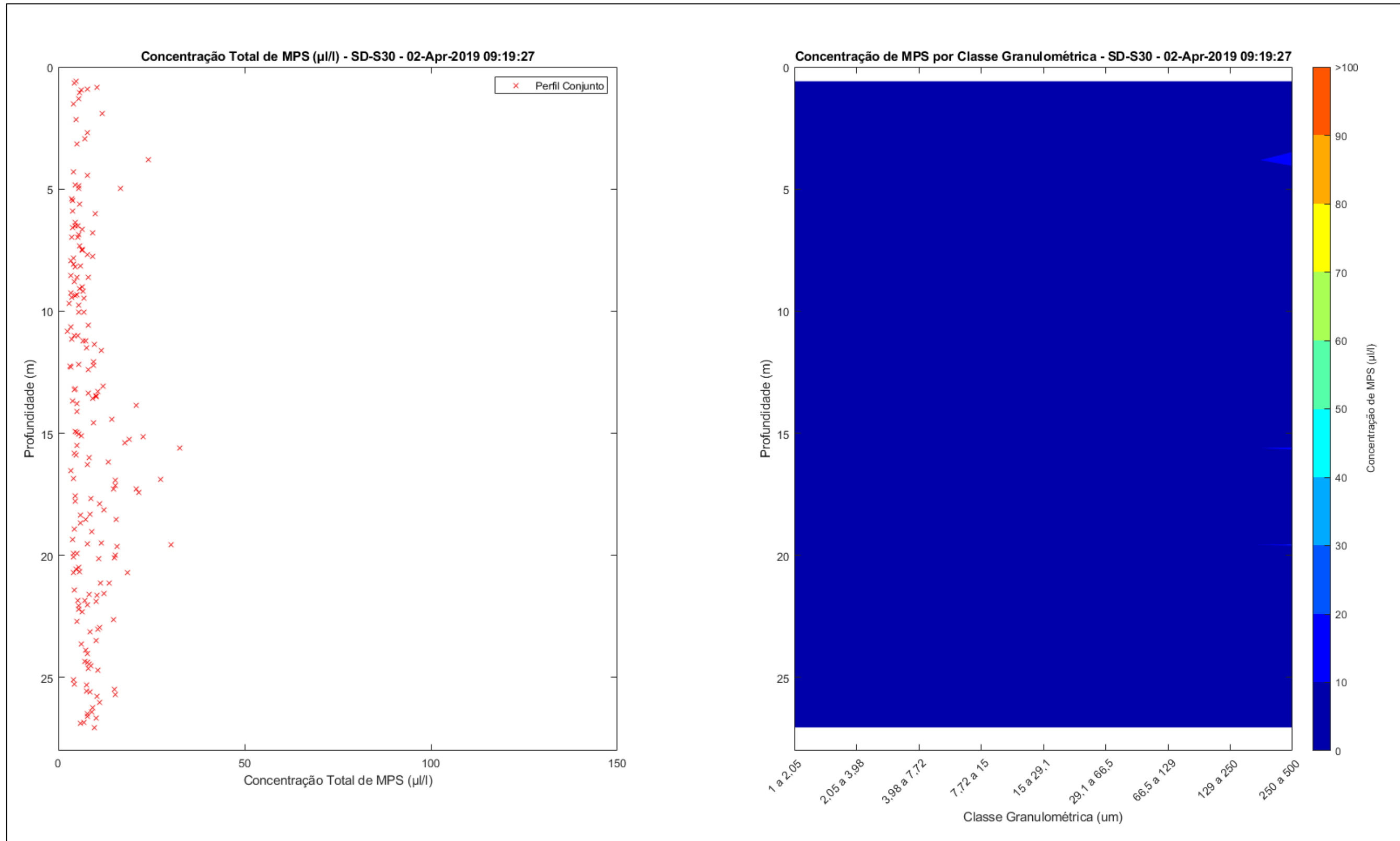


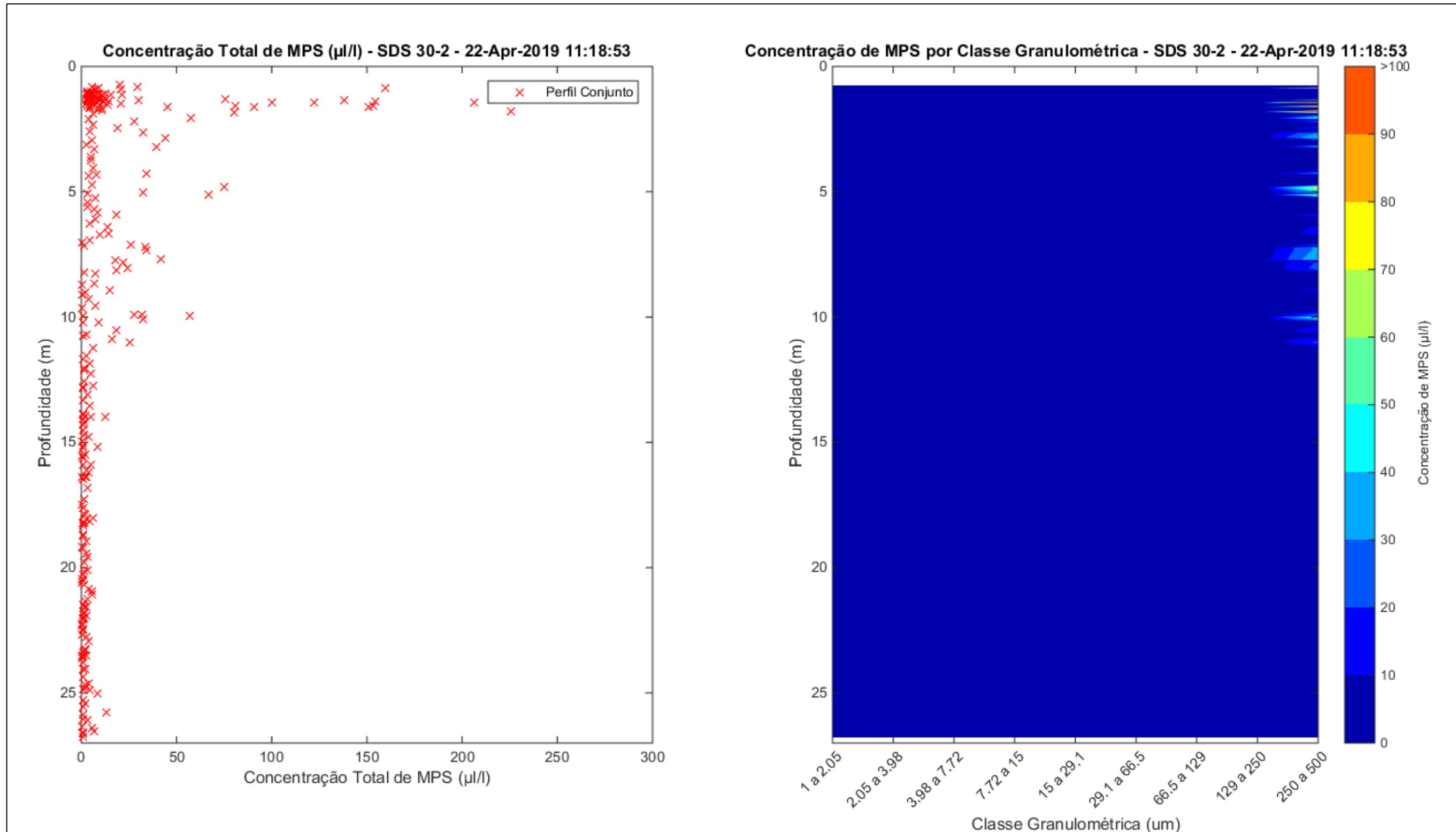


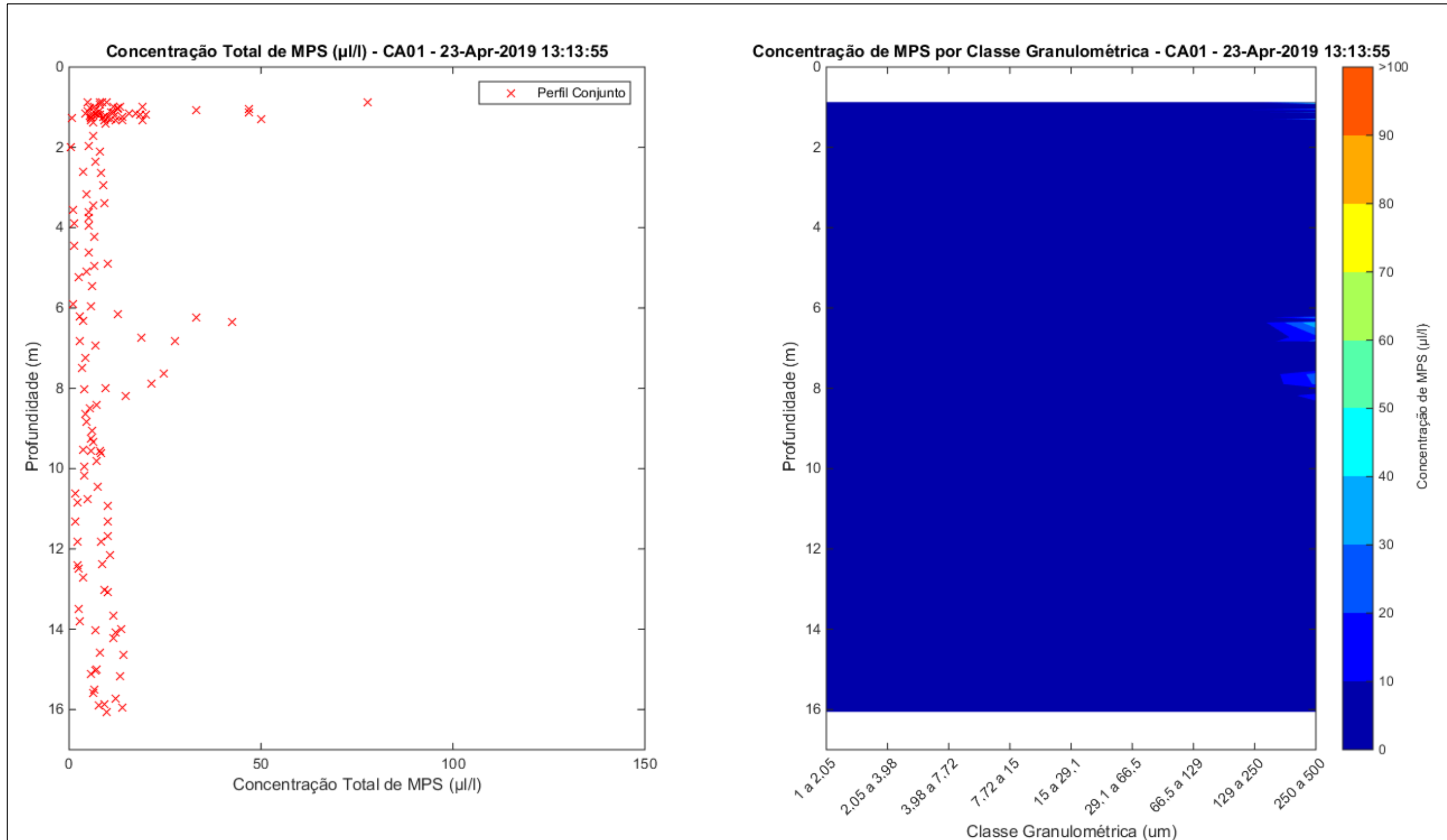


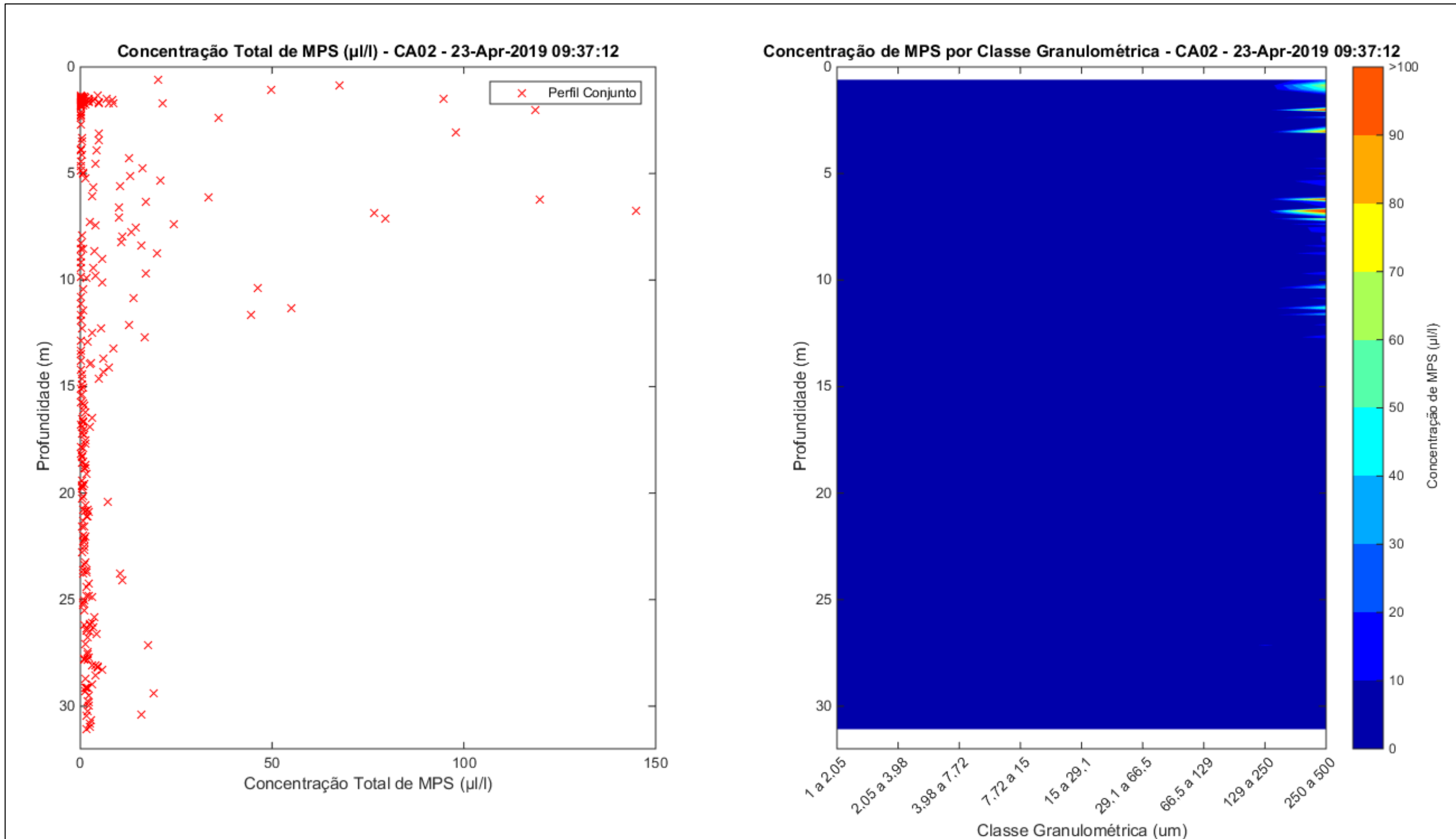


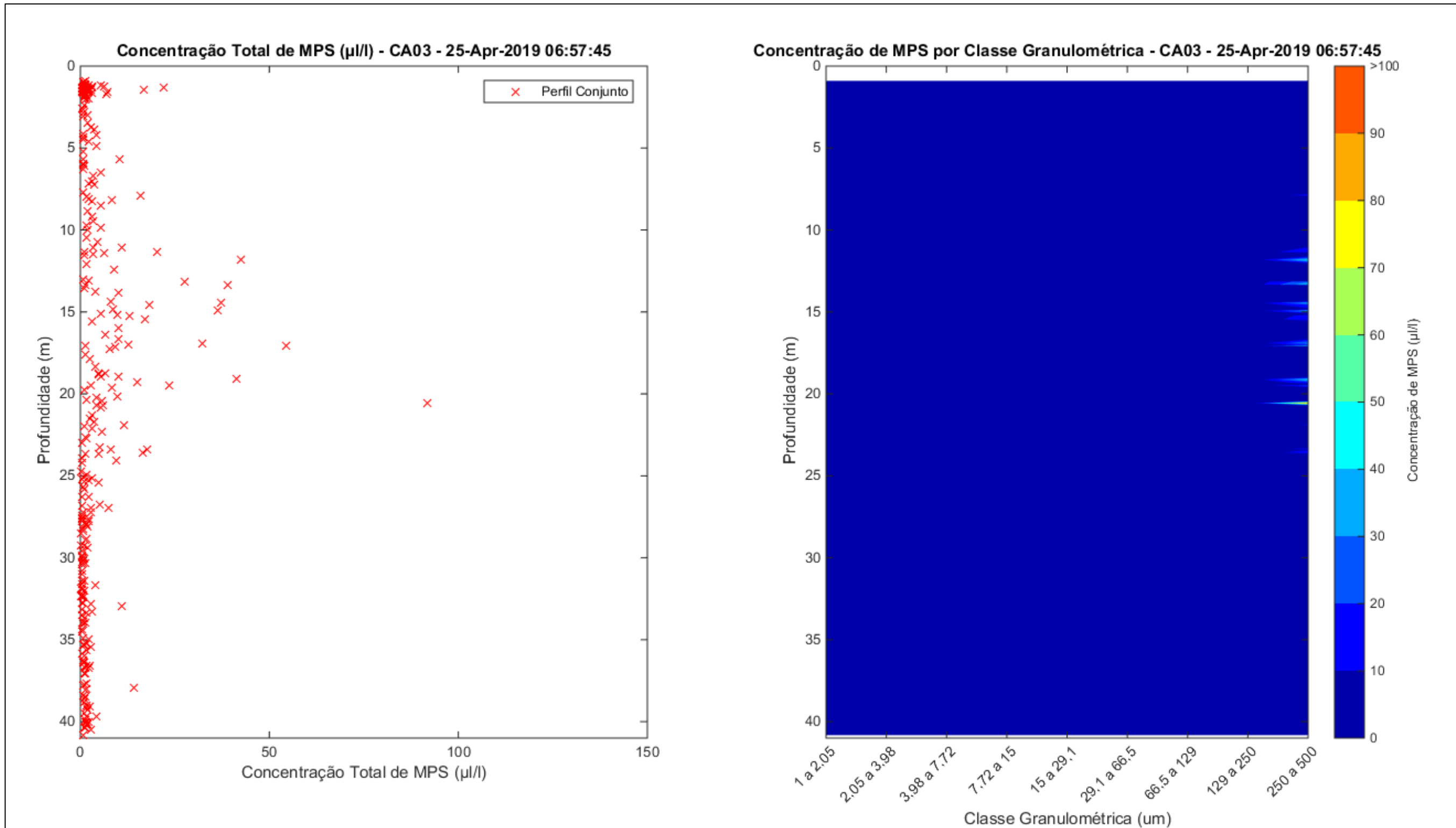


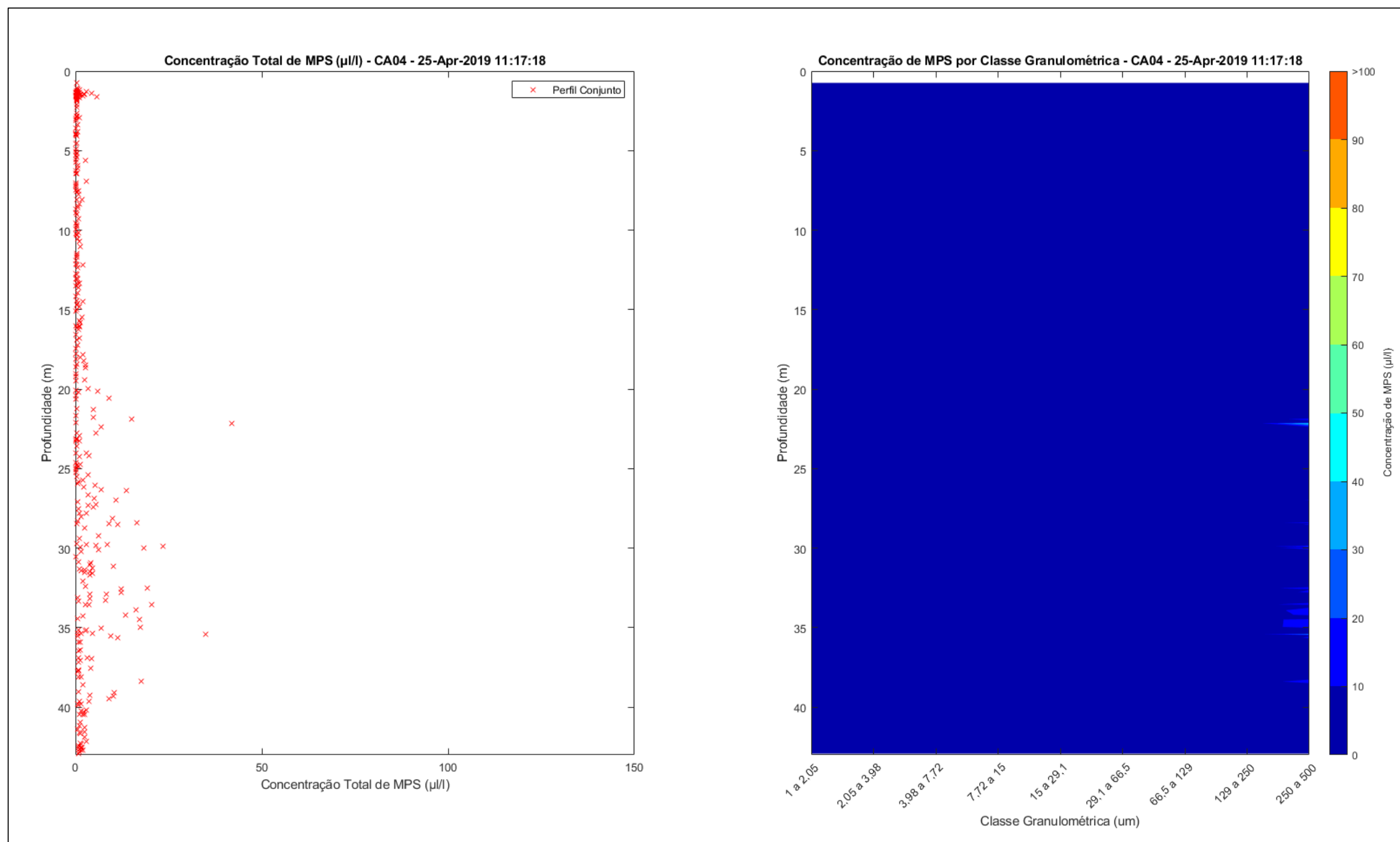


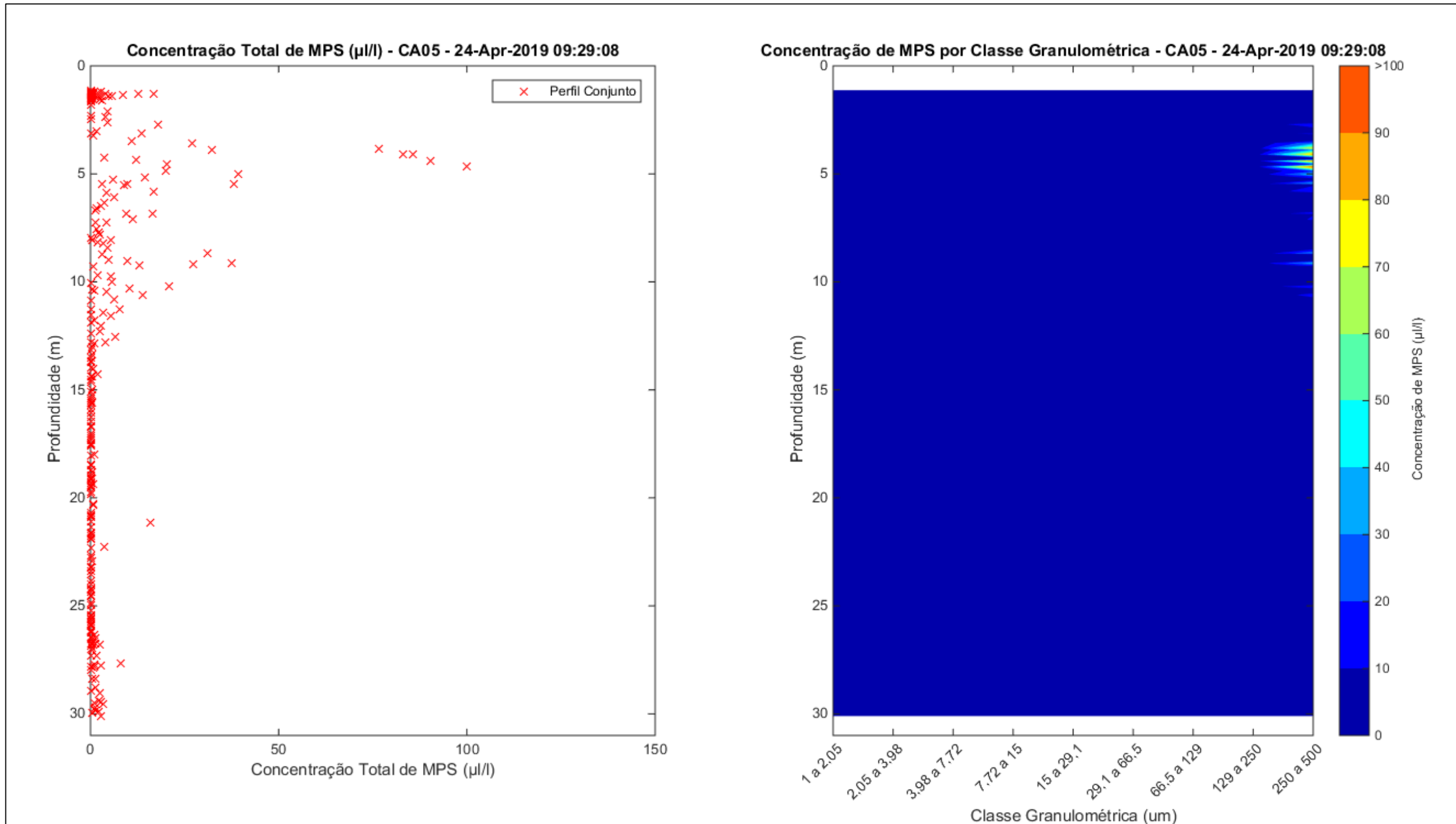


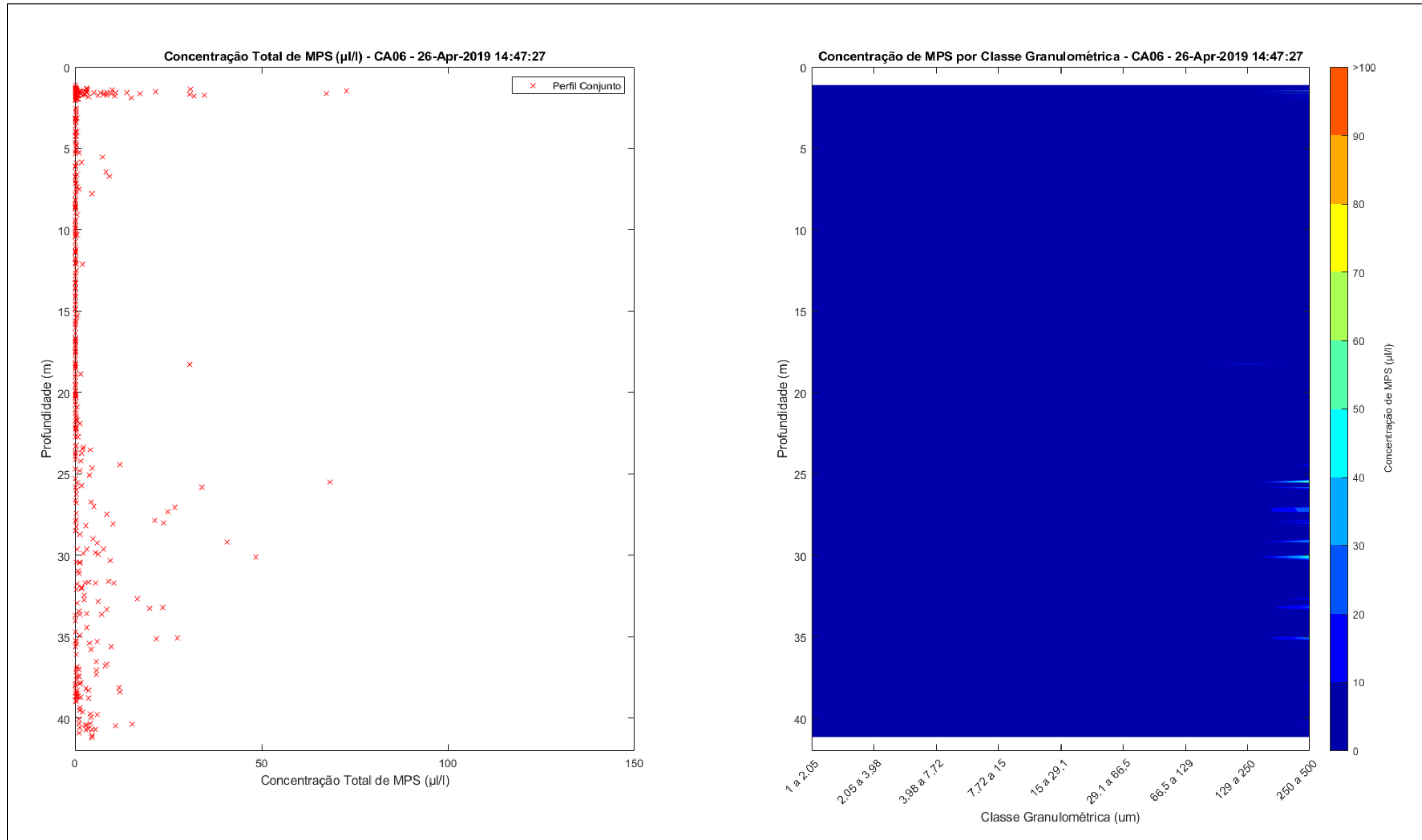


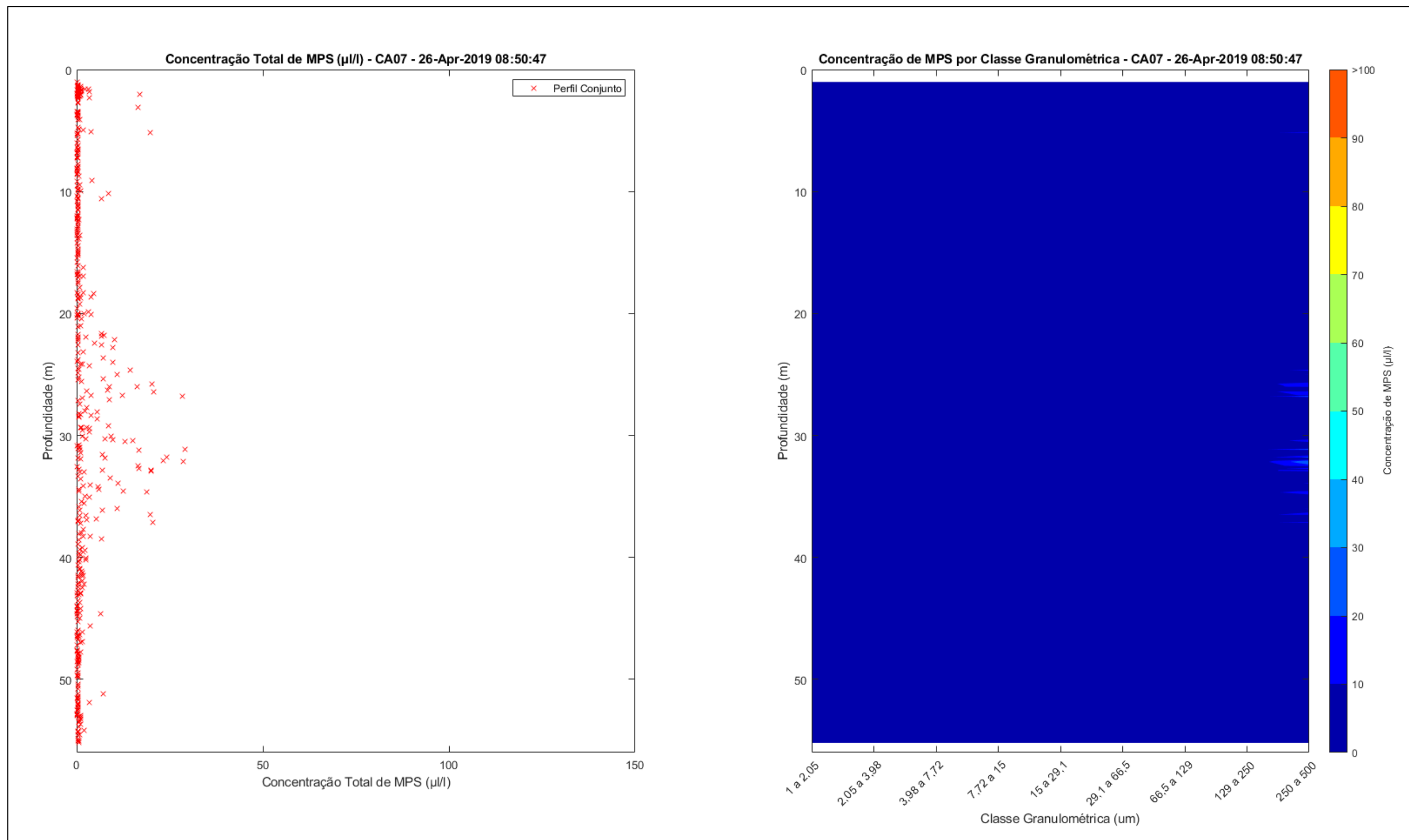


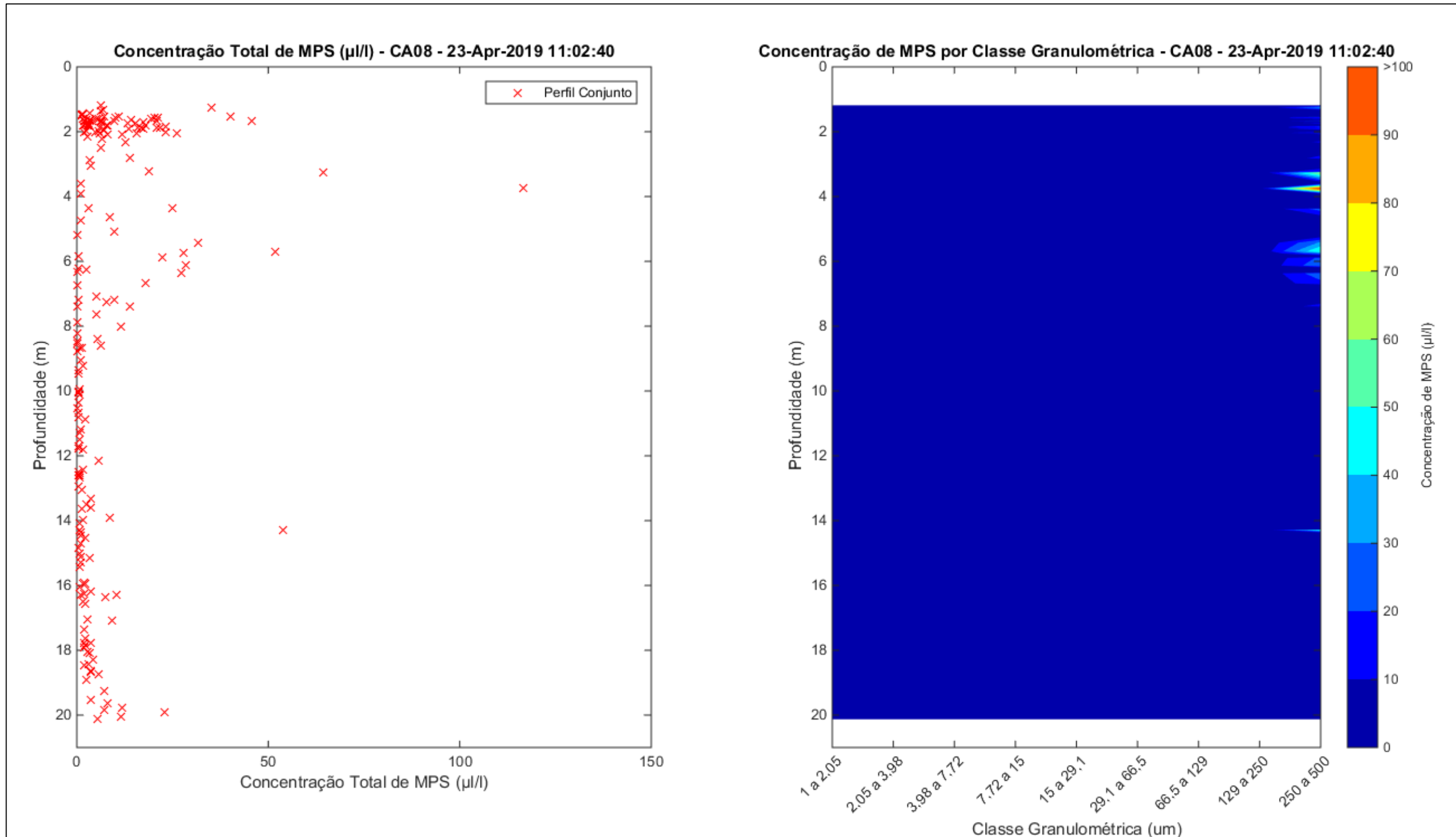


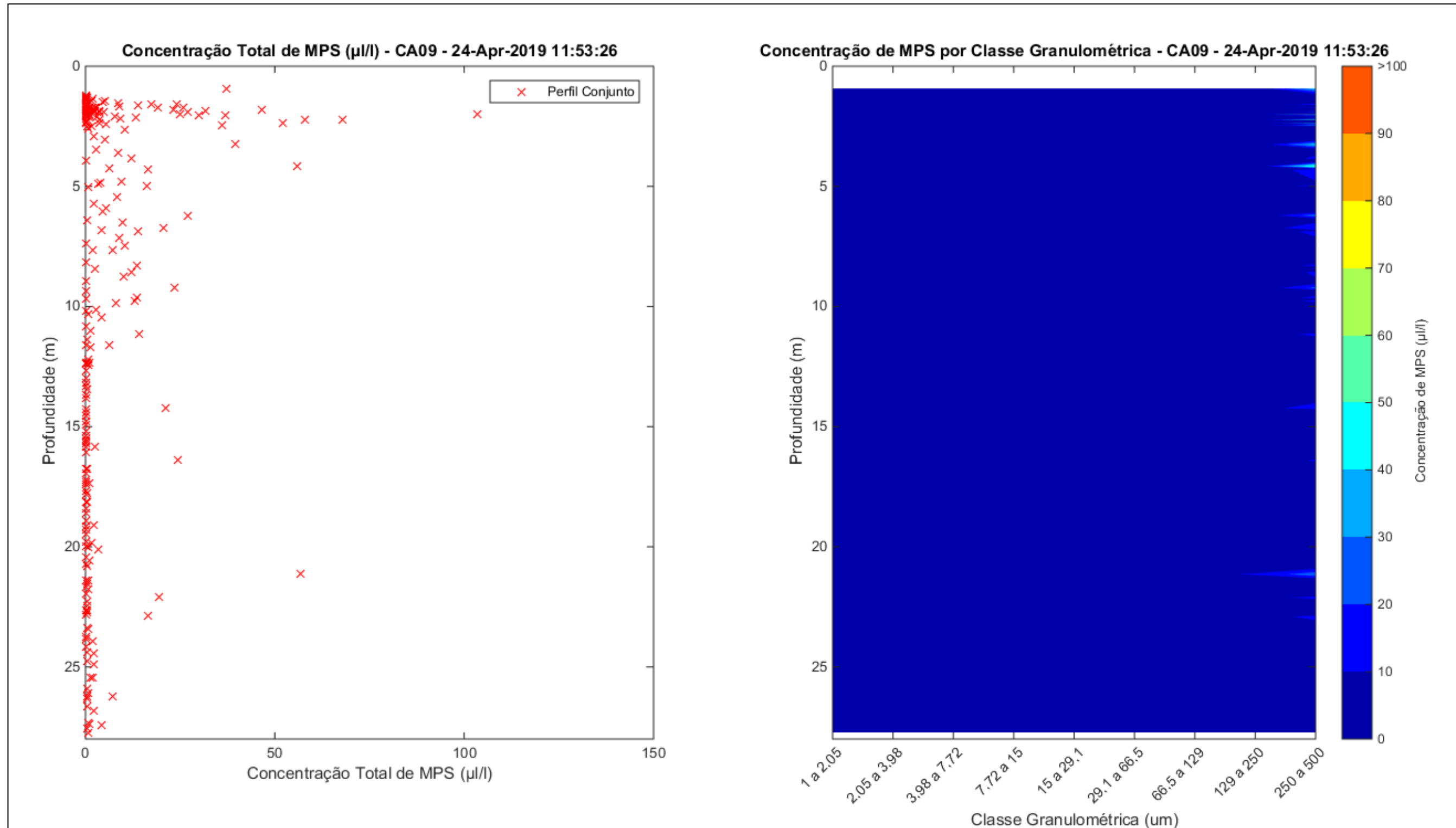


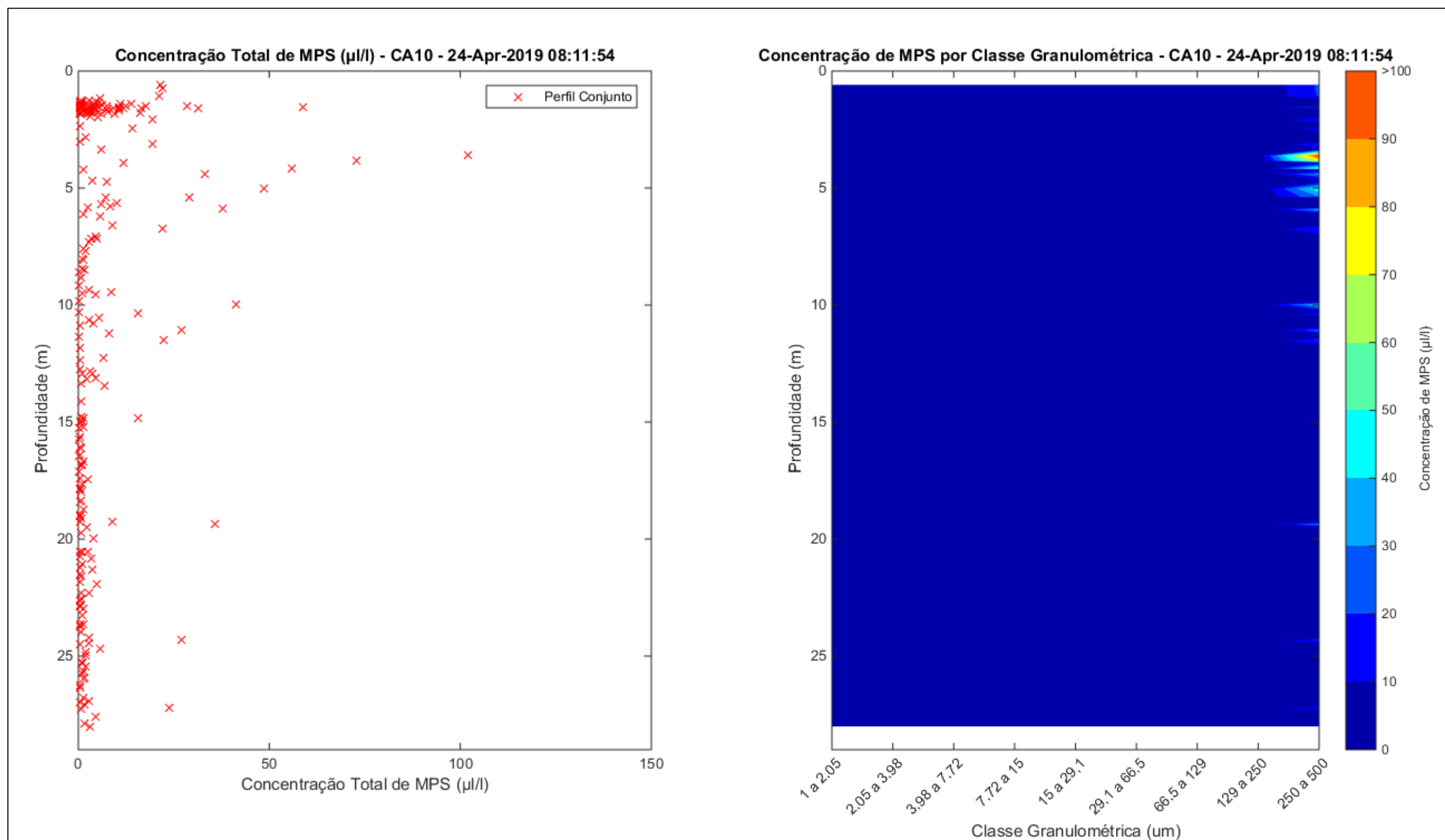


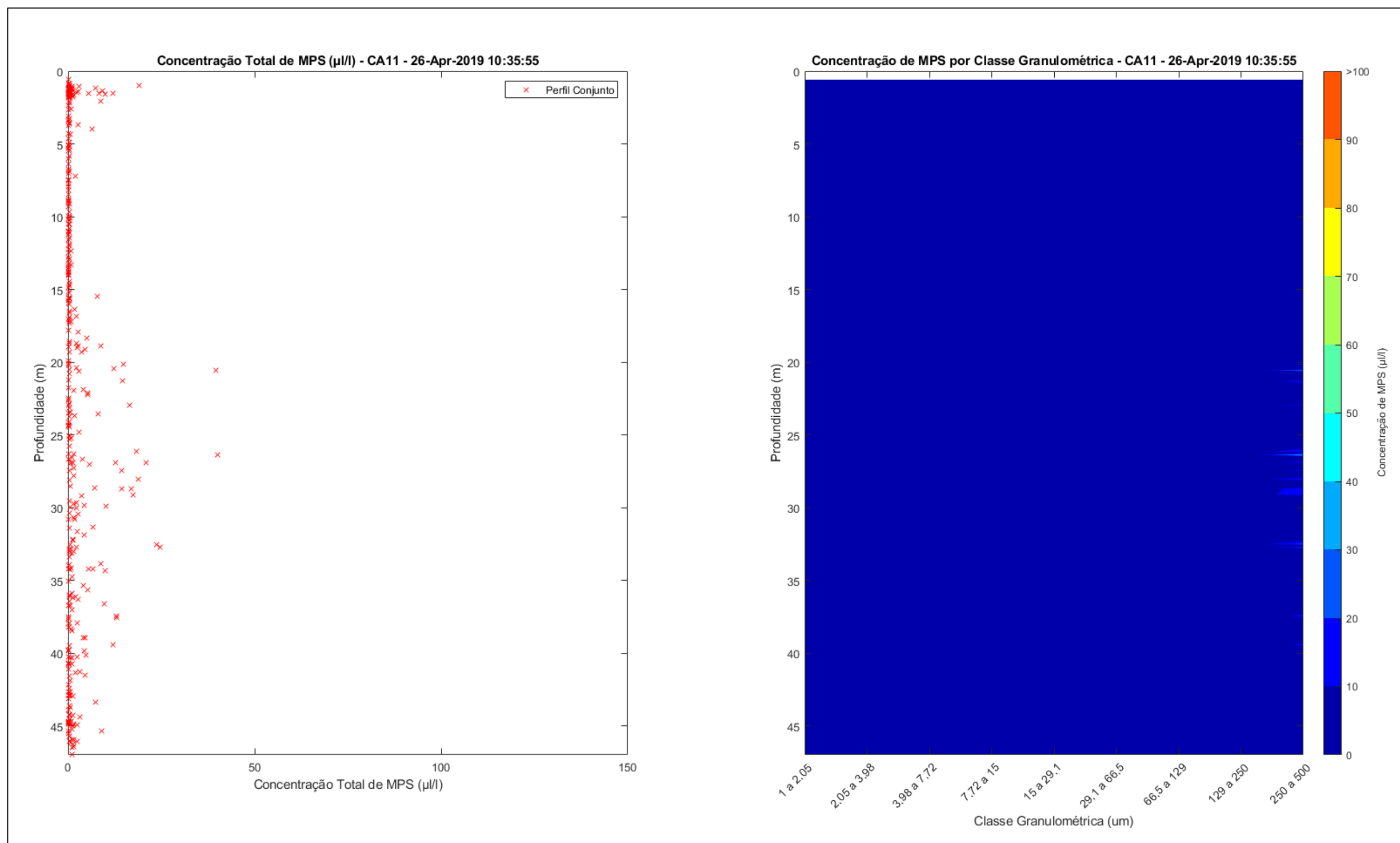


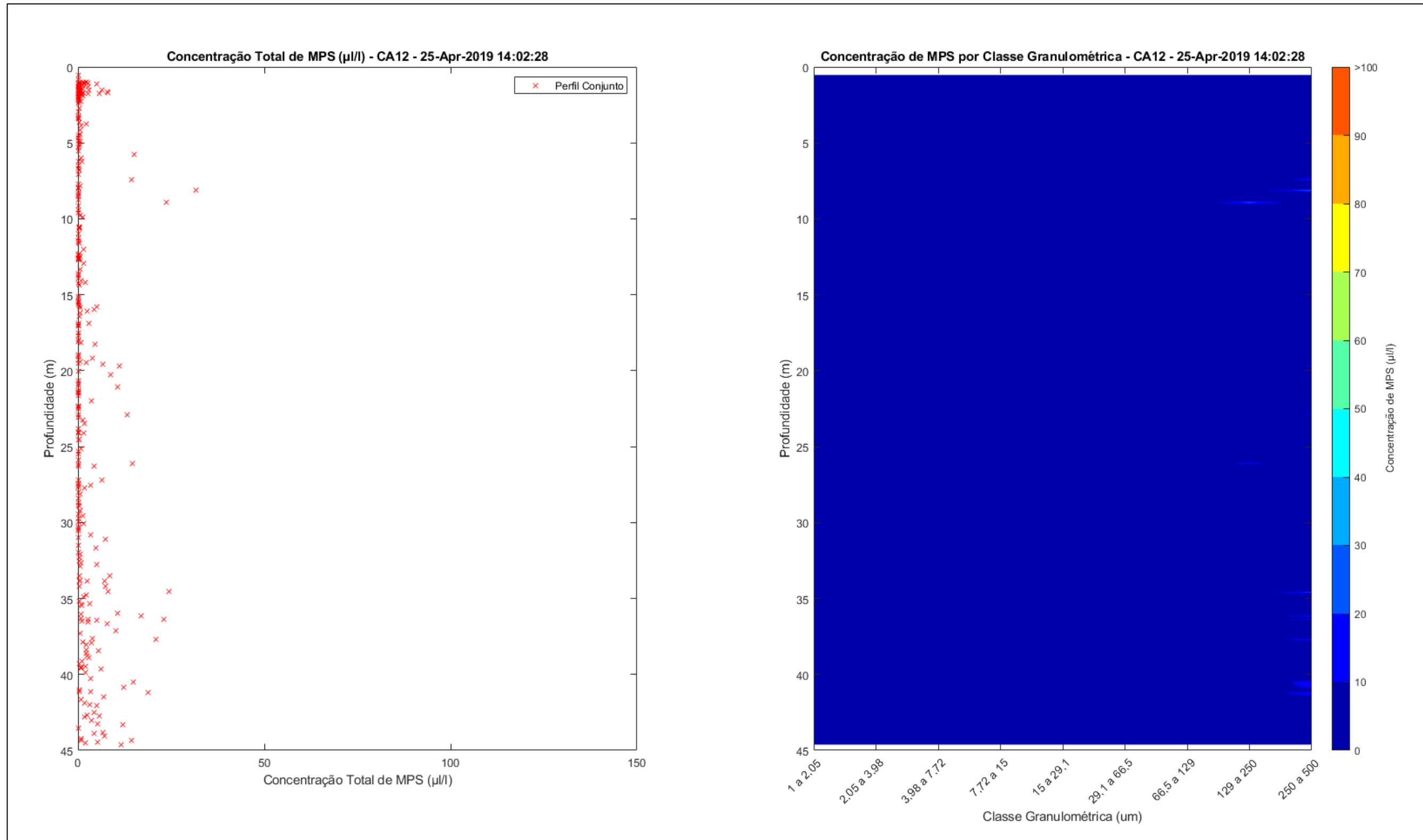


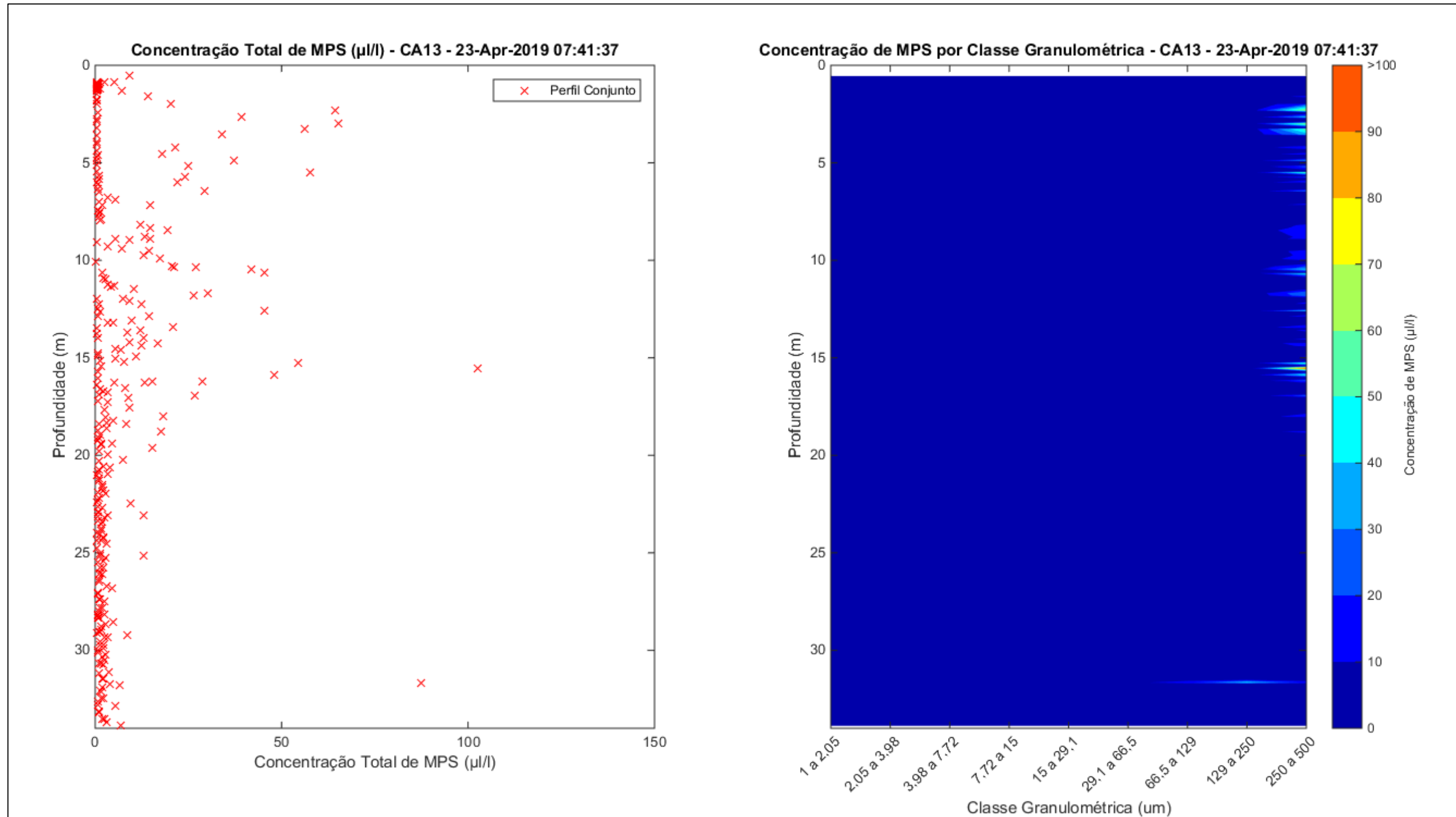


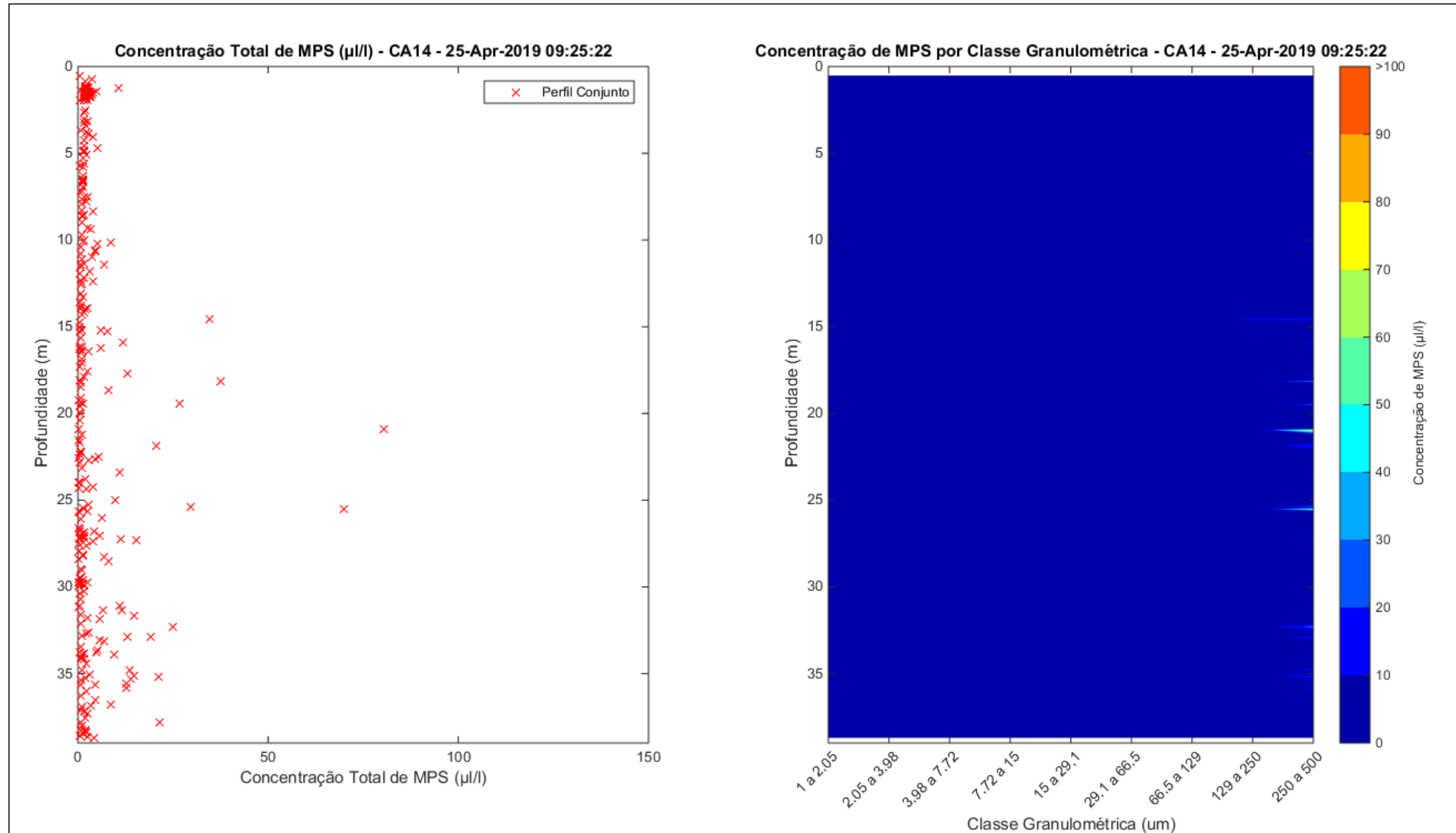


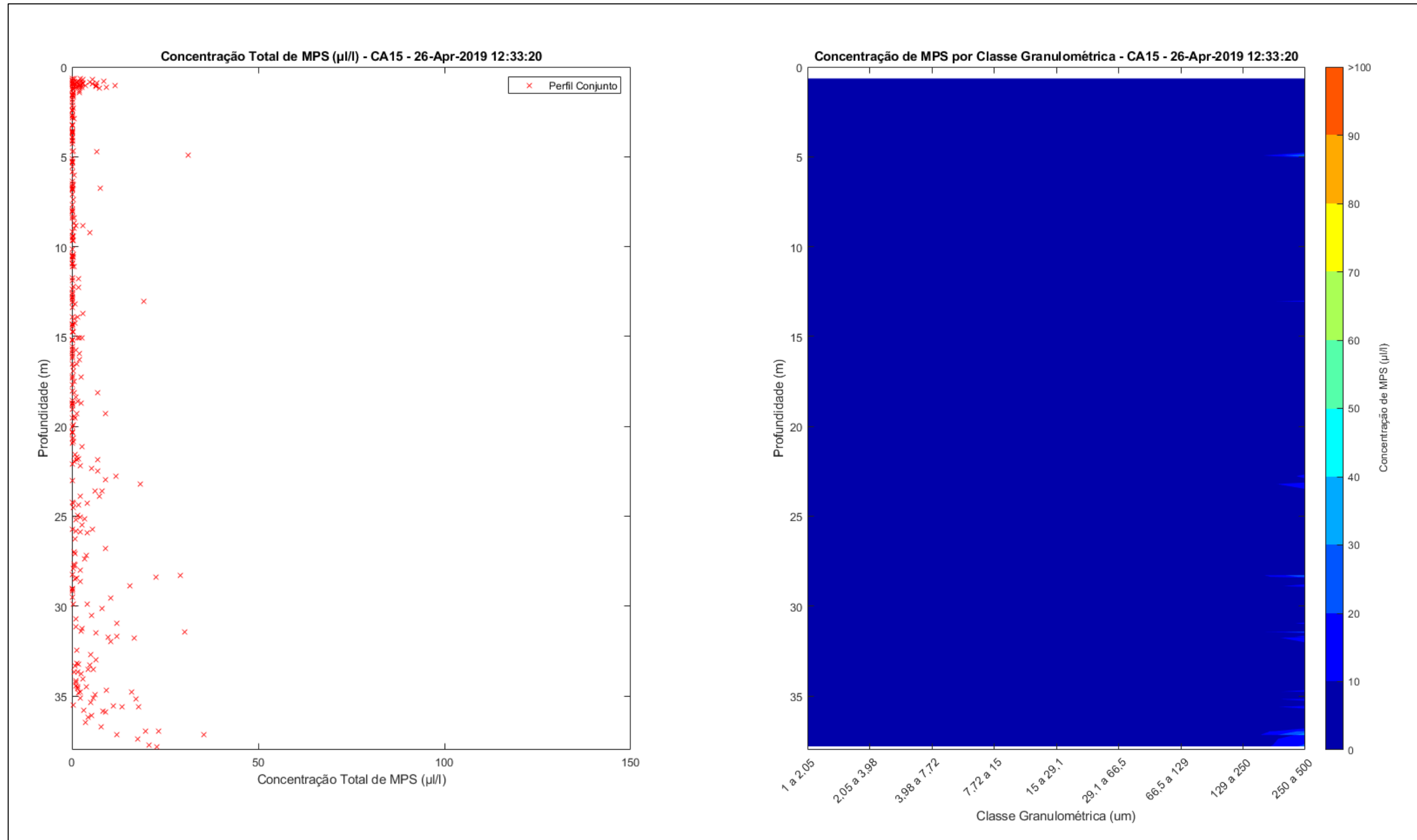


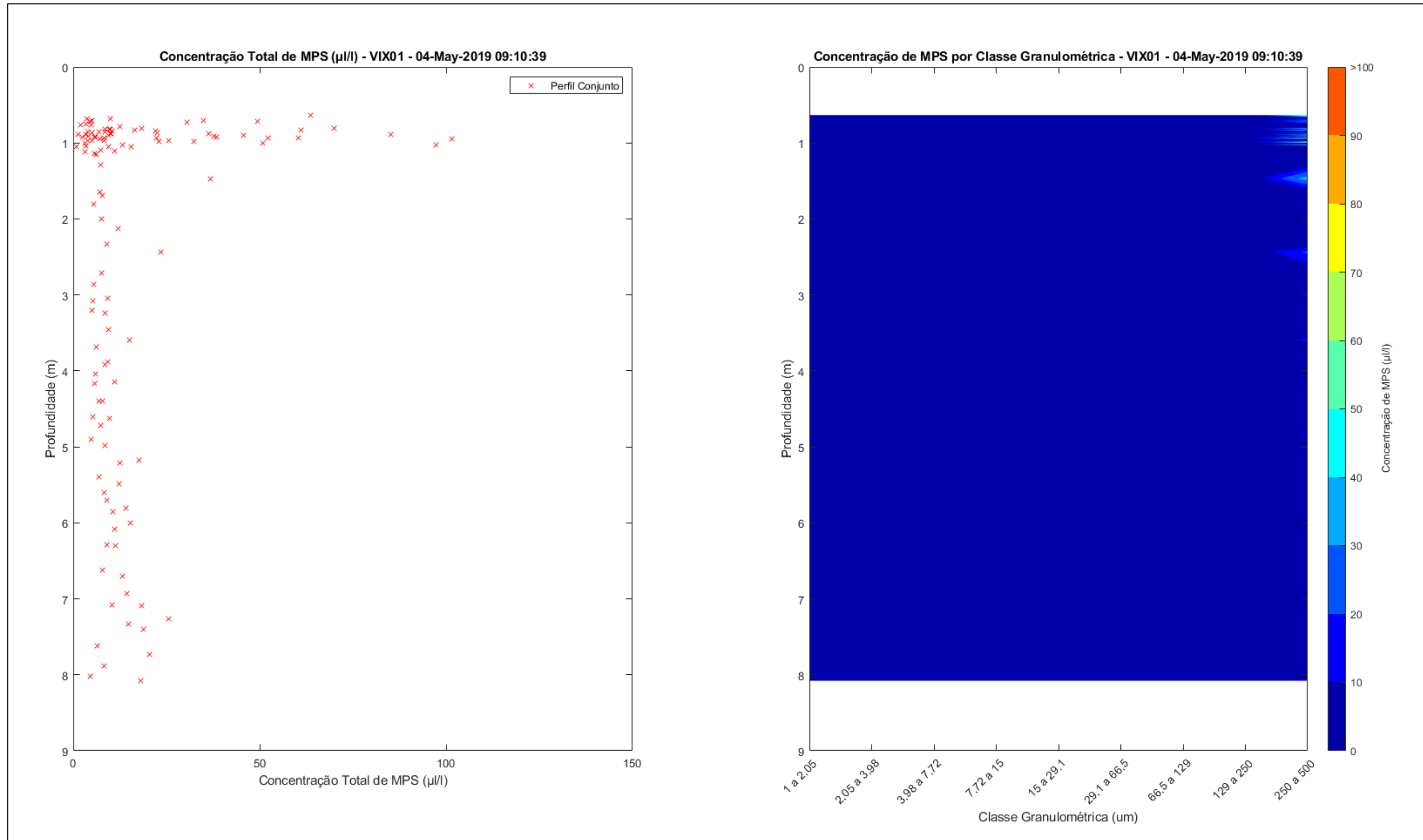


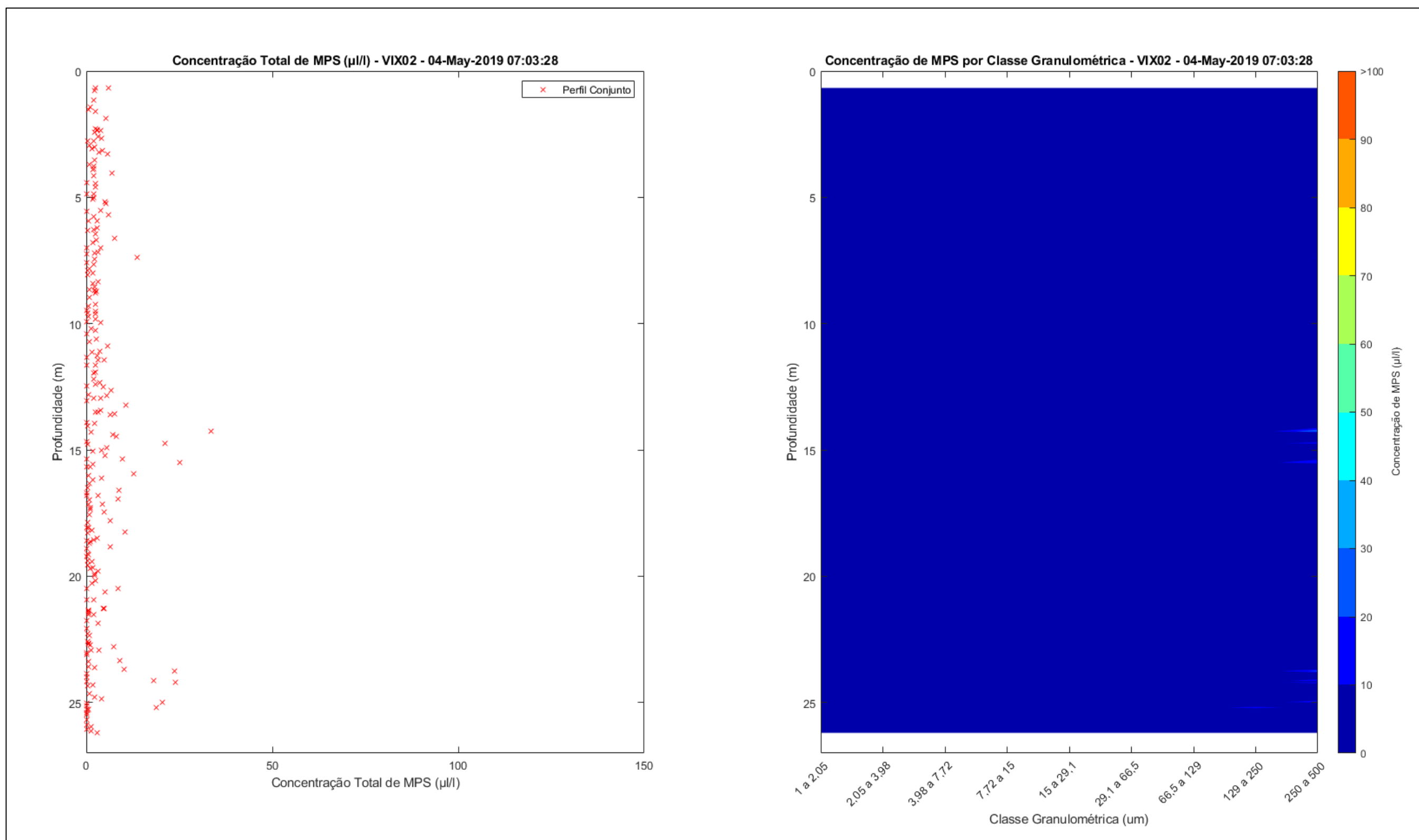


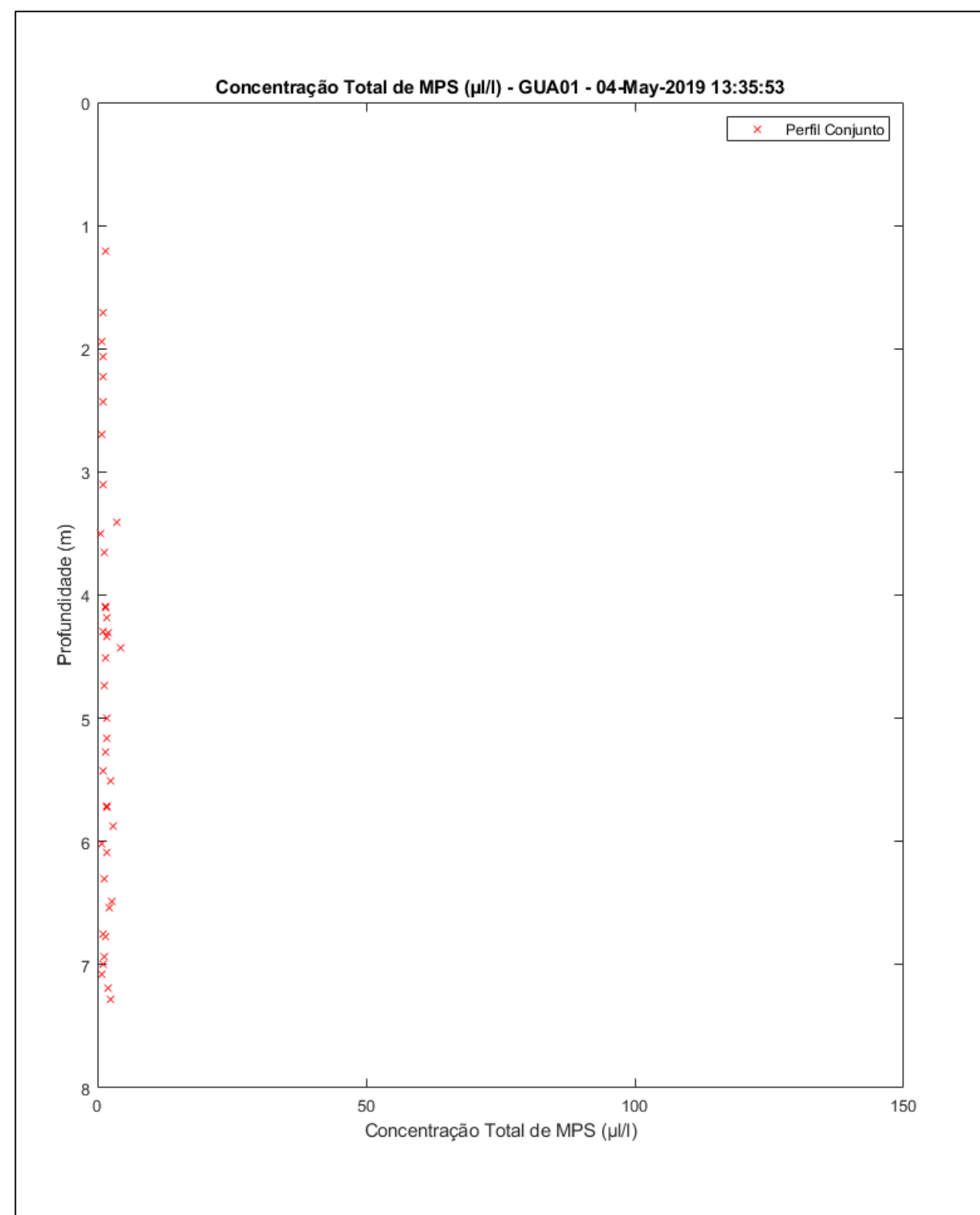


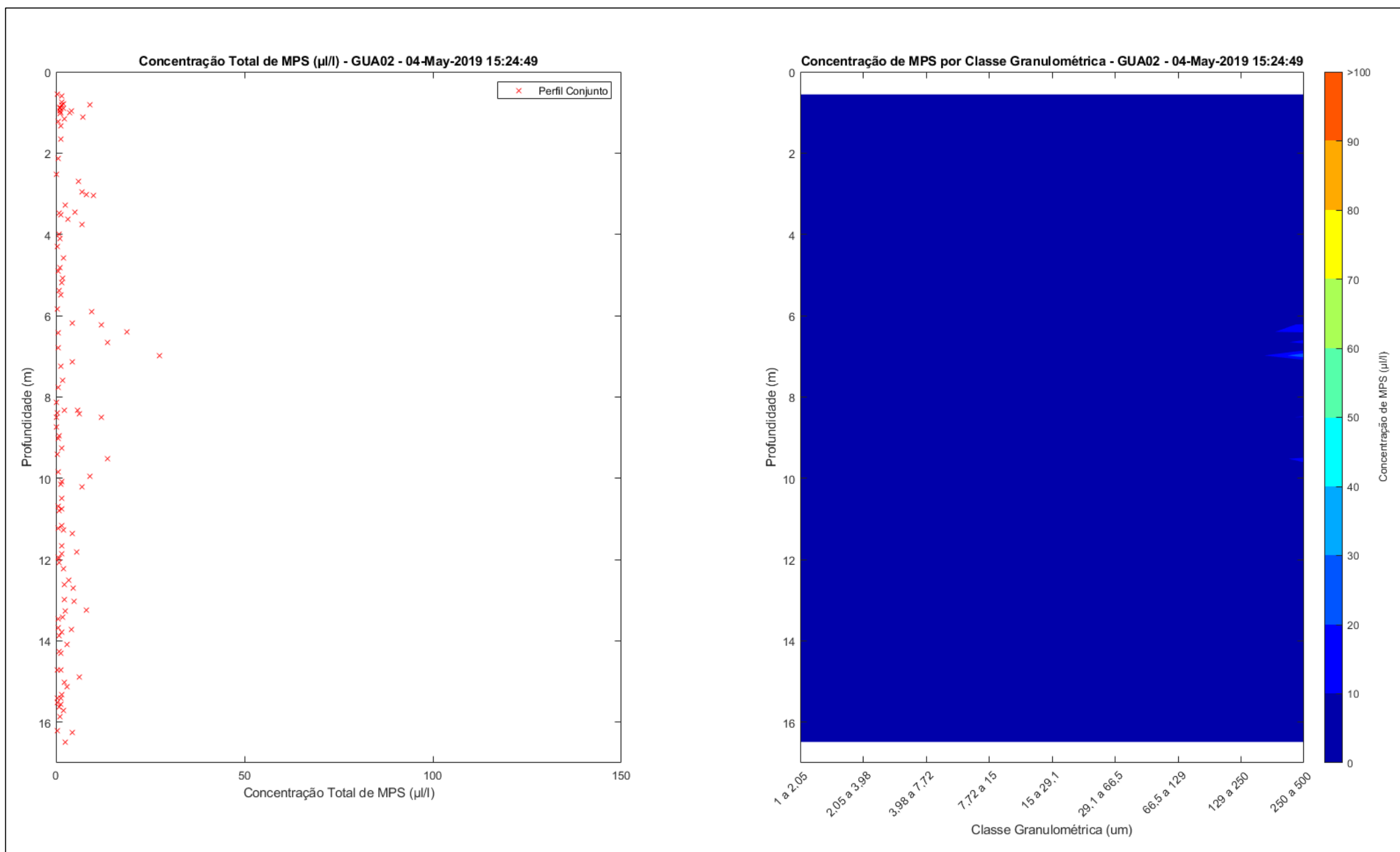




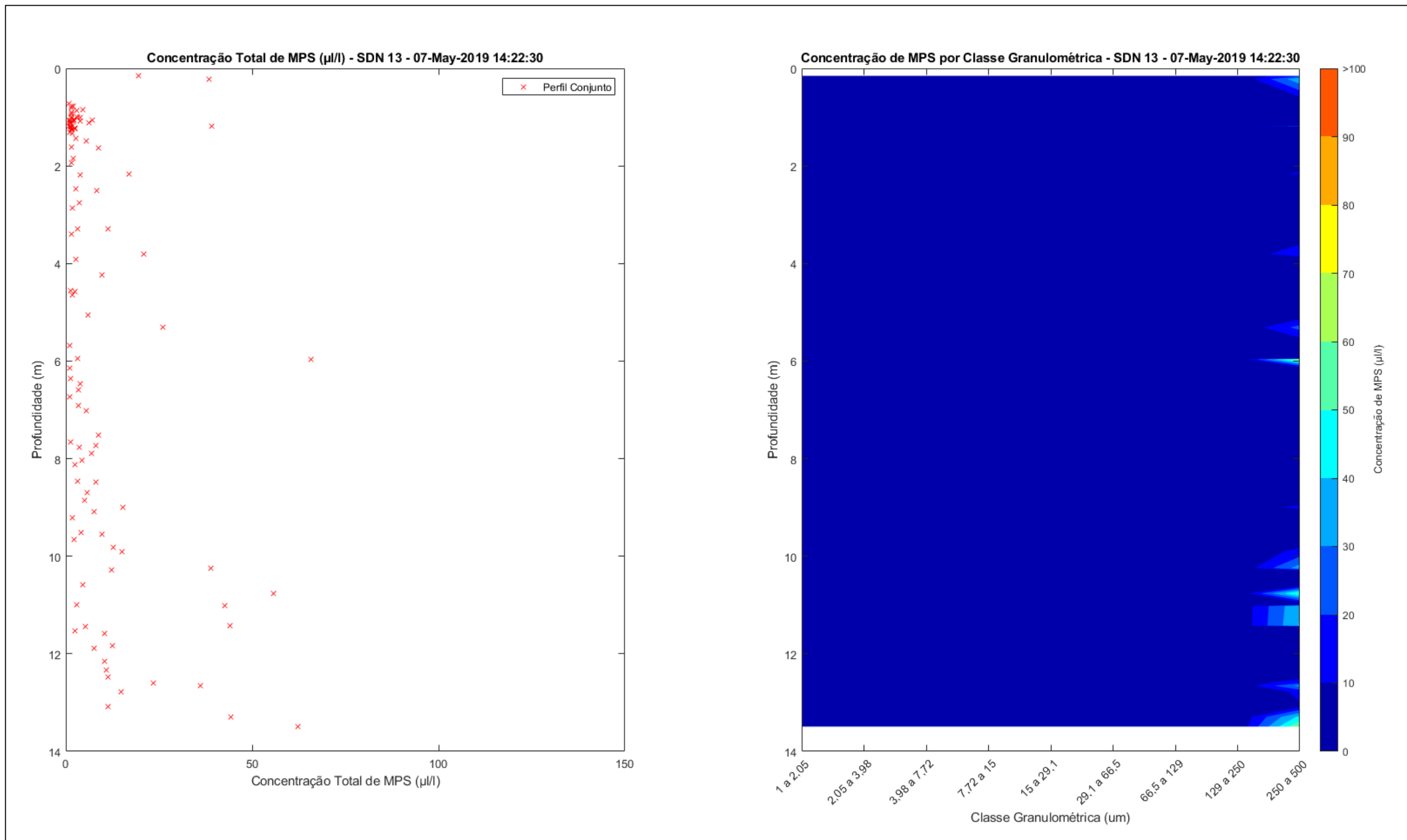


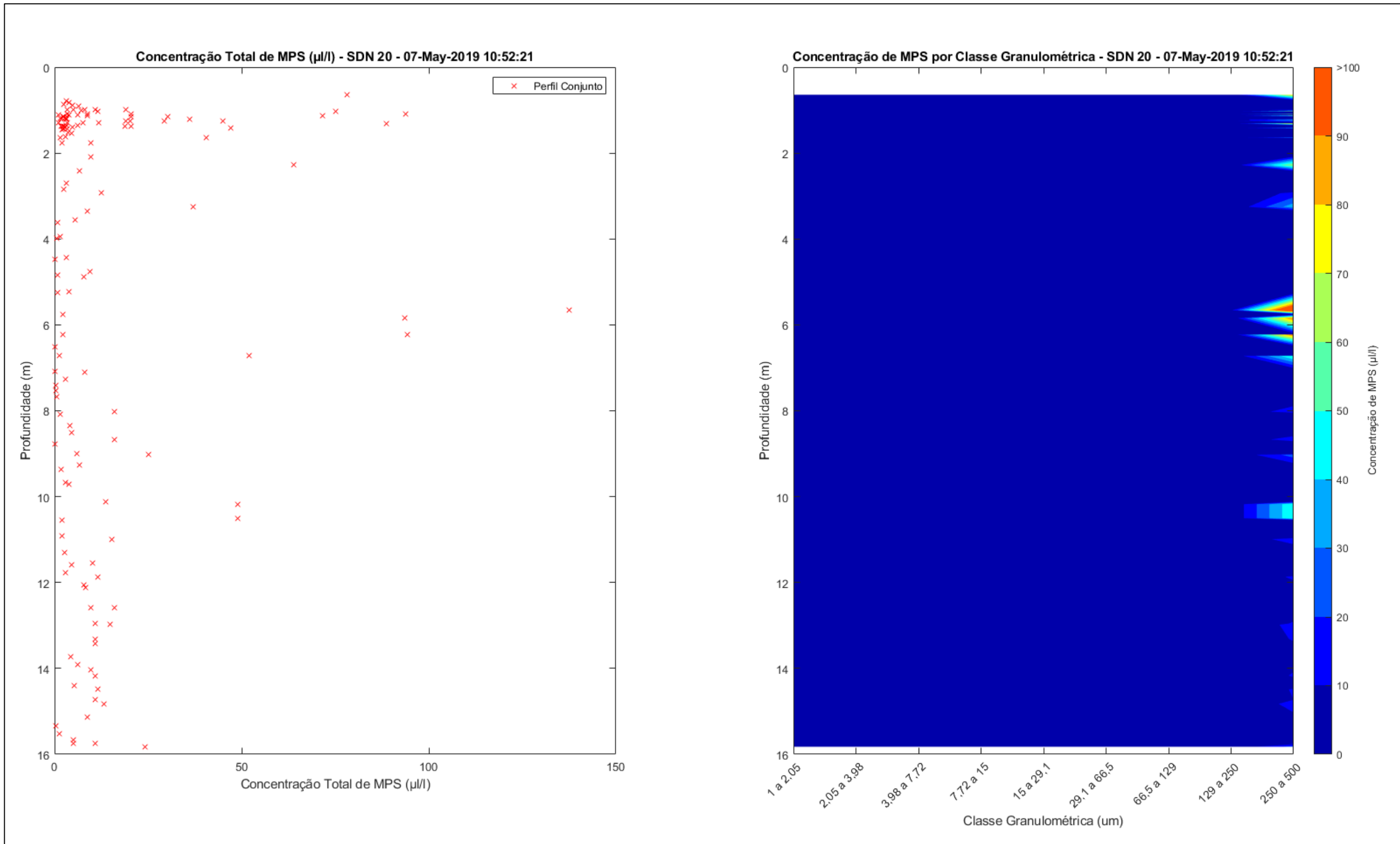


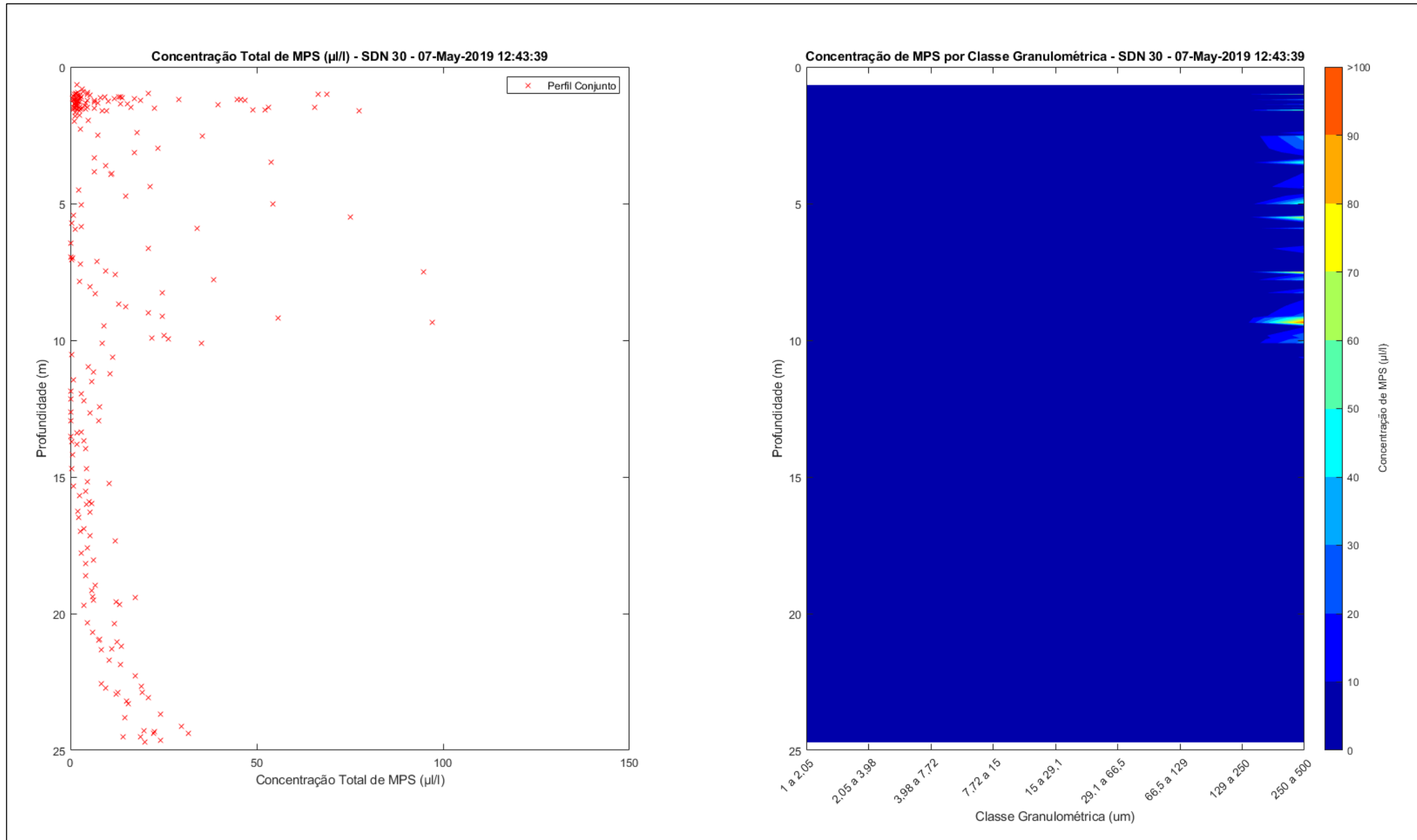


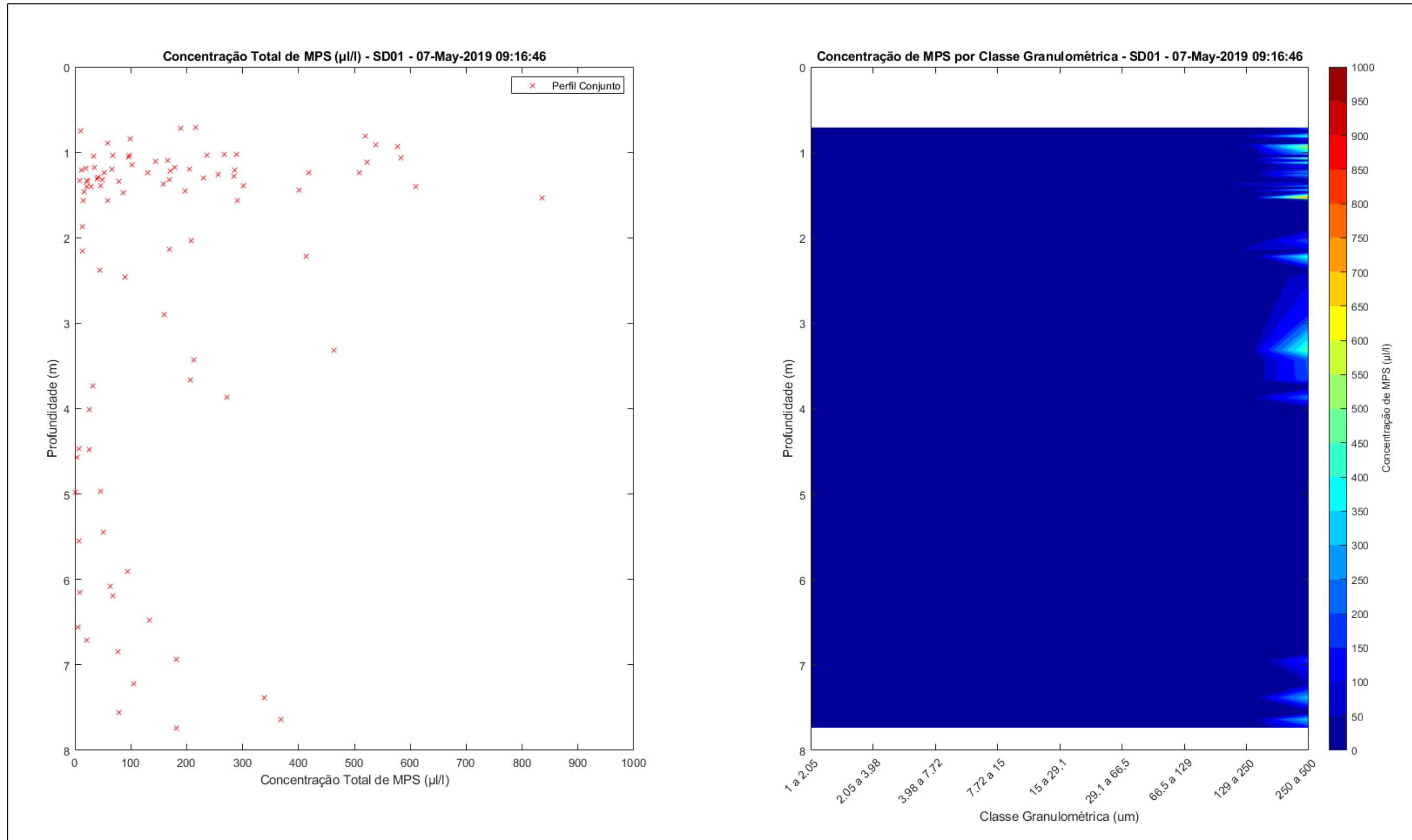


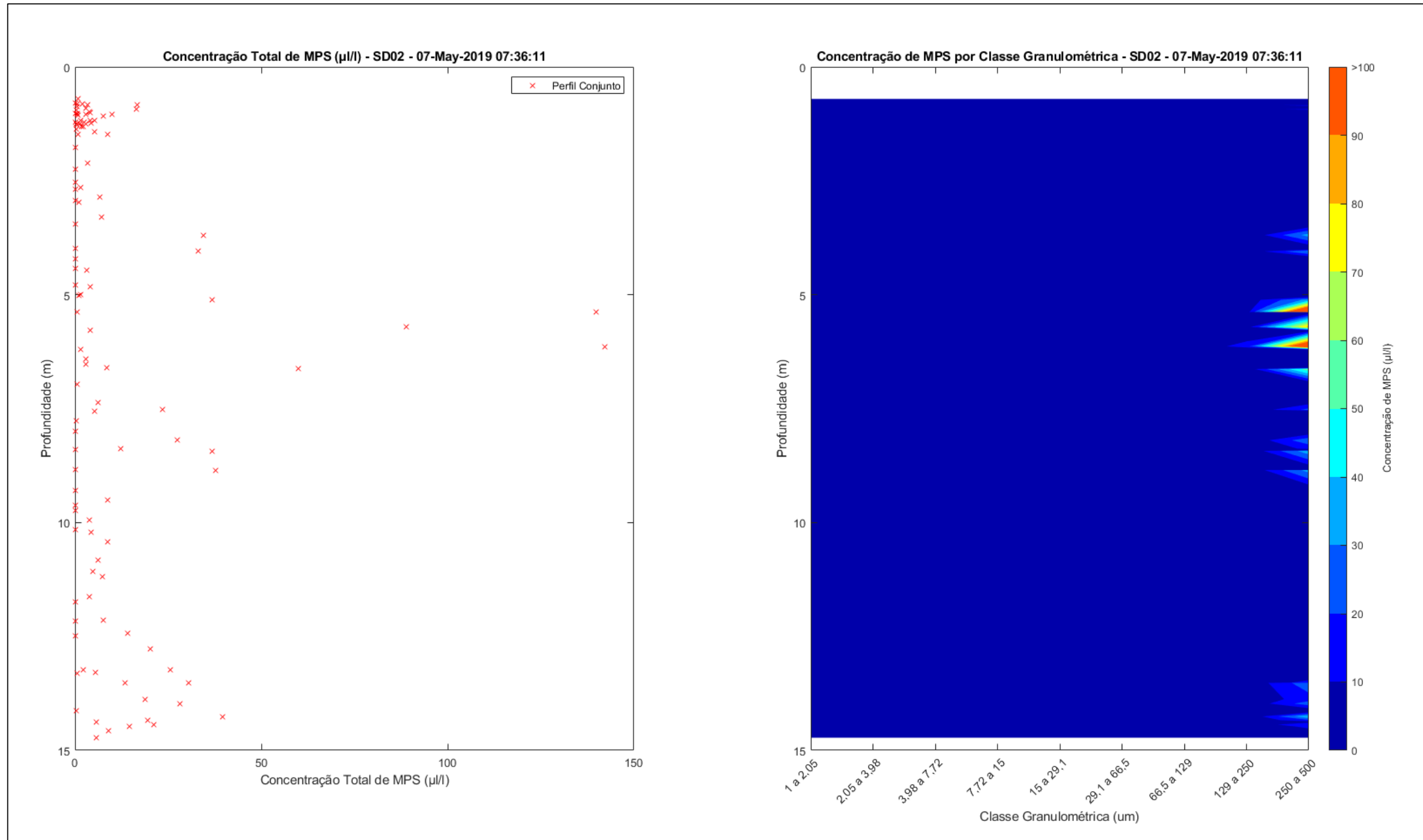
Apêndice 8: Perfisagens realizadas pelo LISST na Campanha 8.

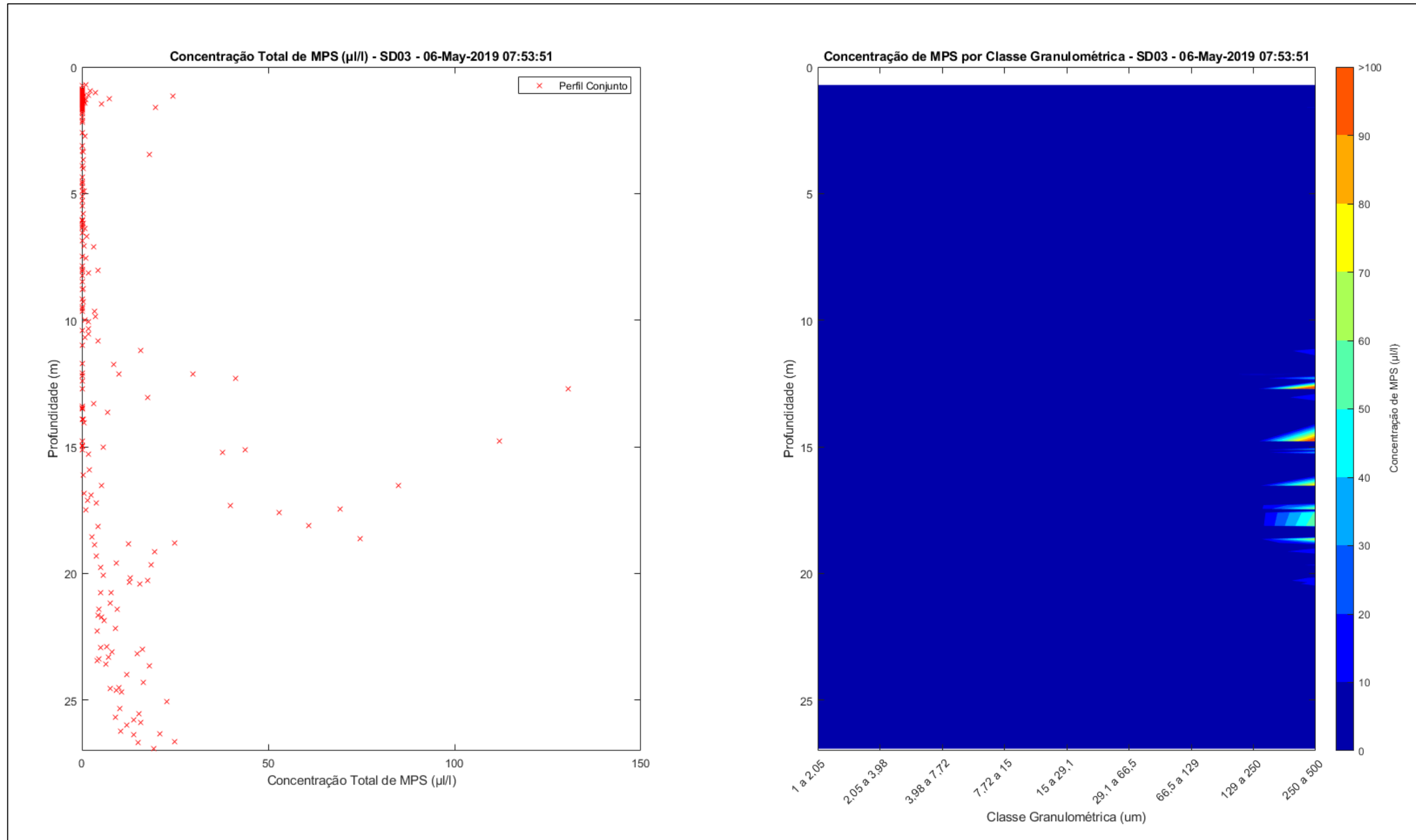


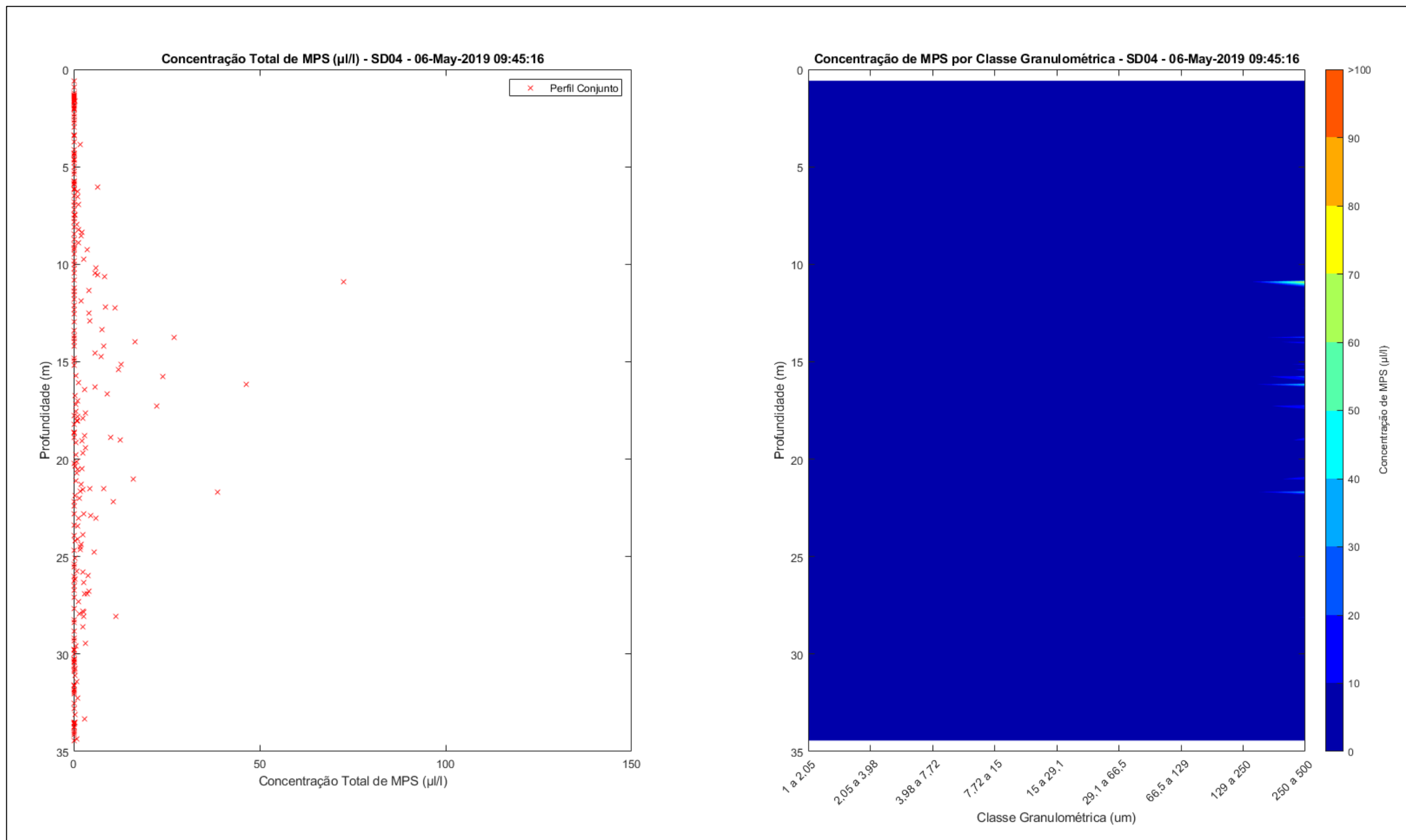


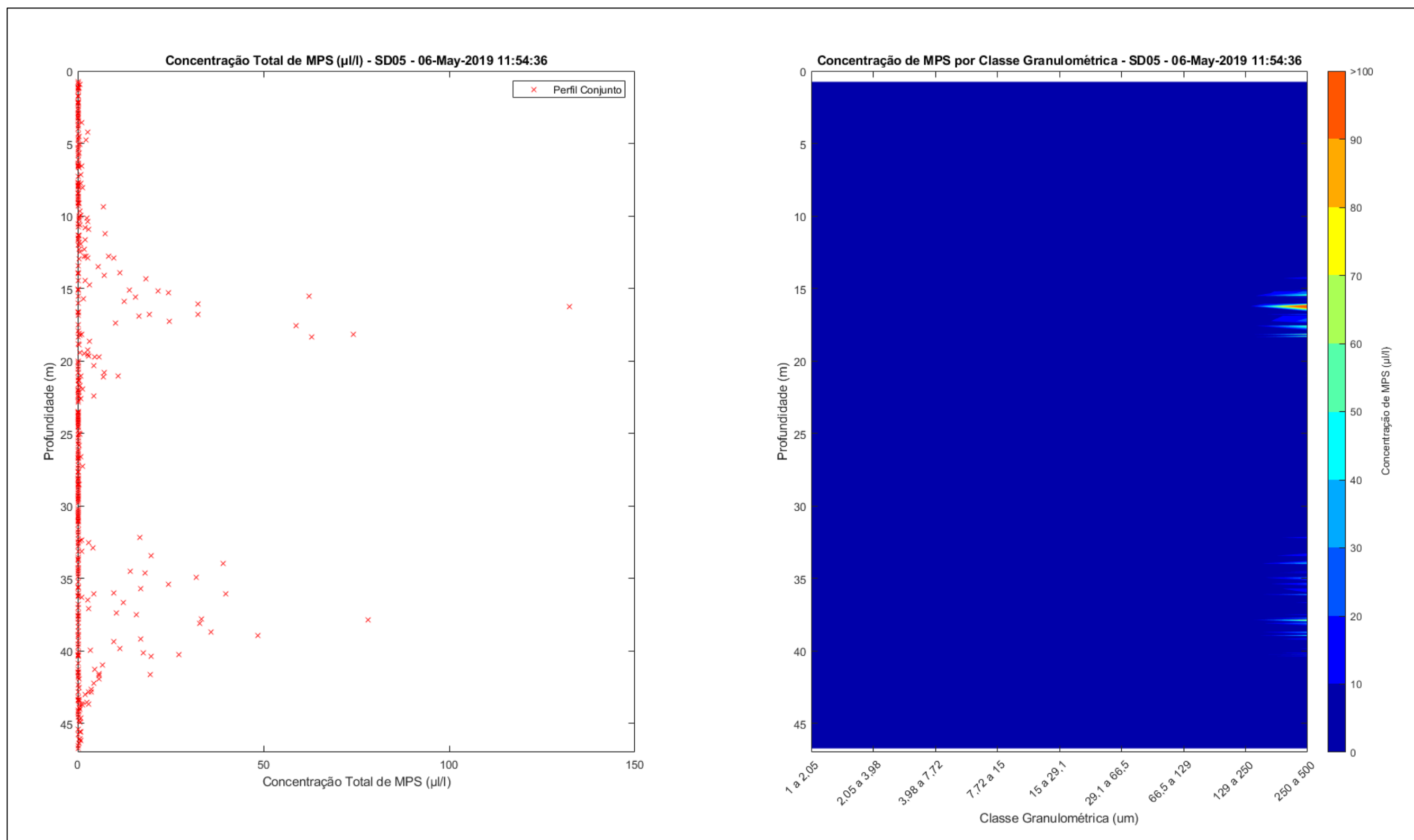


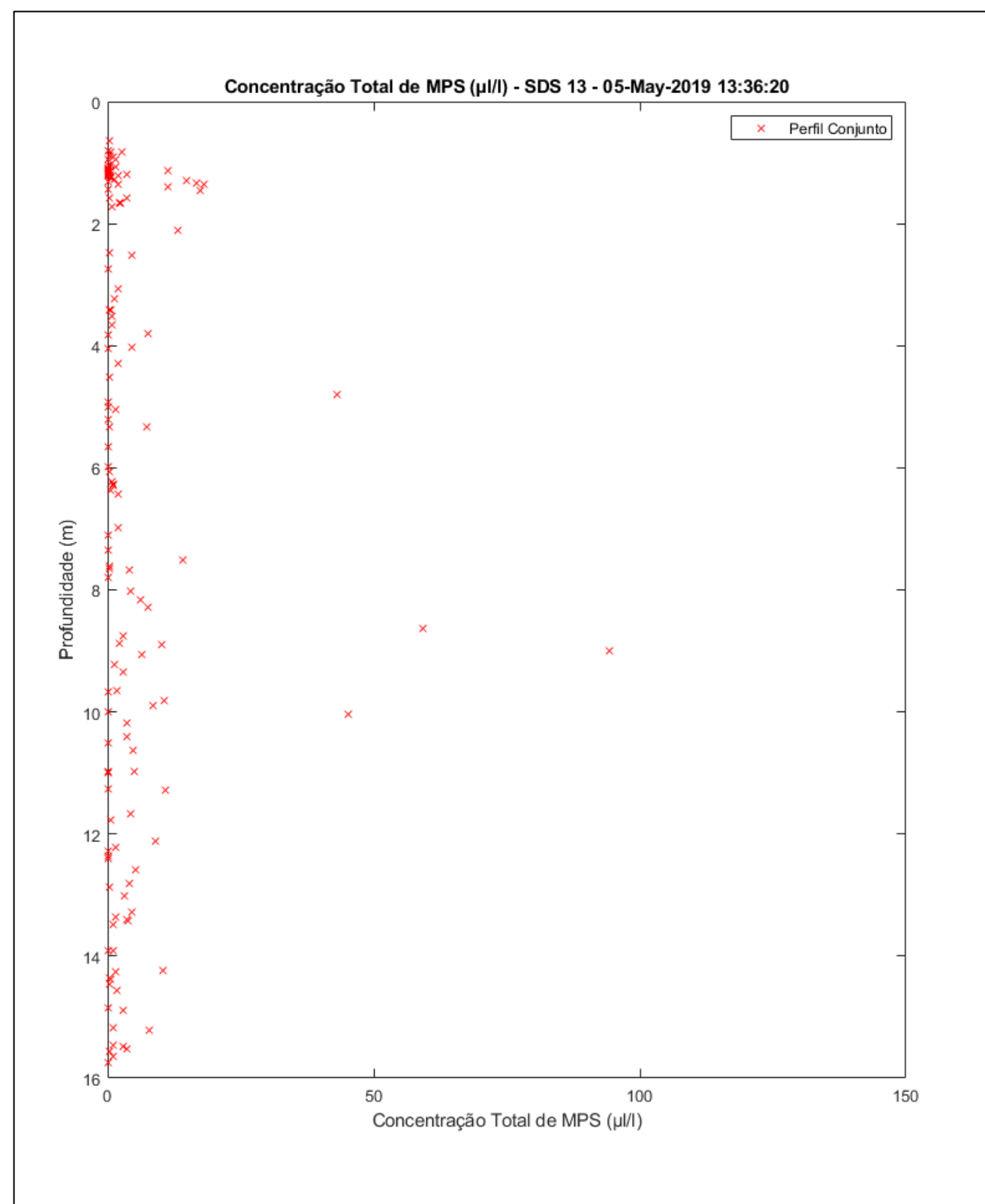


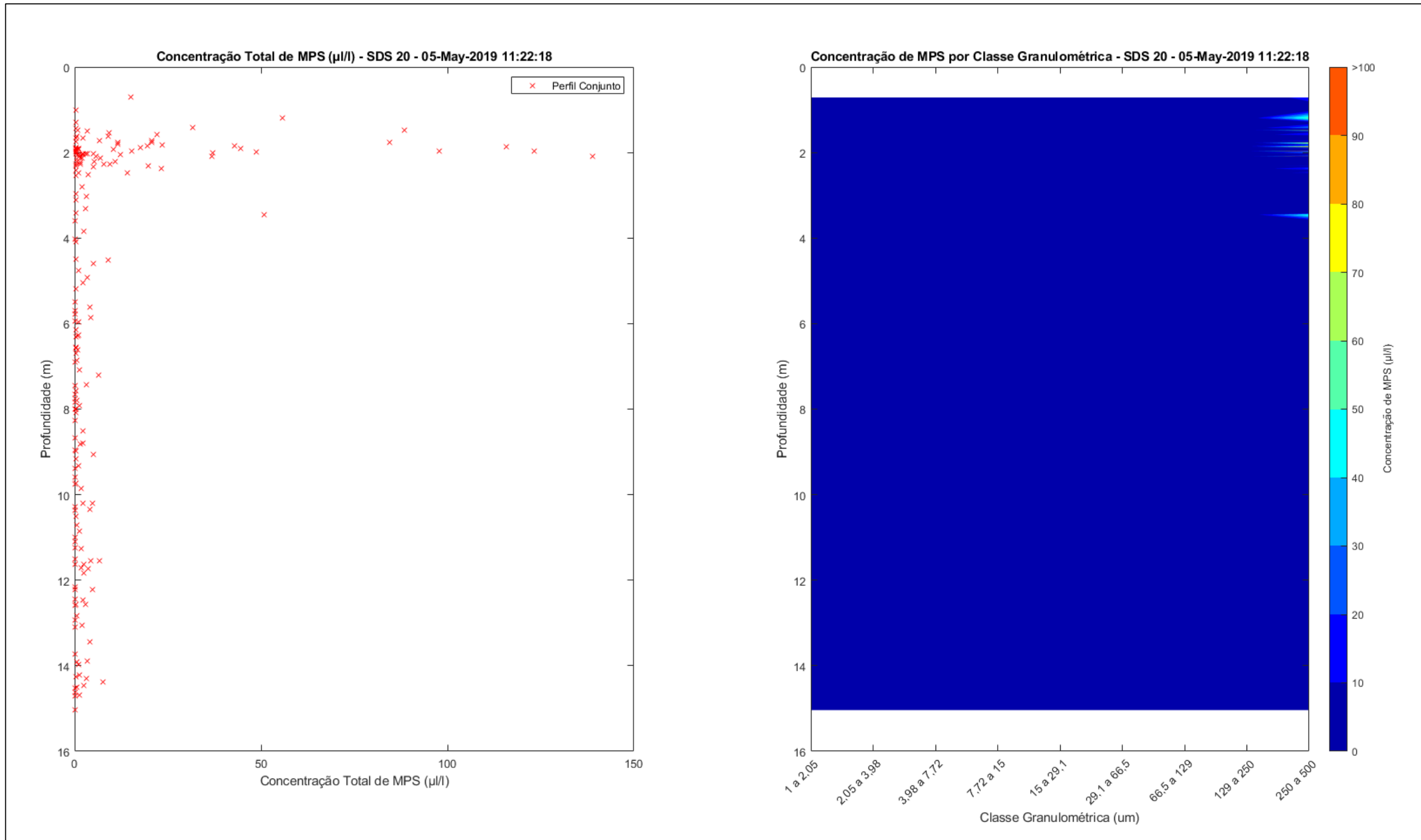


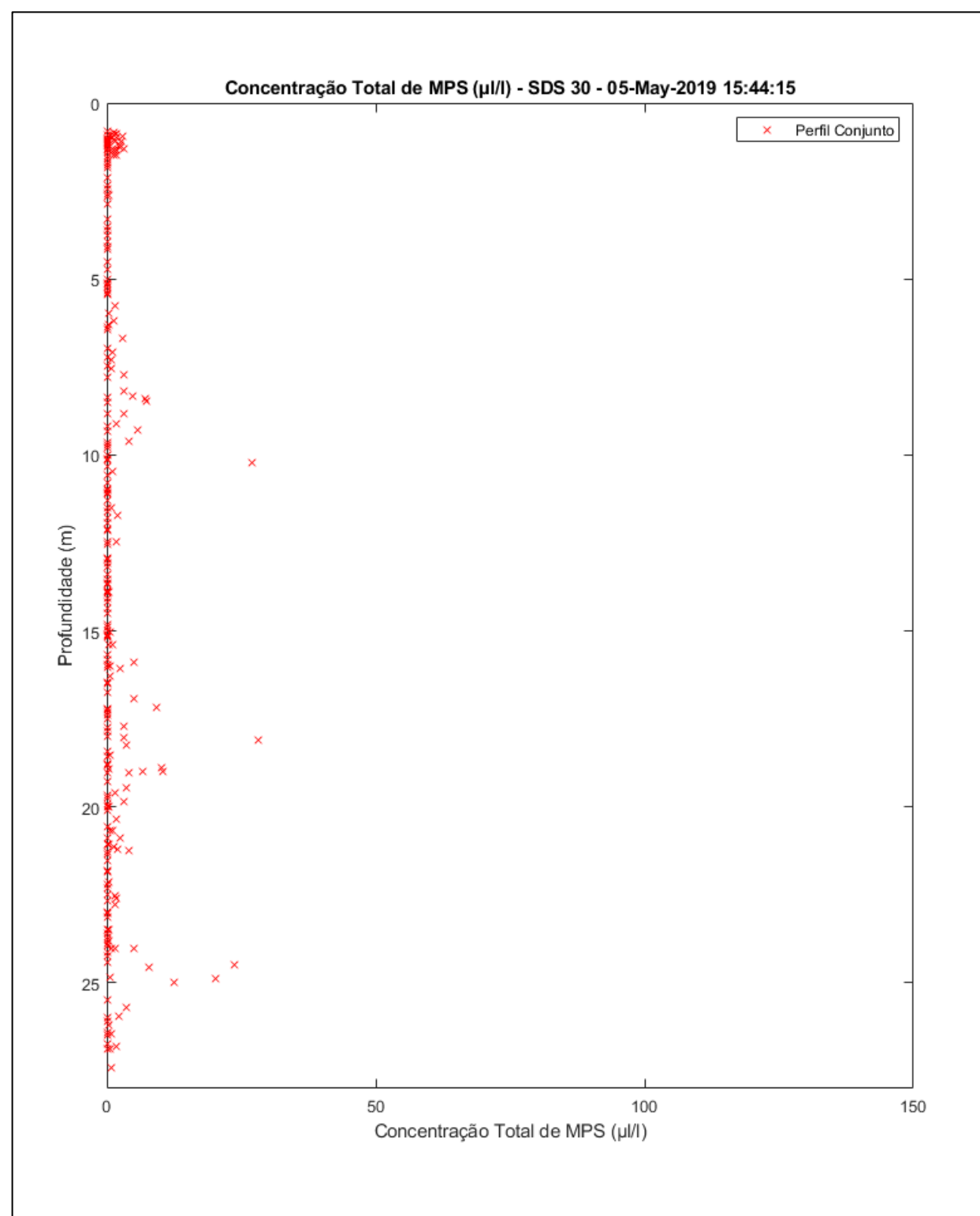




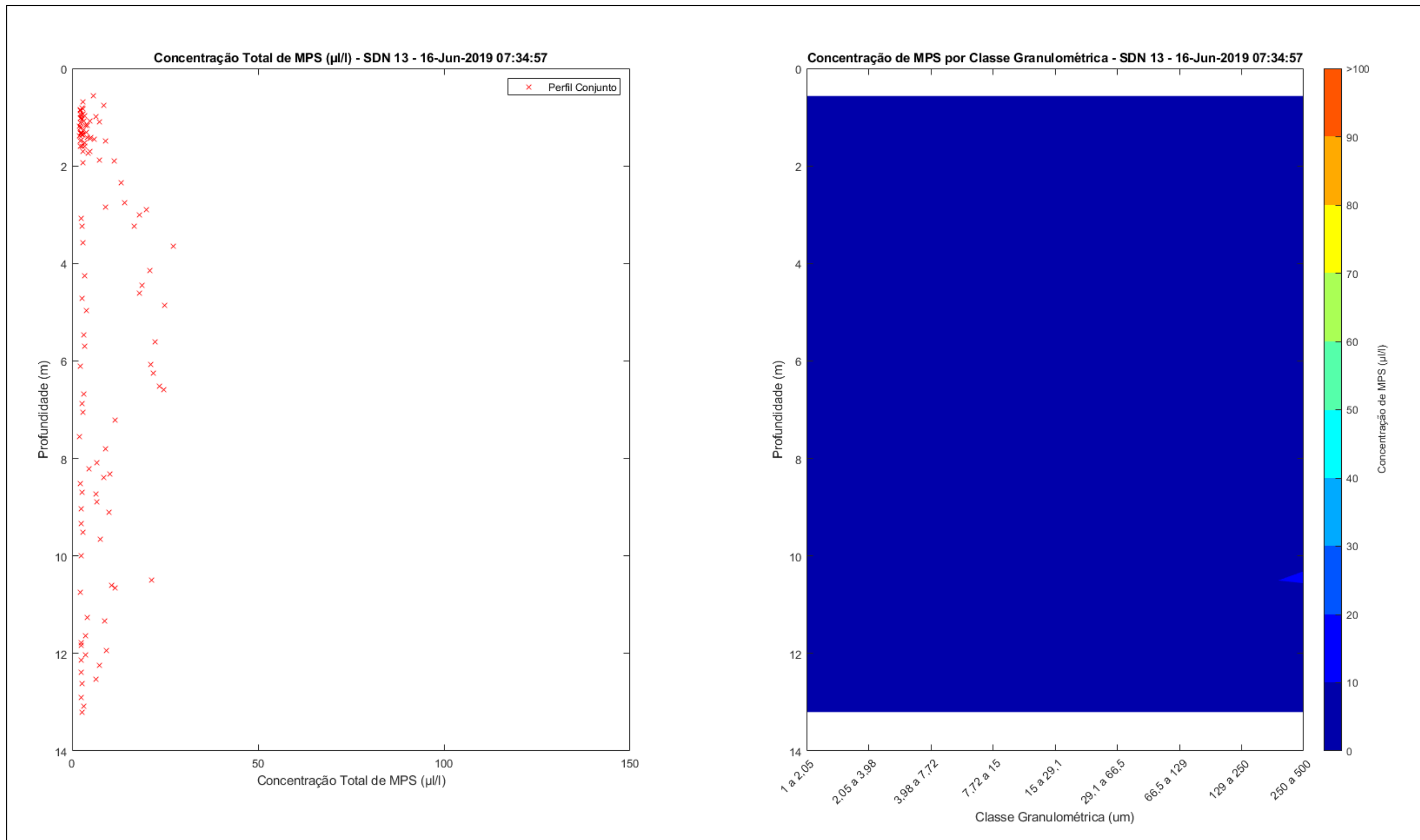


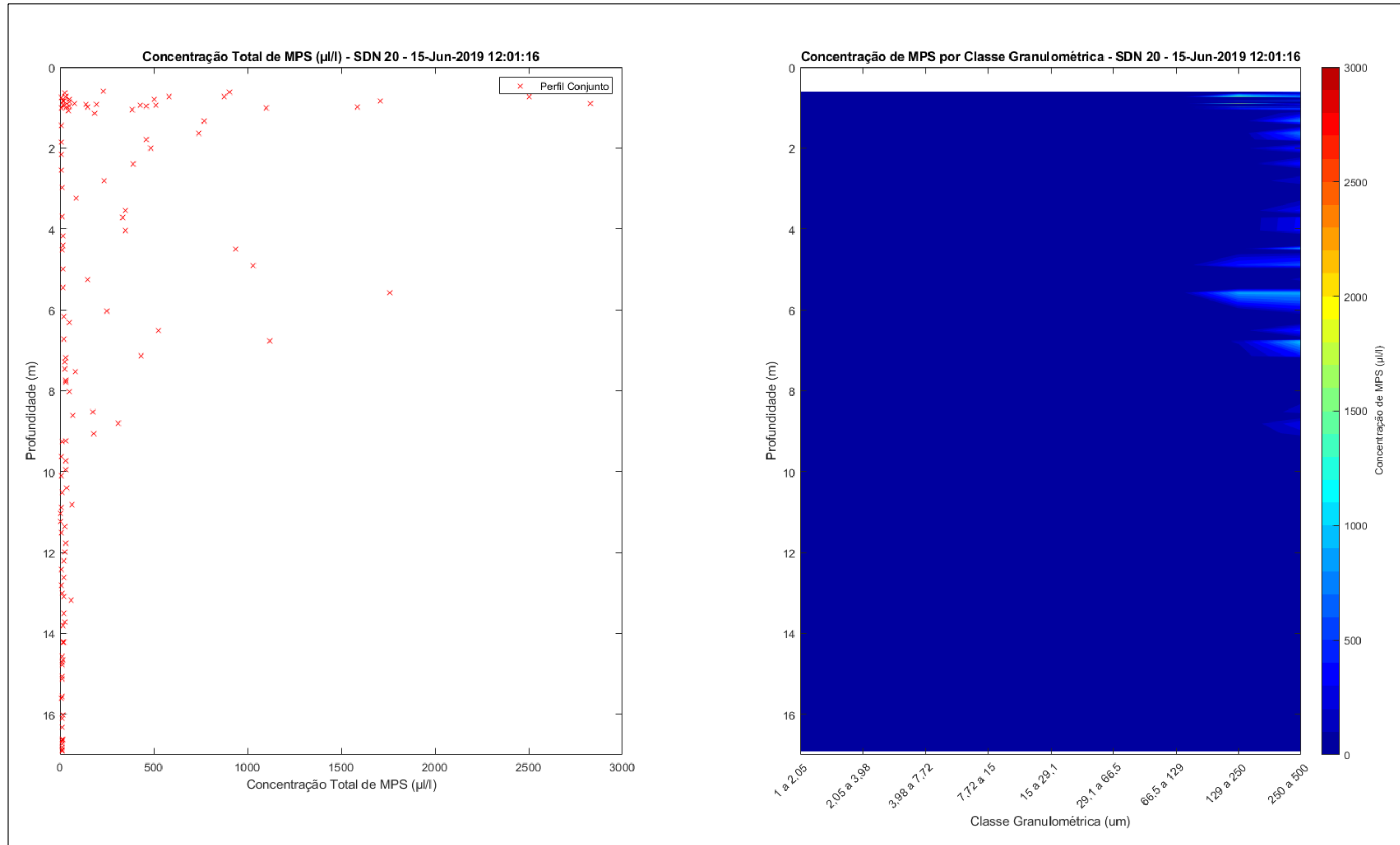


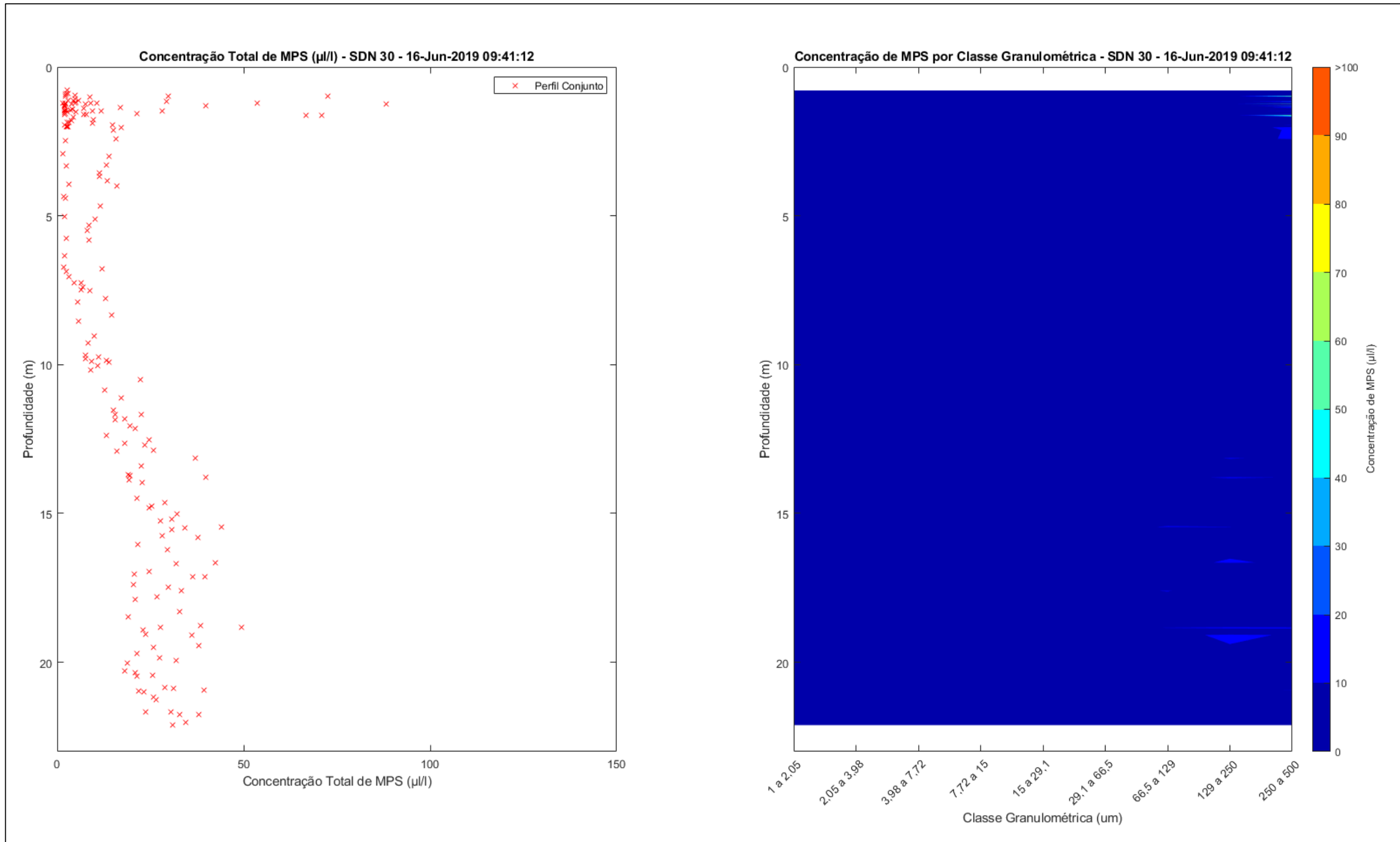


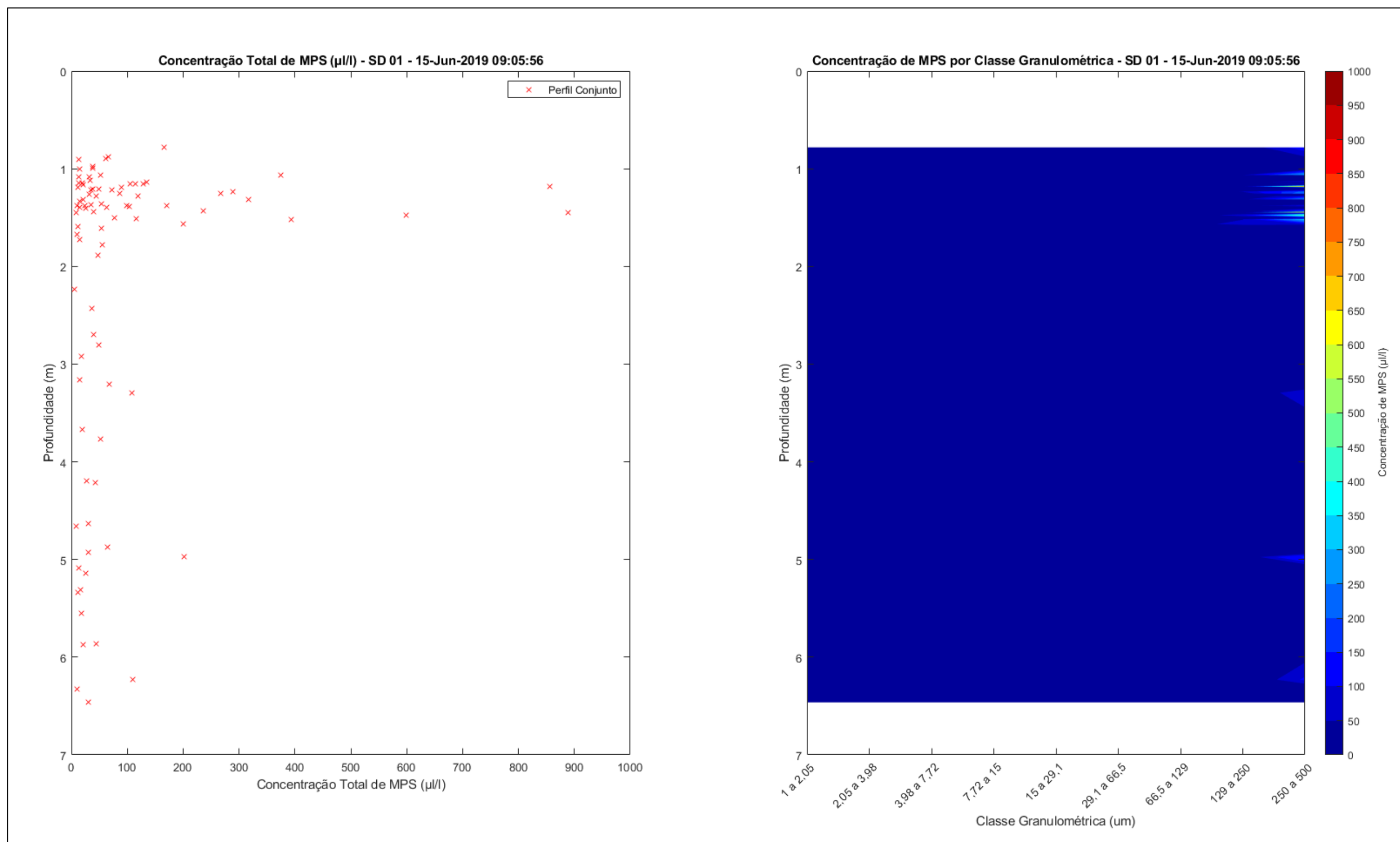


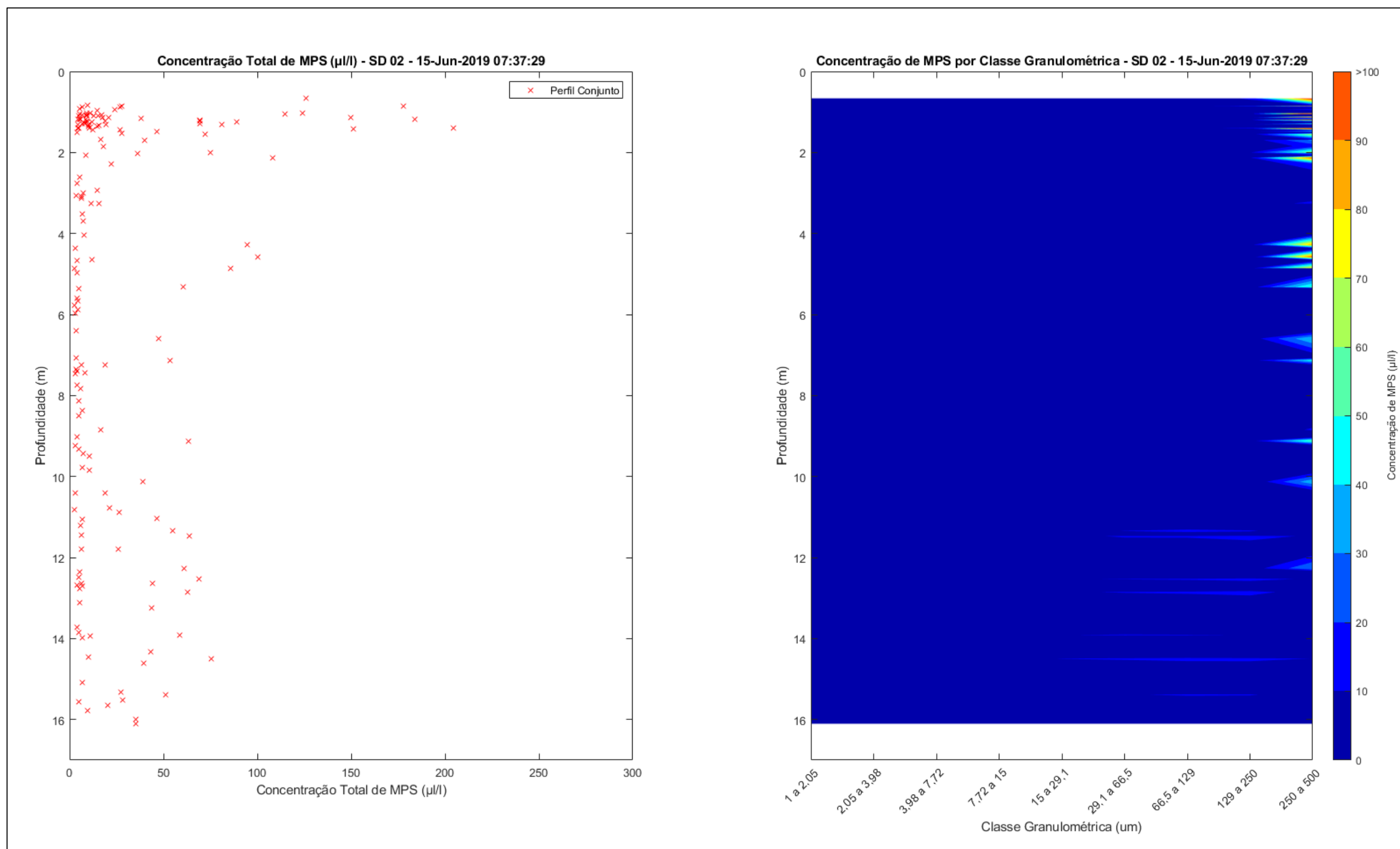
Apêndice 9: Perfilagens realizadas pelo LISST na Campanha 9.

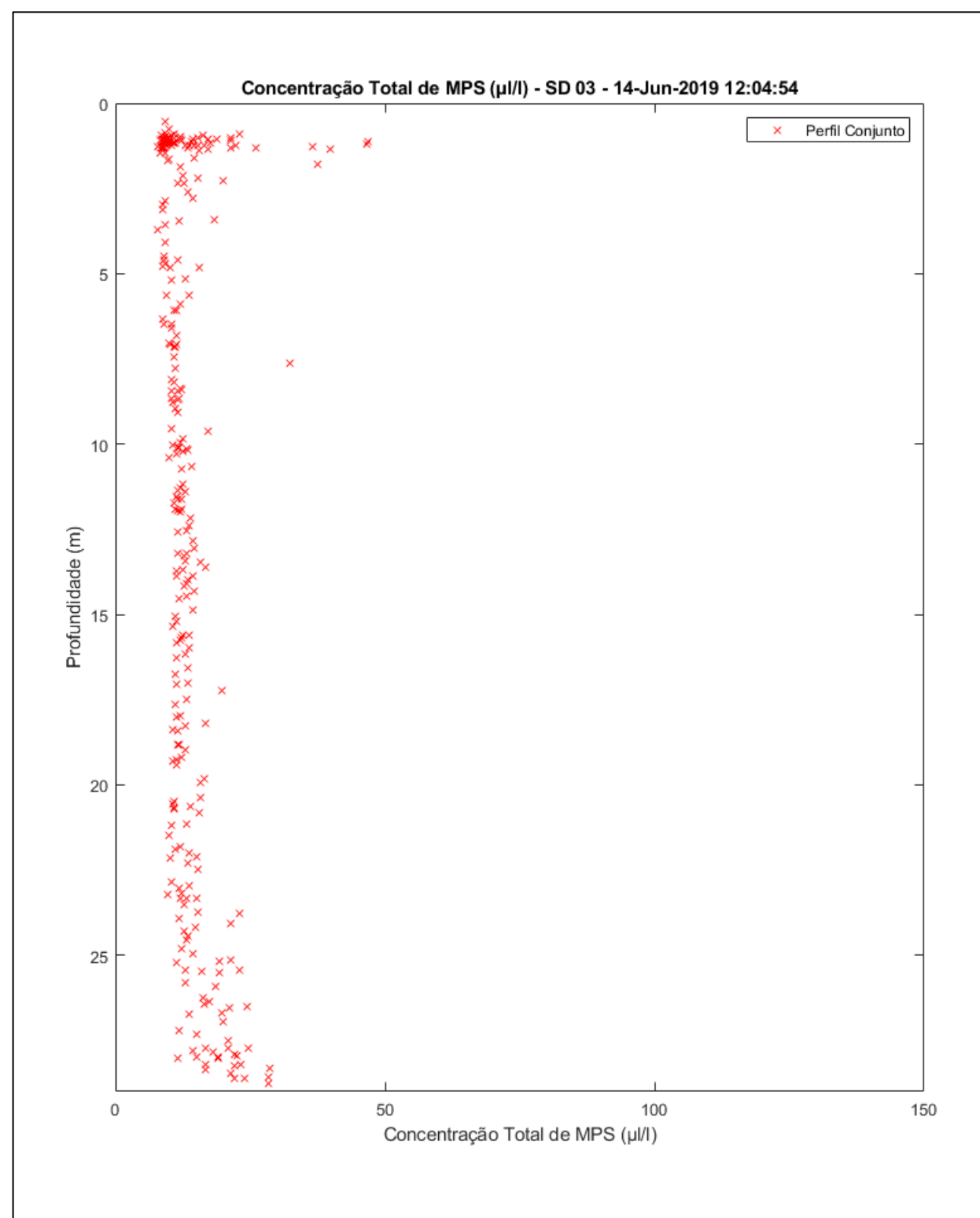


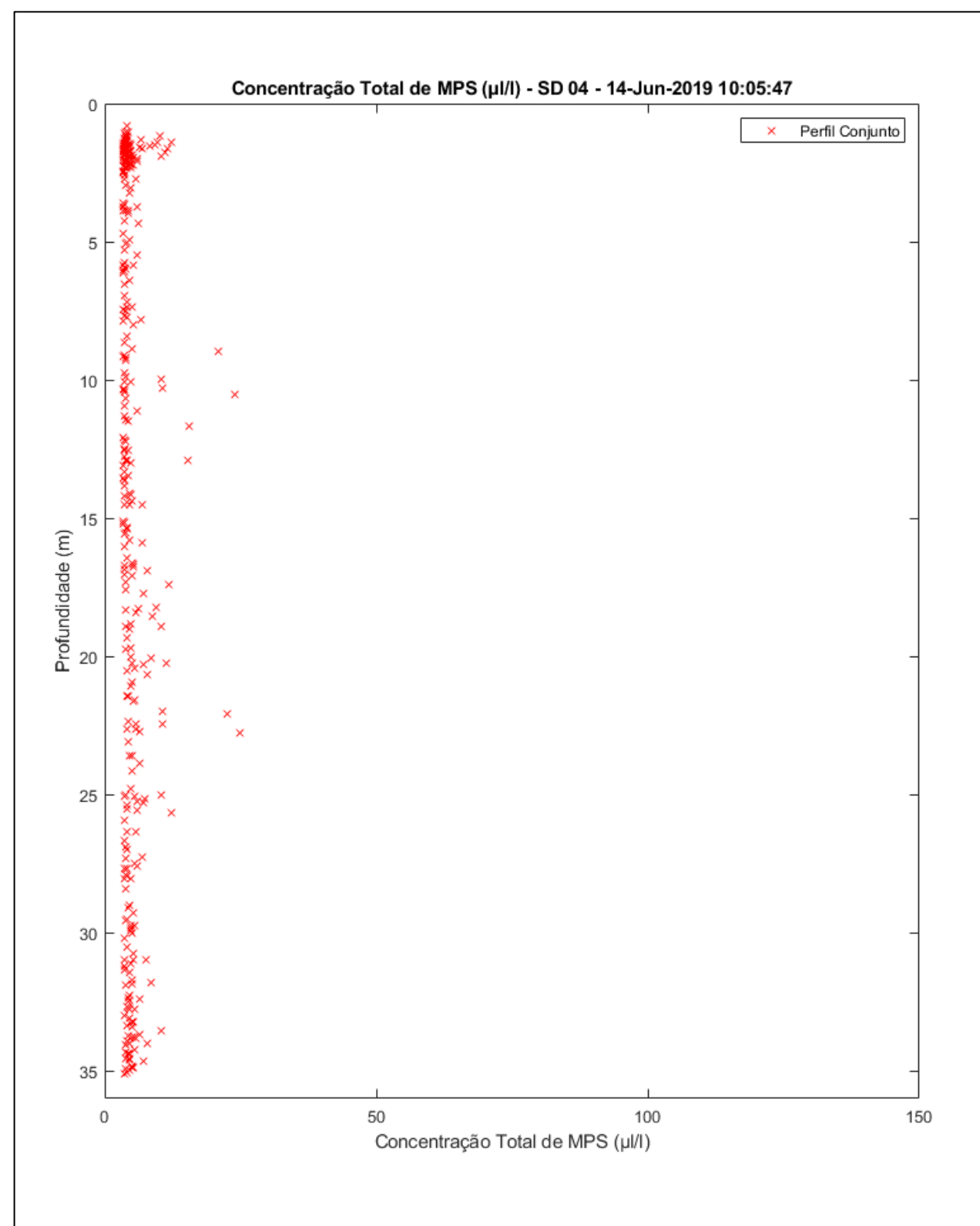


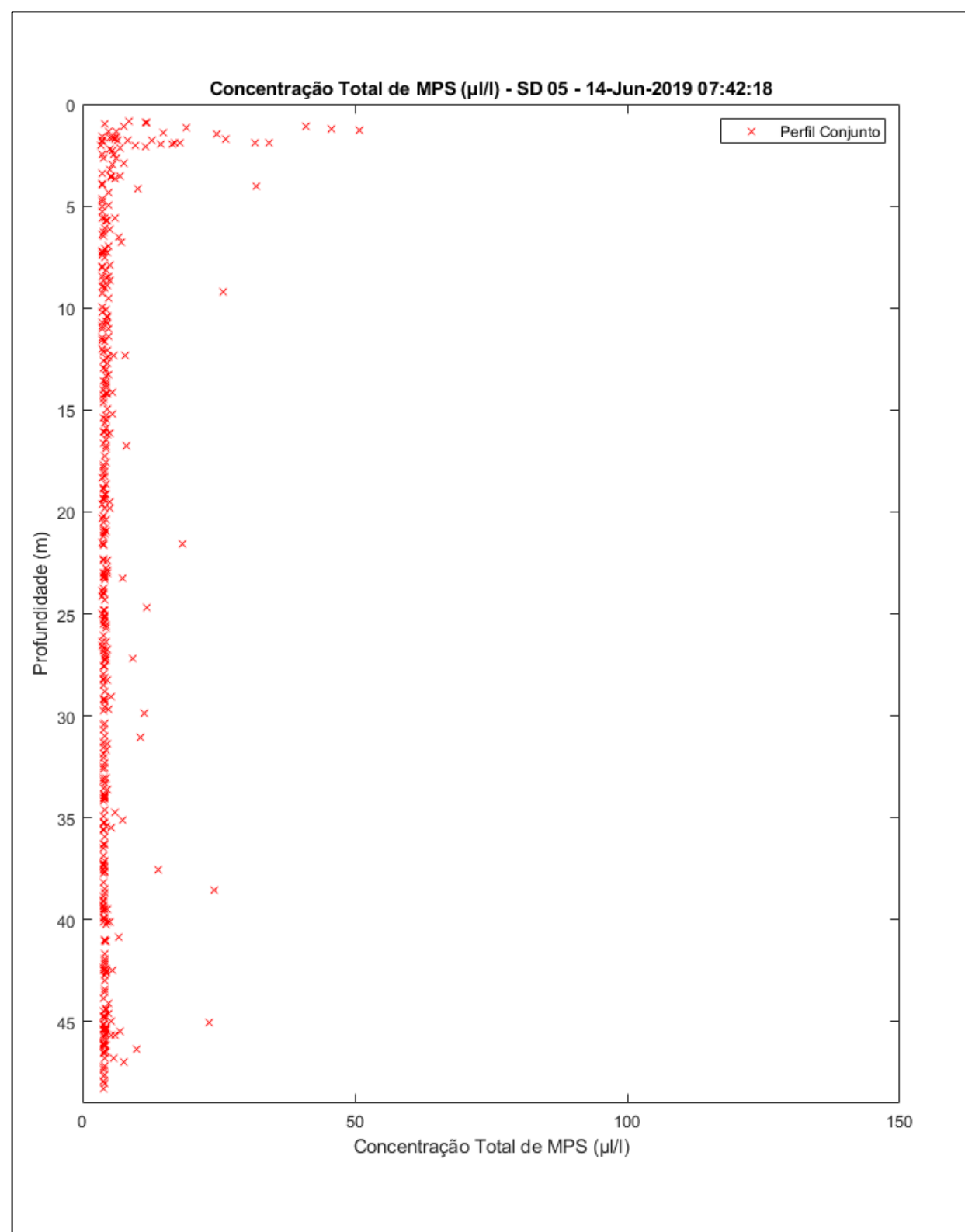


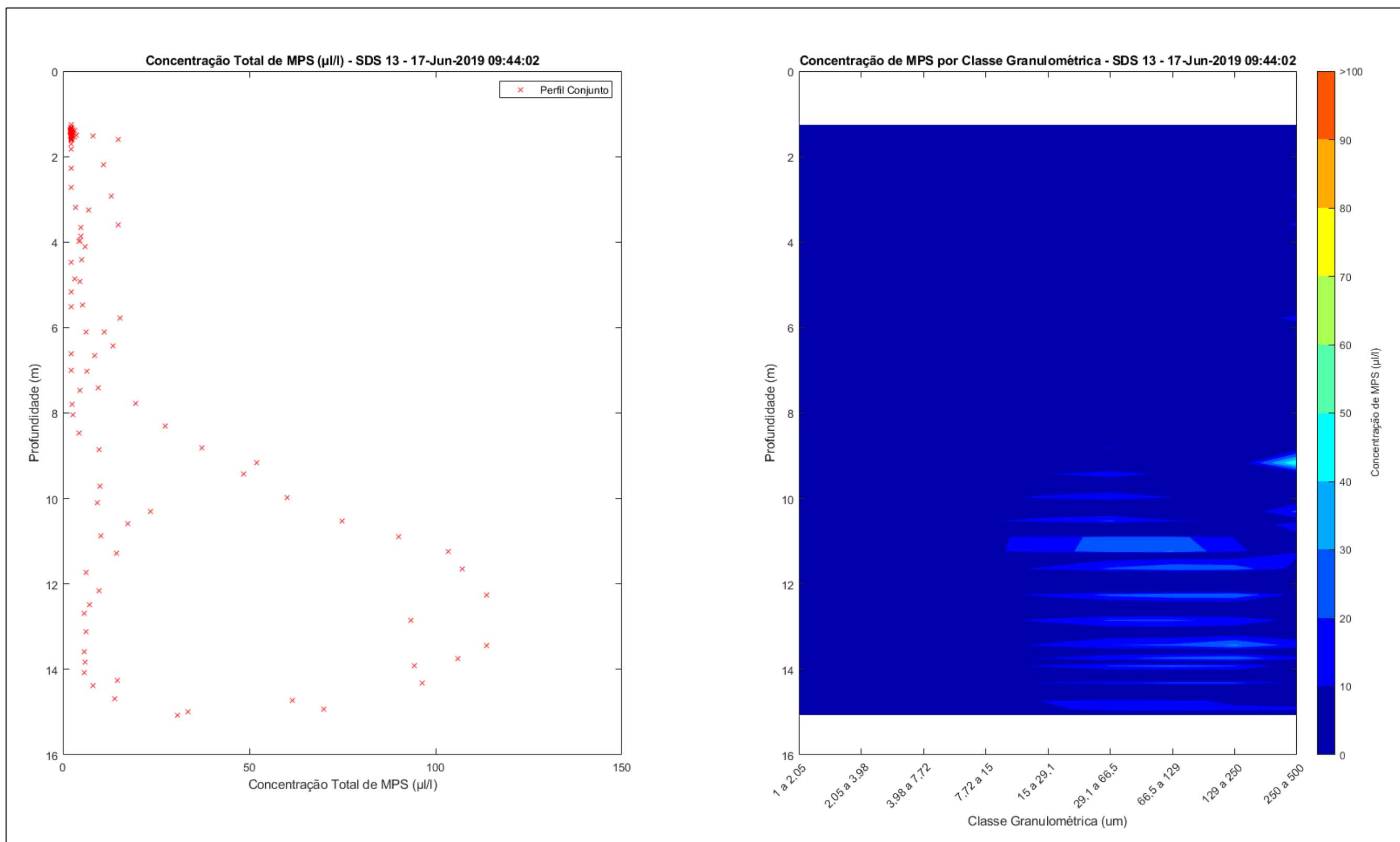


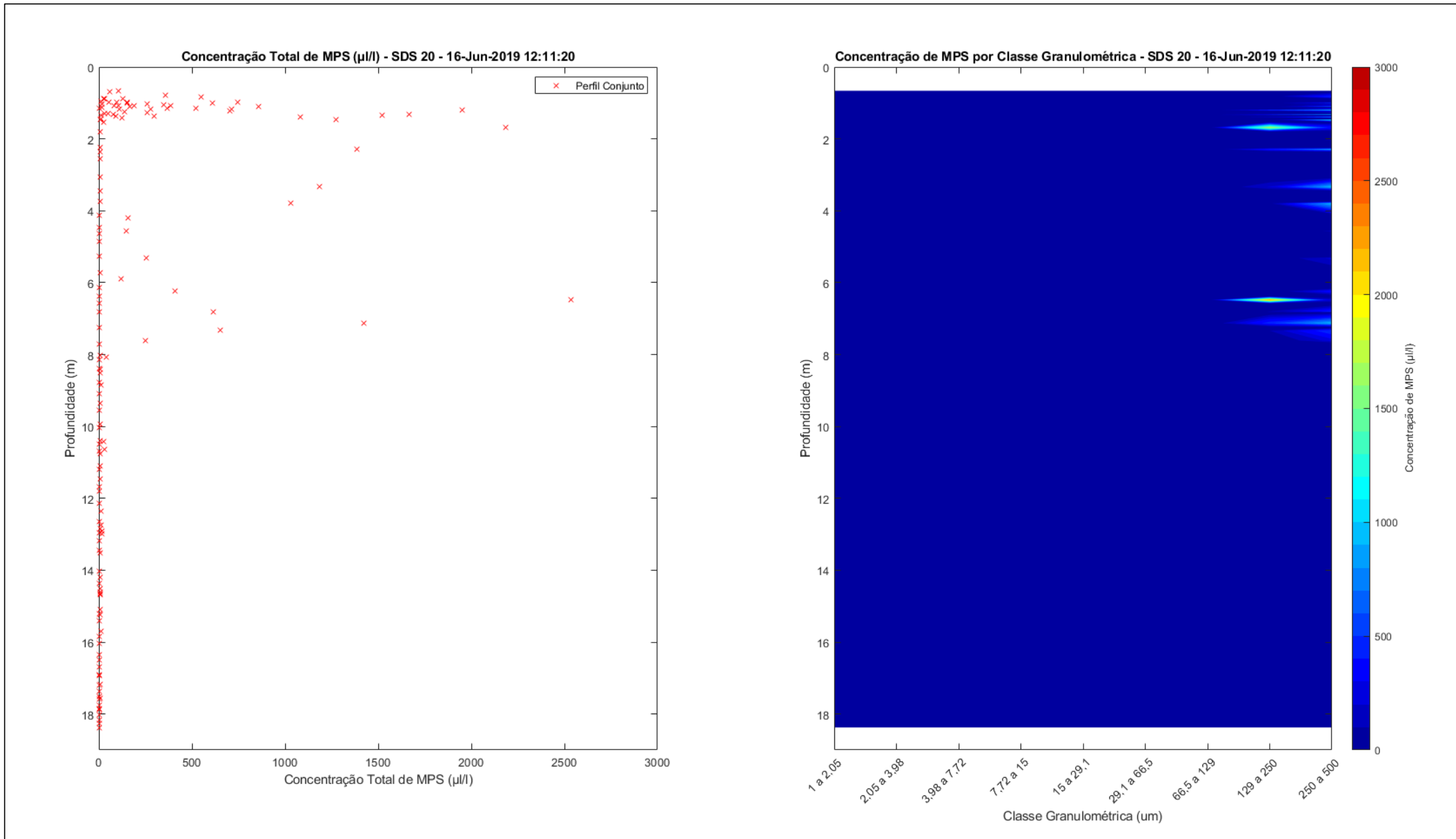


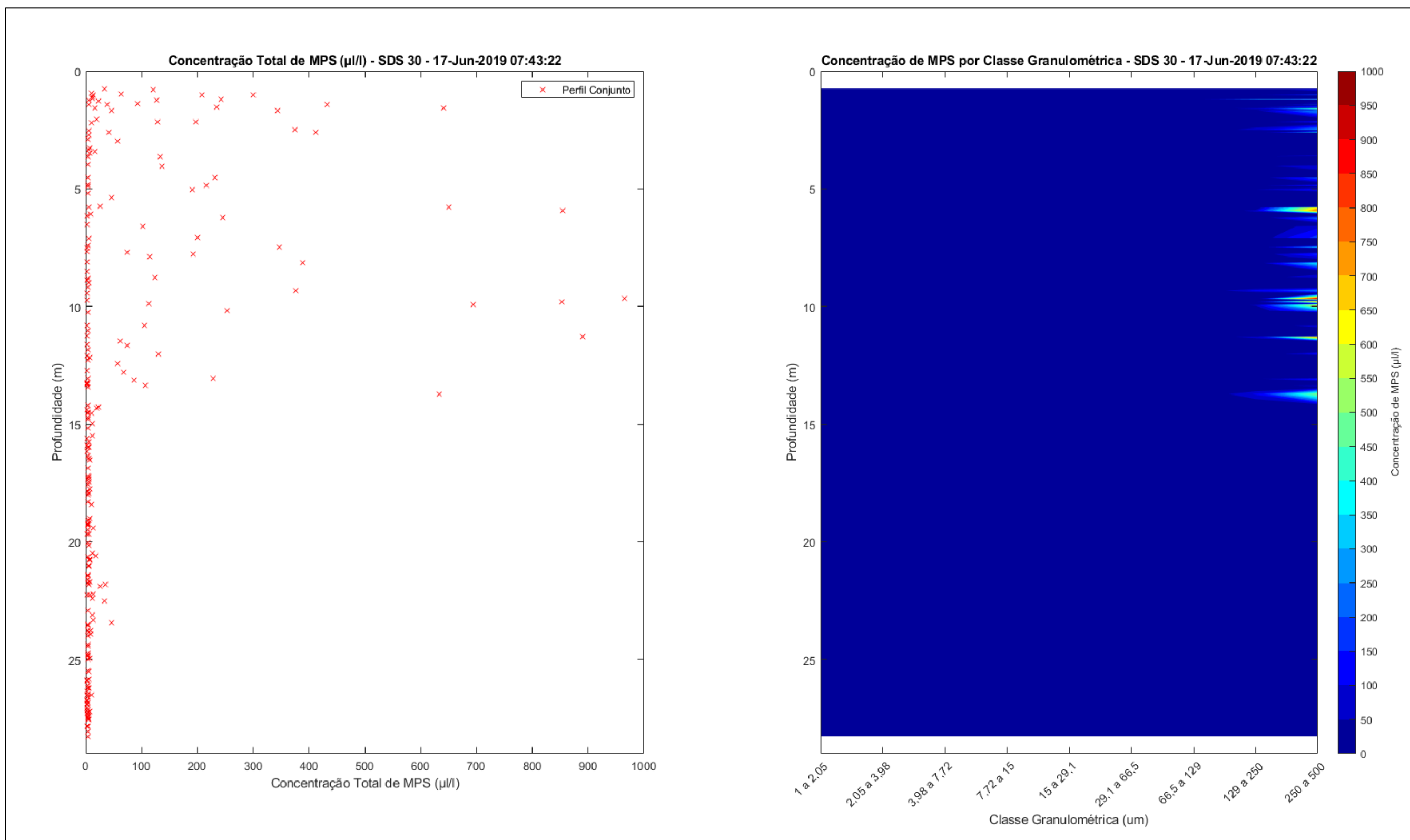




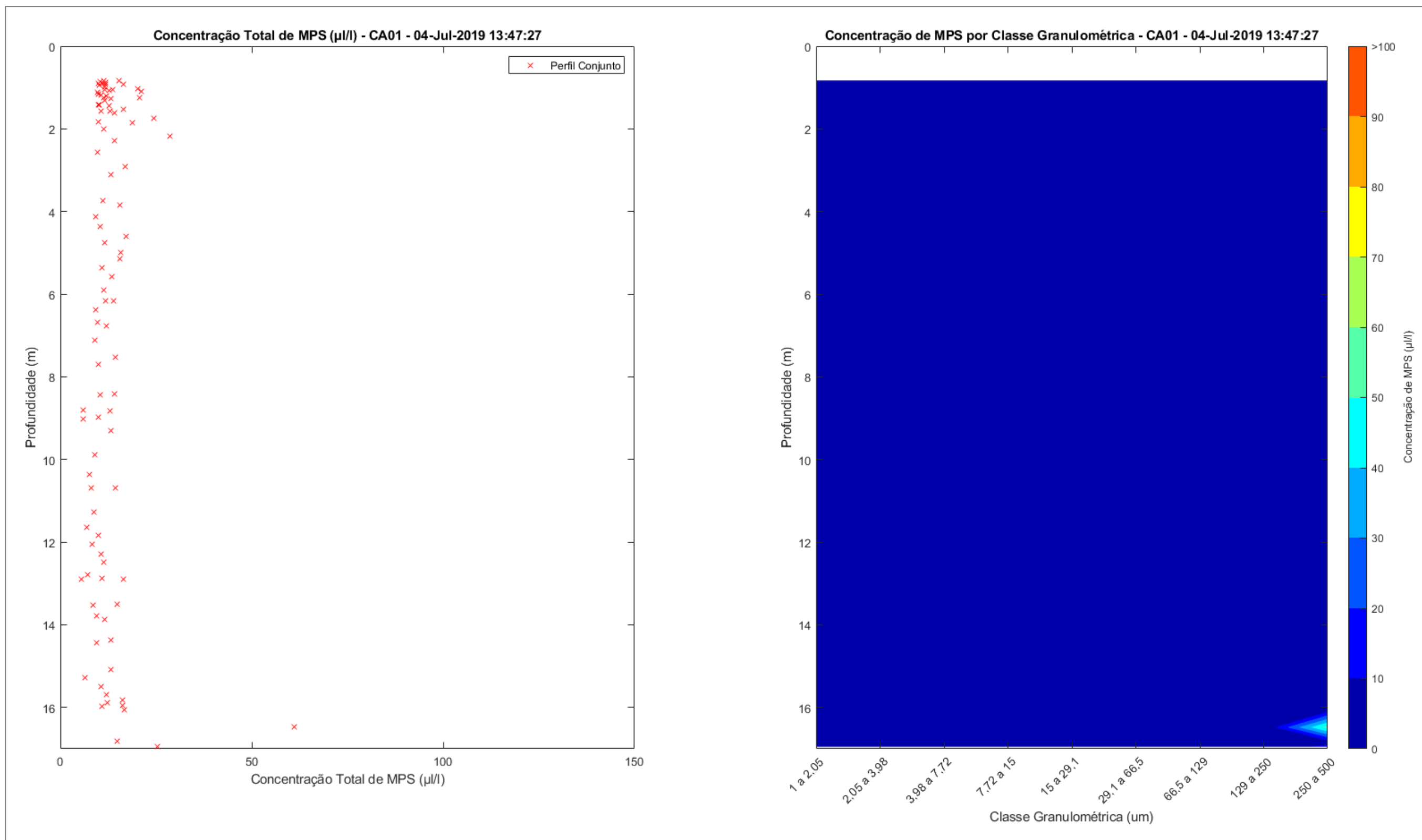


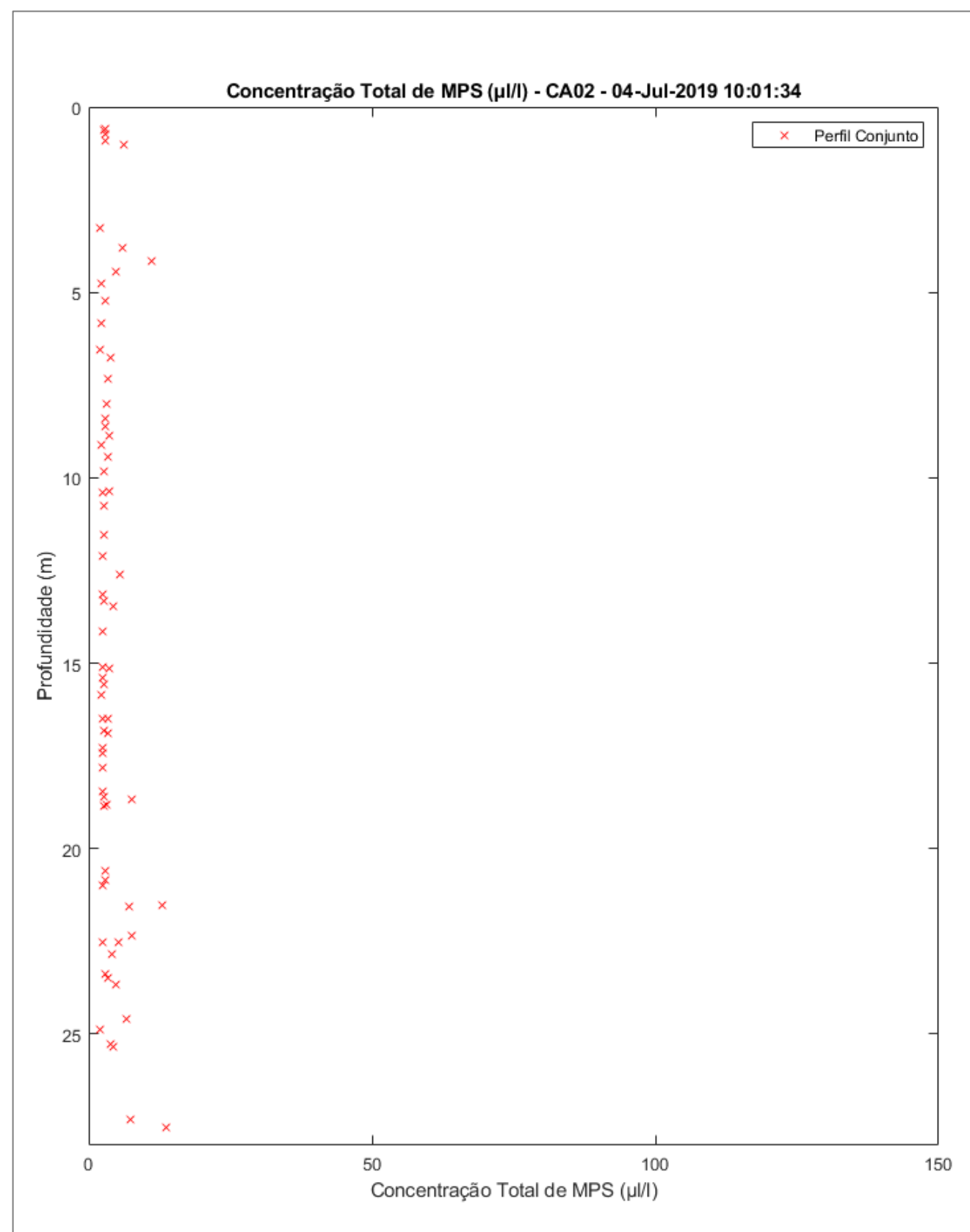


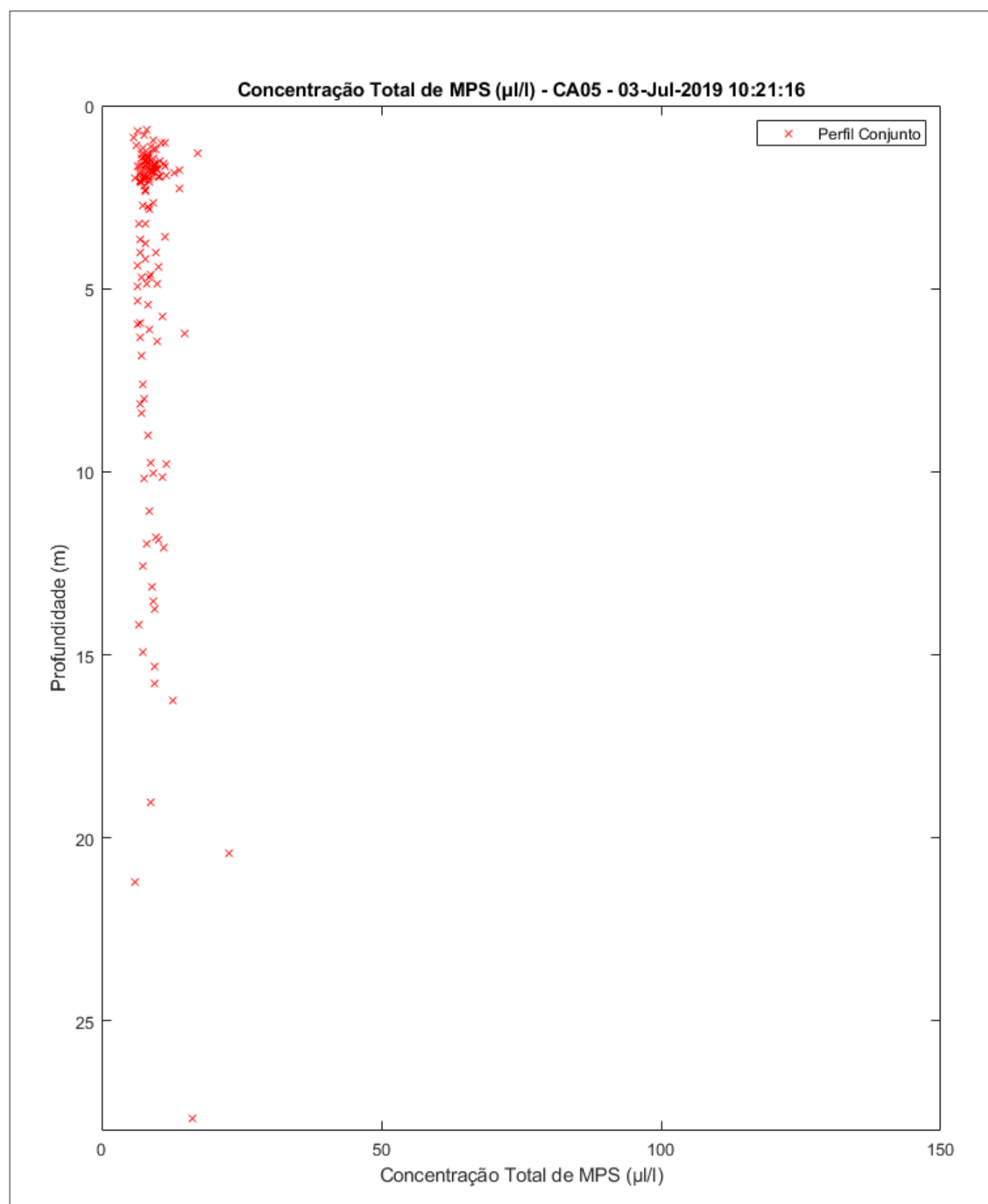




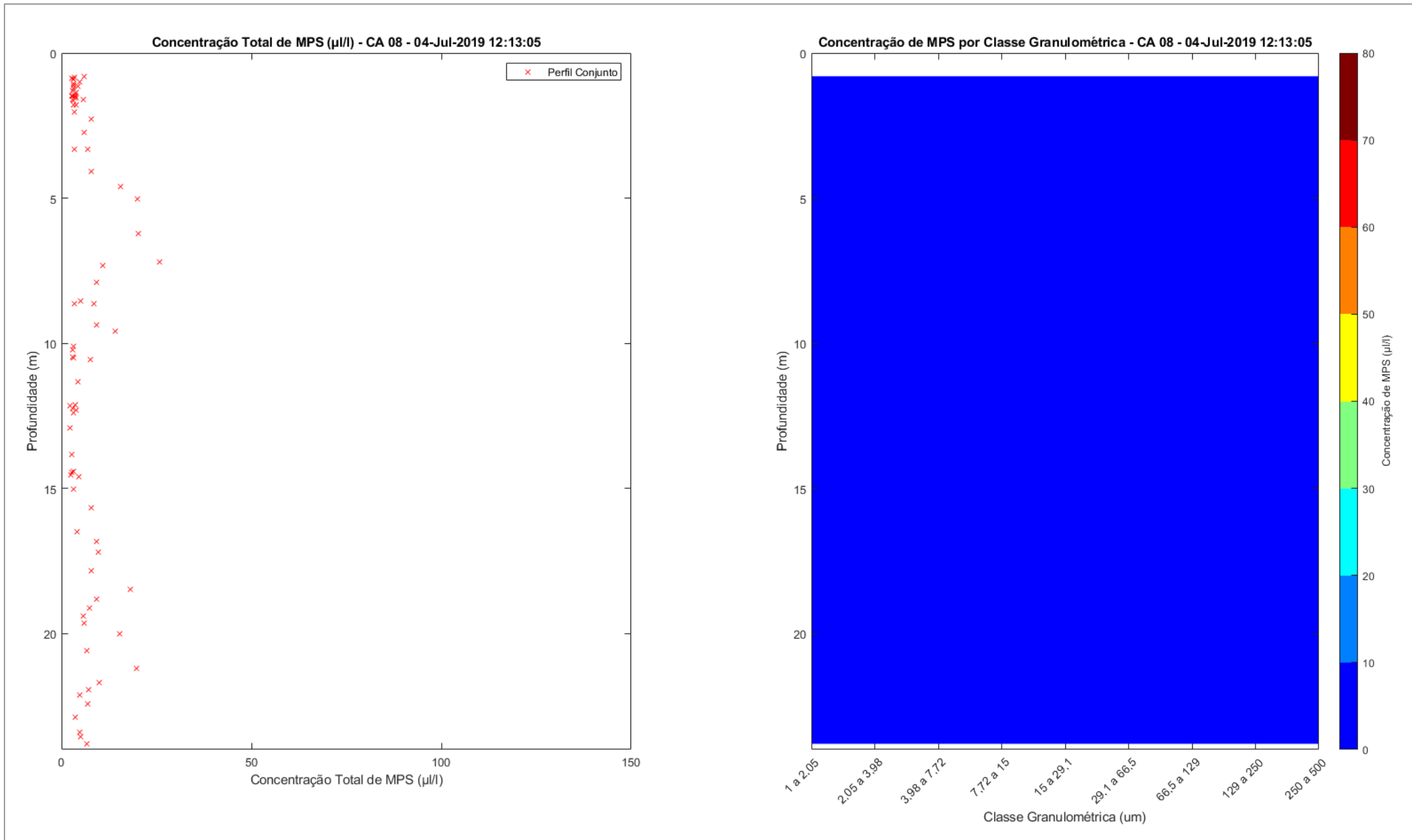
Apêndice 10: Perfis realizados pelo LISST na Campanha 10. As estações dos Setores Norte, Foz Norte, Foz Central e Foz Sul não apresentam registro de perfilagem devido a um problema no sensor do equipamento durante a campanha. As estações dos Setores APA Costa das Algas e Sul que não apresentam registro são decorrentes da concentração estar abaixo do limite de detecção do equipamento.

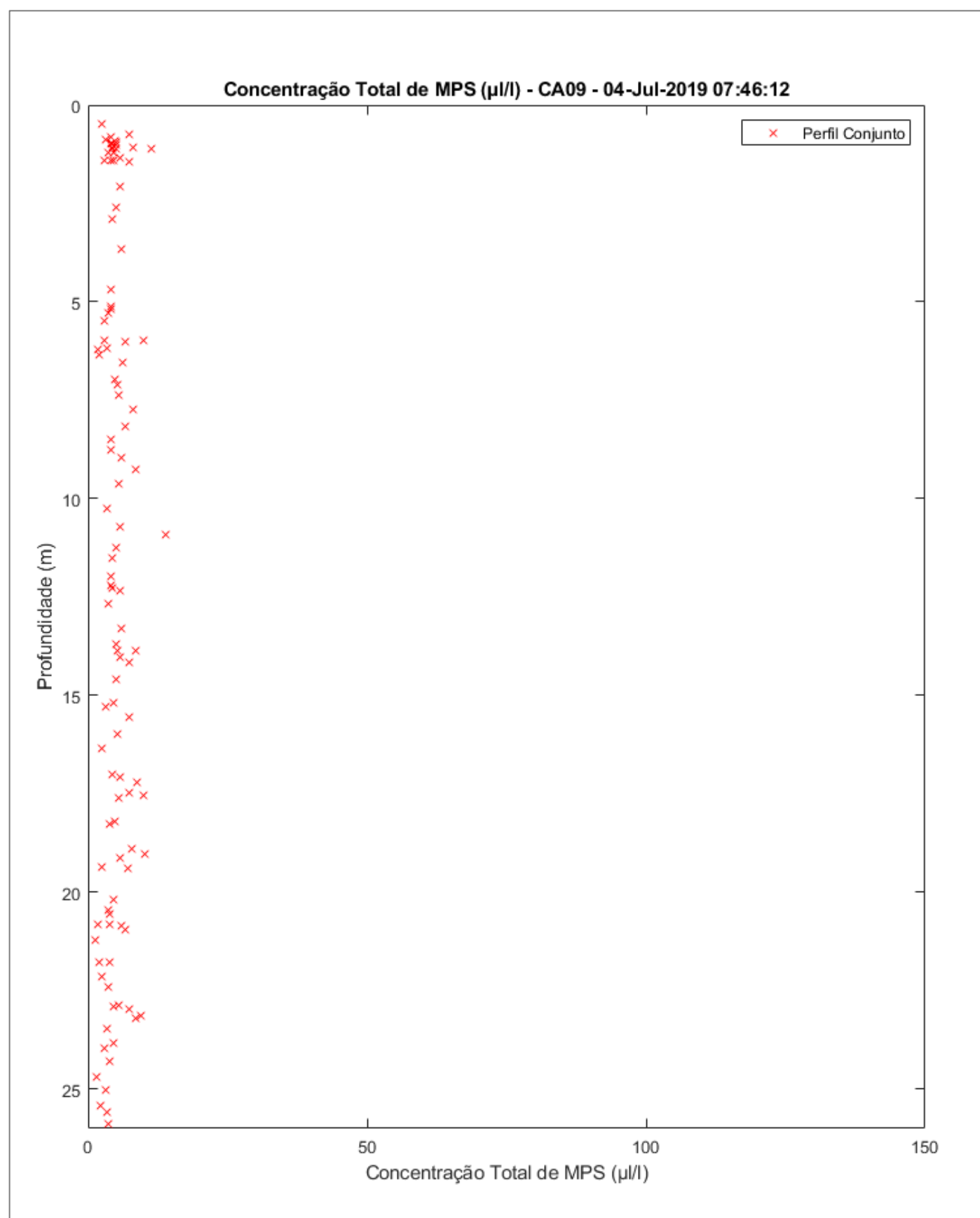


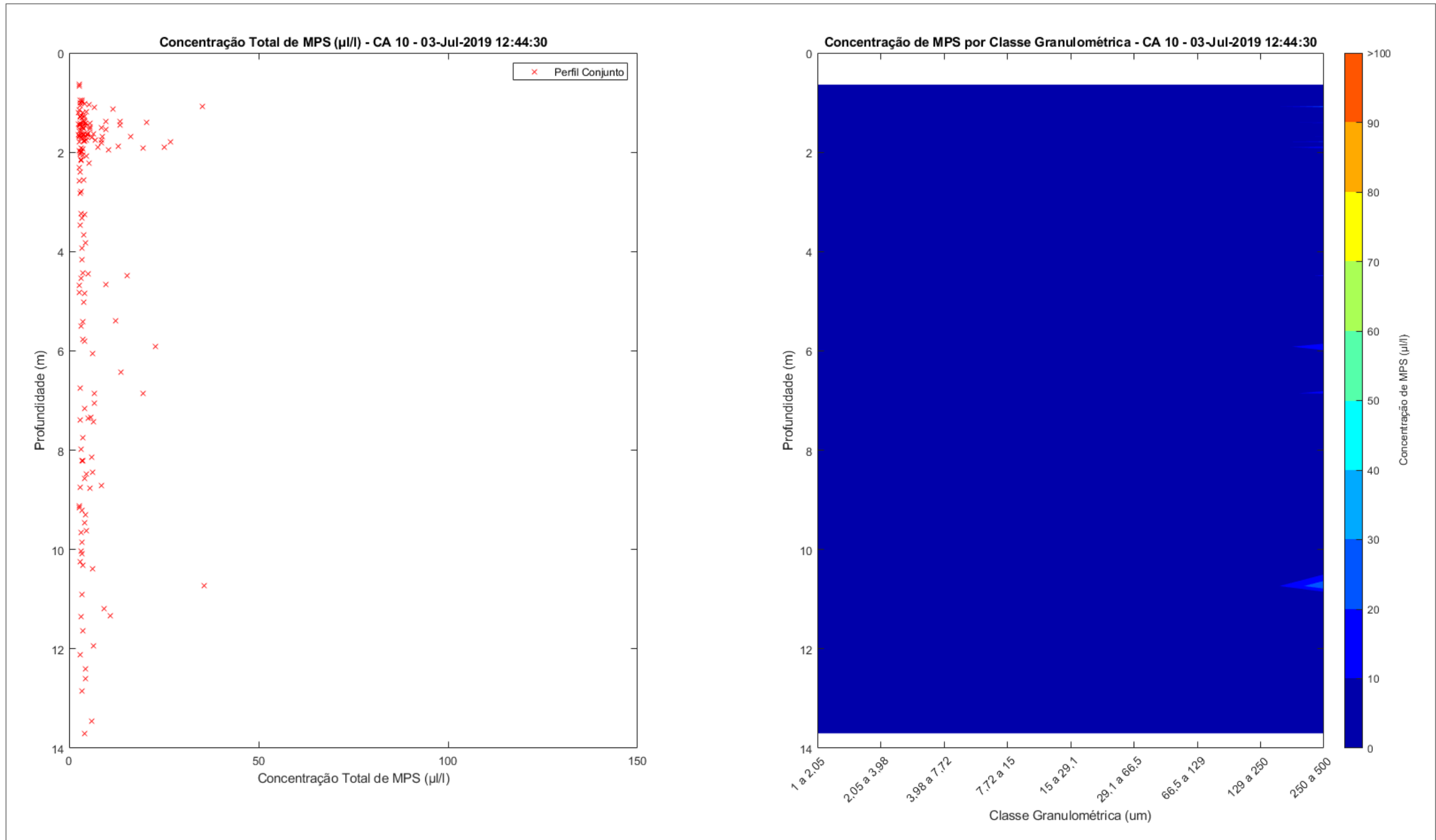


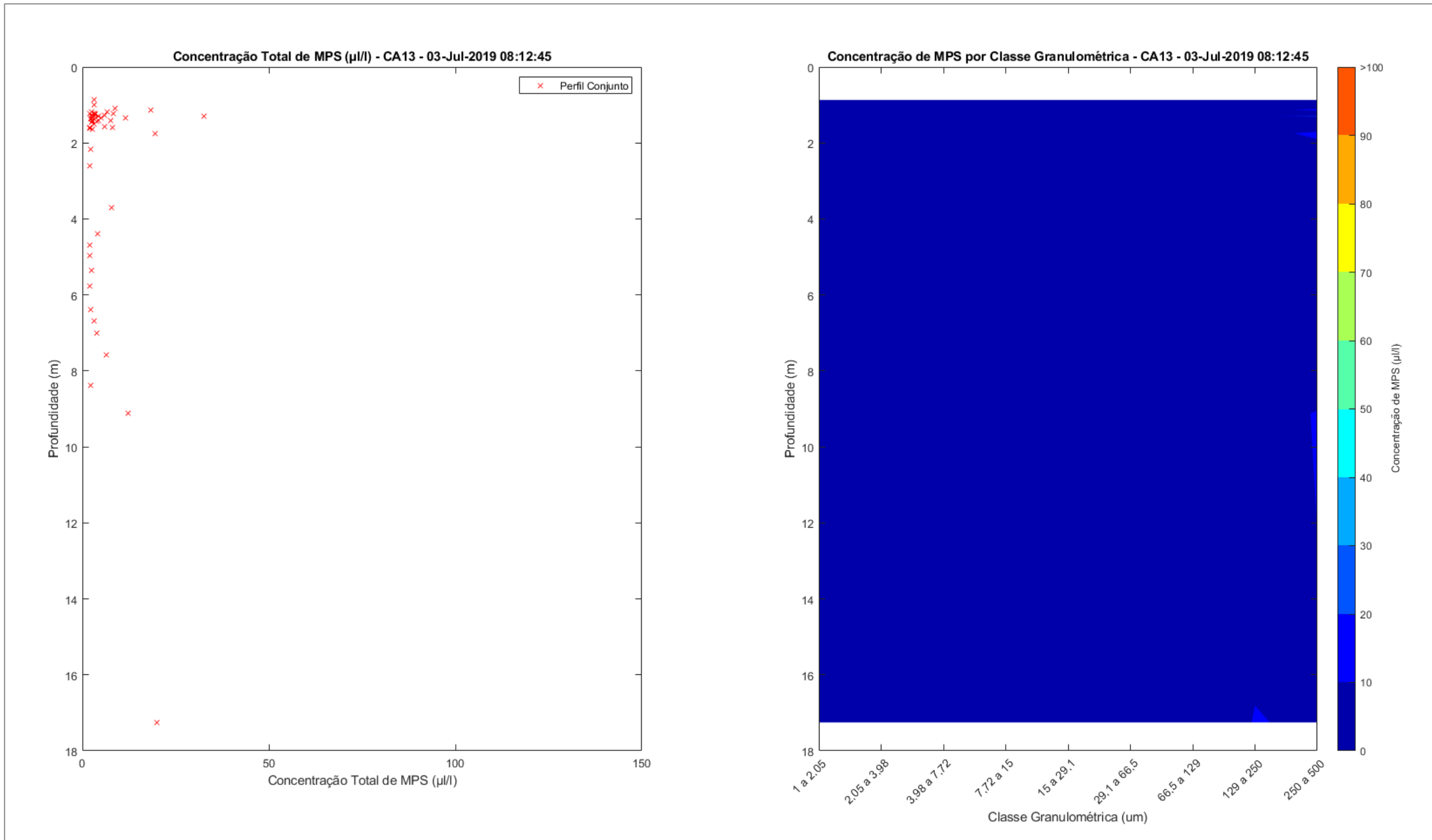


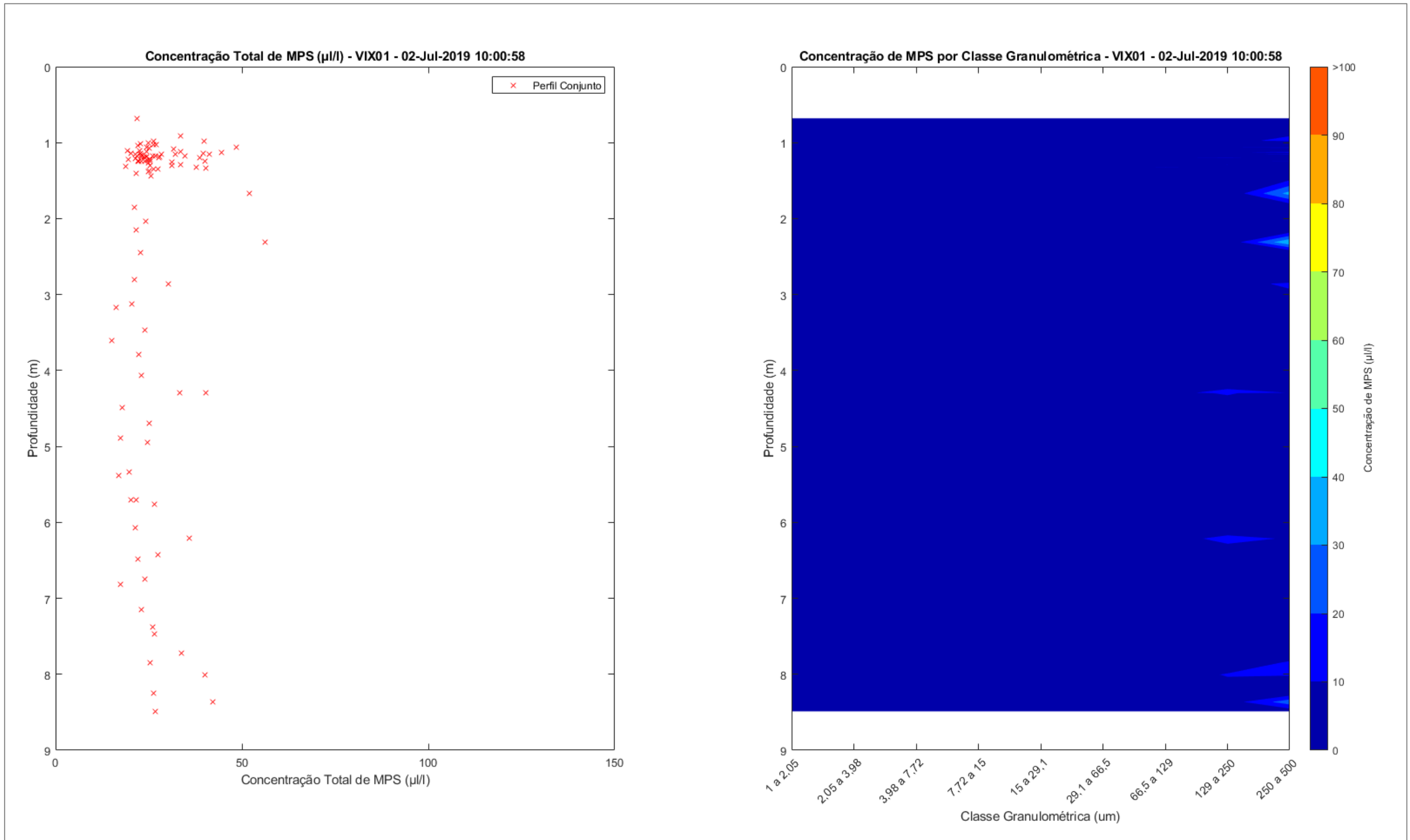
Note que na figura abaixo o intervalo da concentração do MPS por Classe Granulométrica (à direita) teve que ser alterado de 0 a 100 para 0 a 80 $\mu\text{L/L}$.

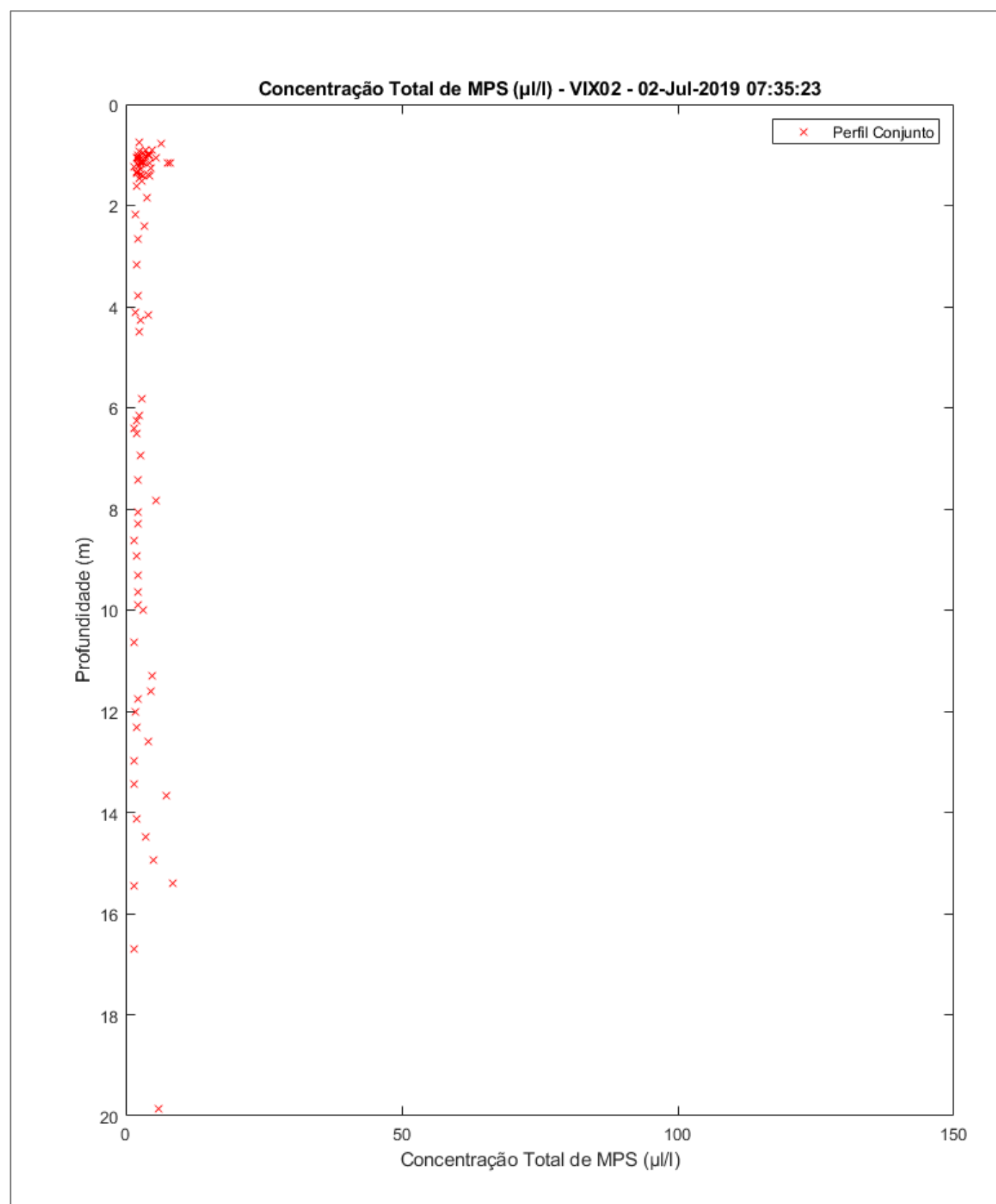




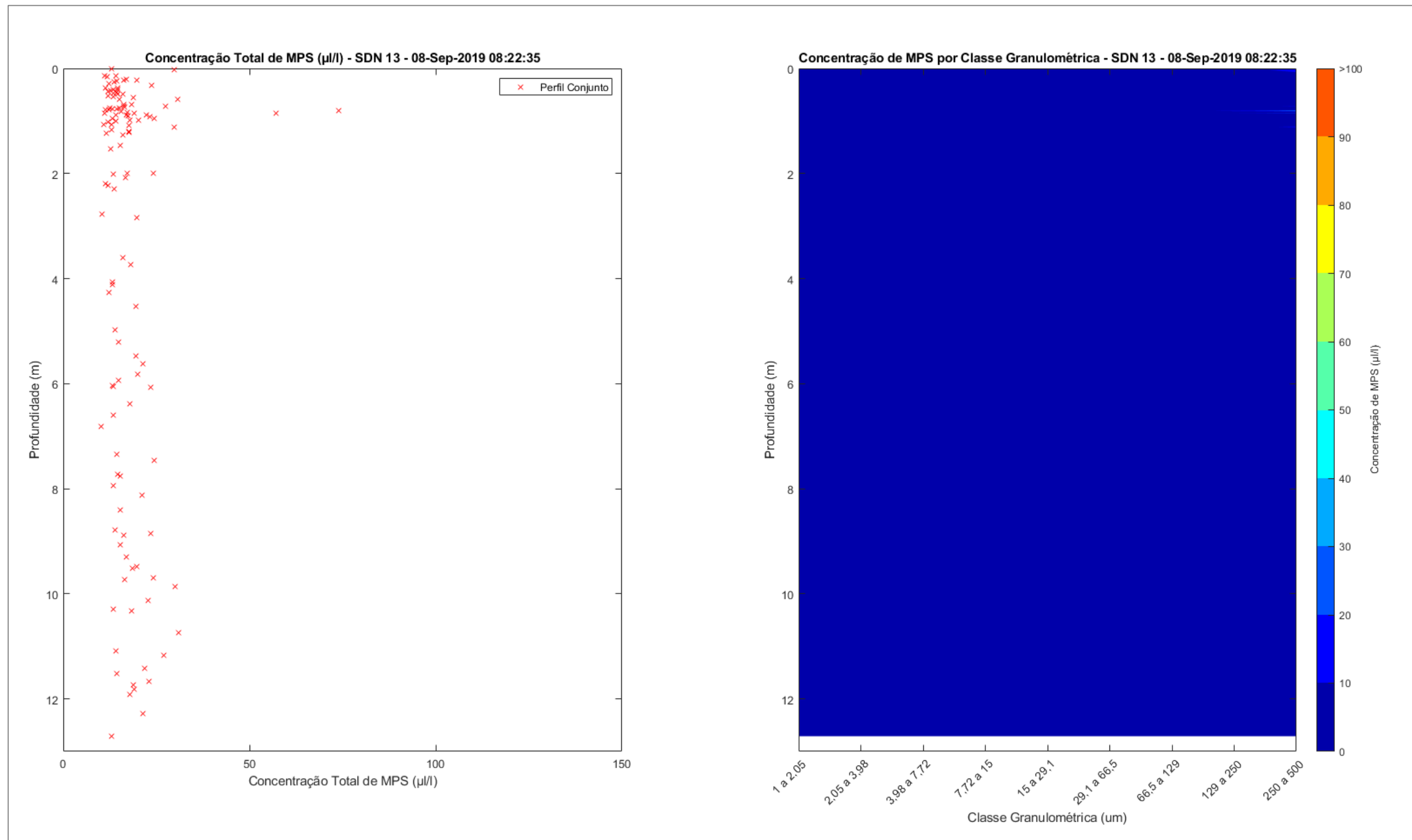


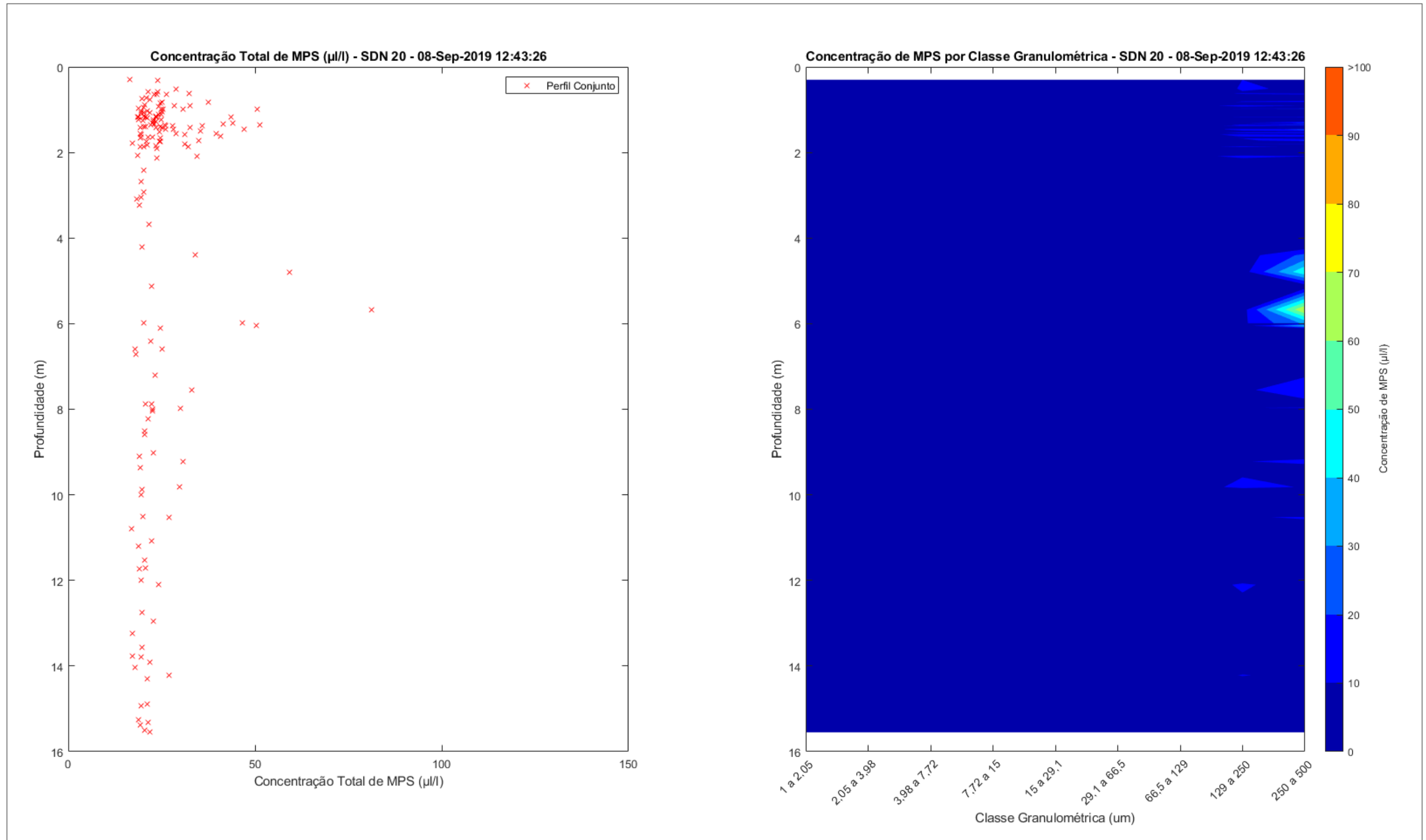


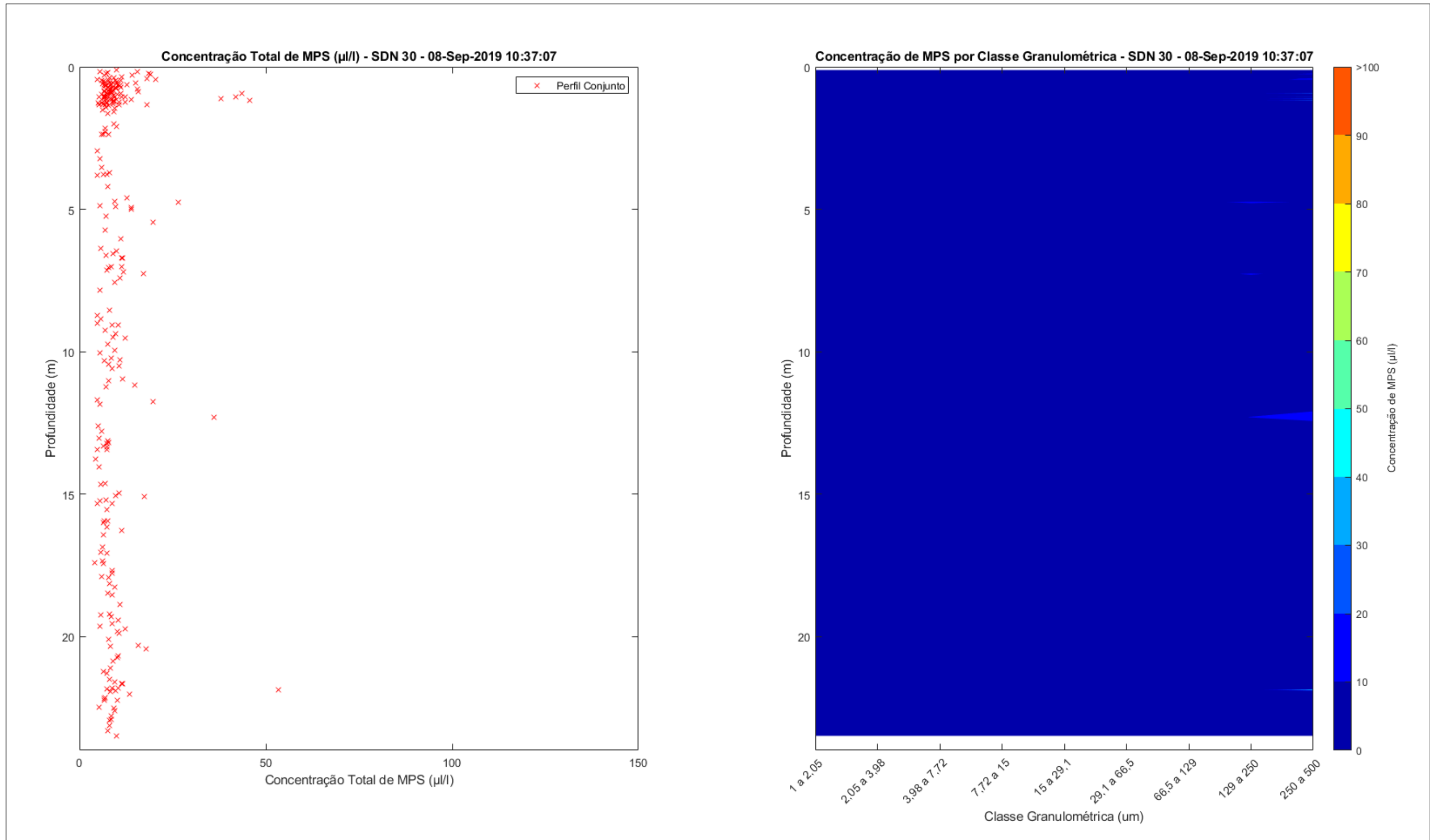


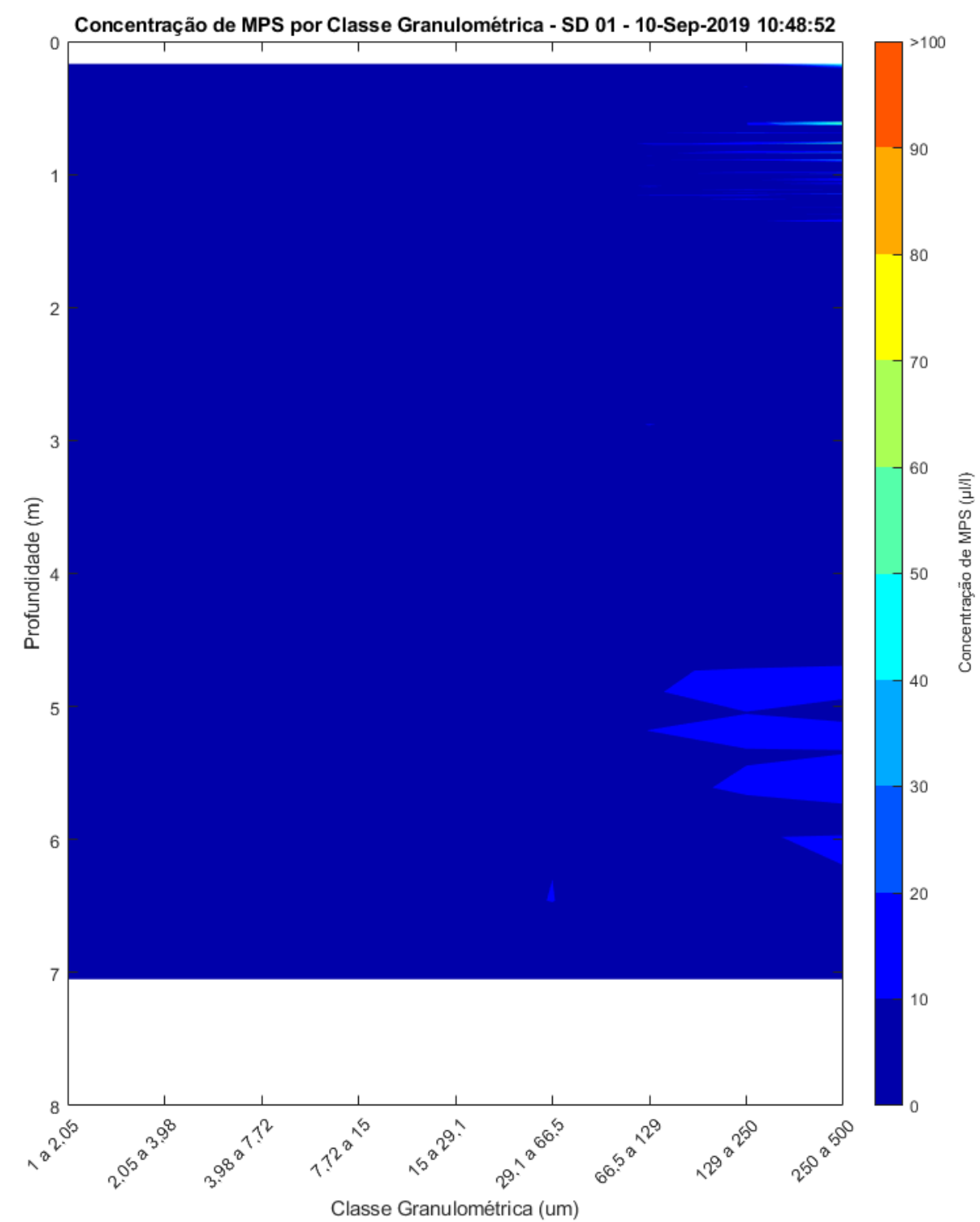
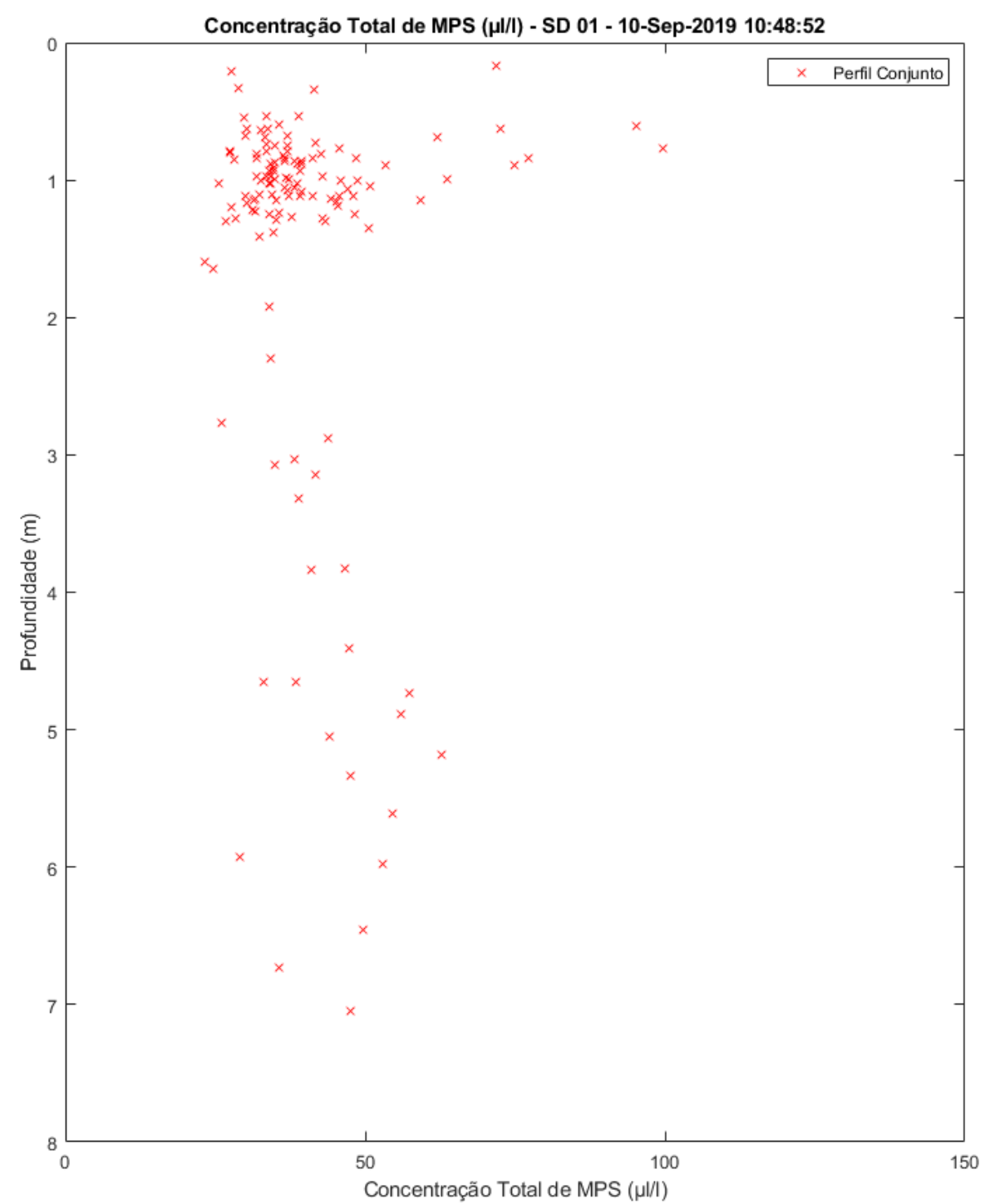


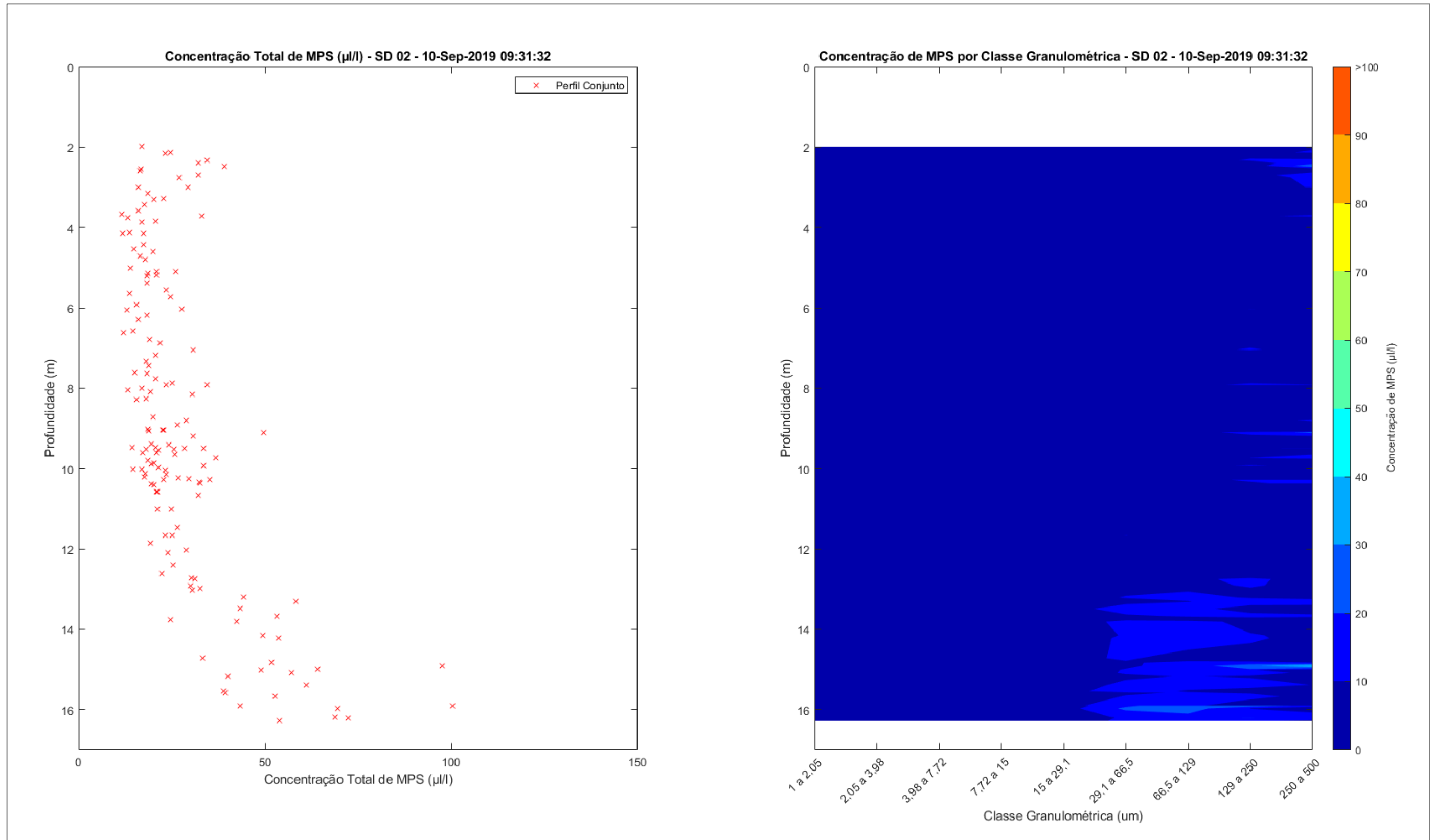
Apêndice 11: Perfilagens realizadas pelo LISST na Campanha 12.

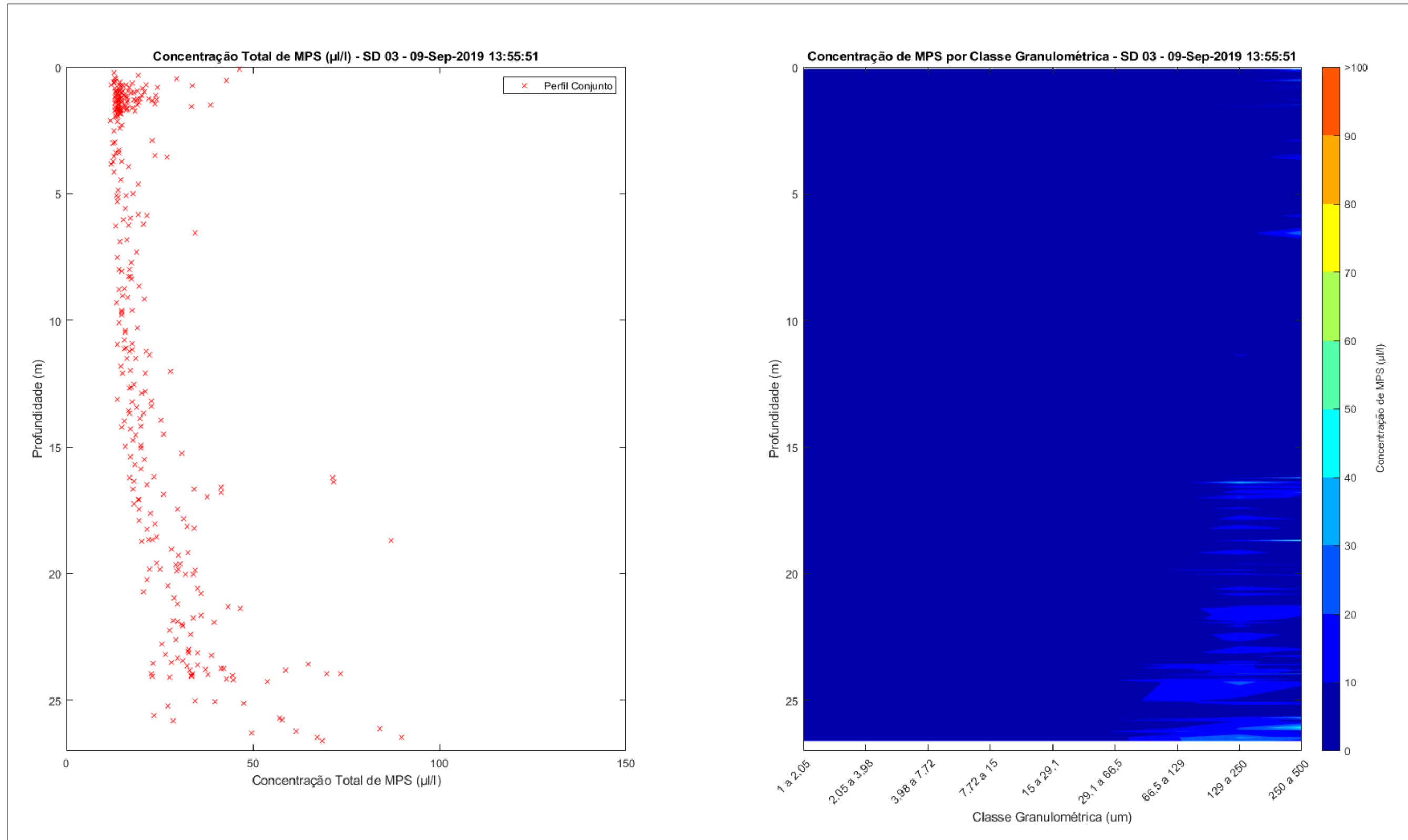


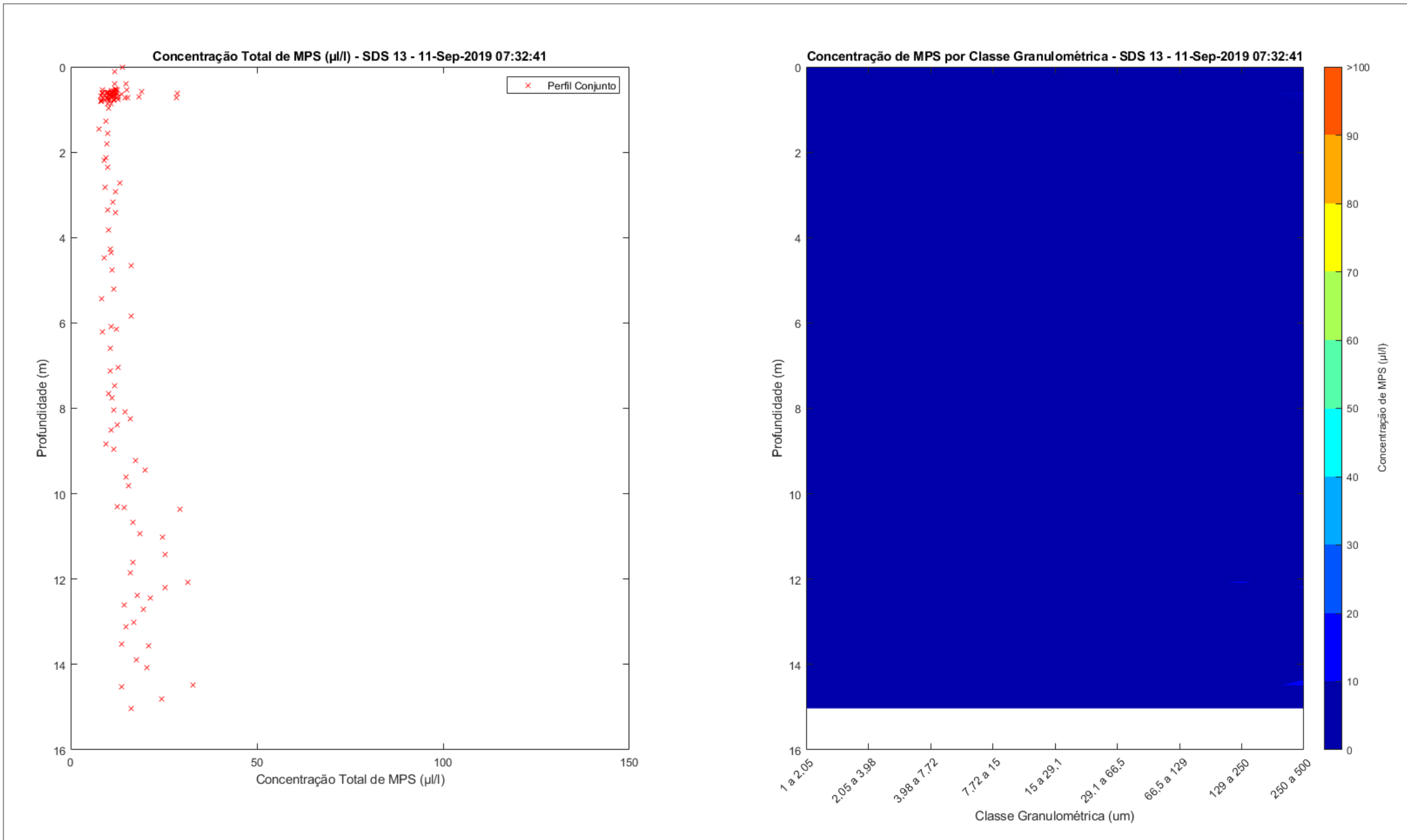


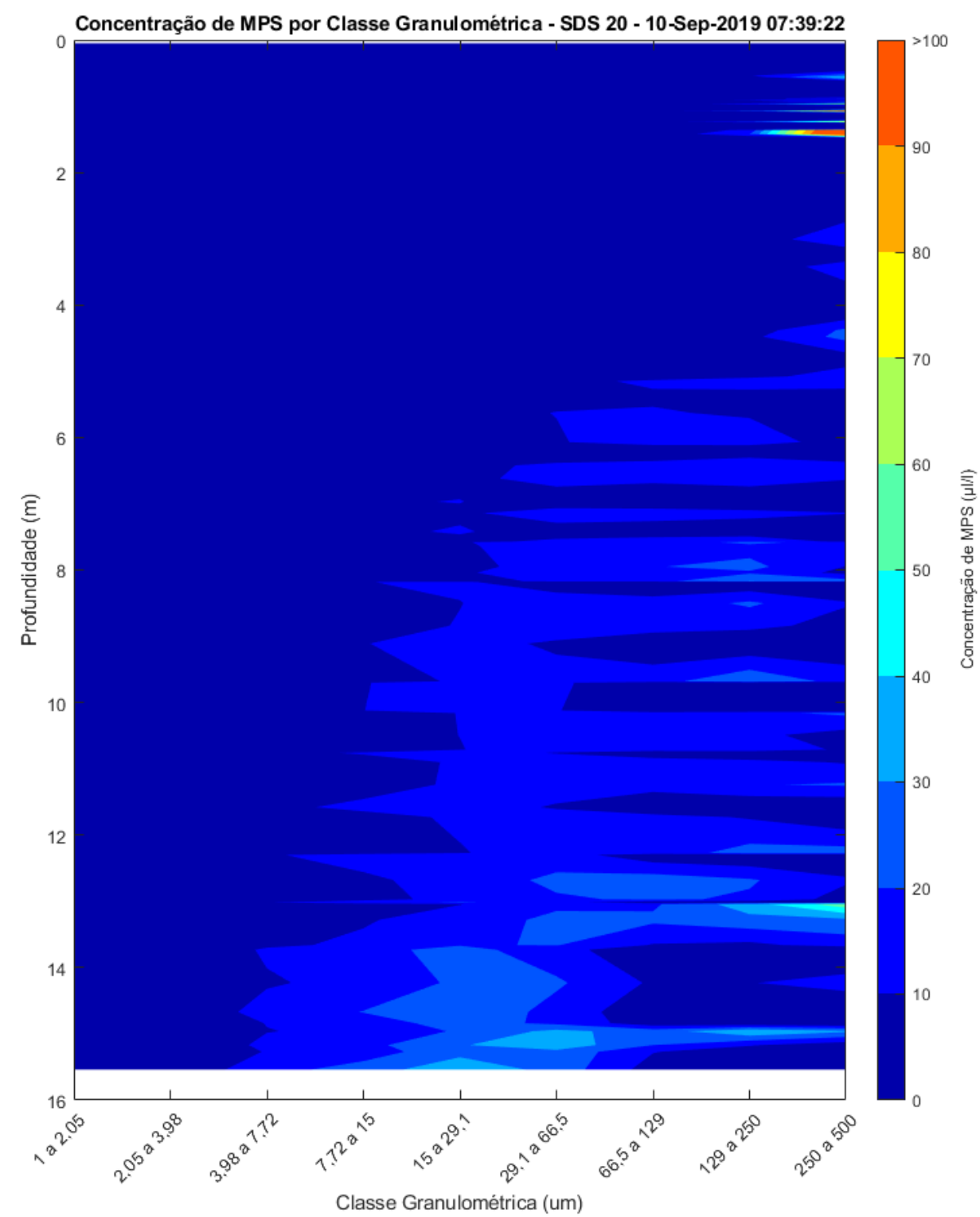
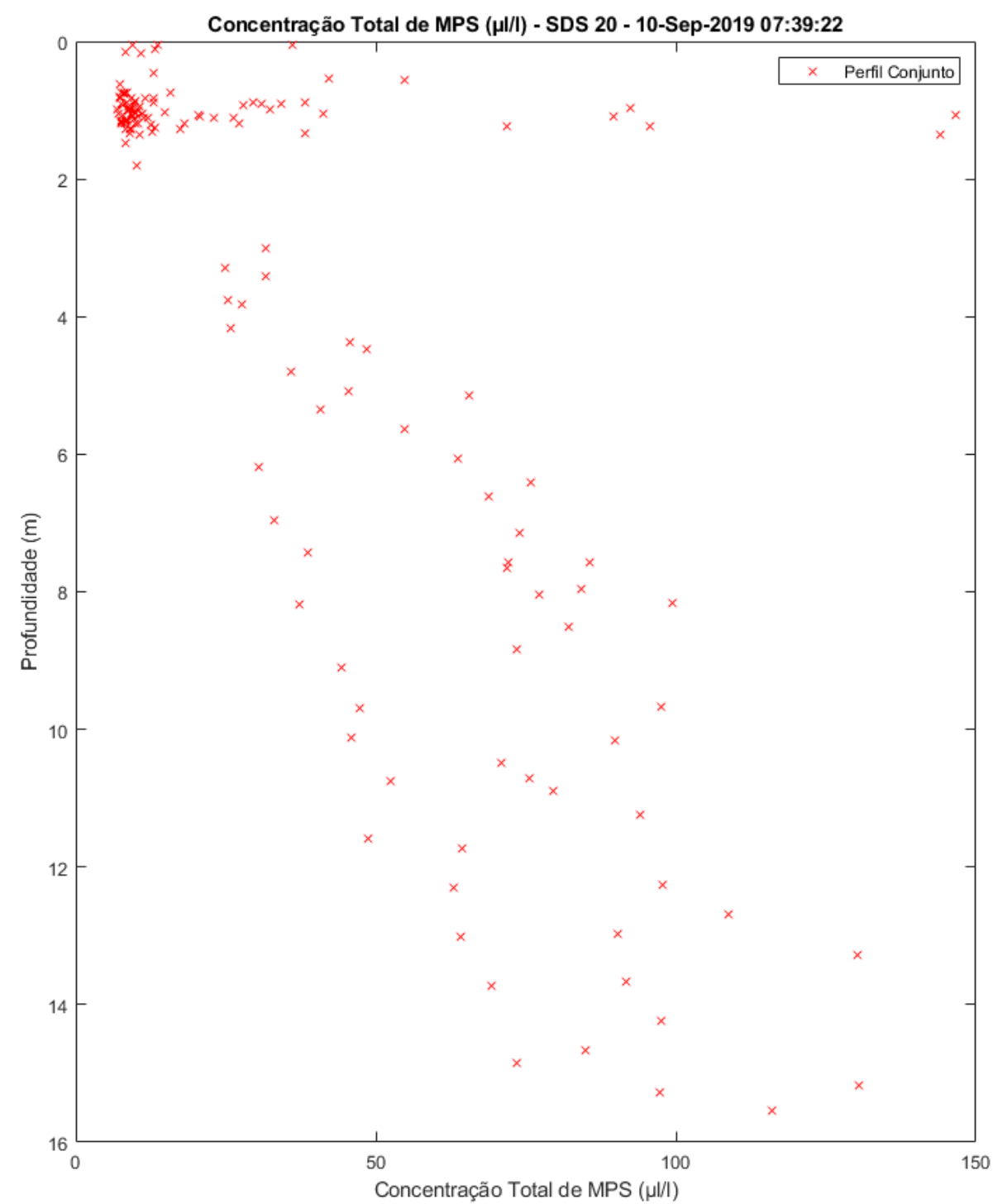


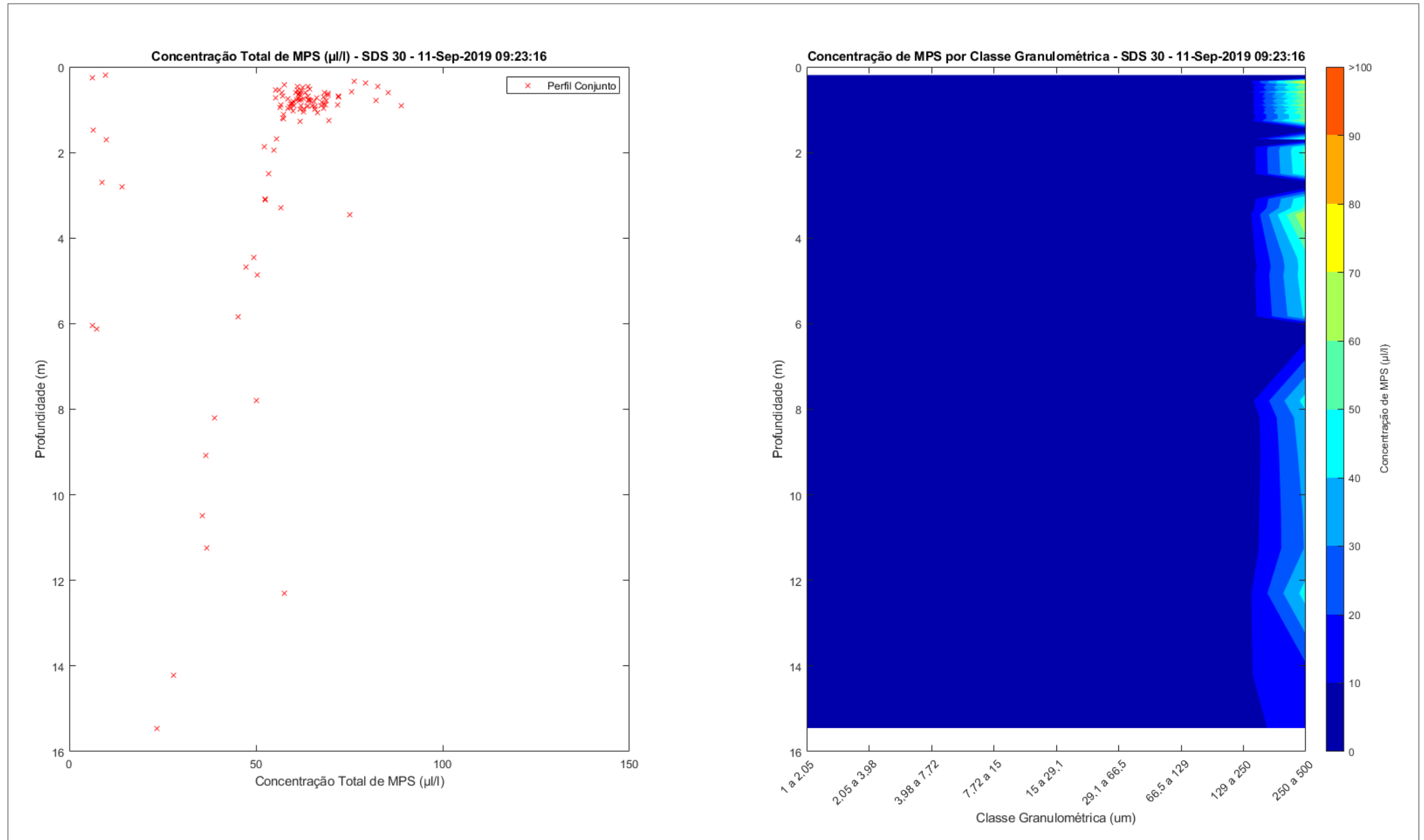




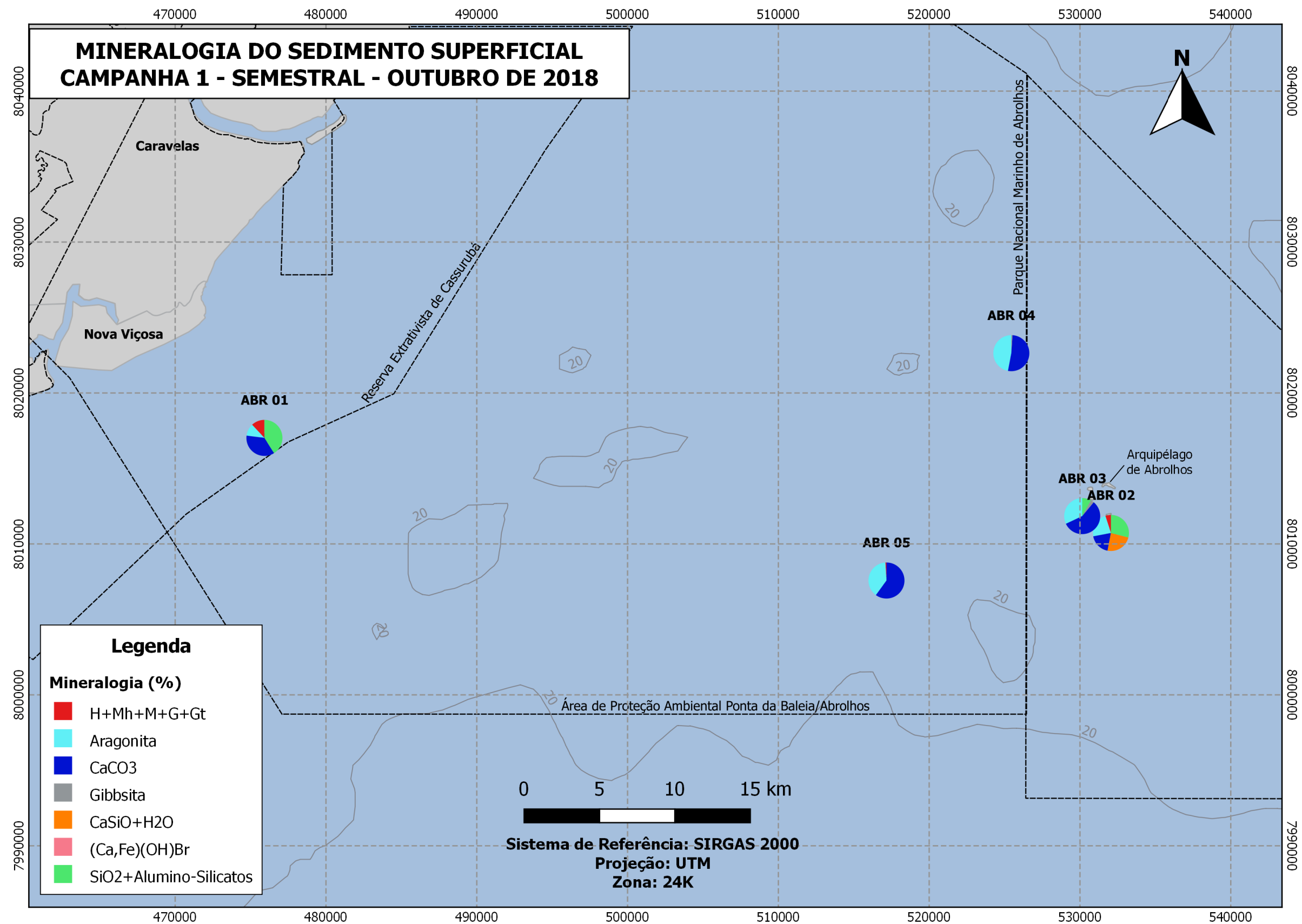


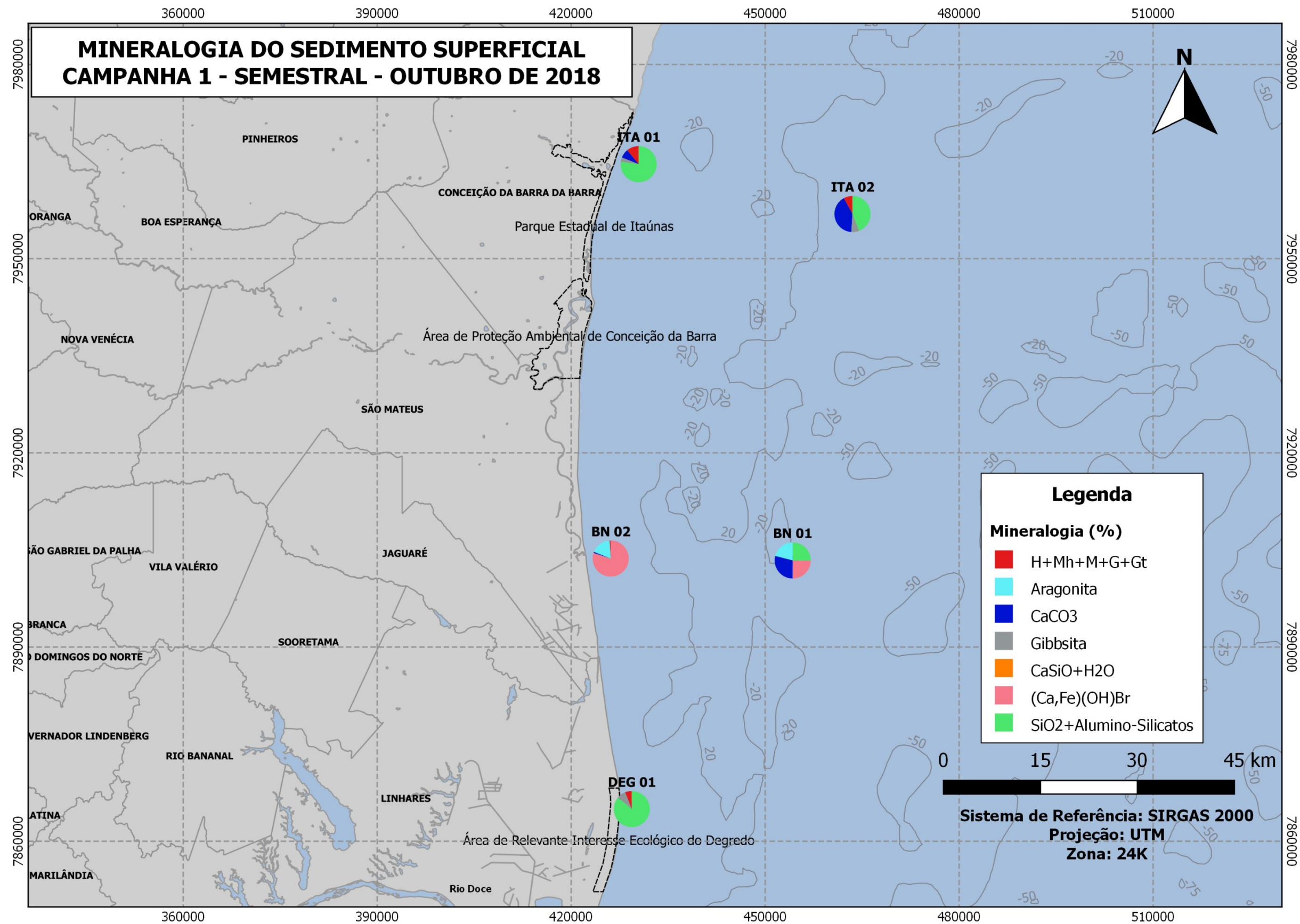


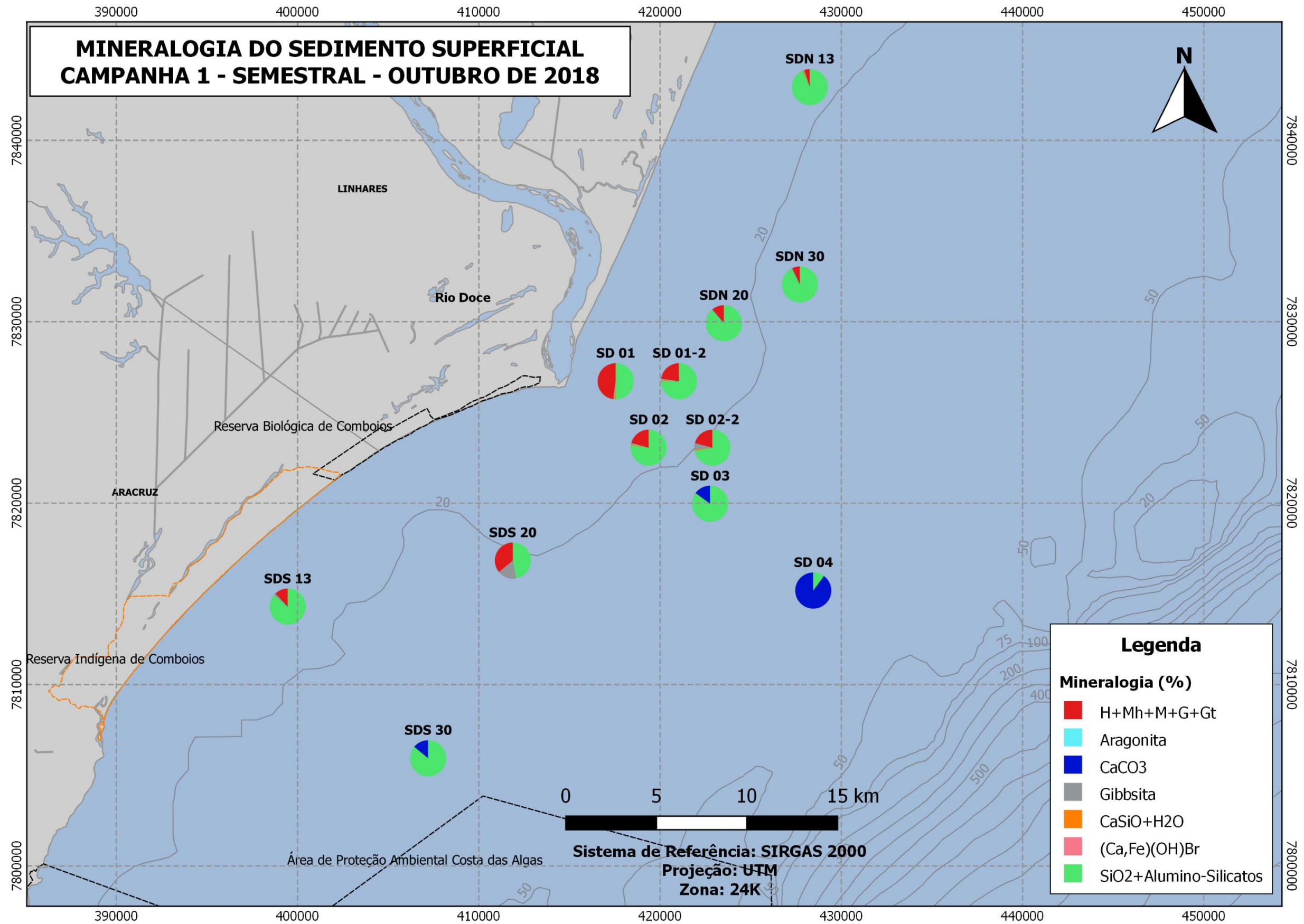


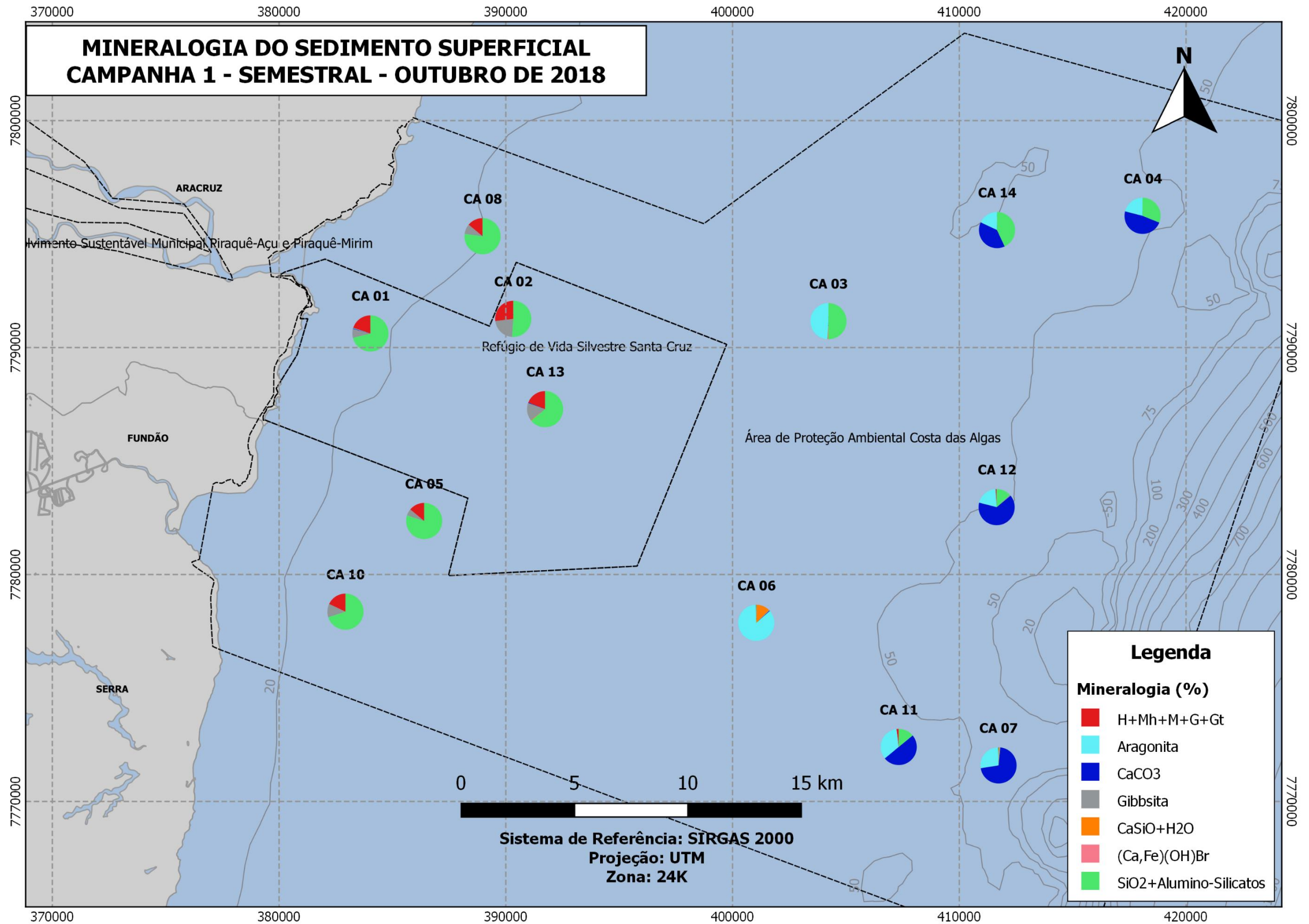


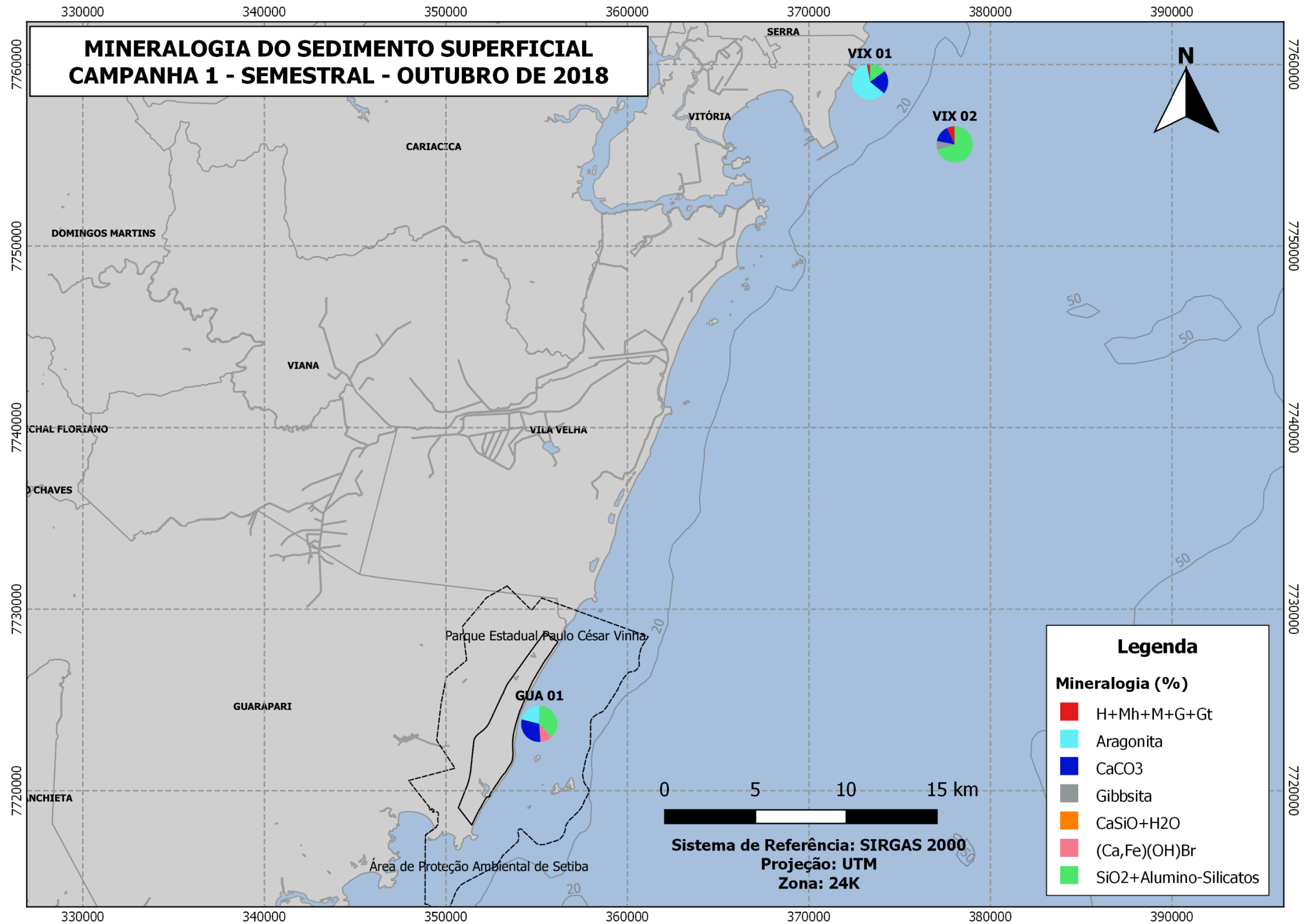
Apêndice 12: Teores das fases minerais presentes no sedimento superficial ao longo do monitoramento para cada setor amostrado.

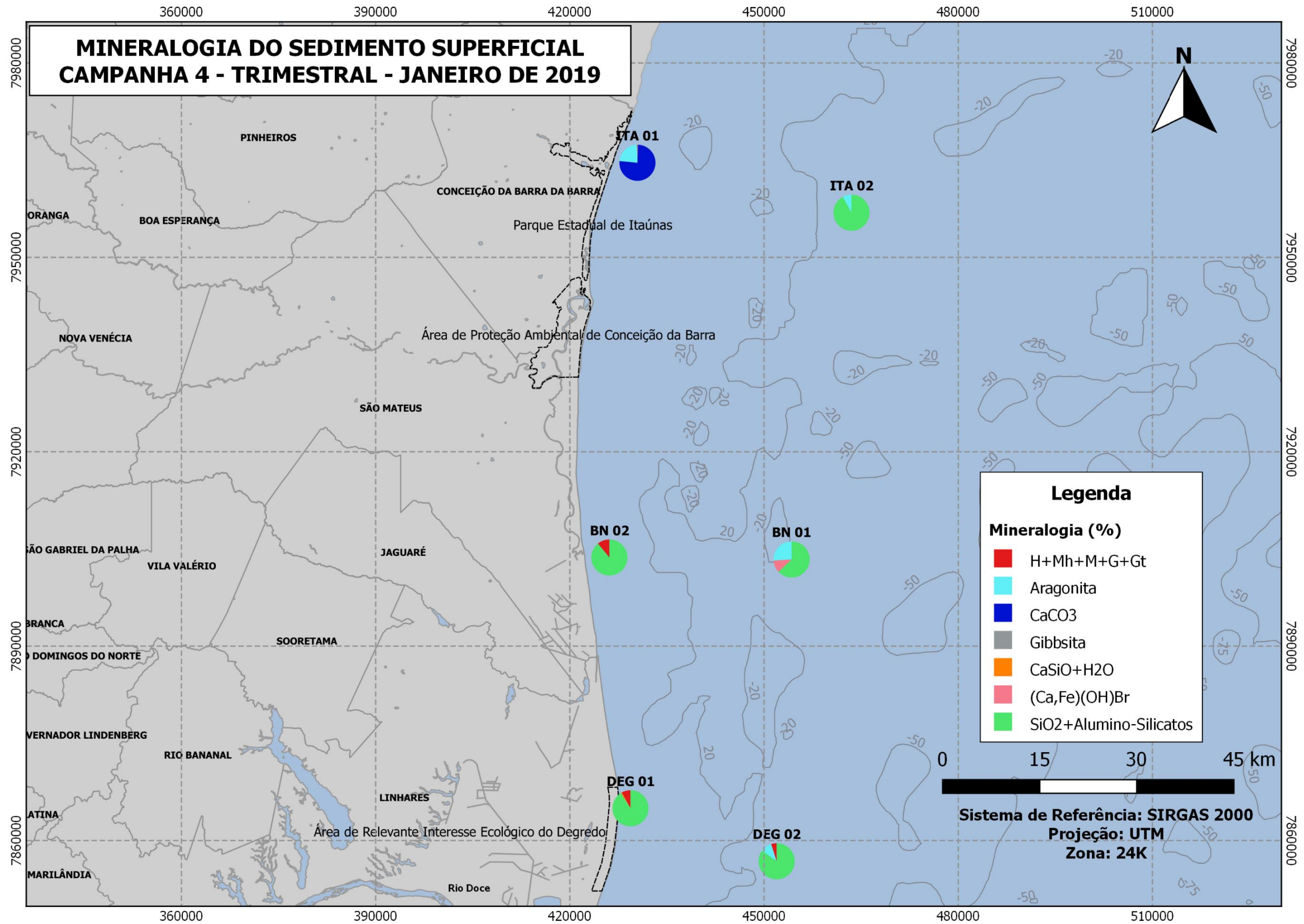


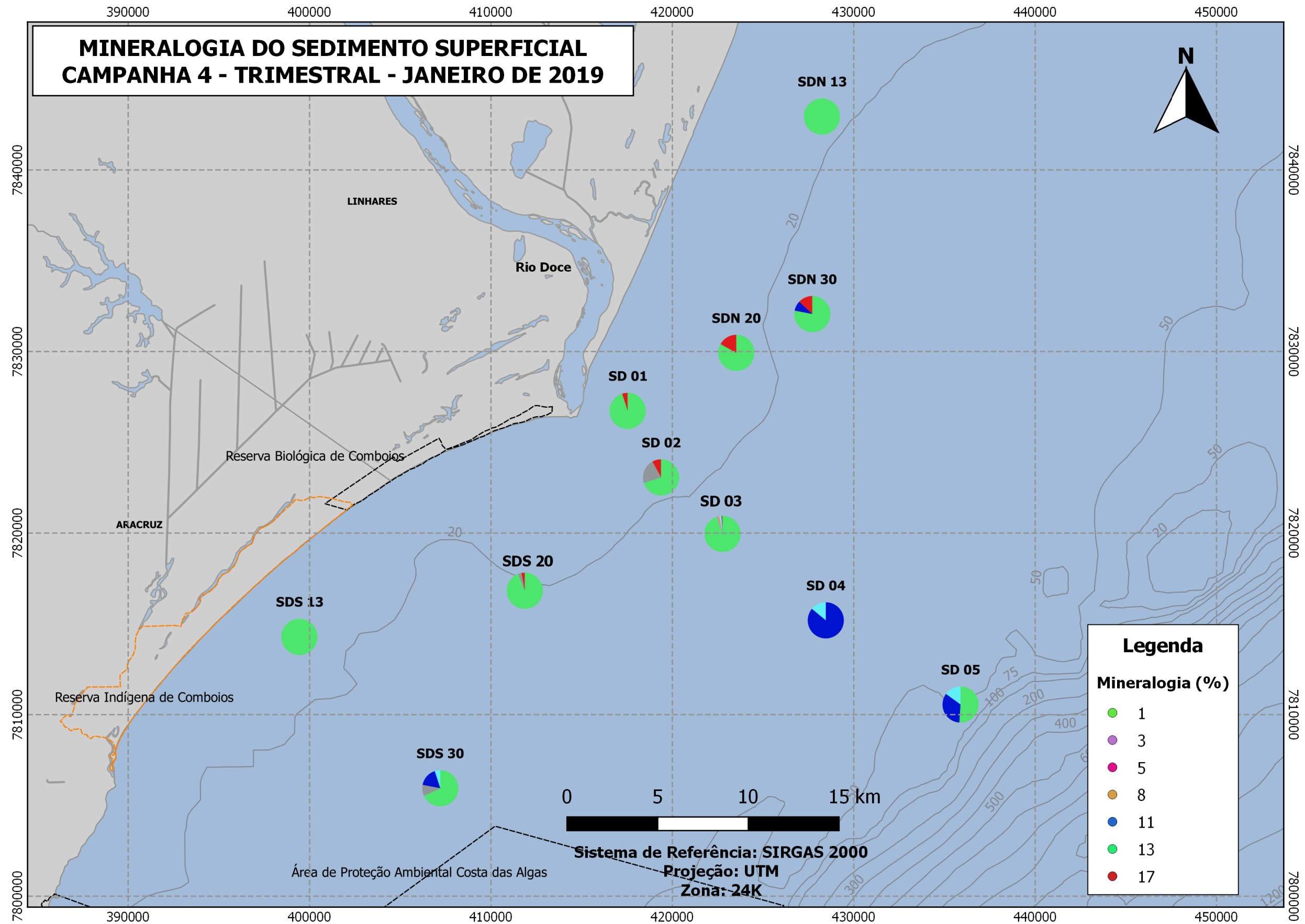


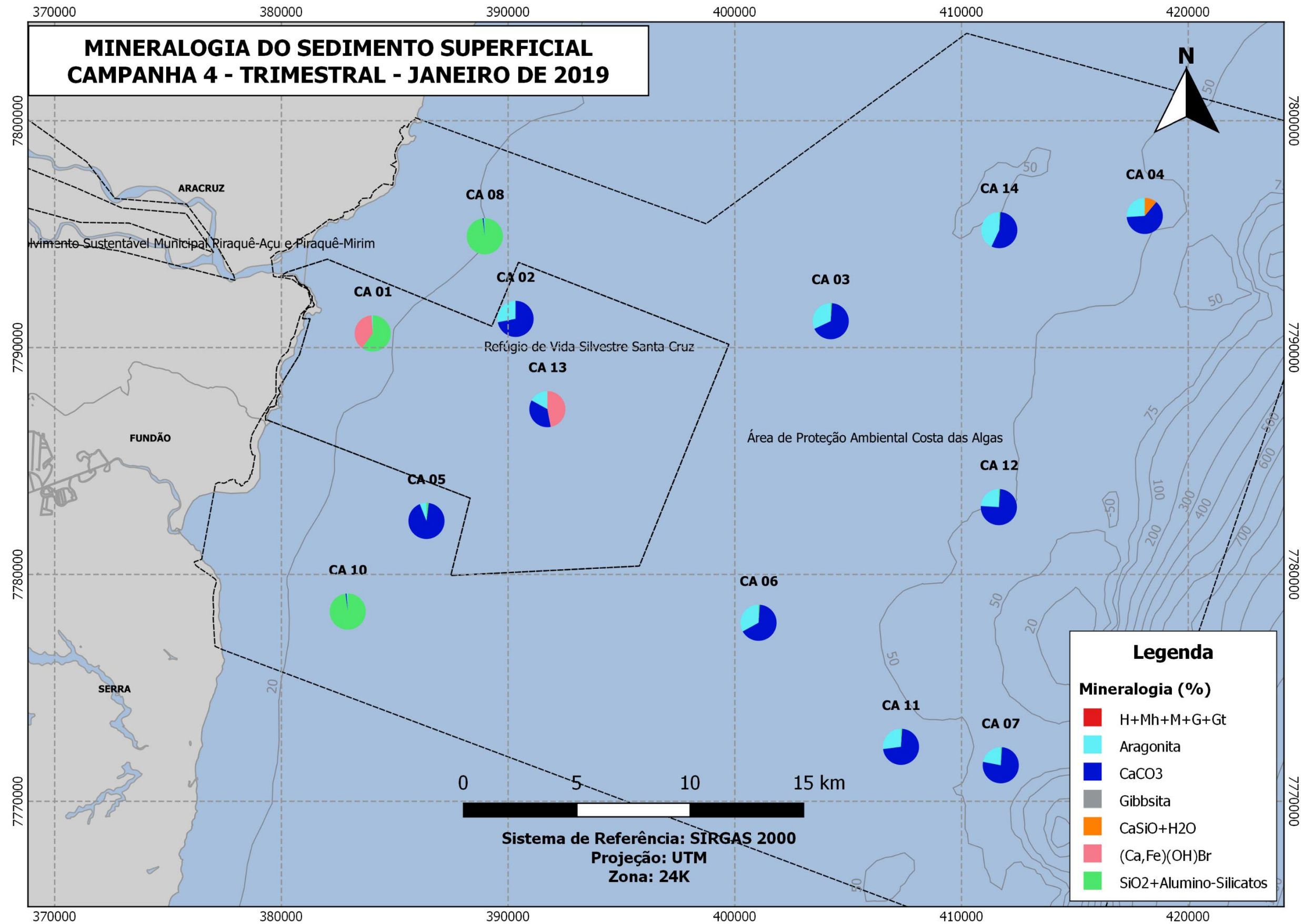


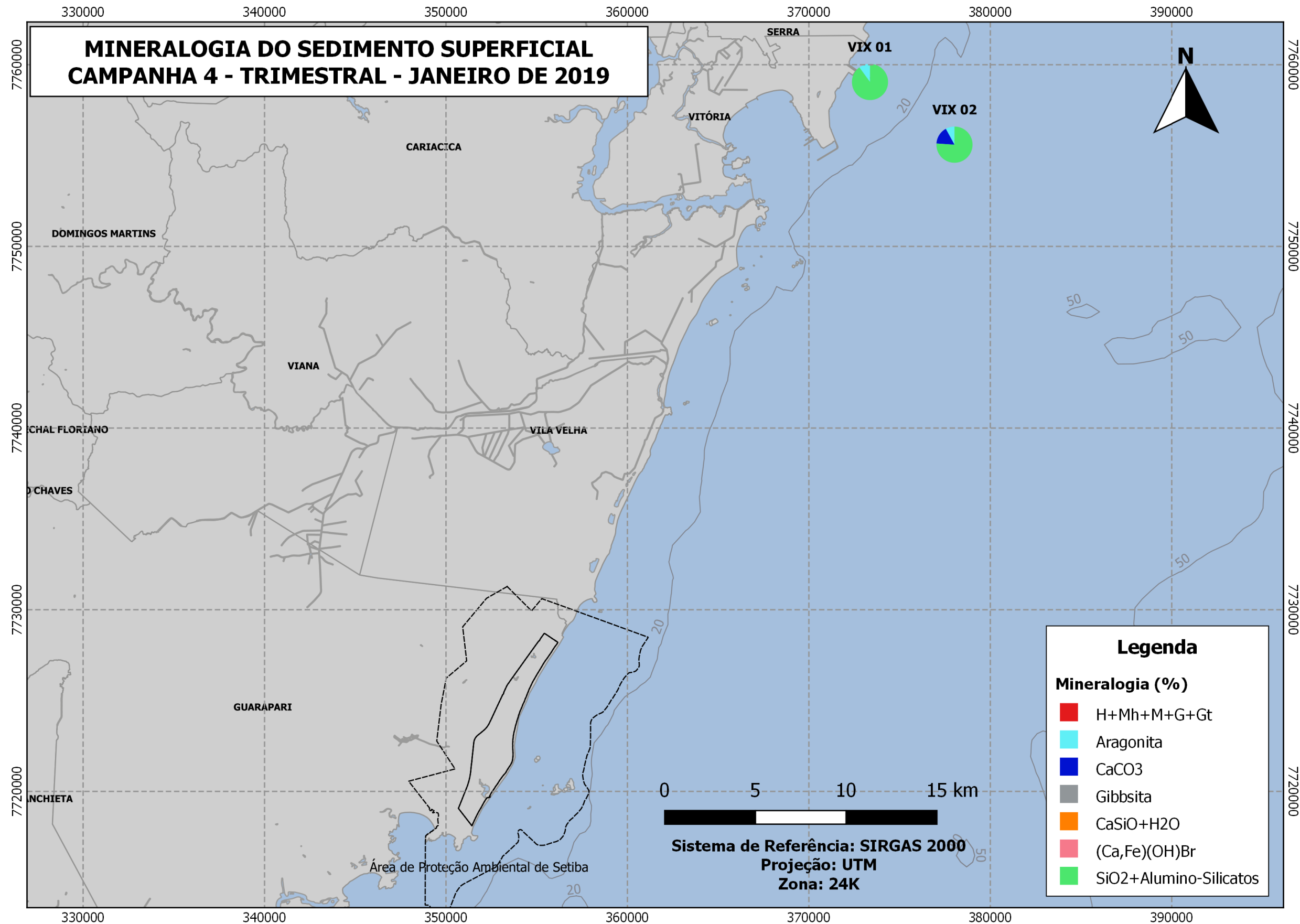


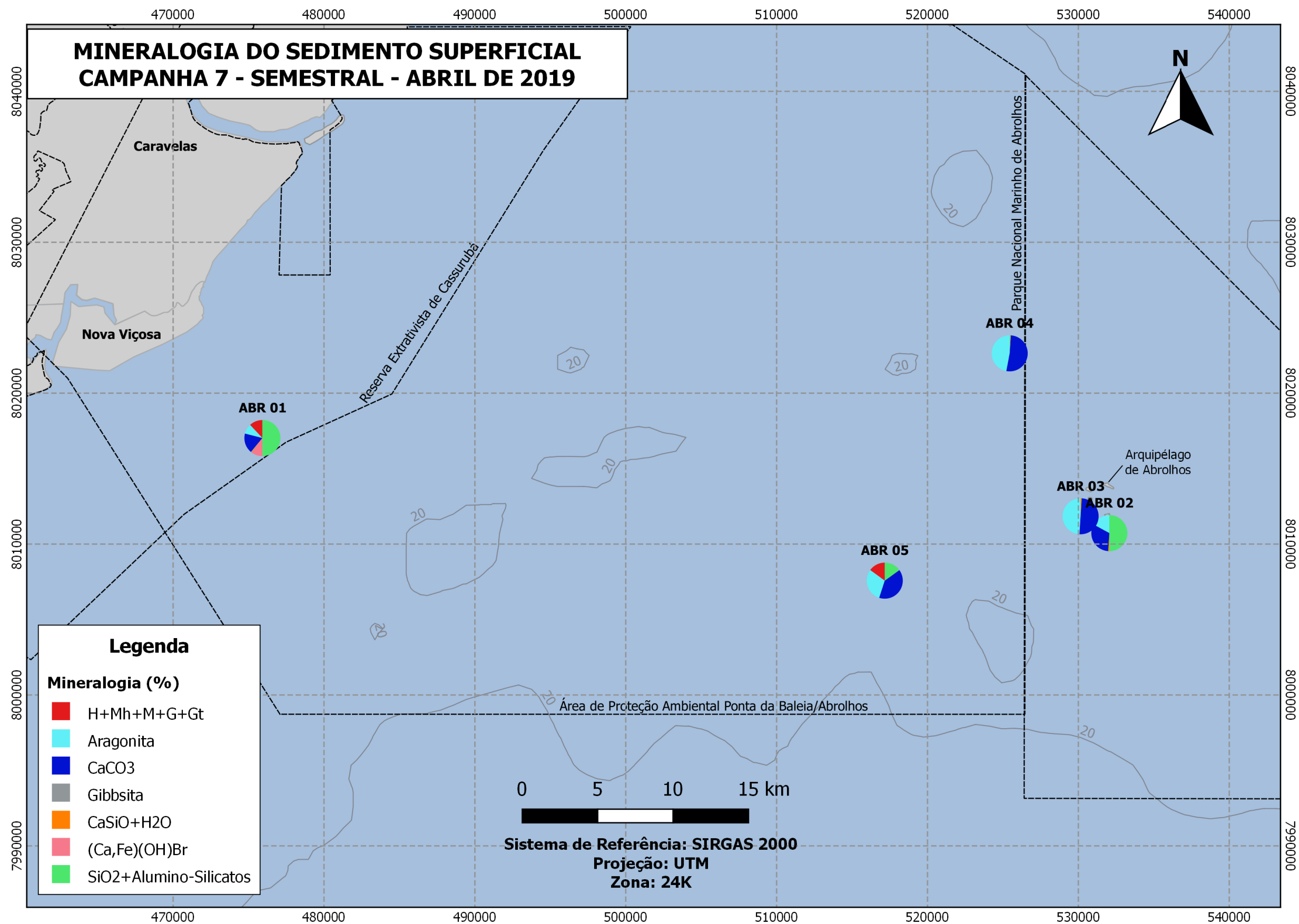


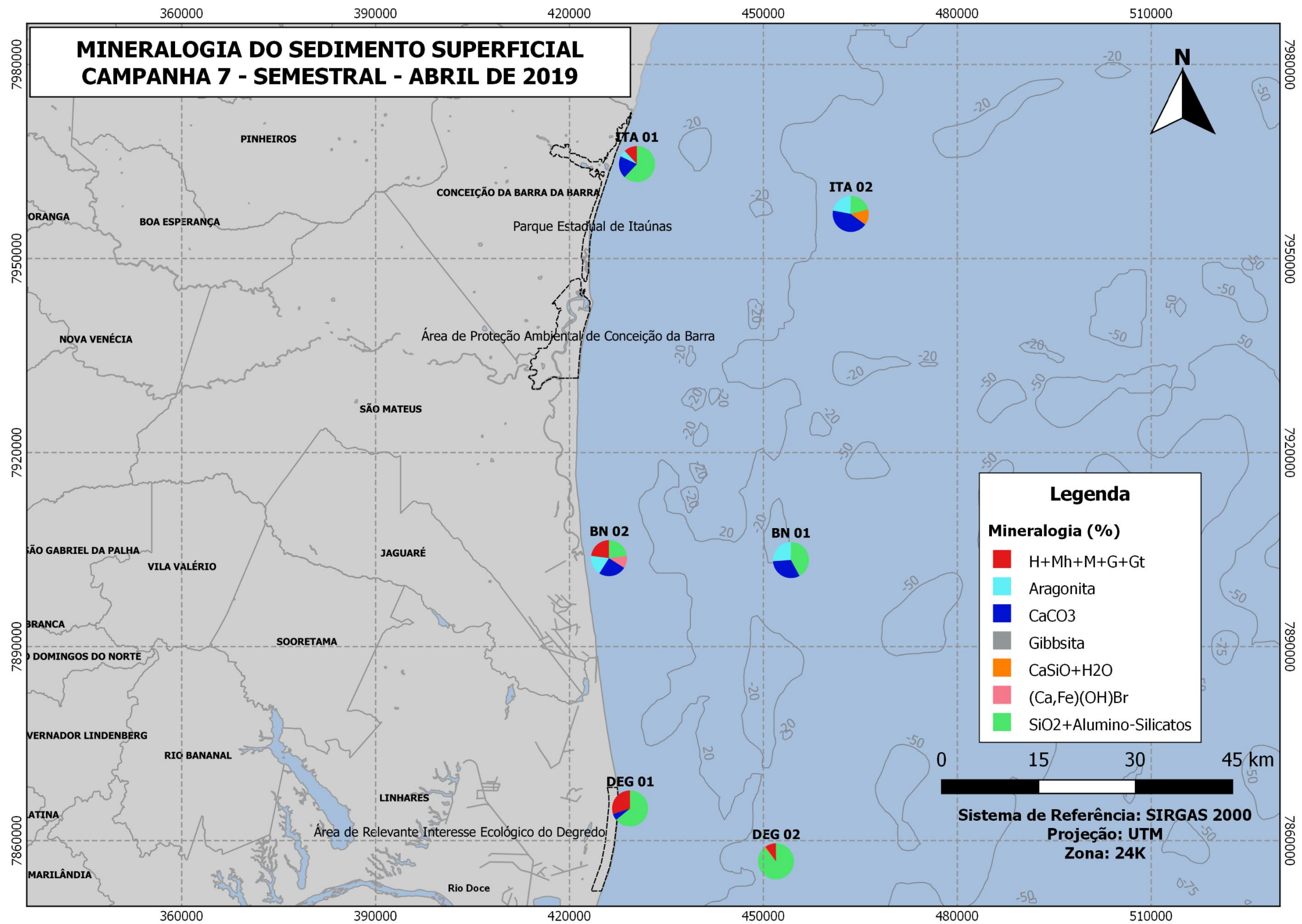


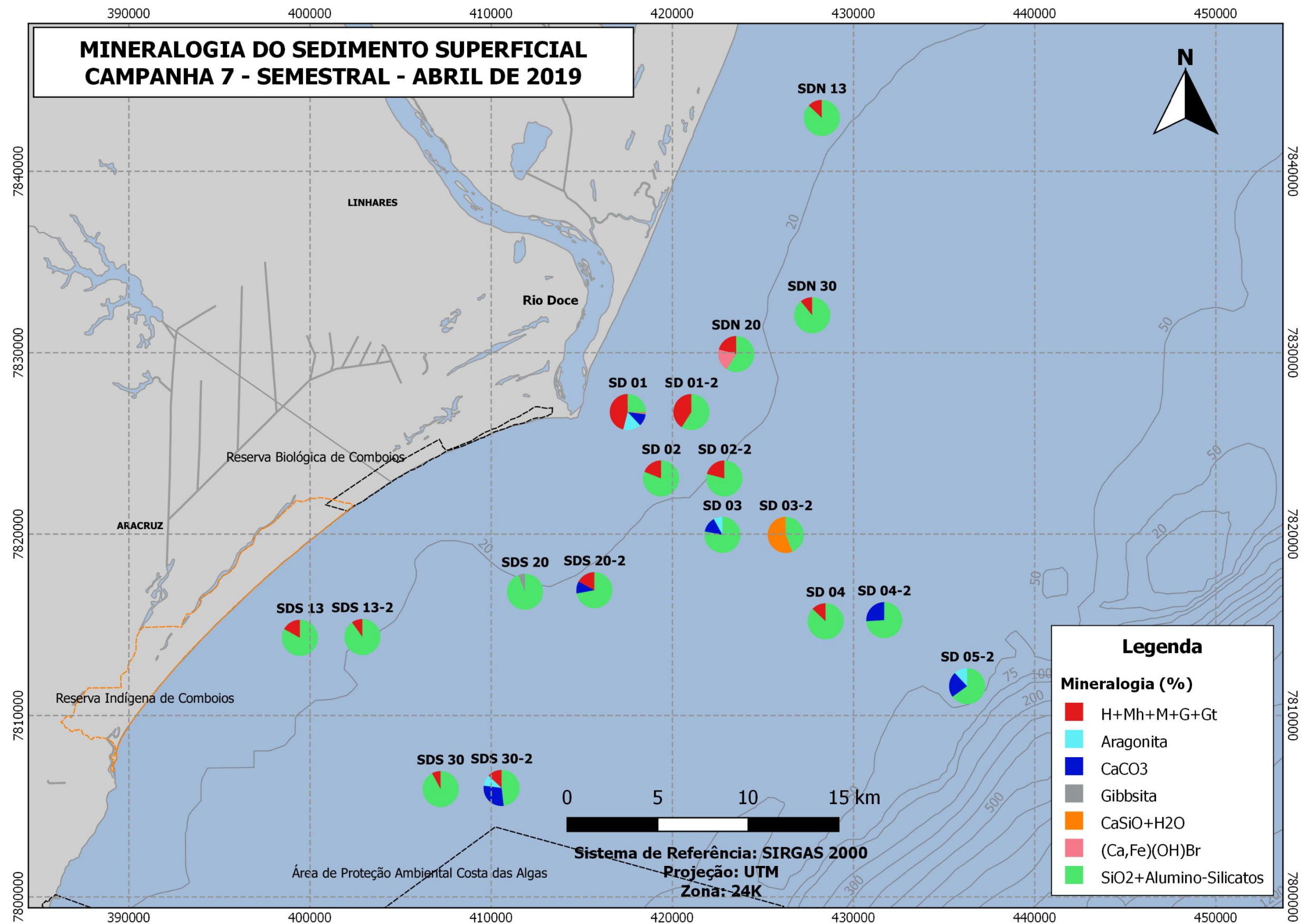


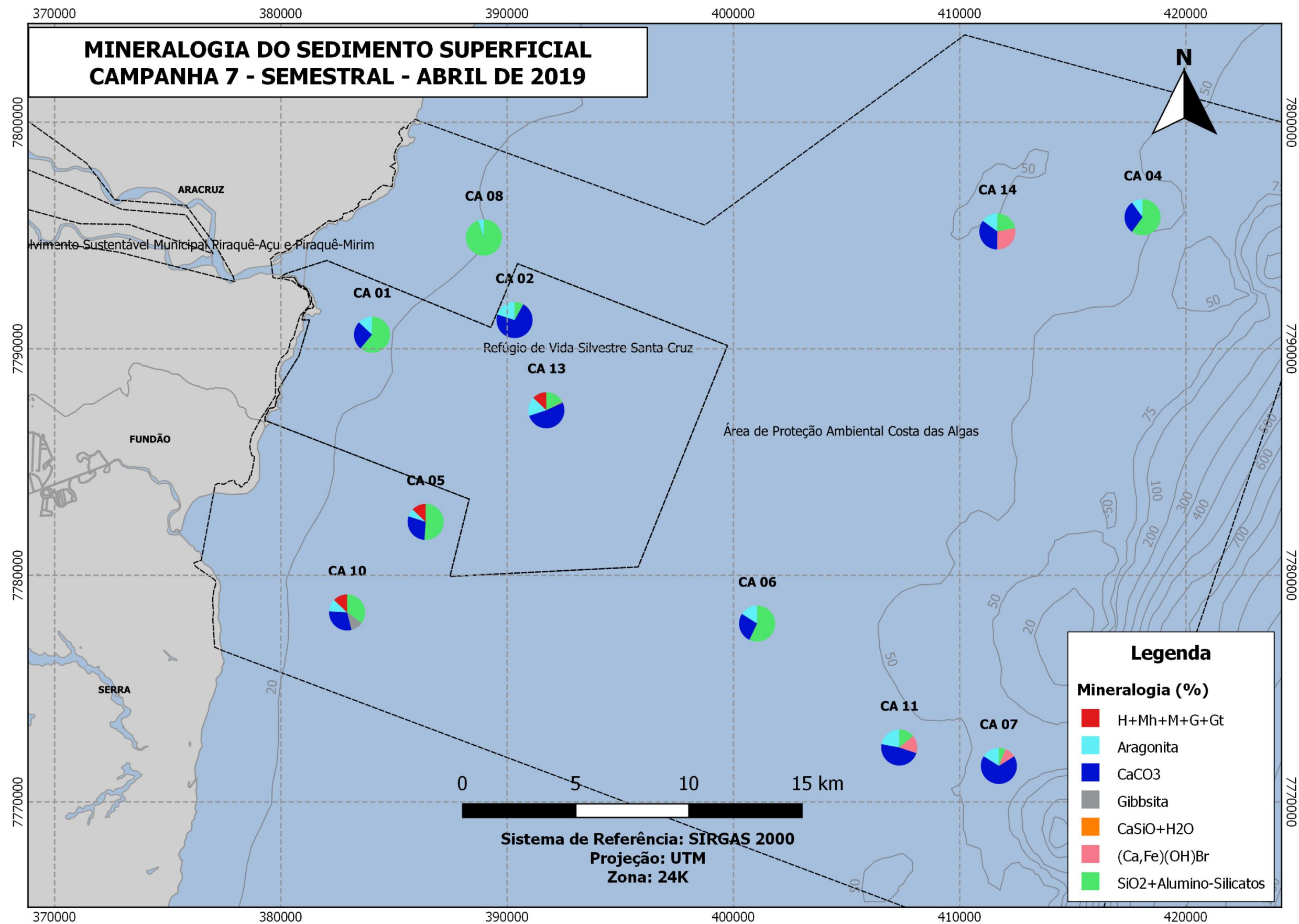


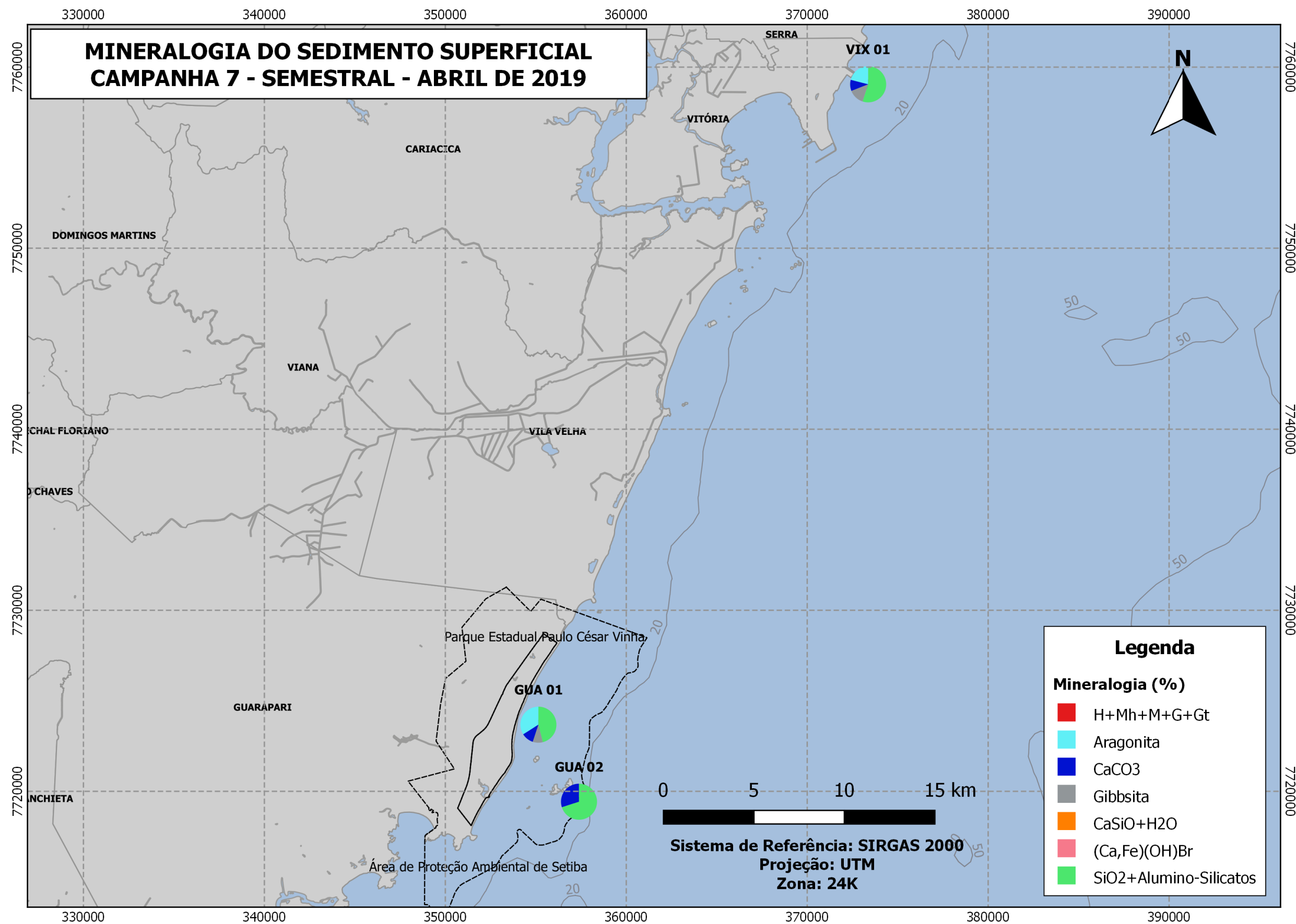


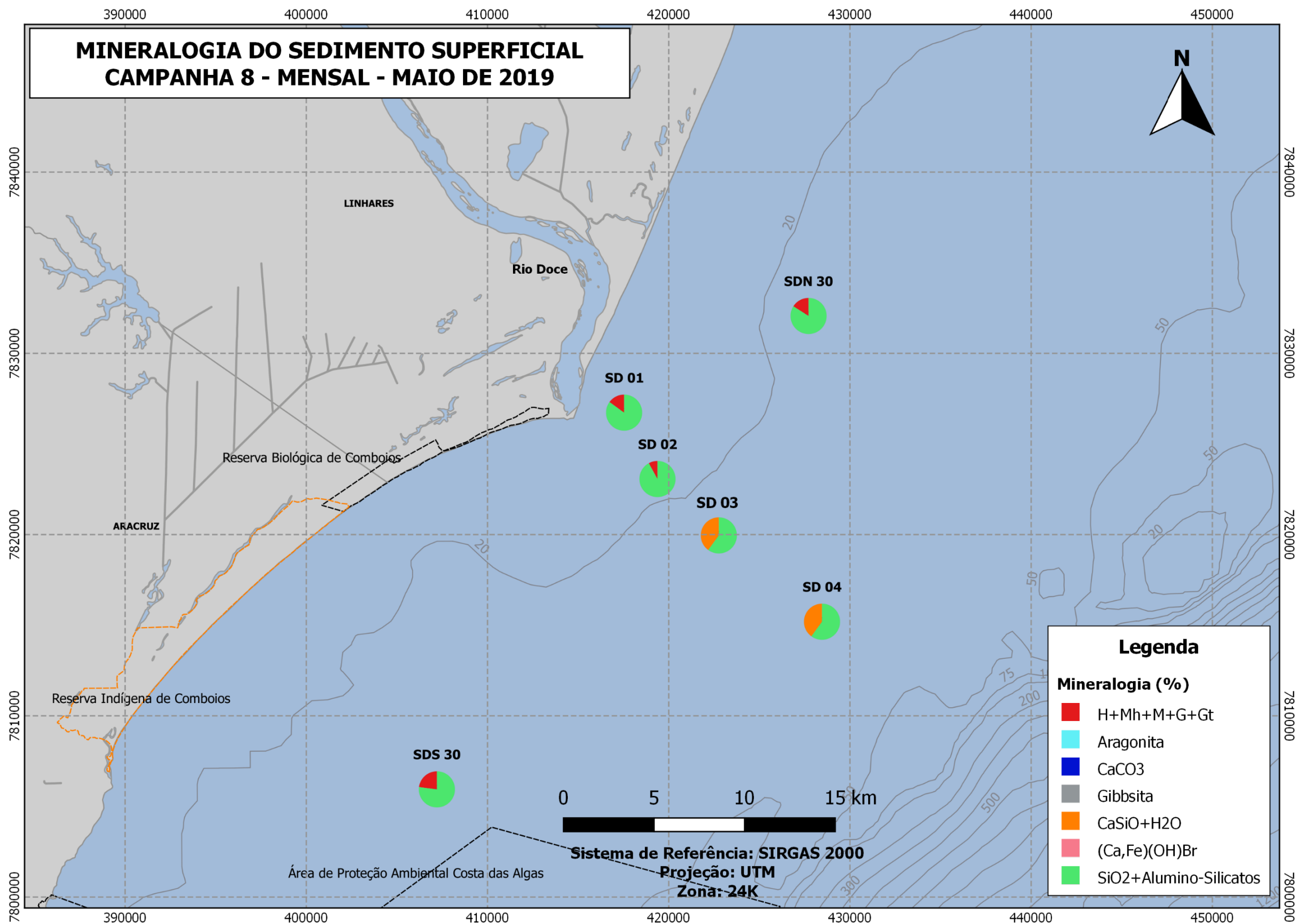


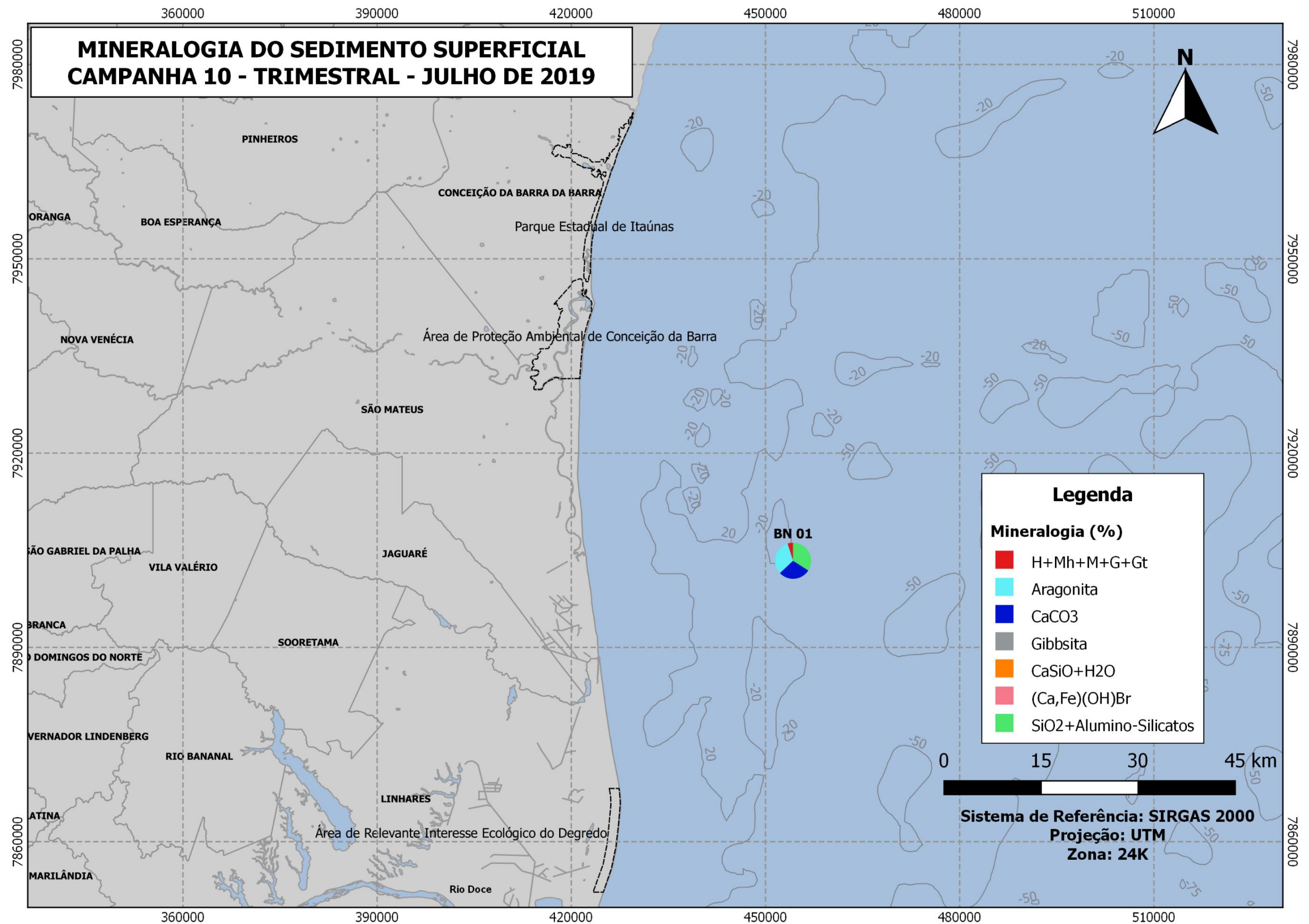


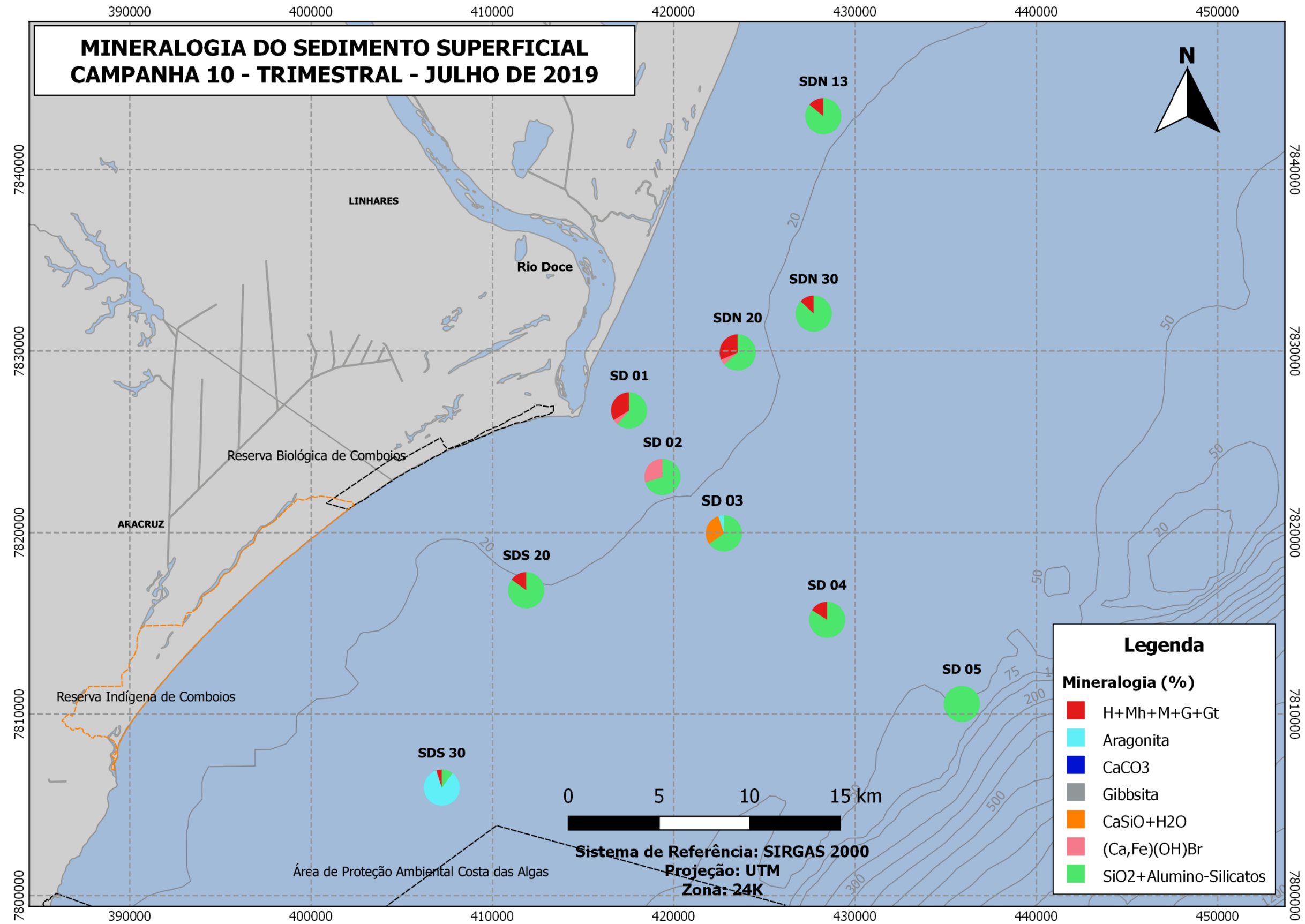


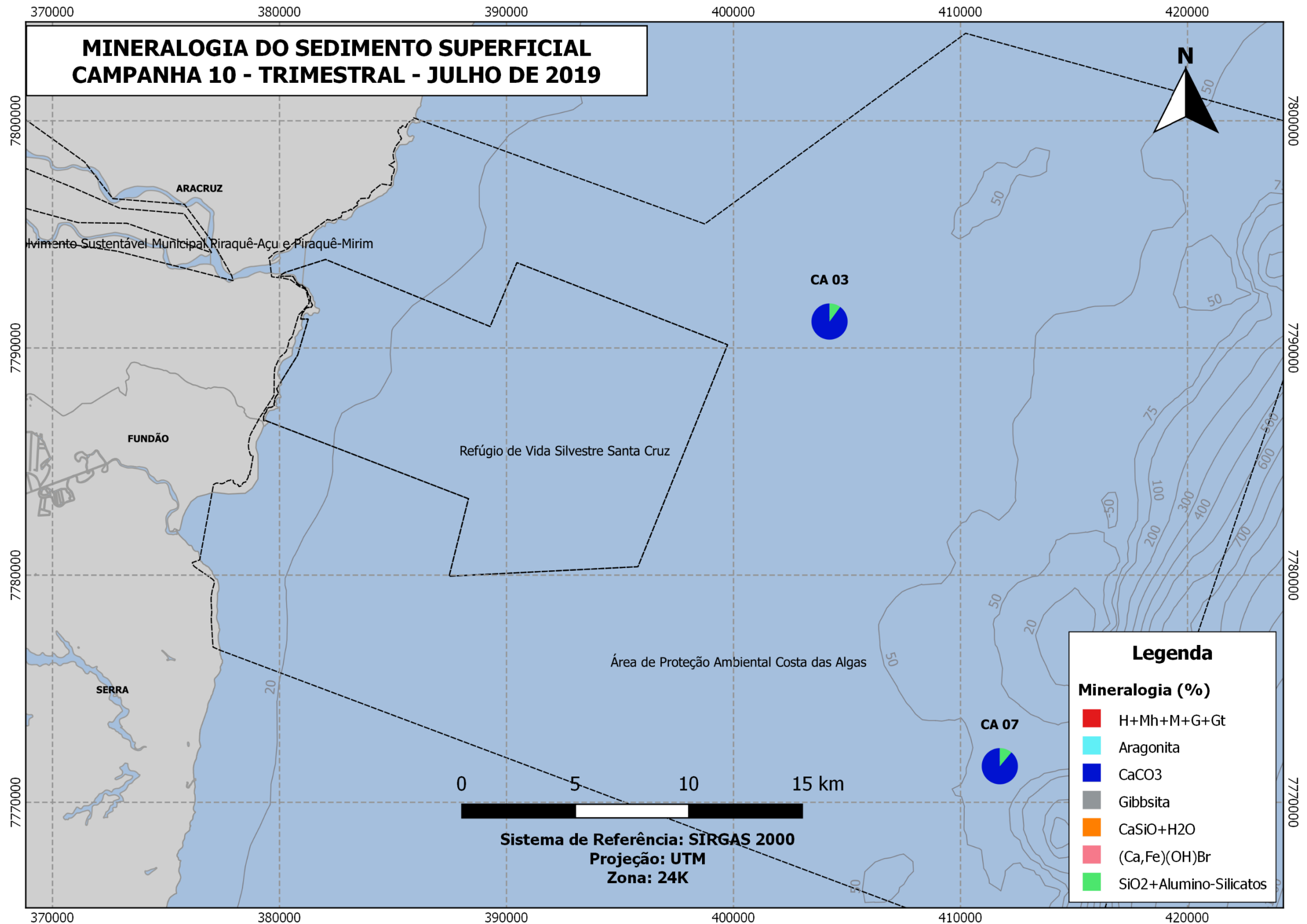


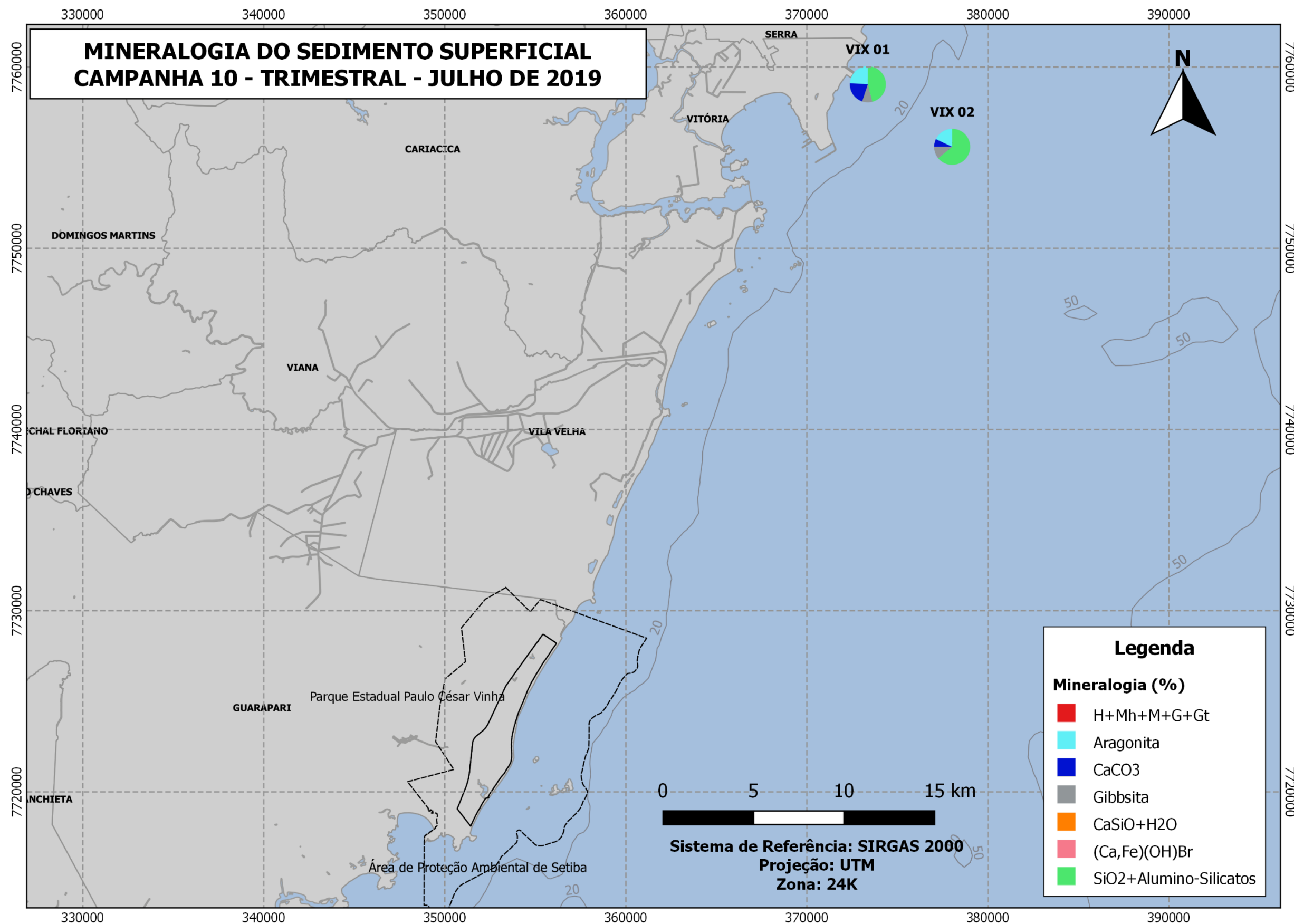




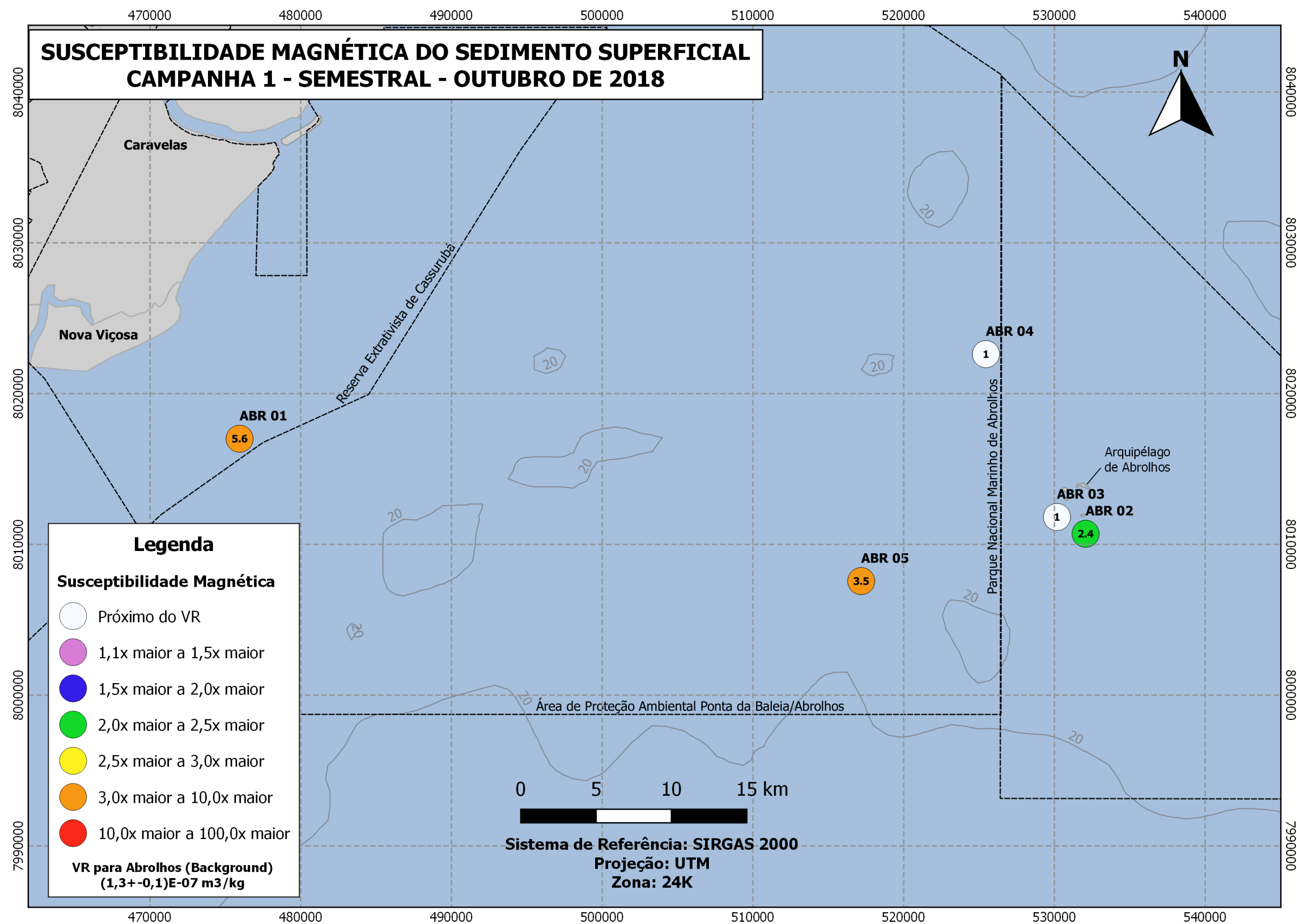


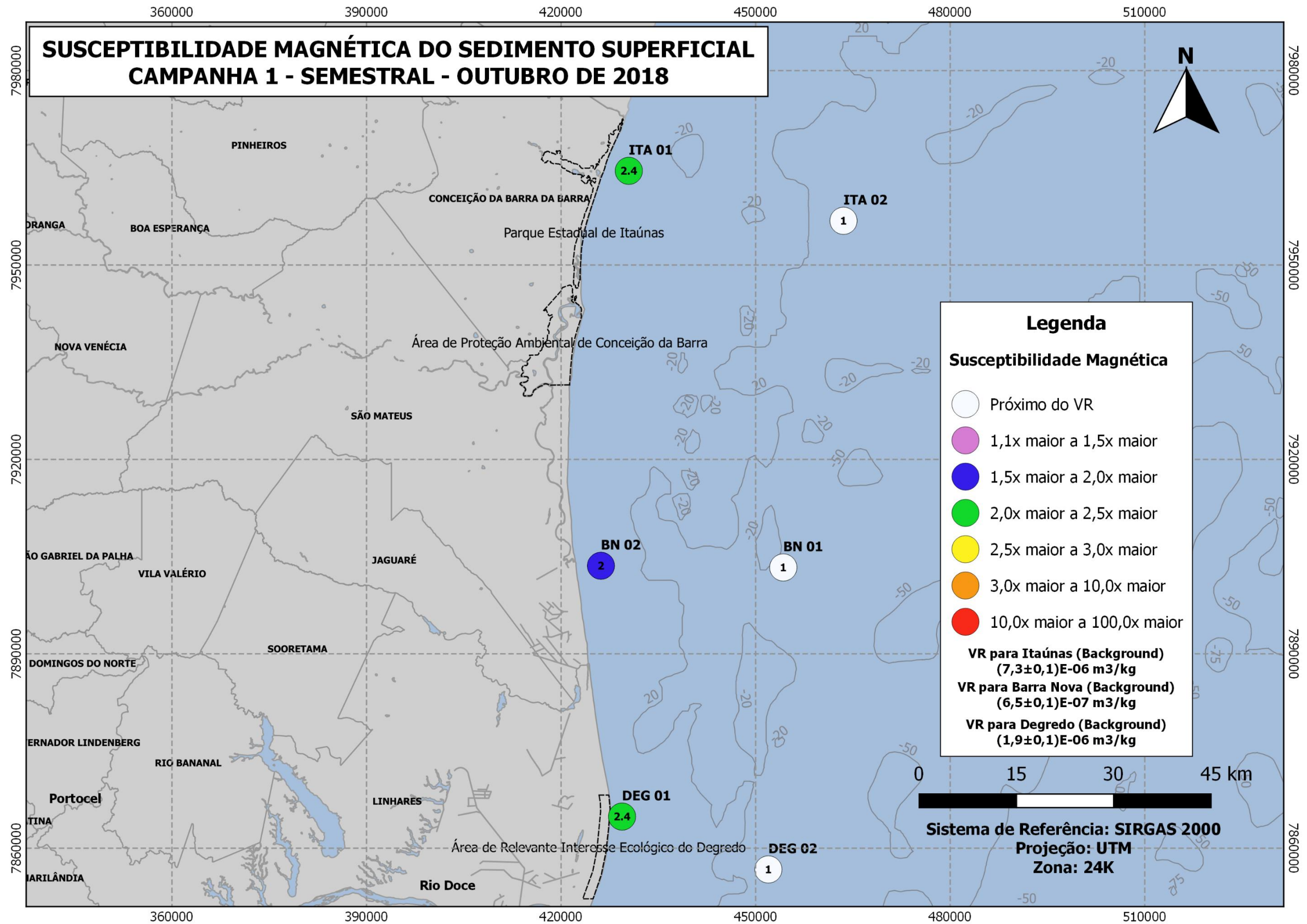


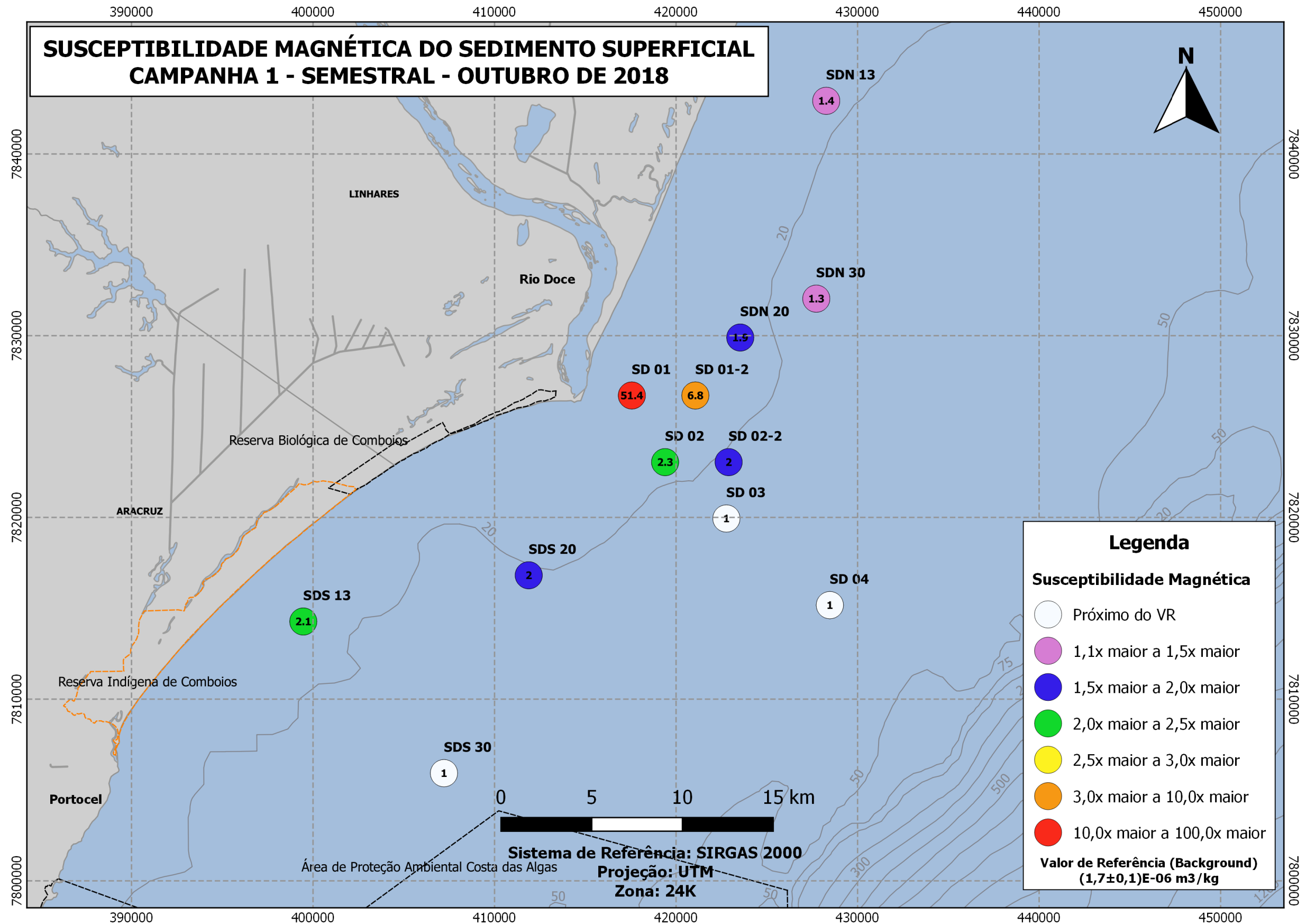


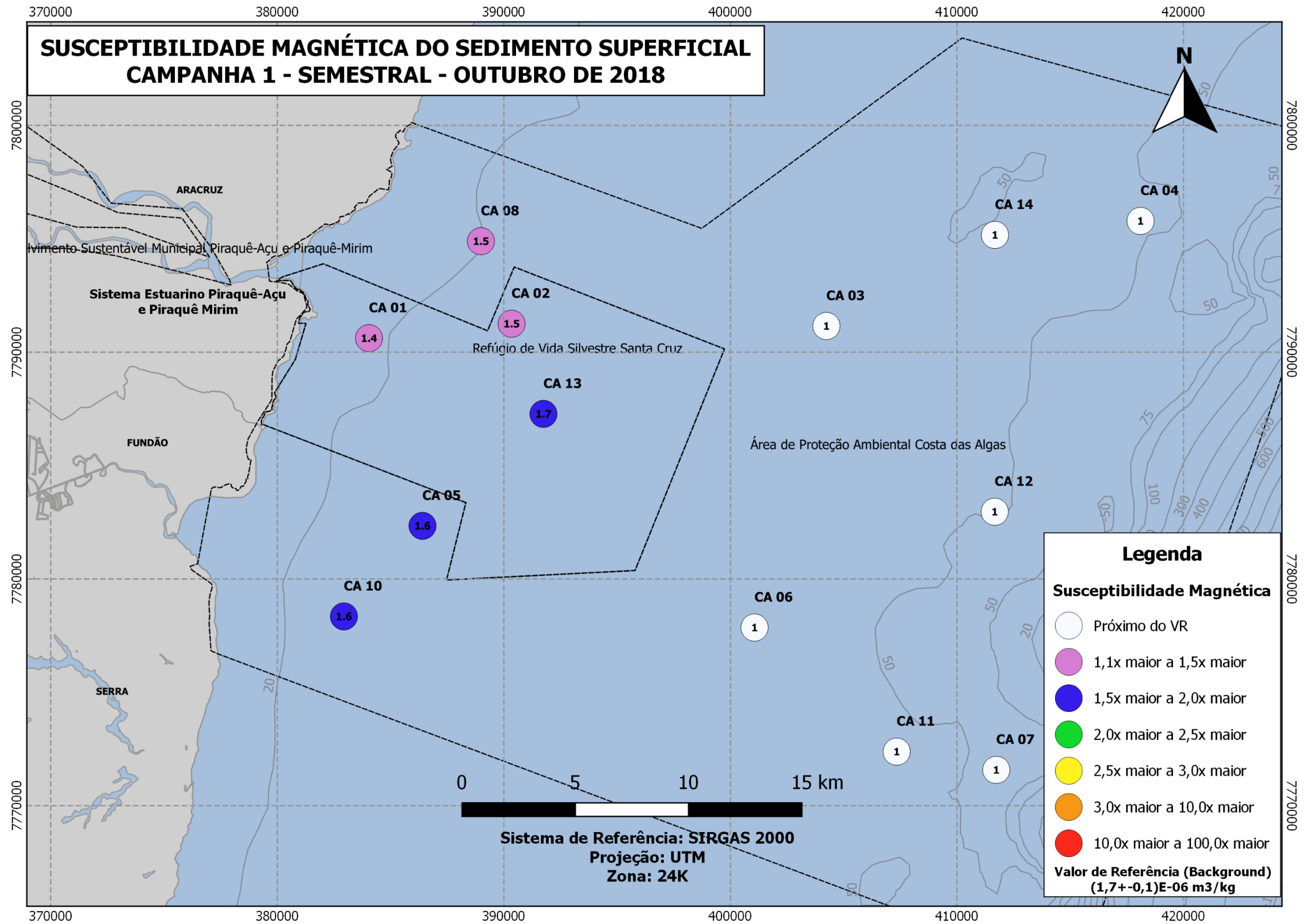


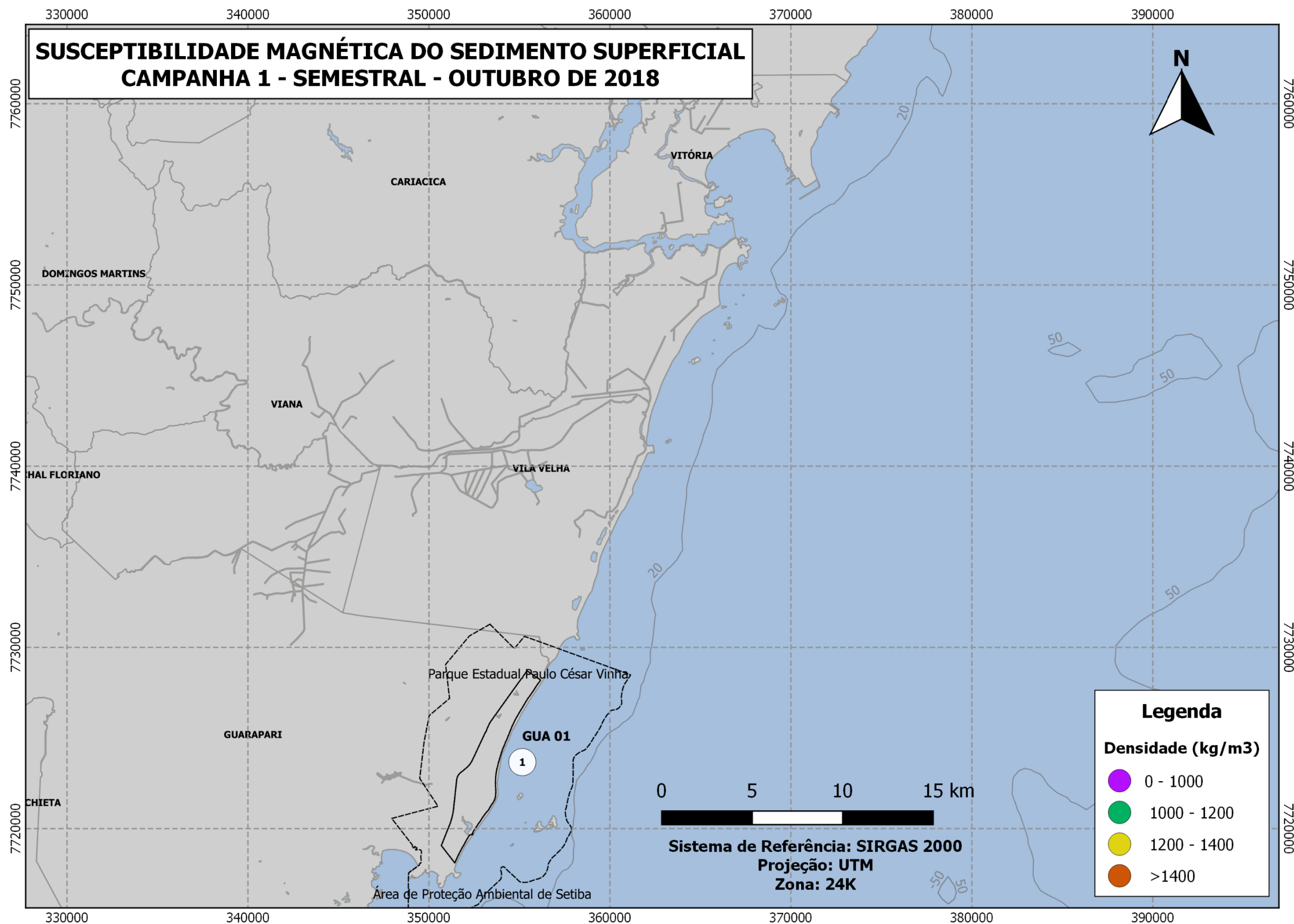
Apêndice 13: Susceptibilidade magnética do sedimento superficial ao longo do monitoramento para cada setor amostrado.

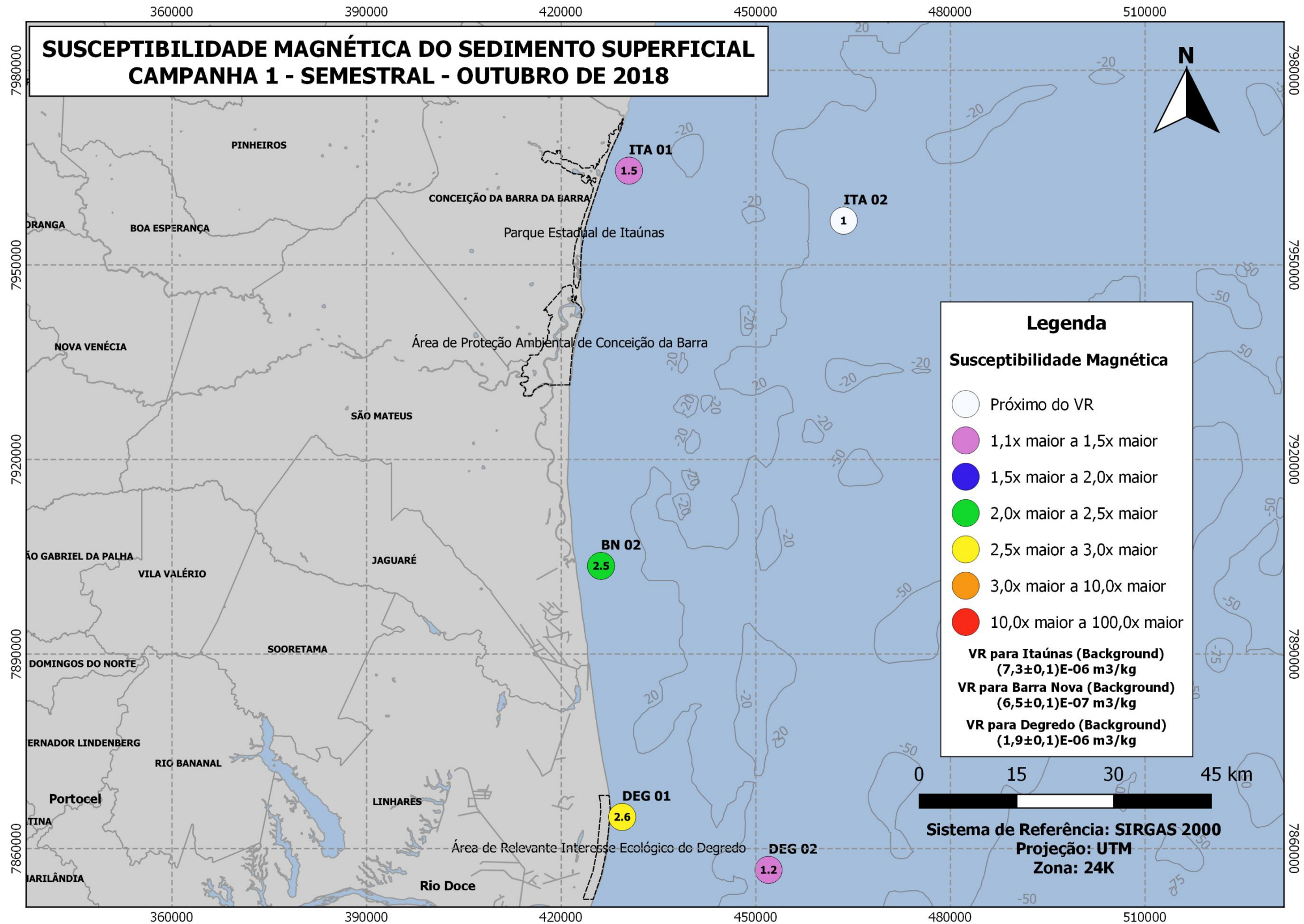


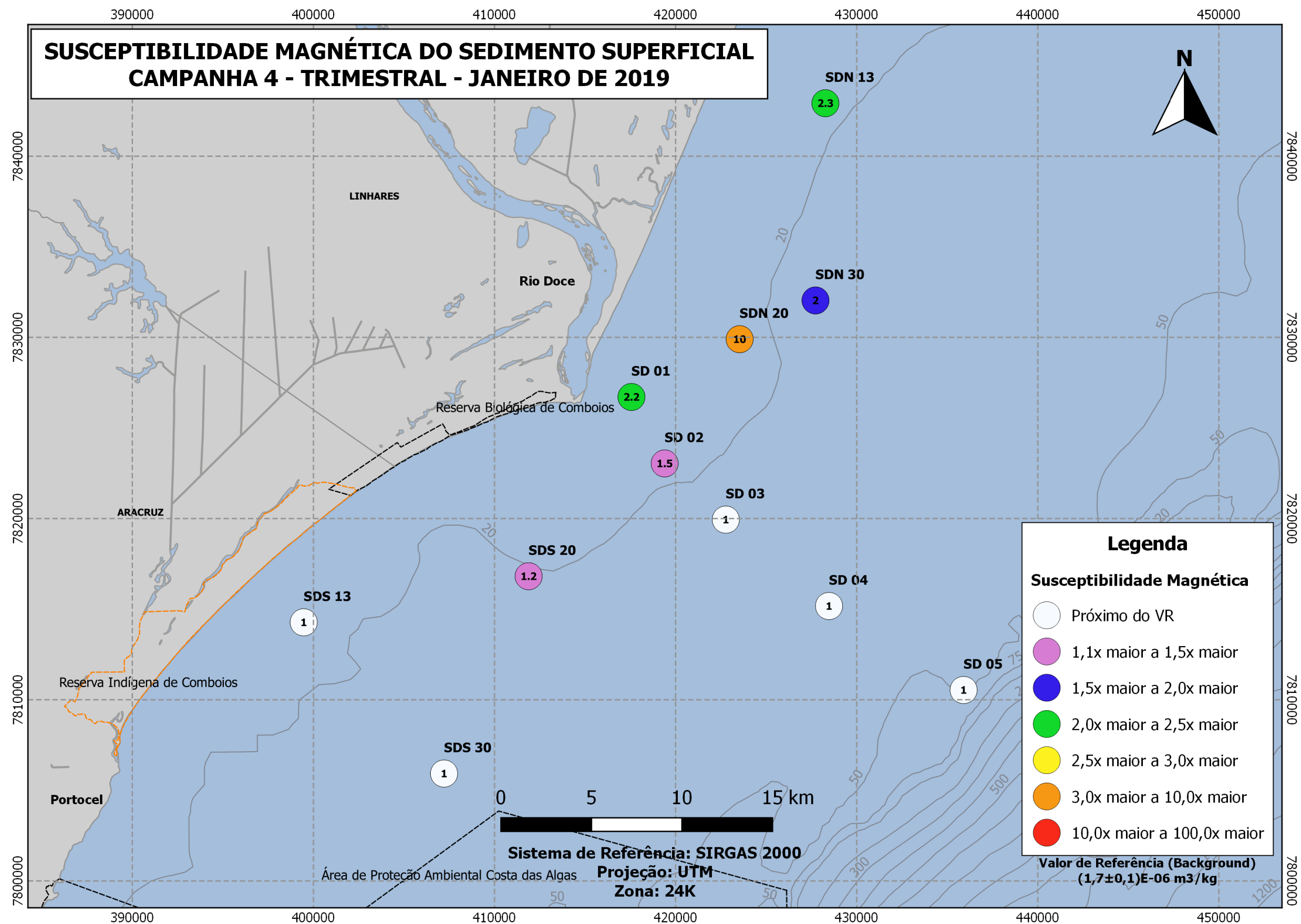


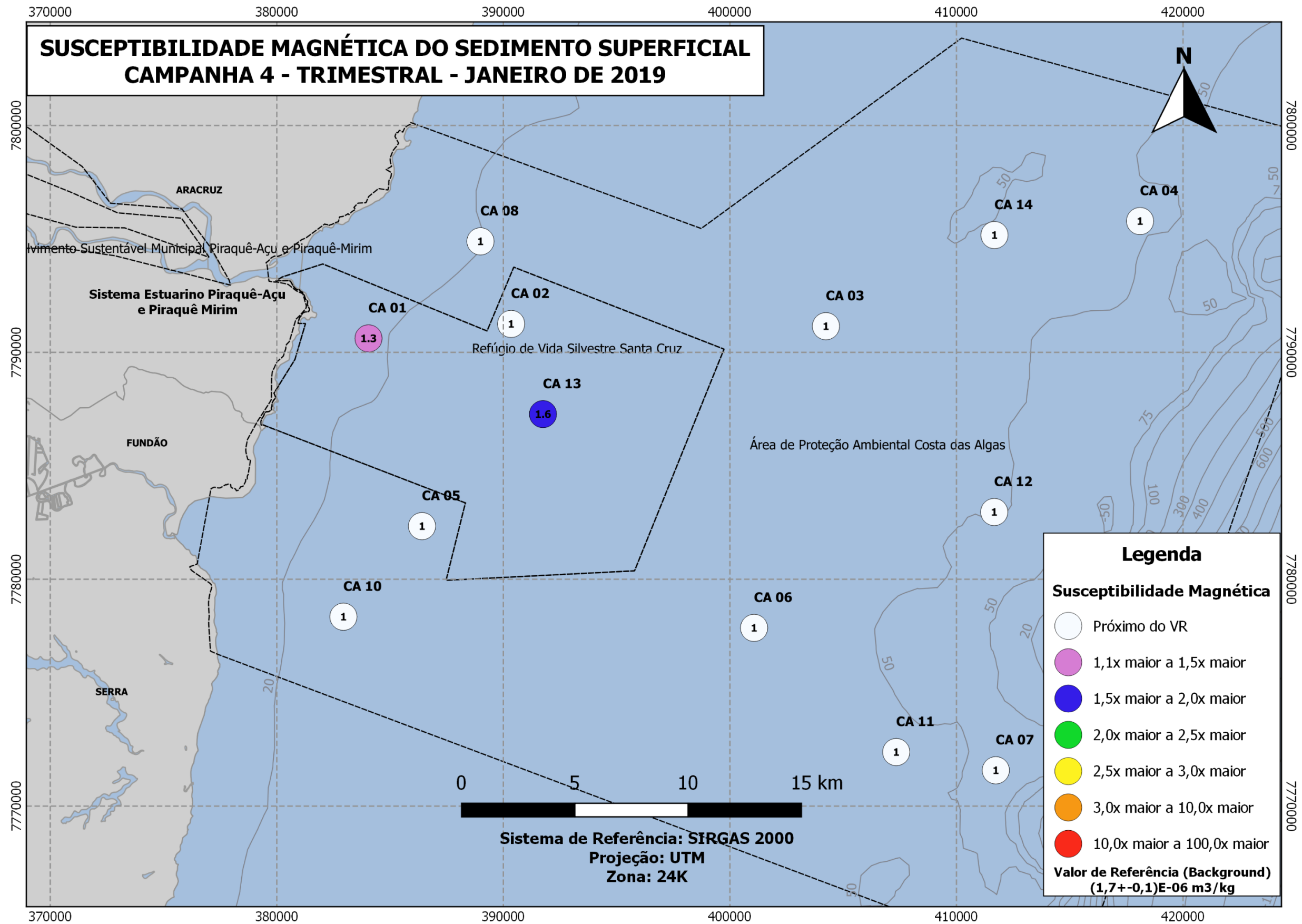


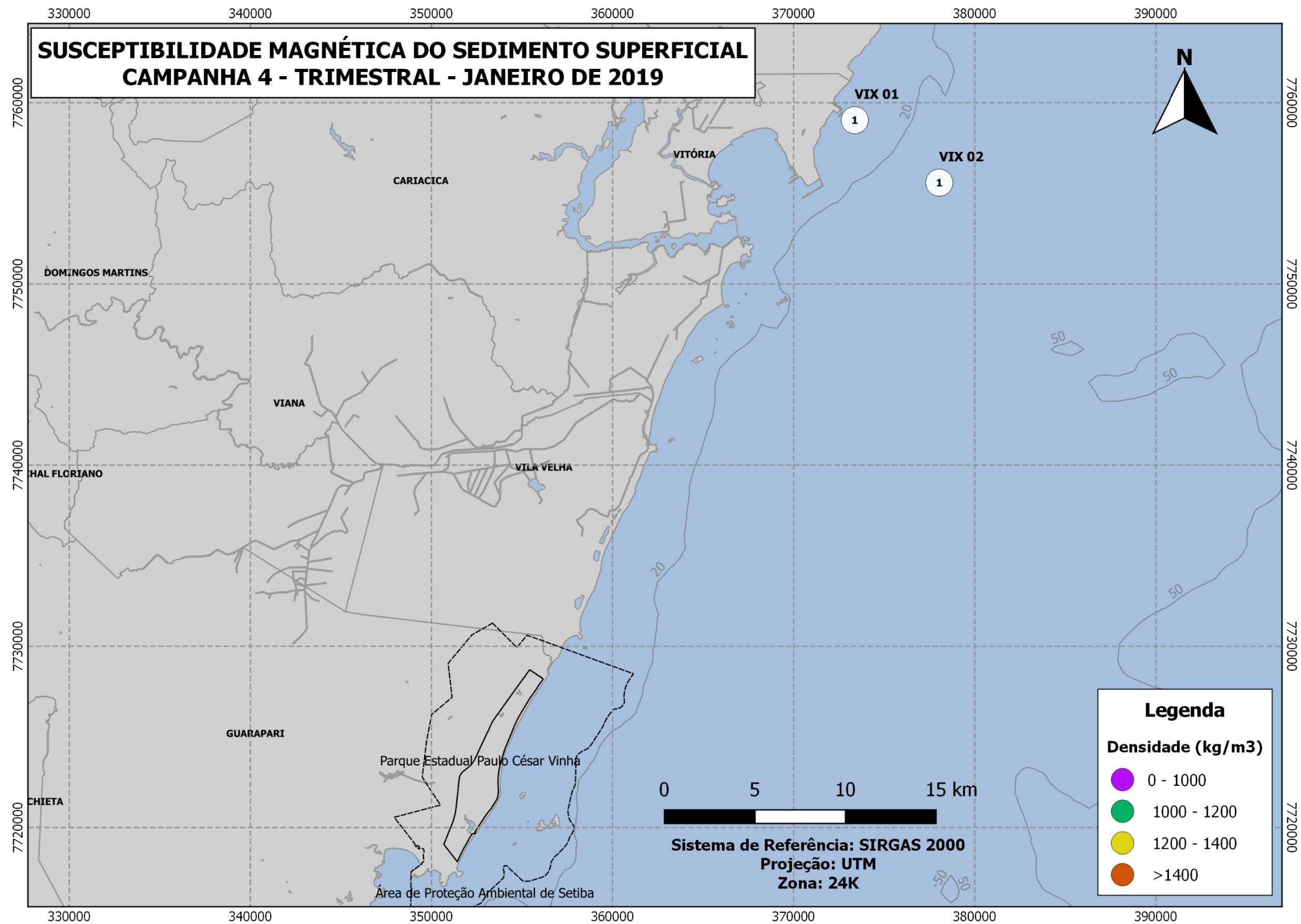


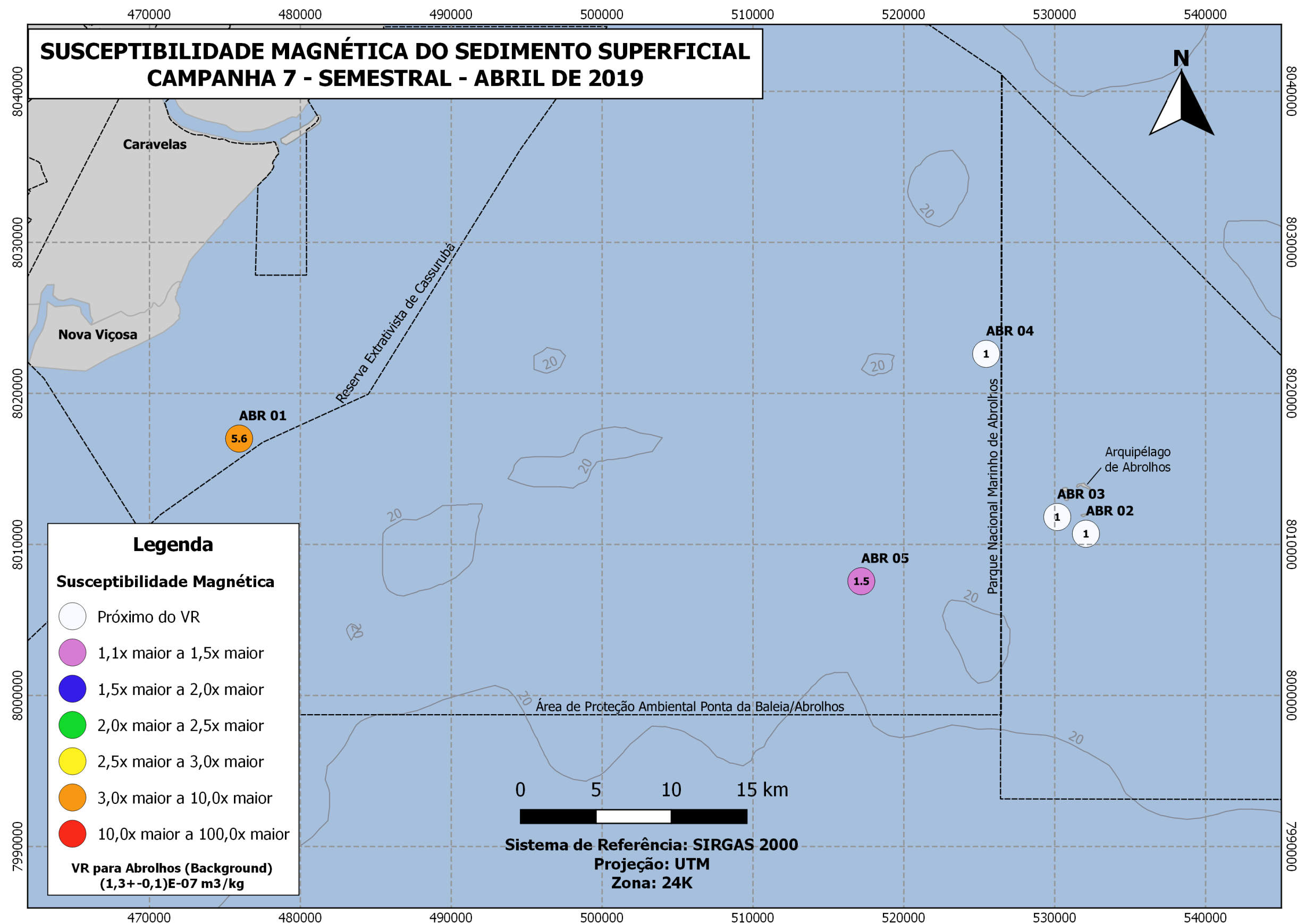


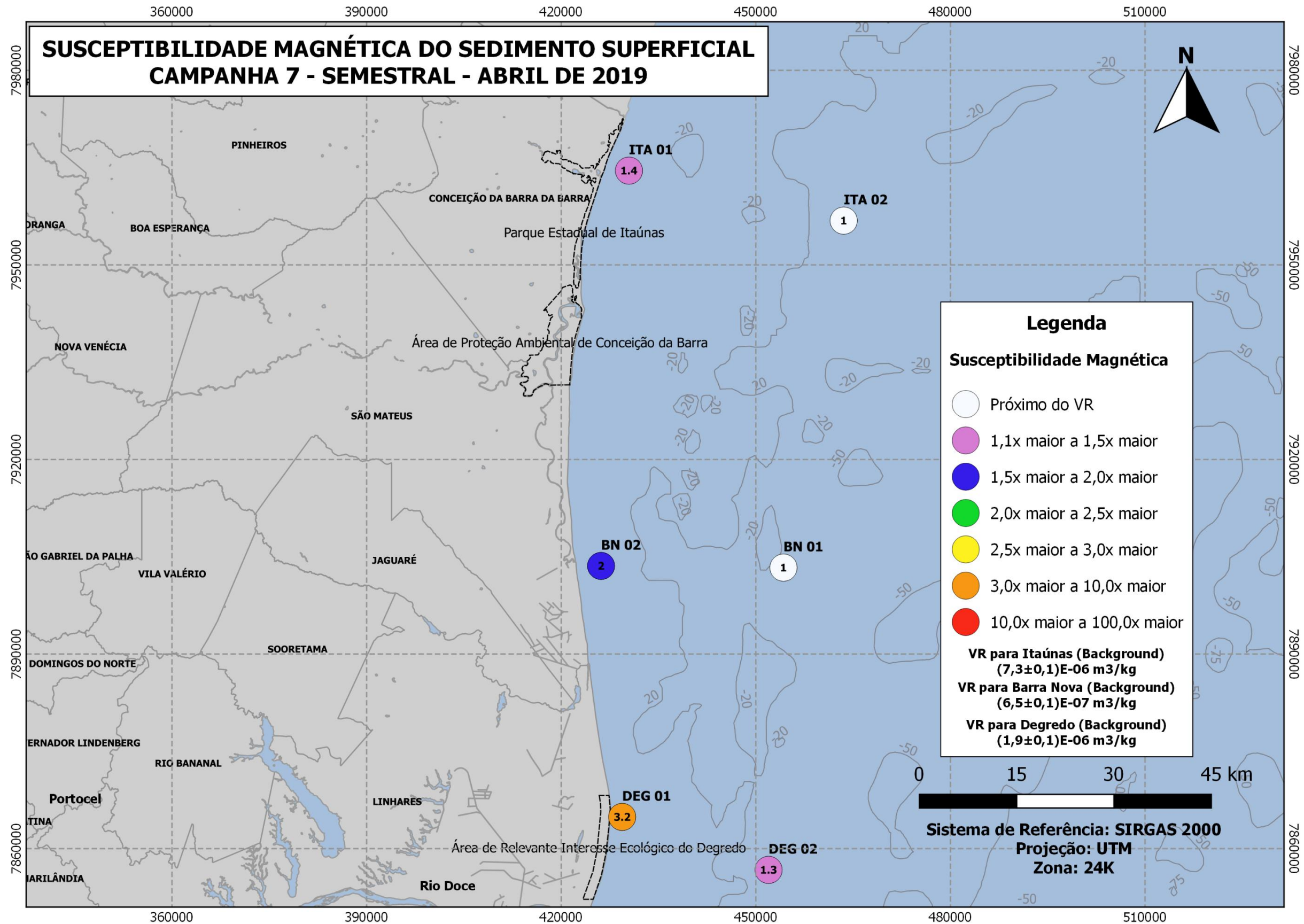


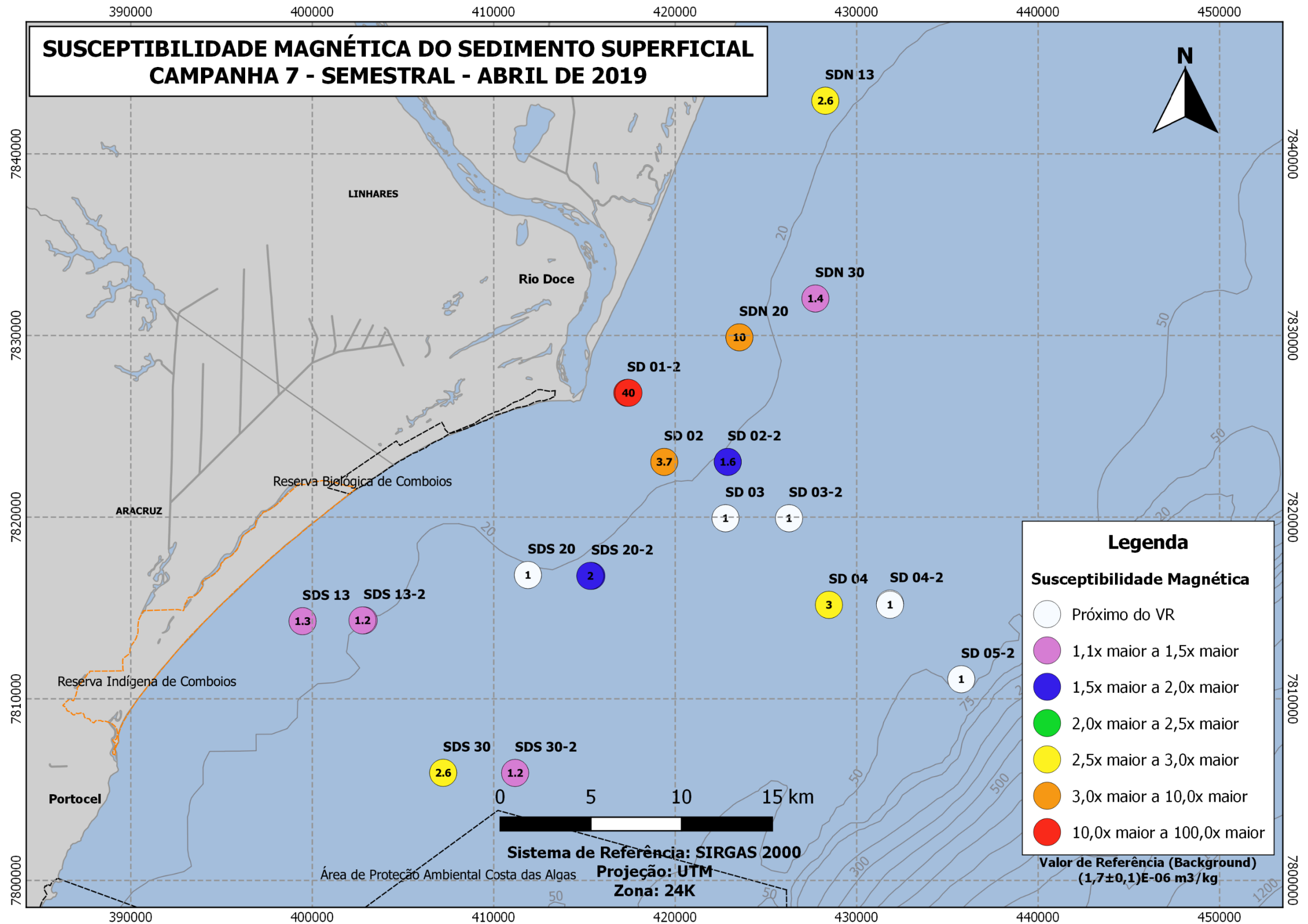


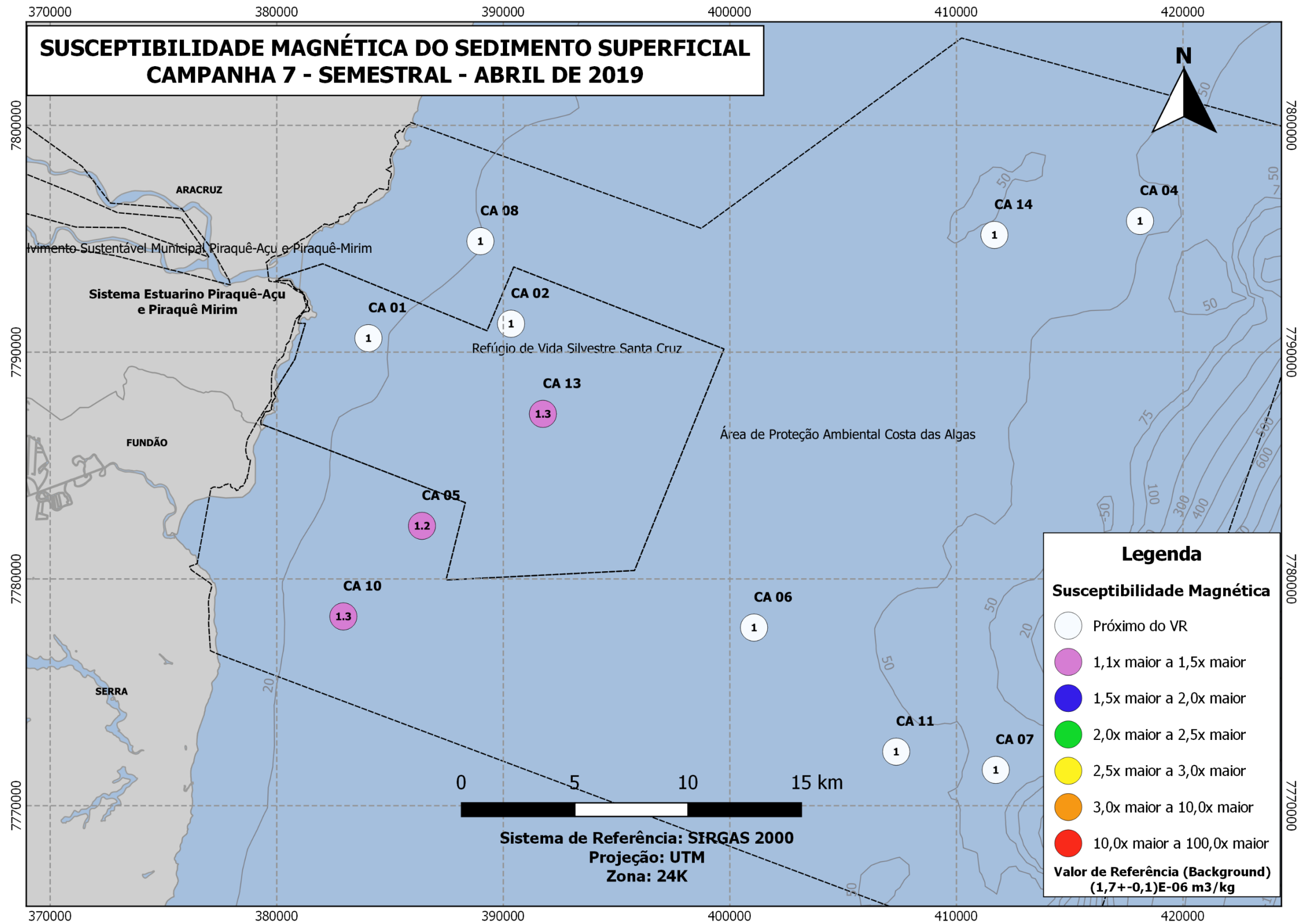


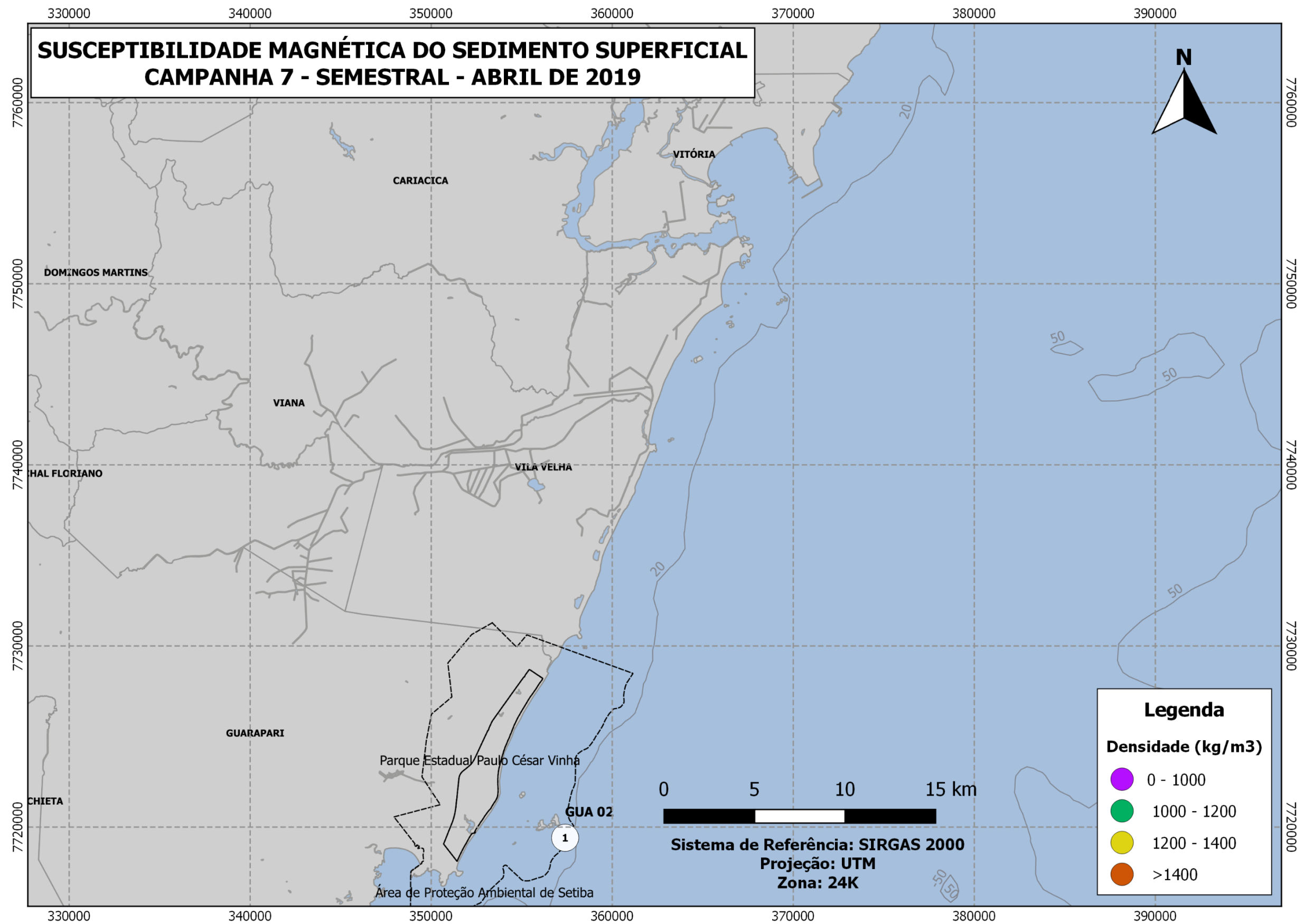


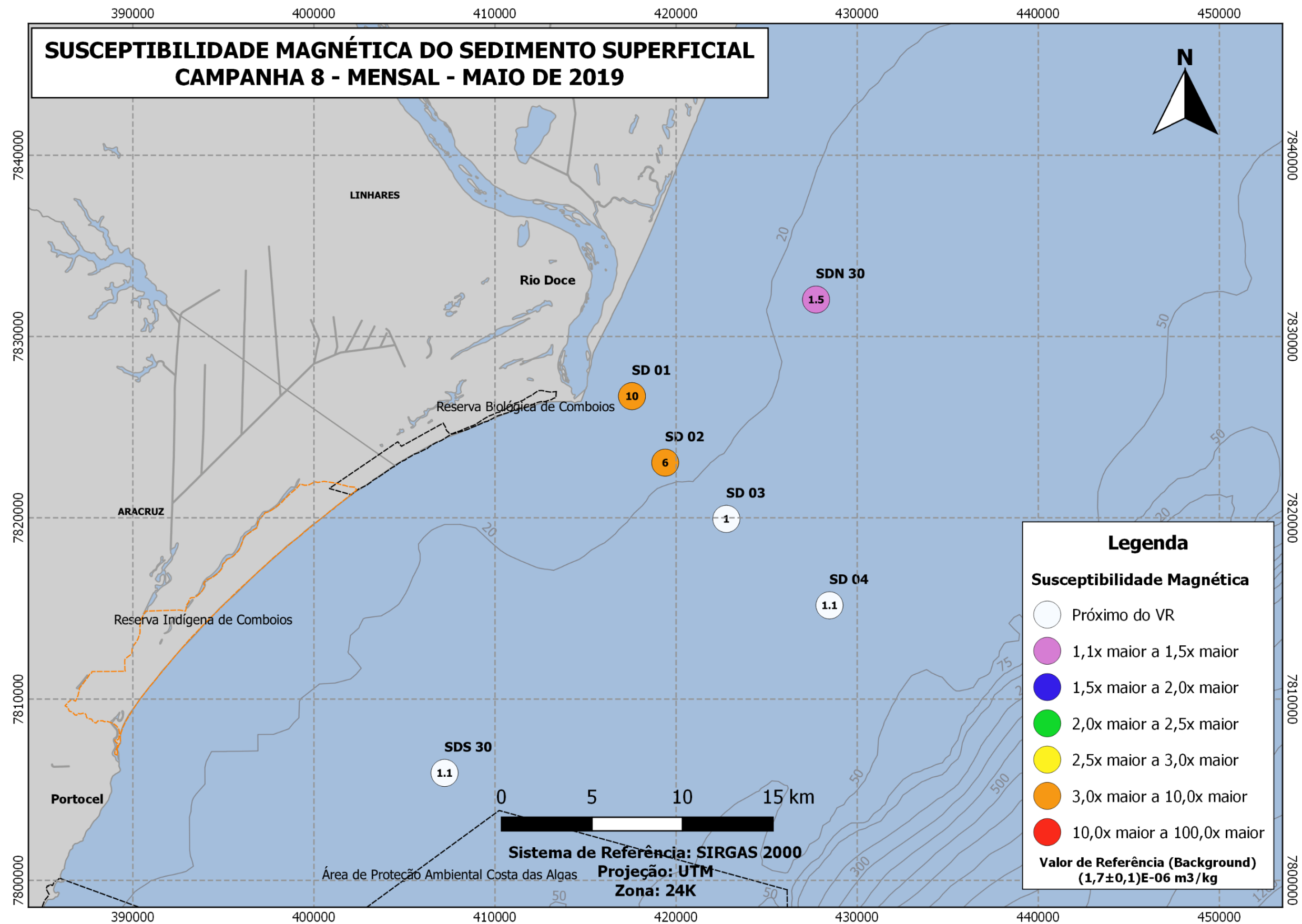


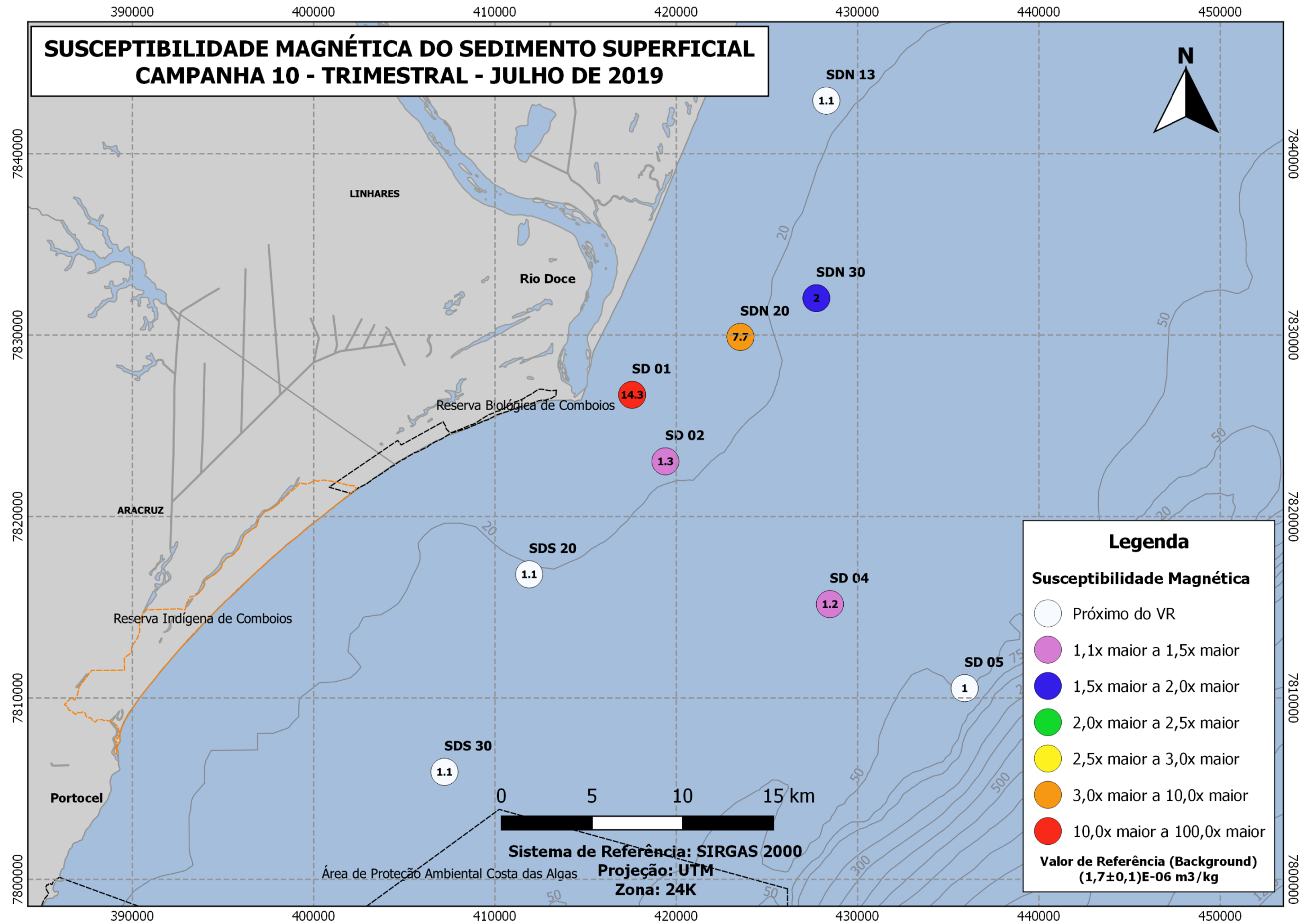


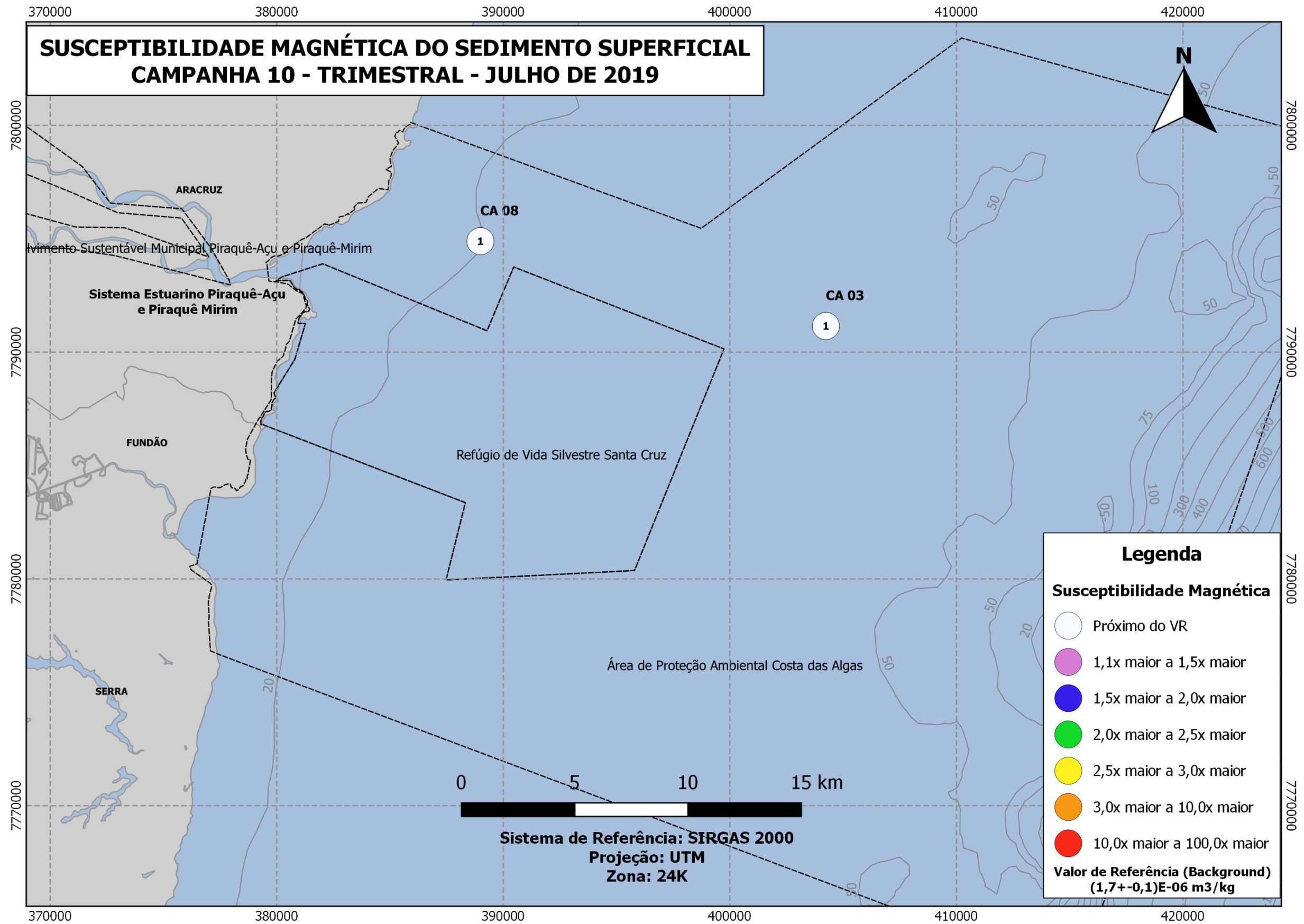


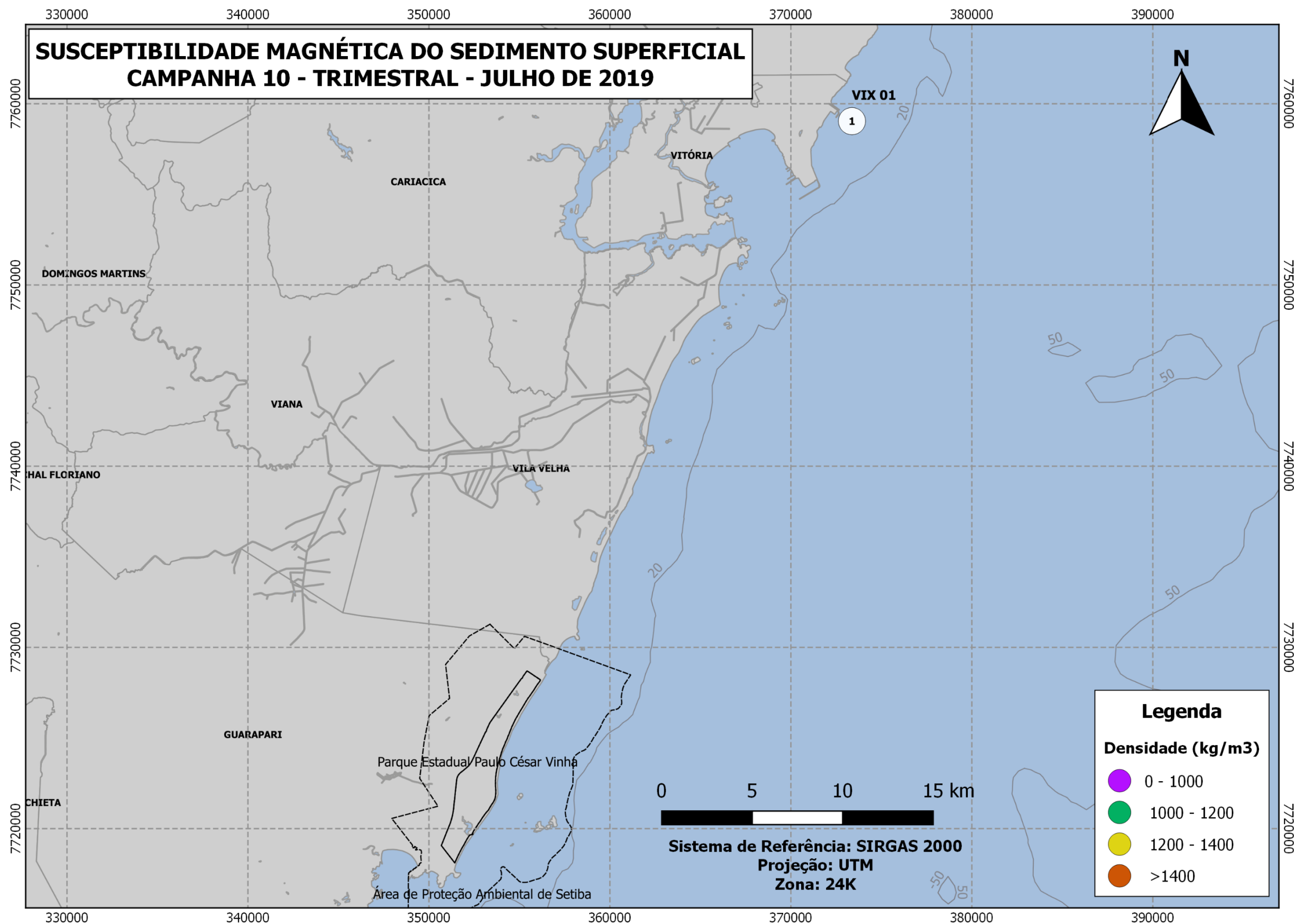




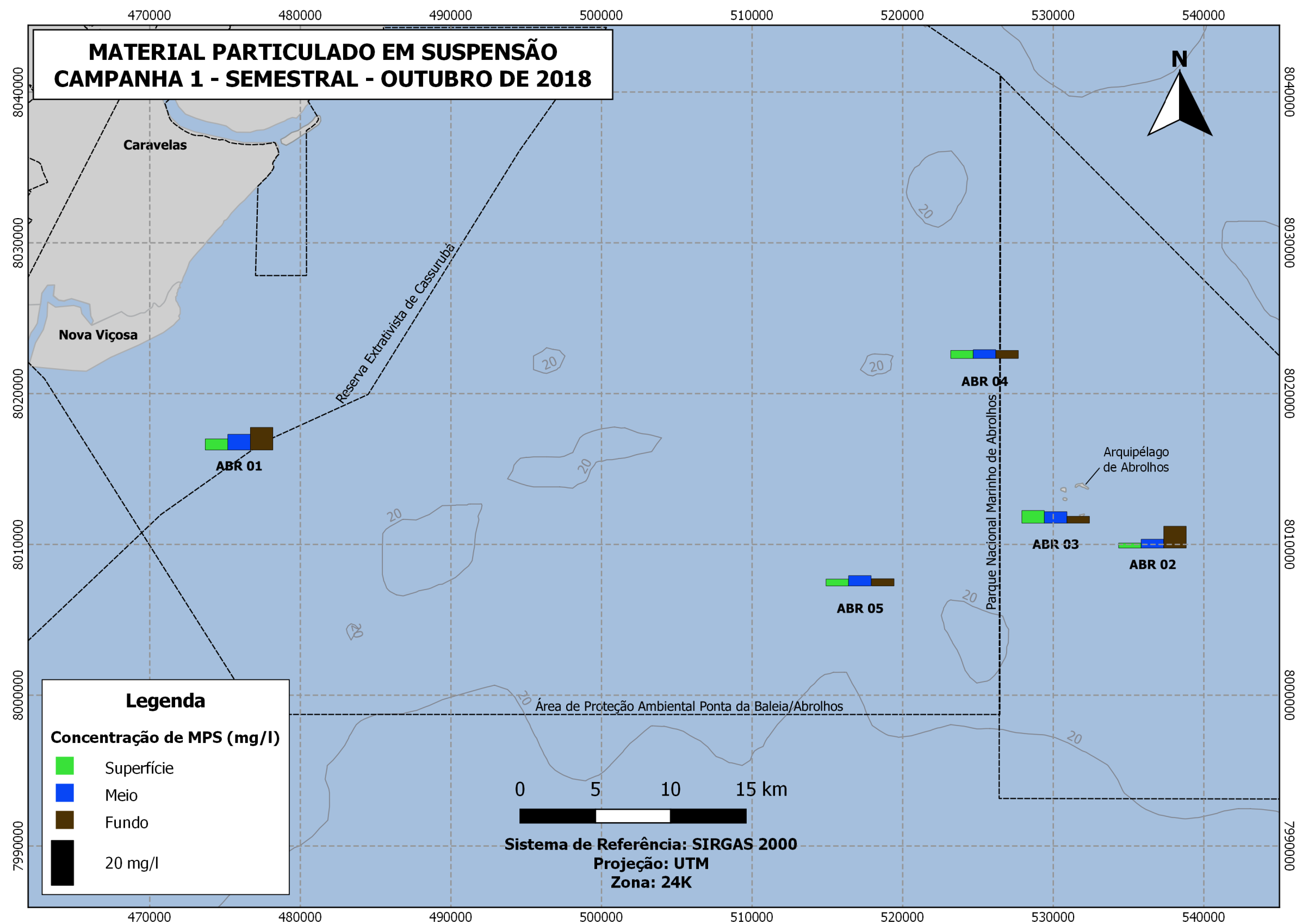


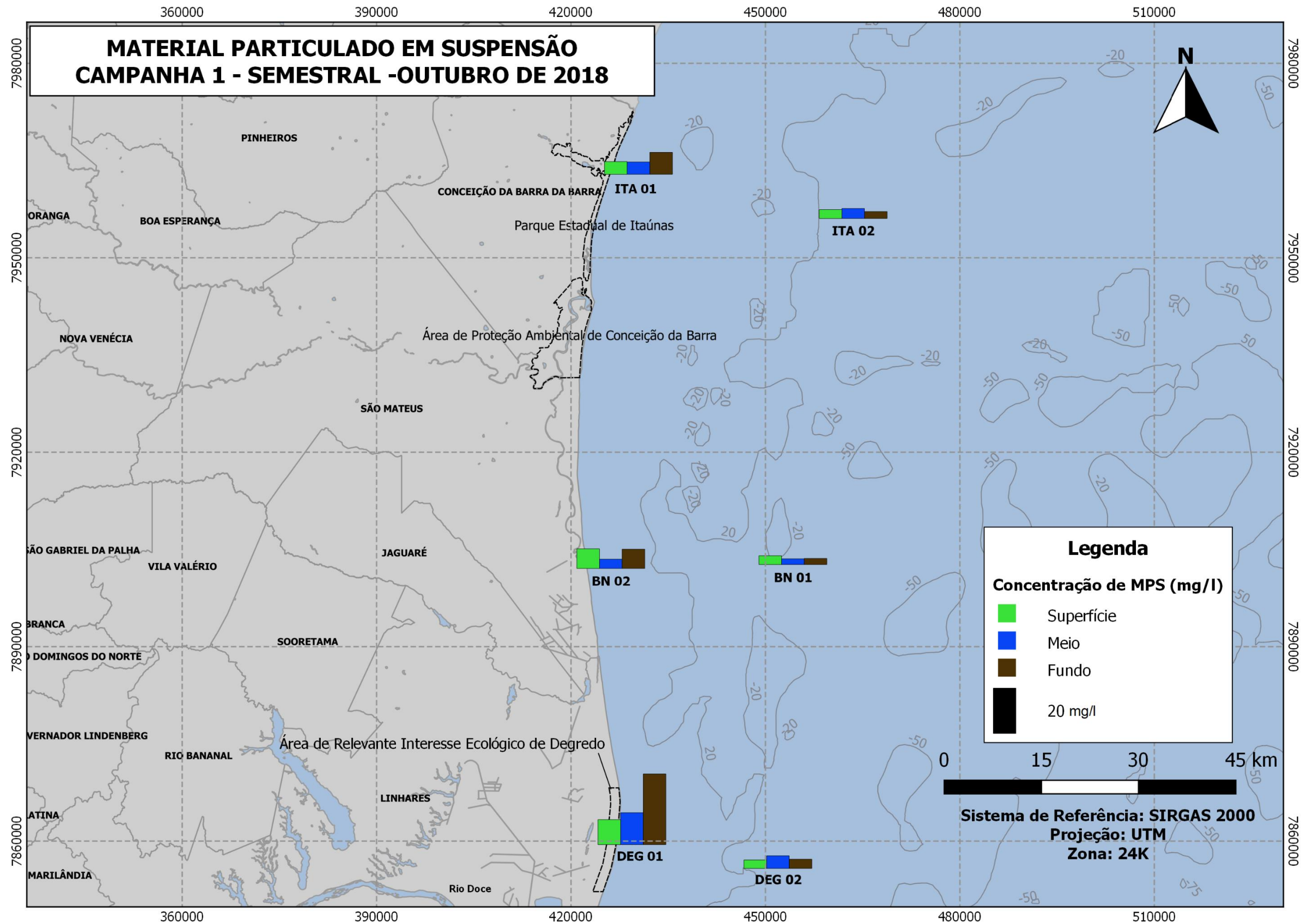


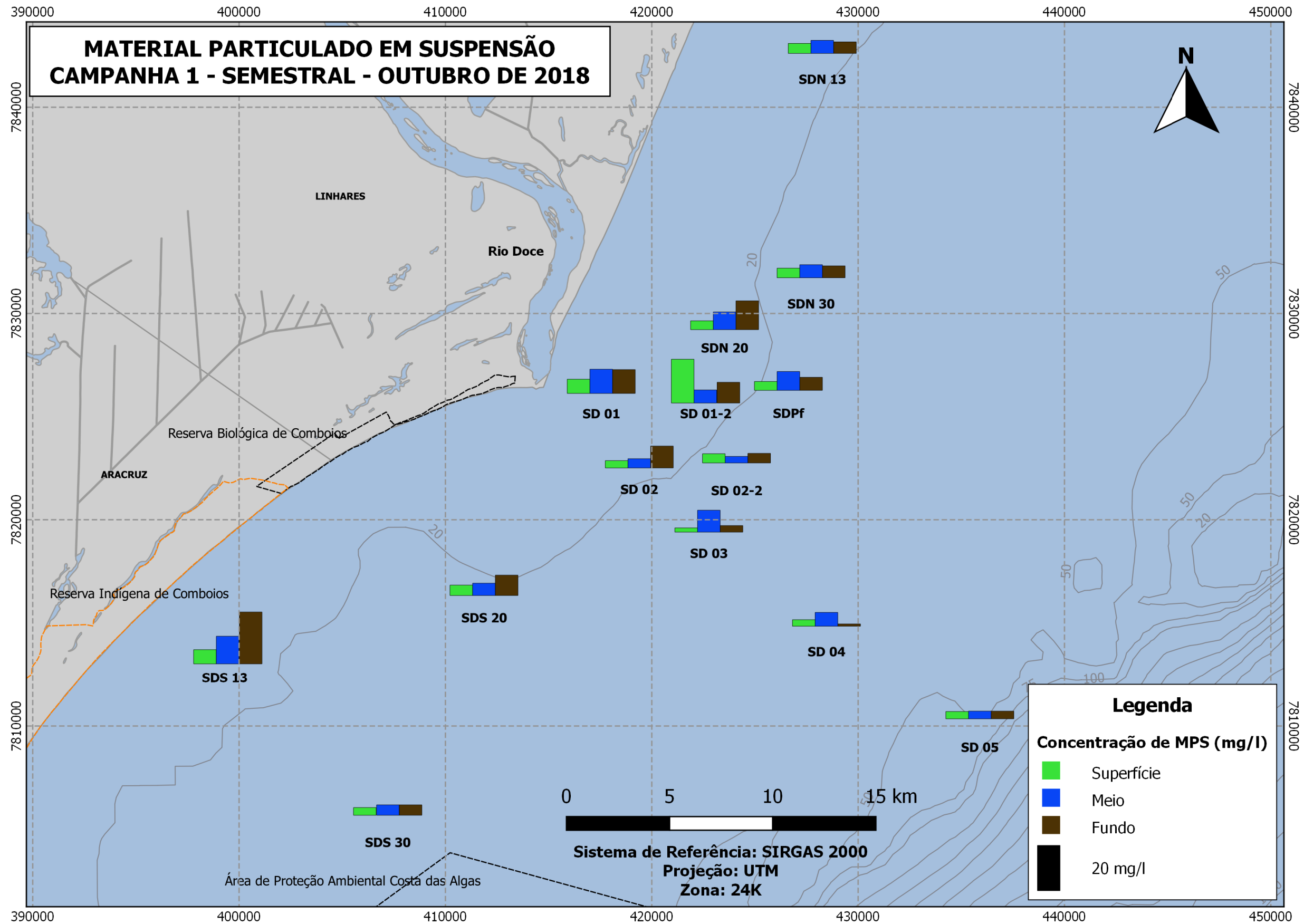


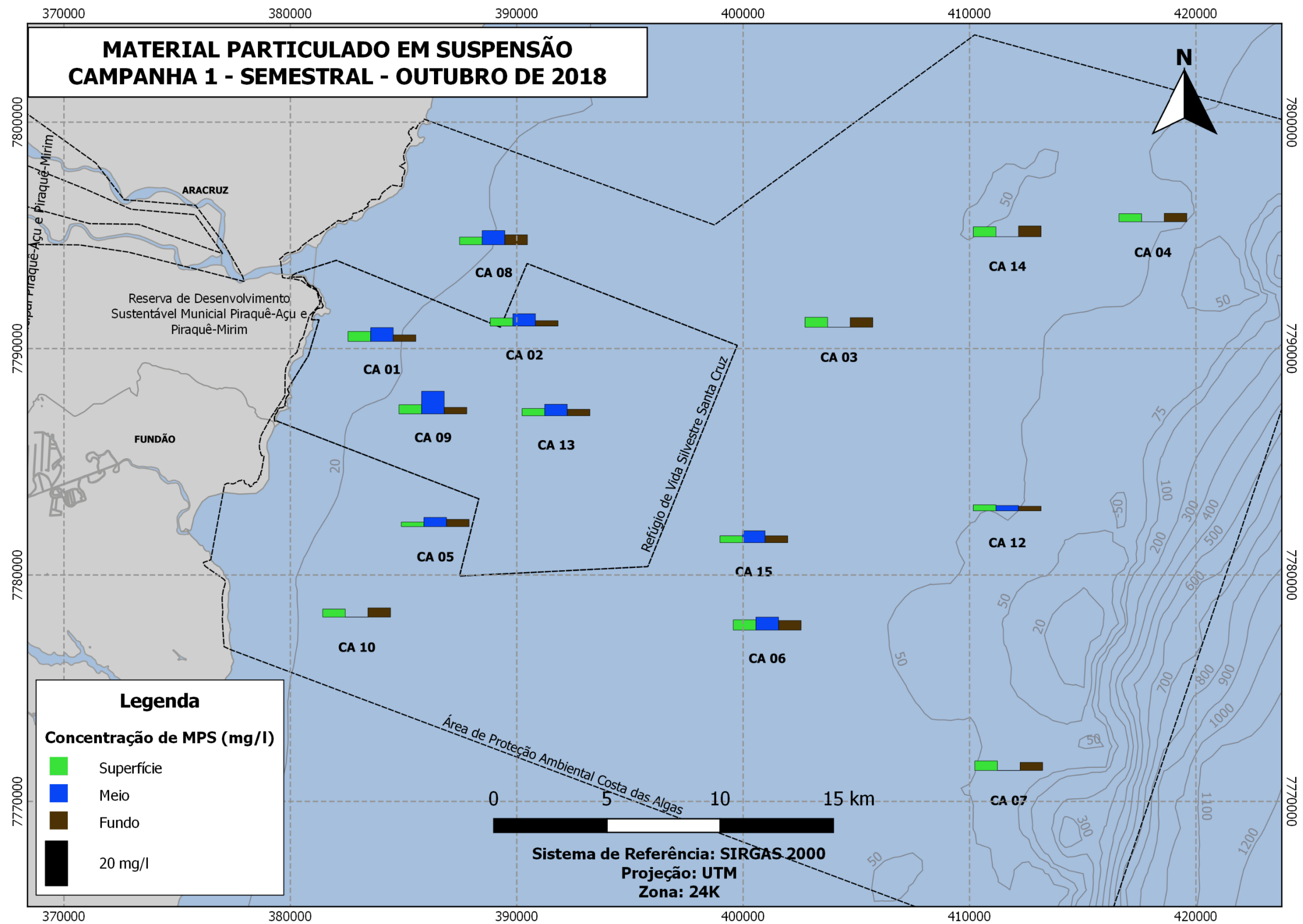


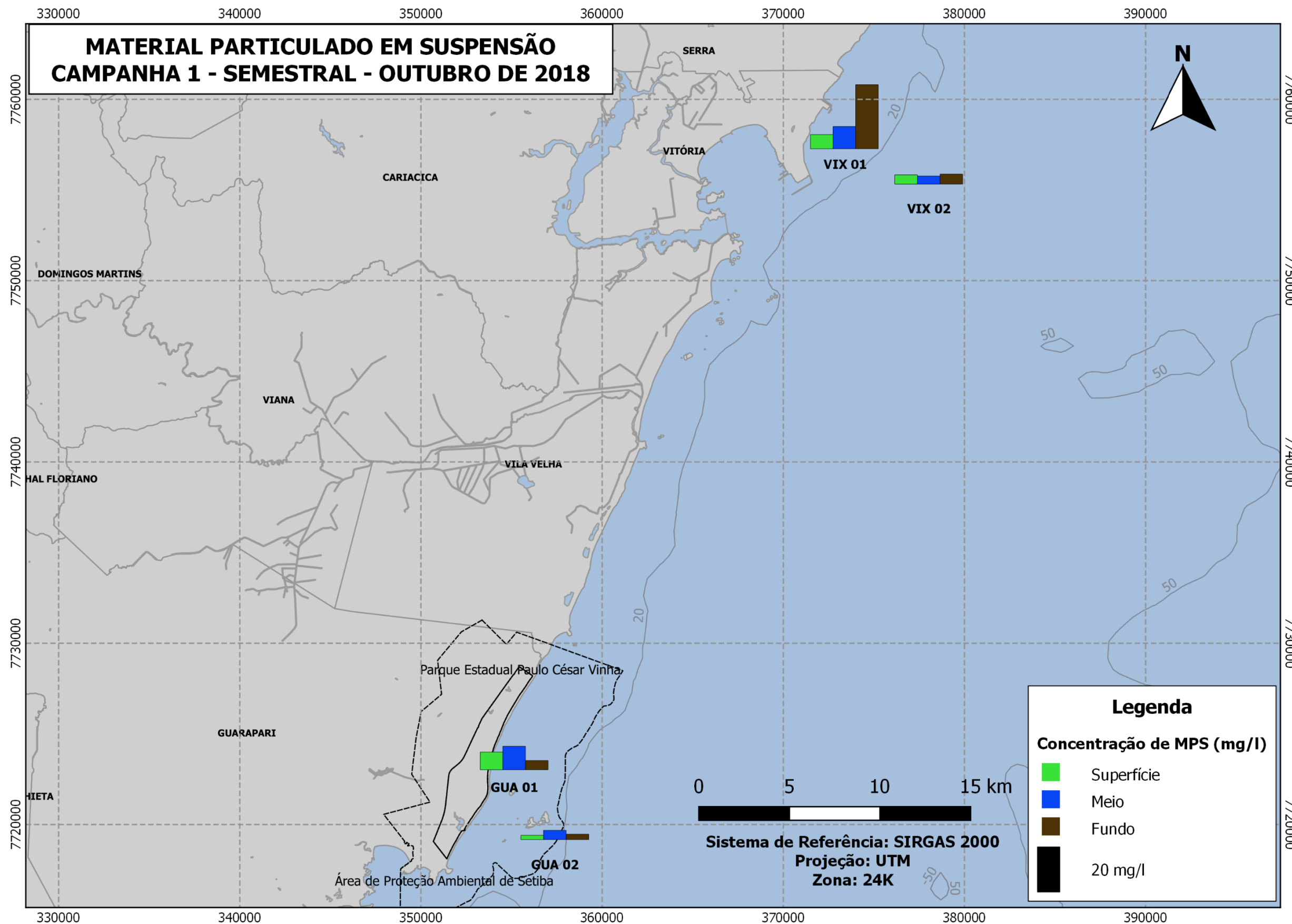
Apêndice 14: Material Particulado em Suspensão (MPS) ao longo do monitoramento para cada setor amostrado. A escala da barra referente ao valor de 20 mg/l é apresentada na legenda.

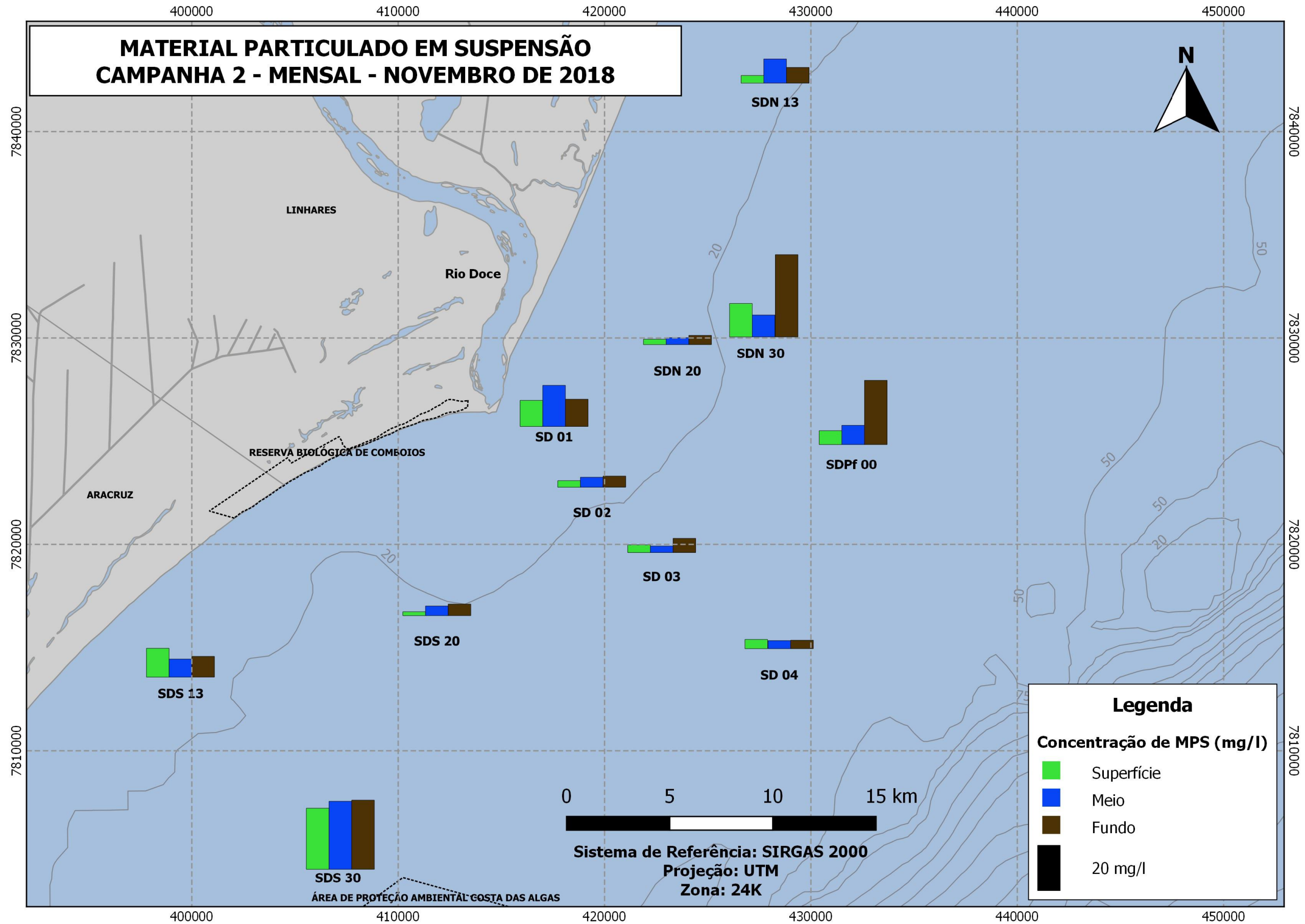


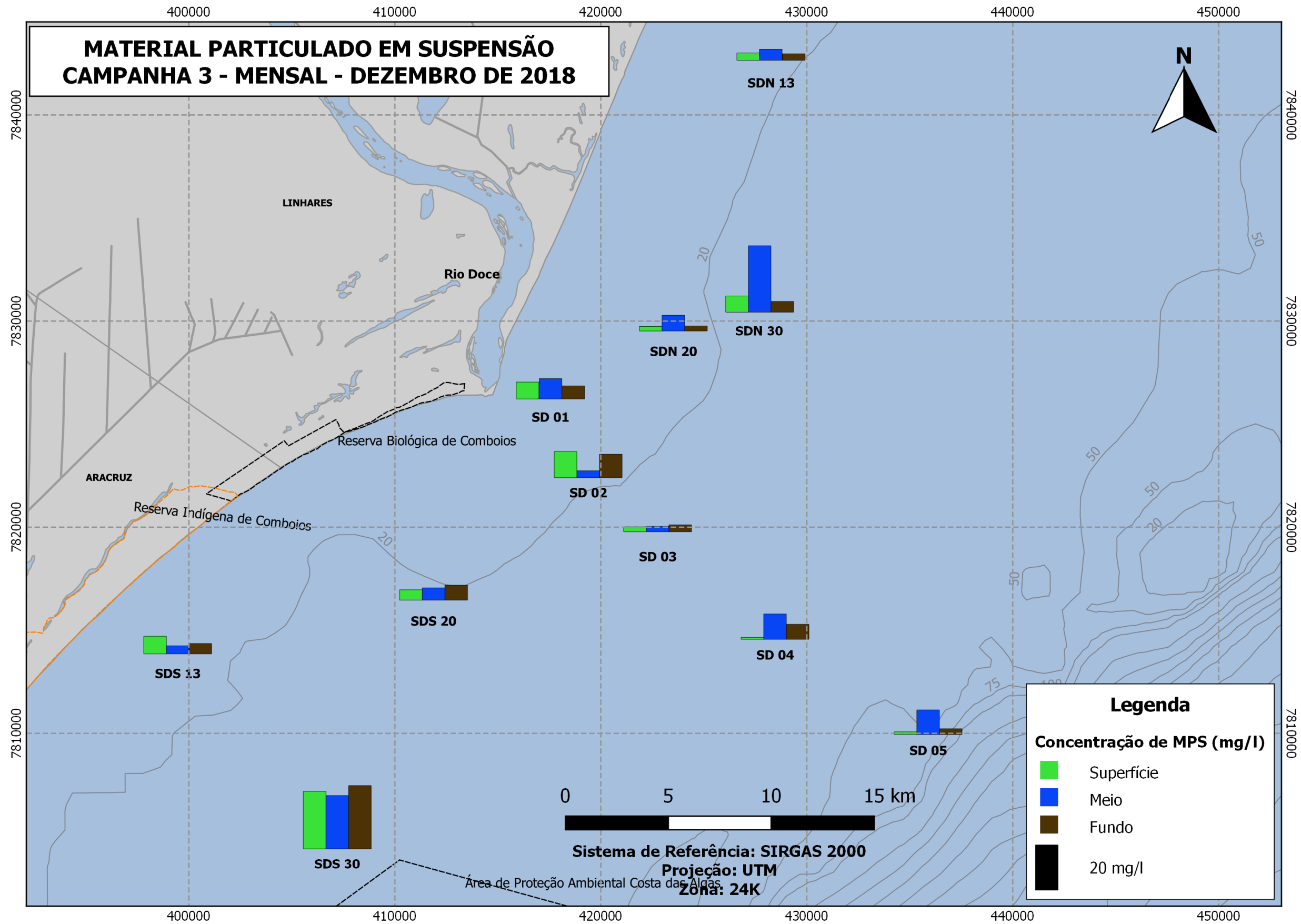


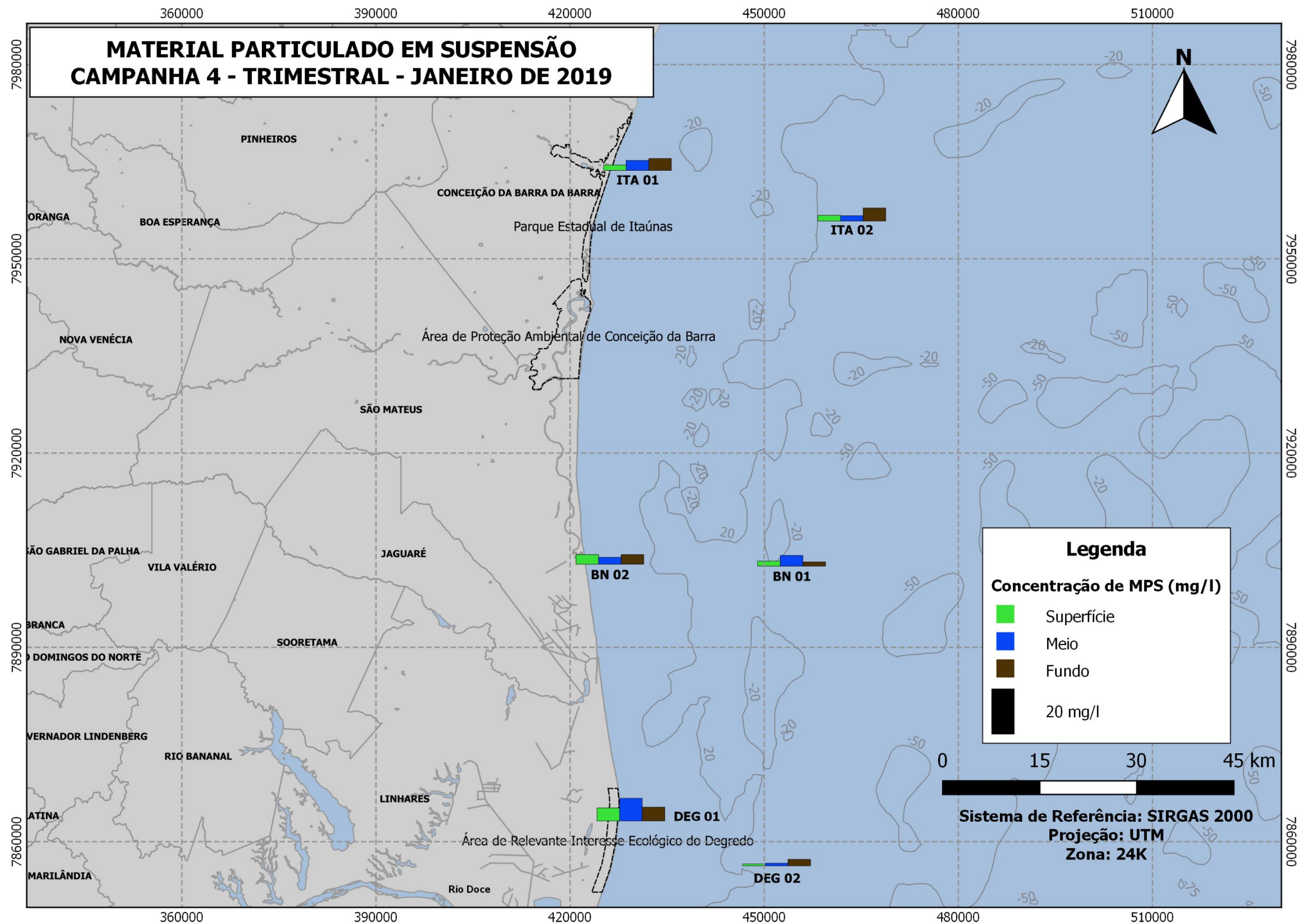


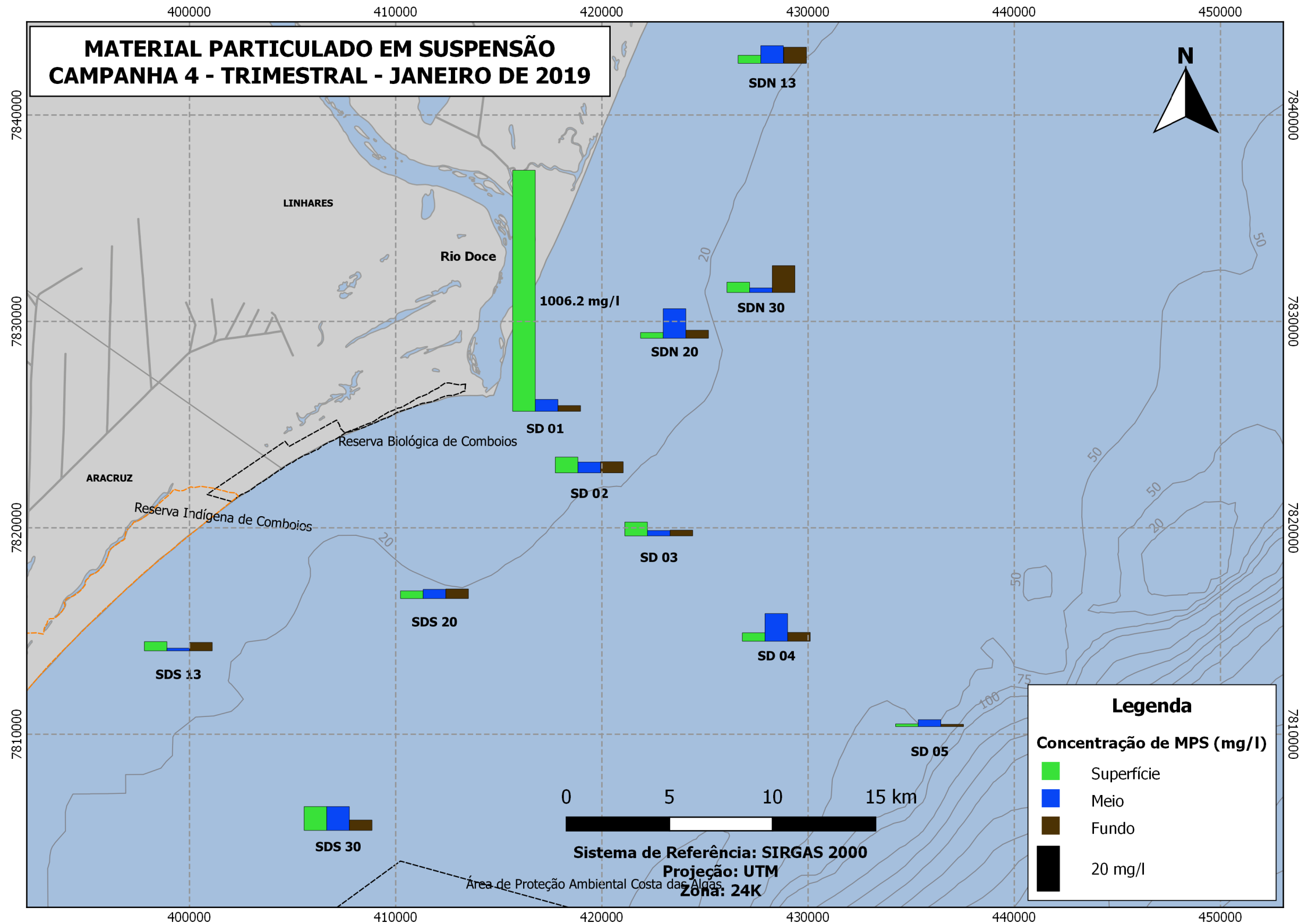


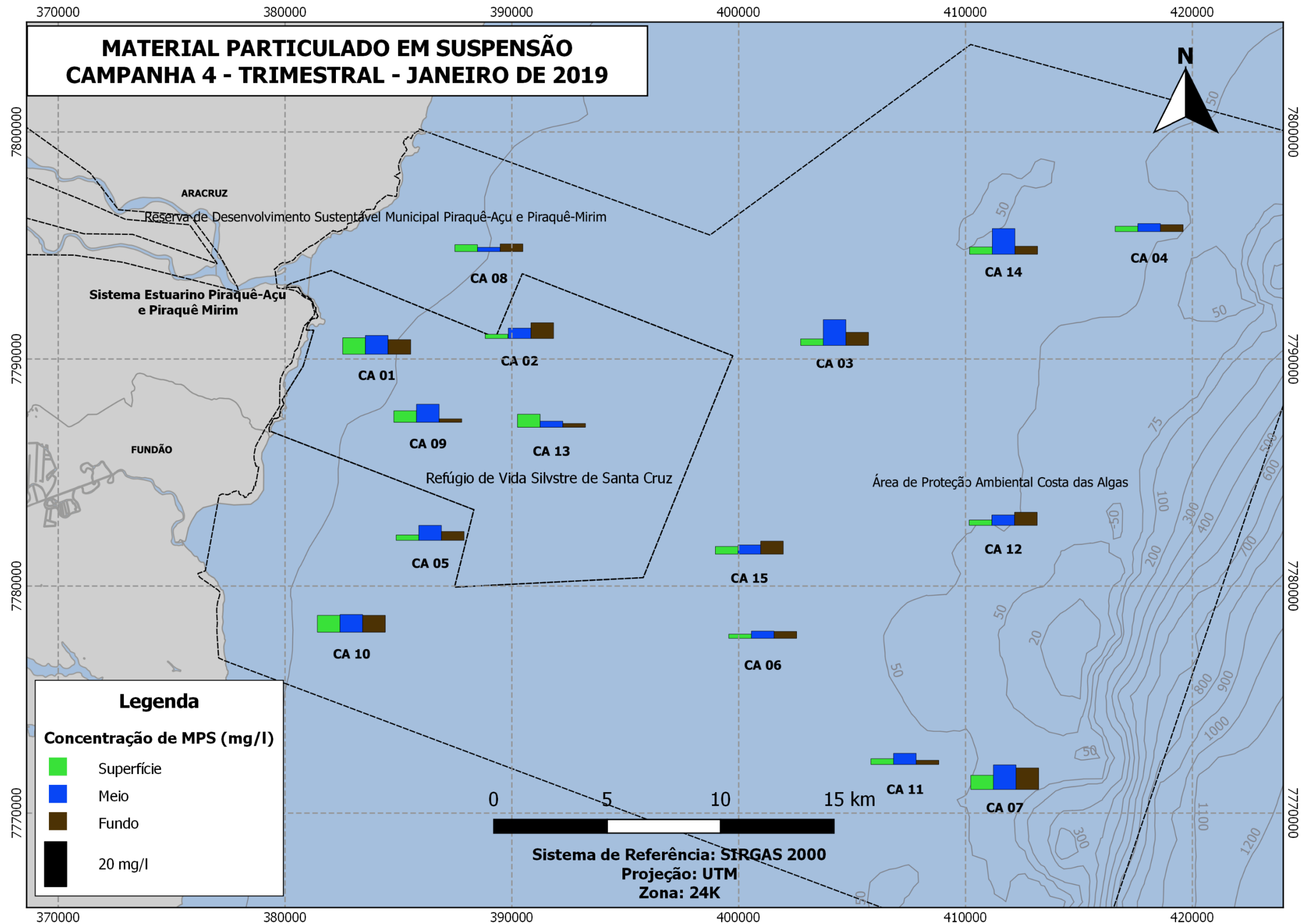


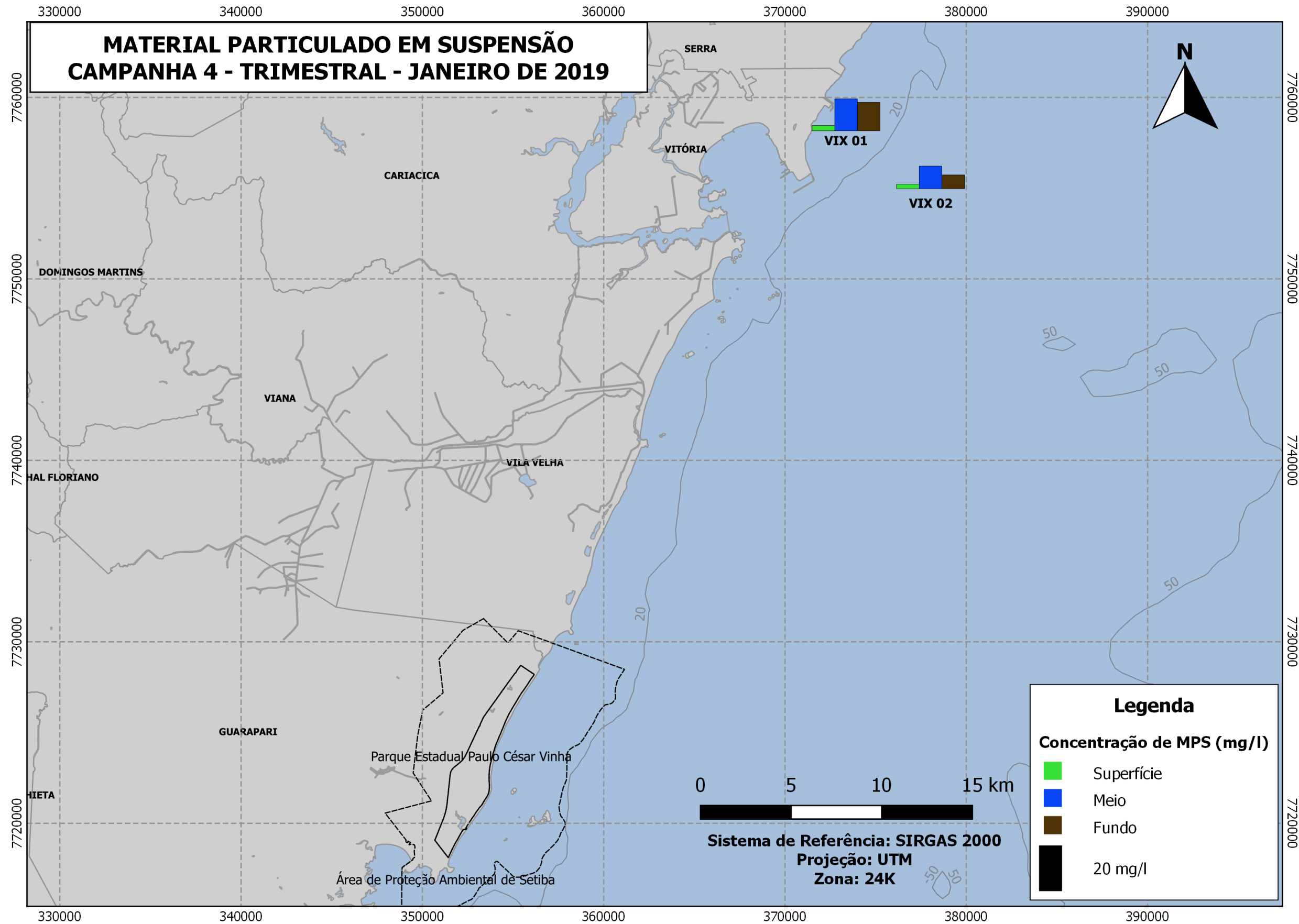


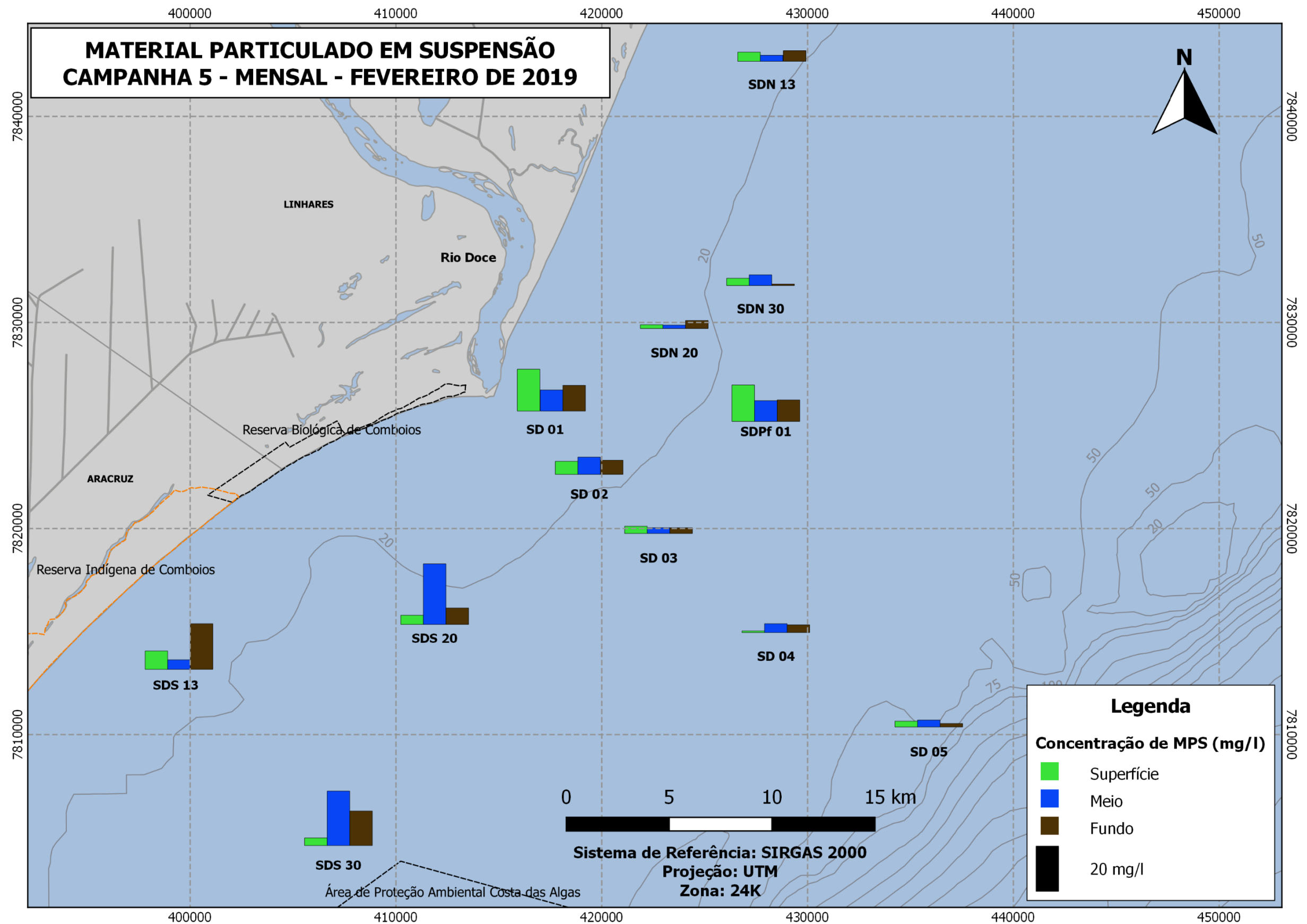


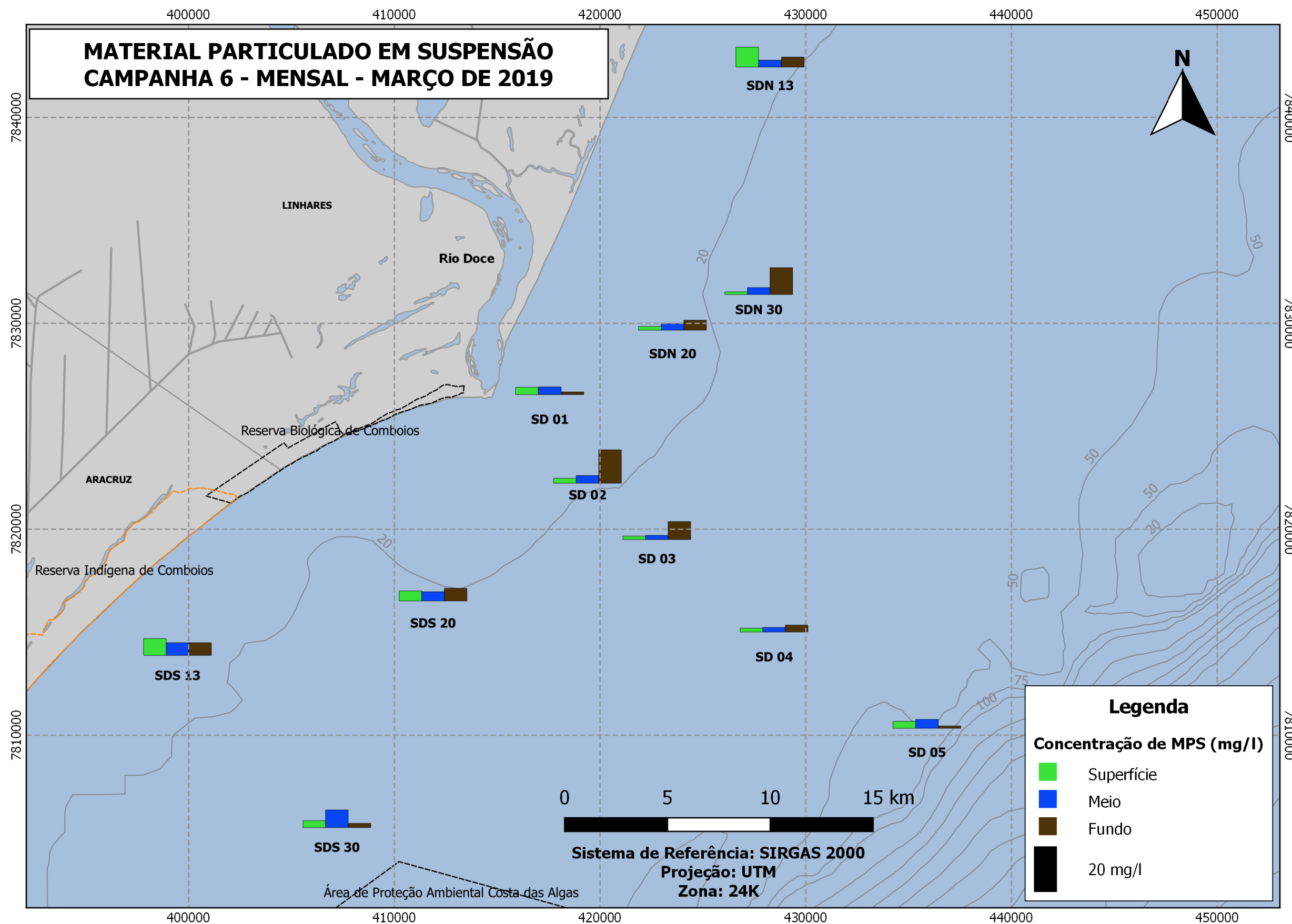




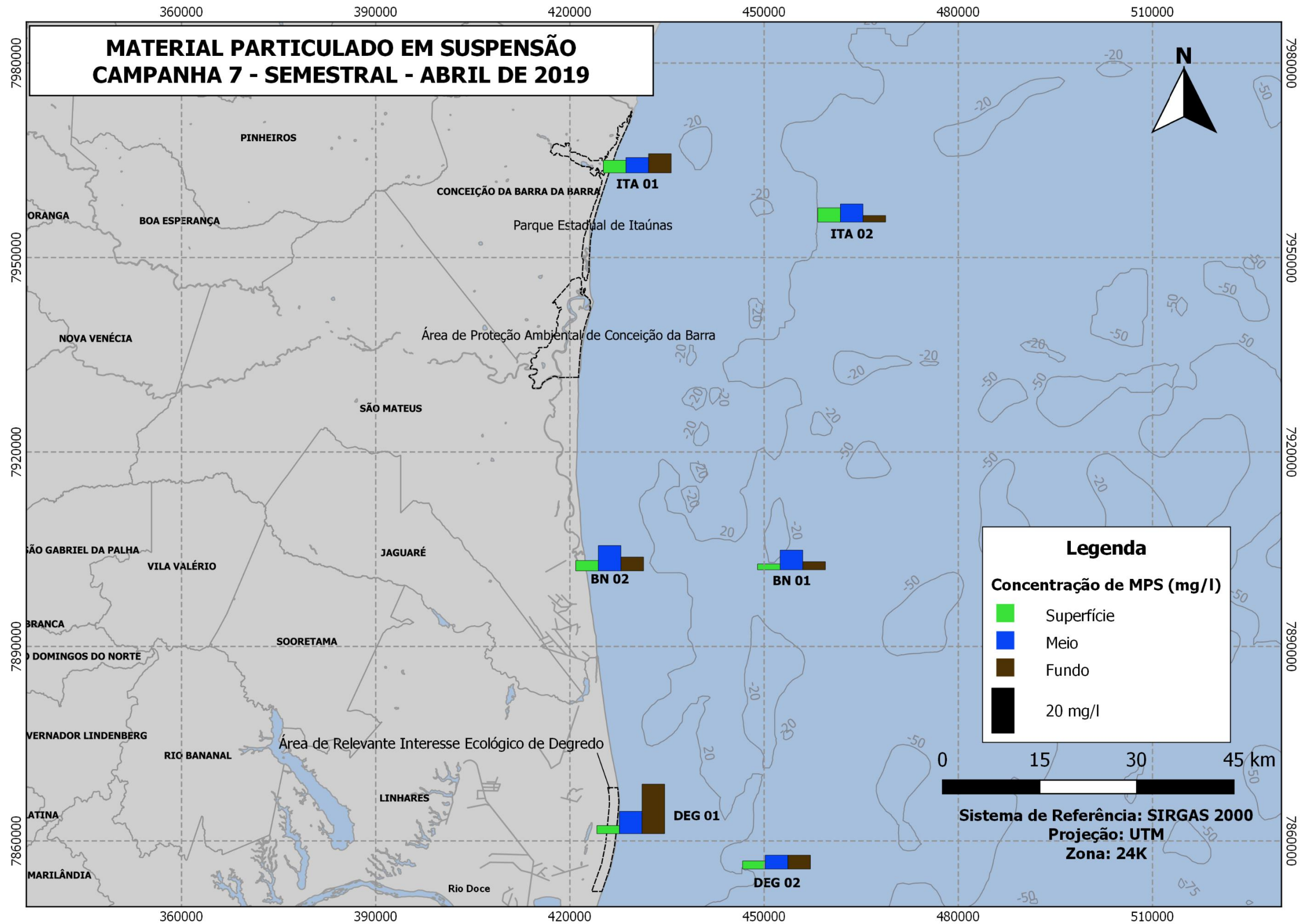


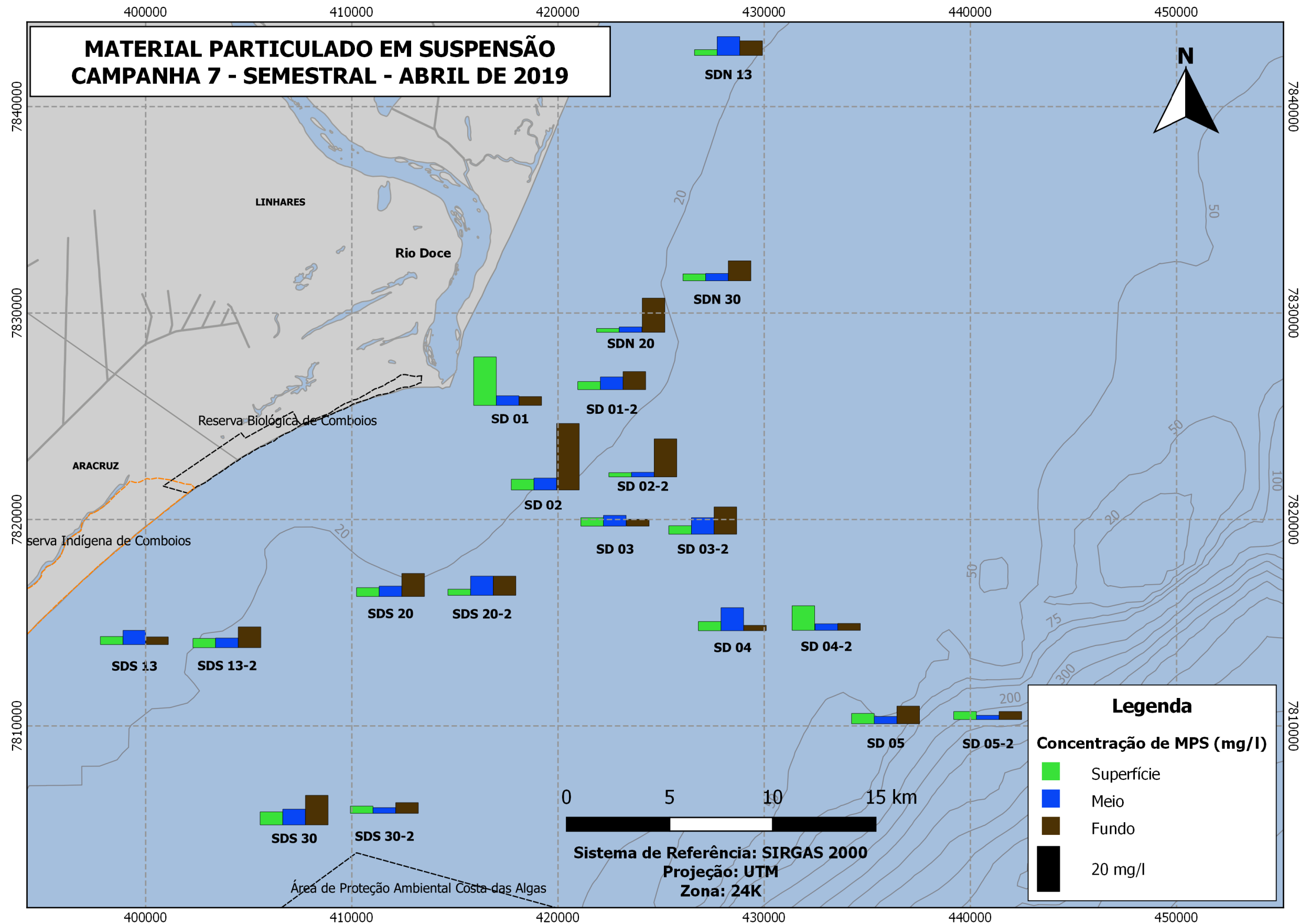


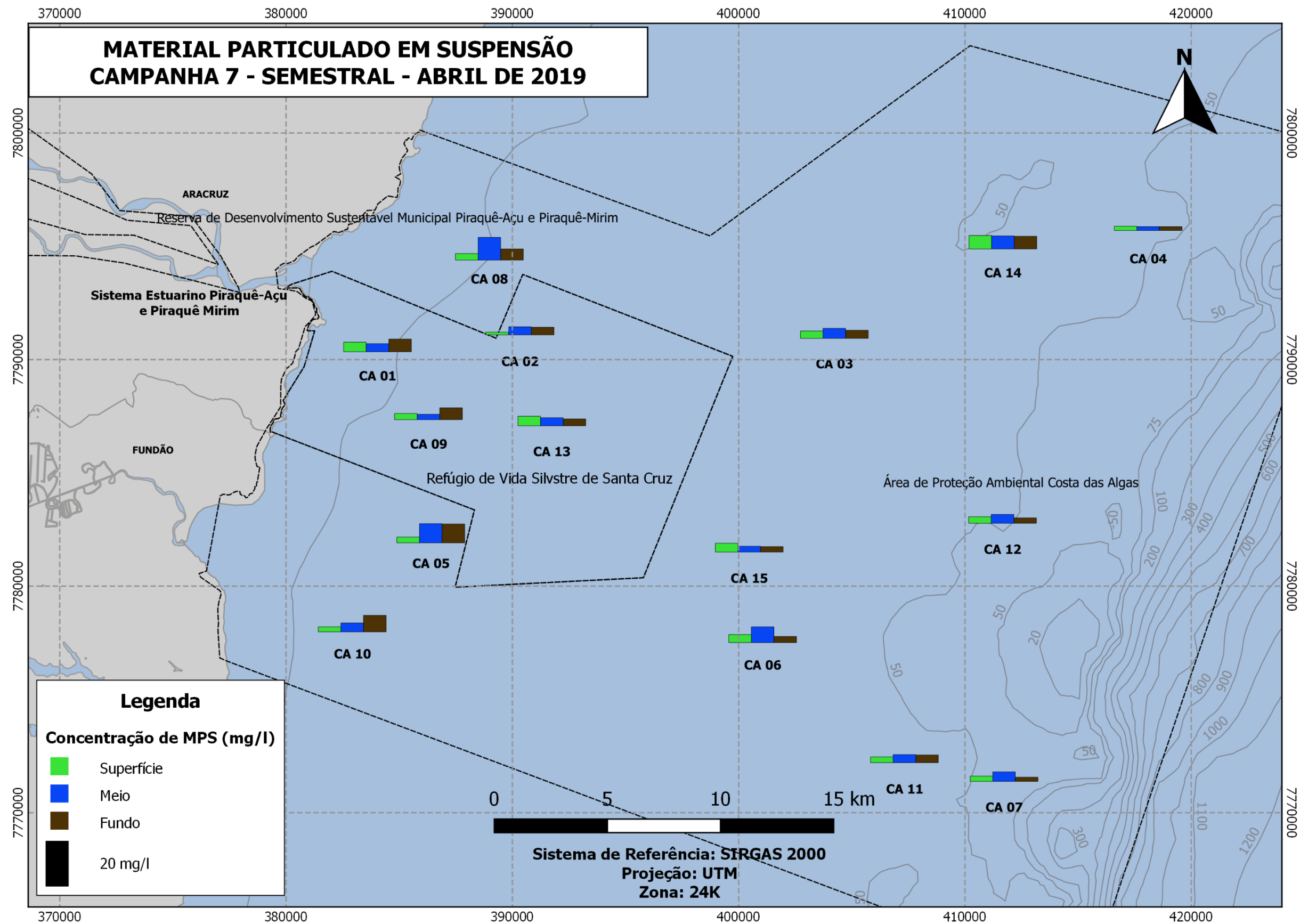


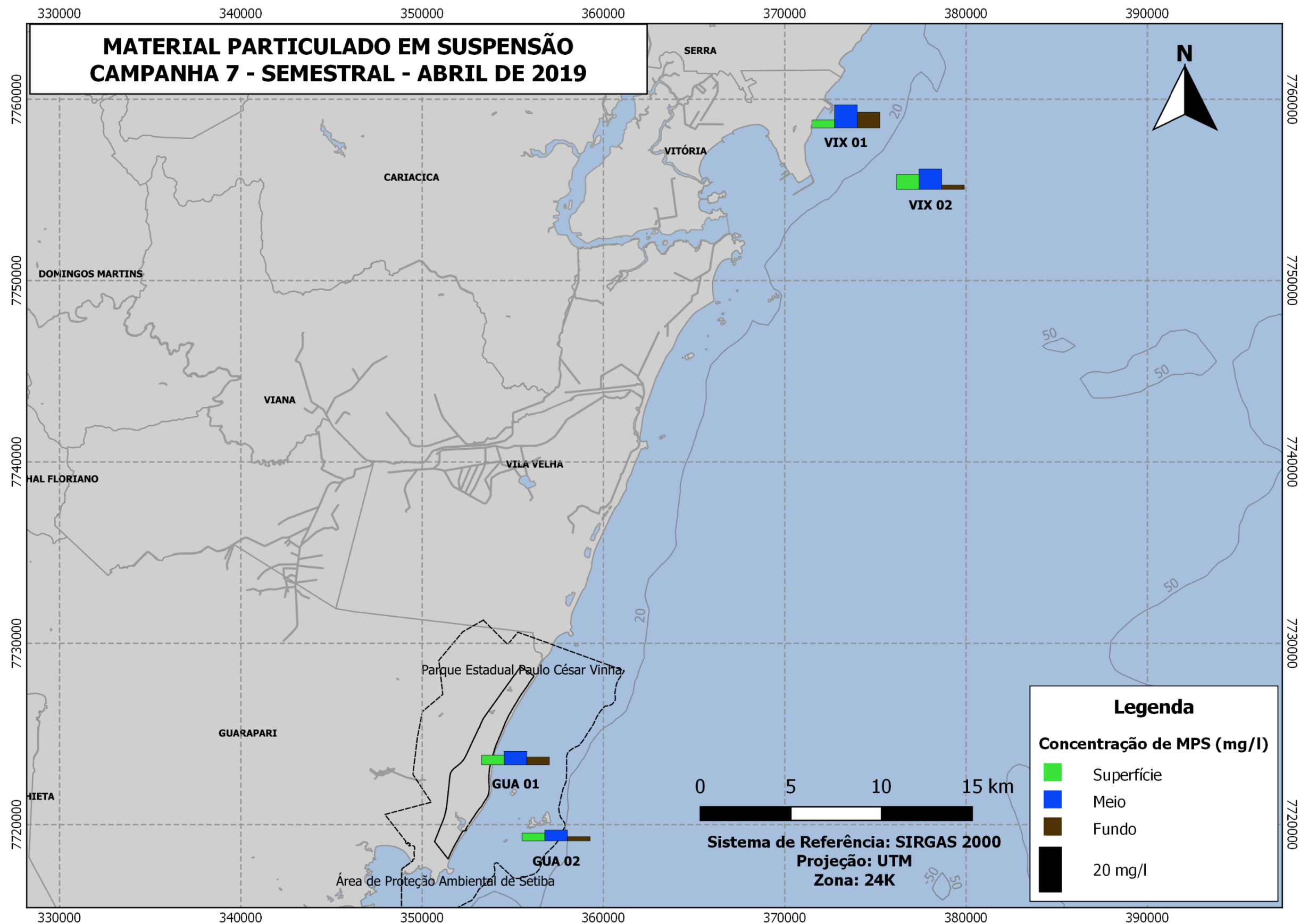


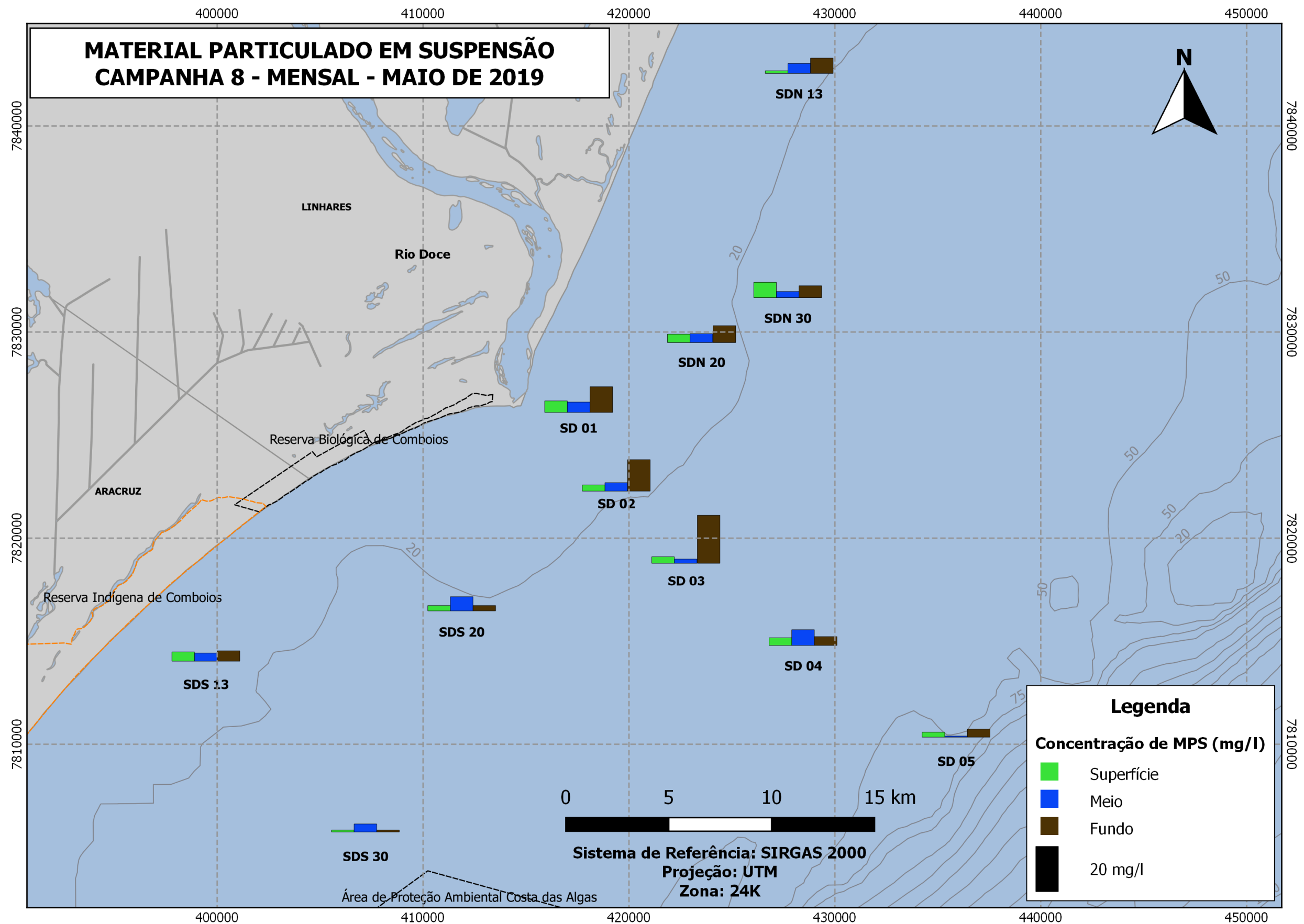


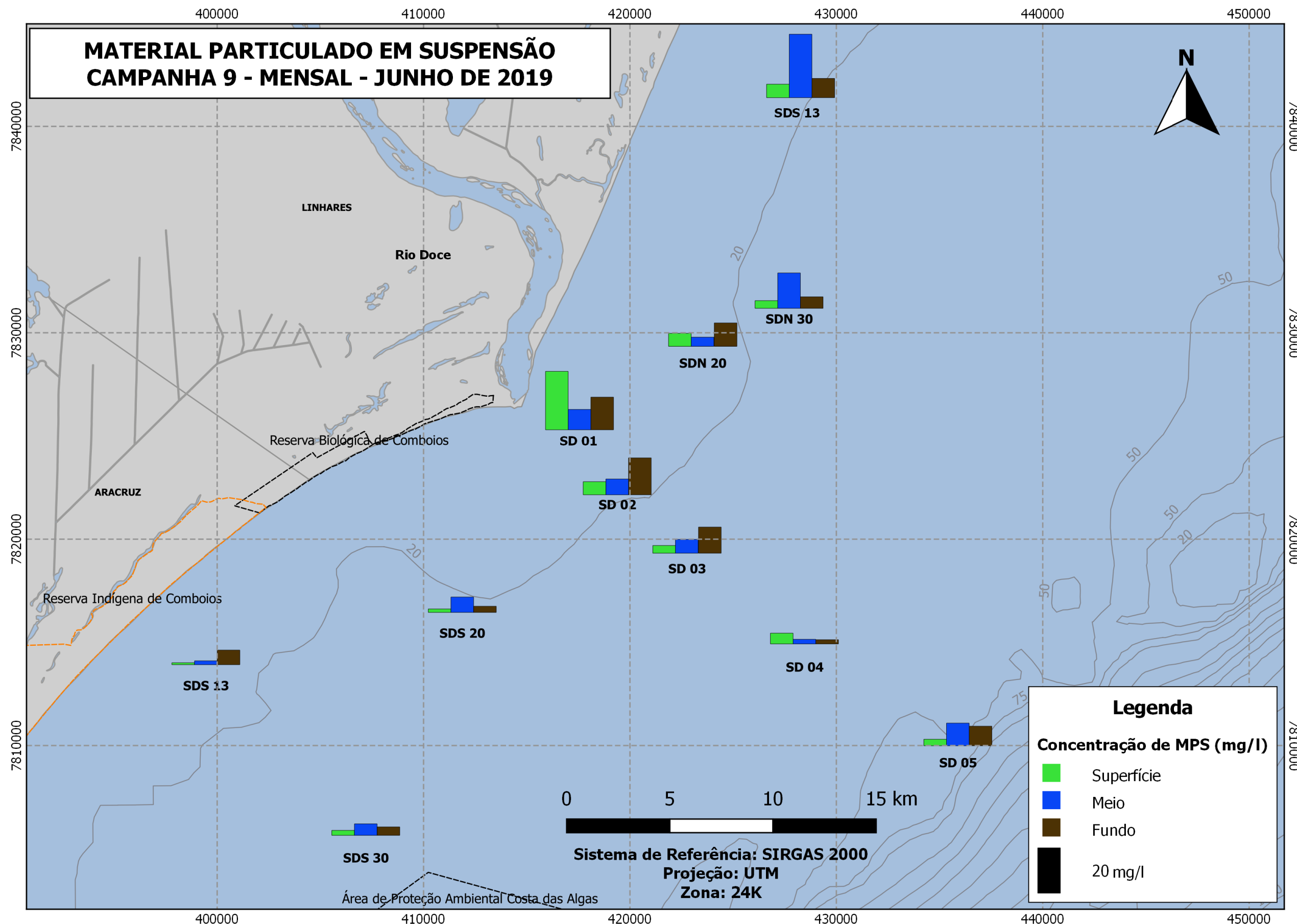


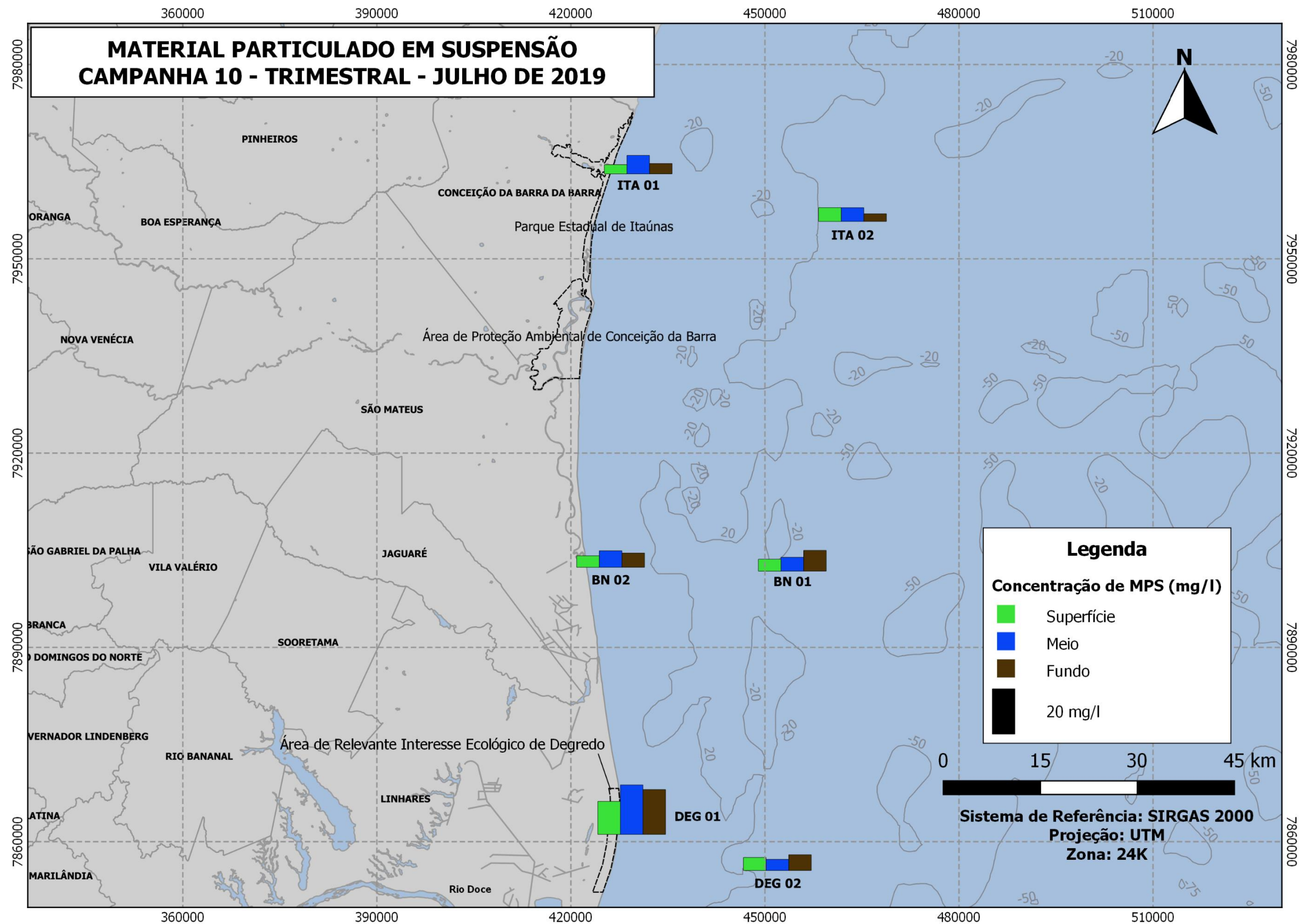


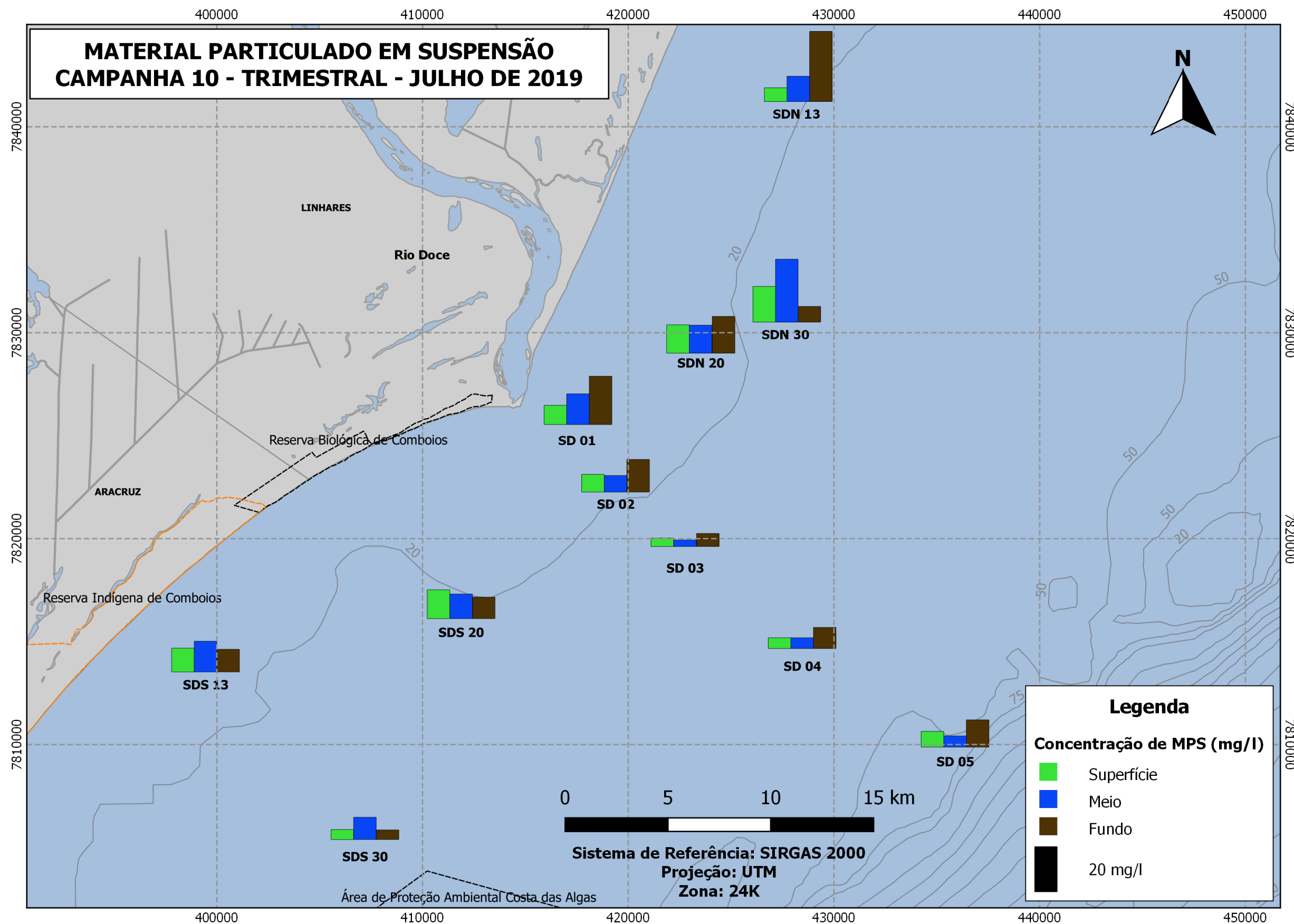


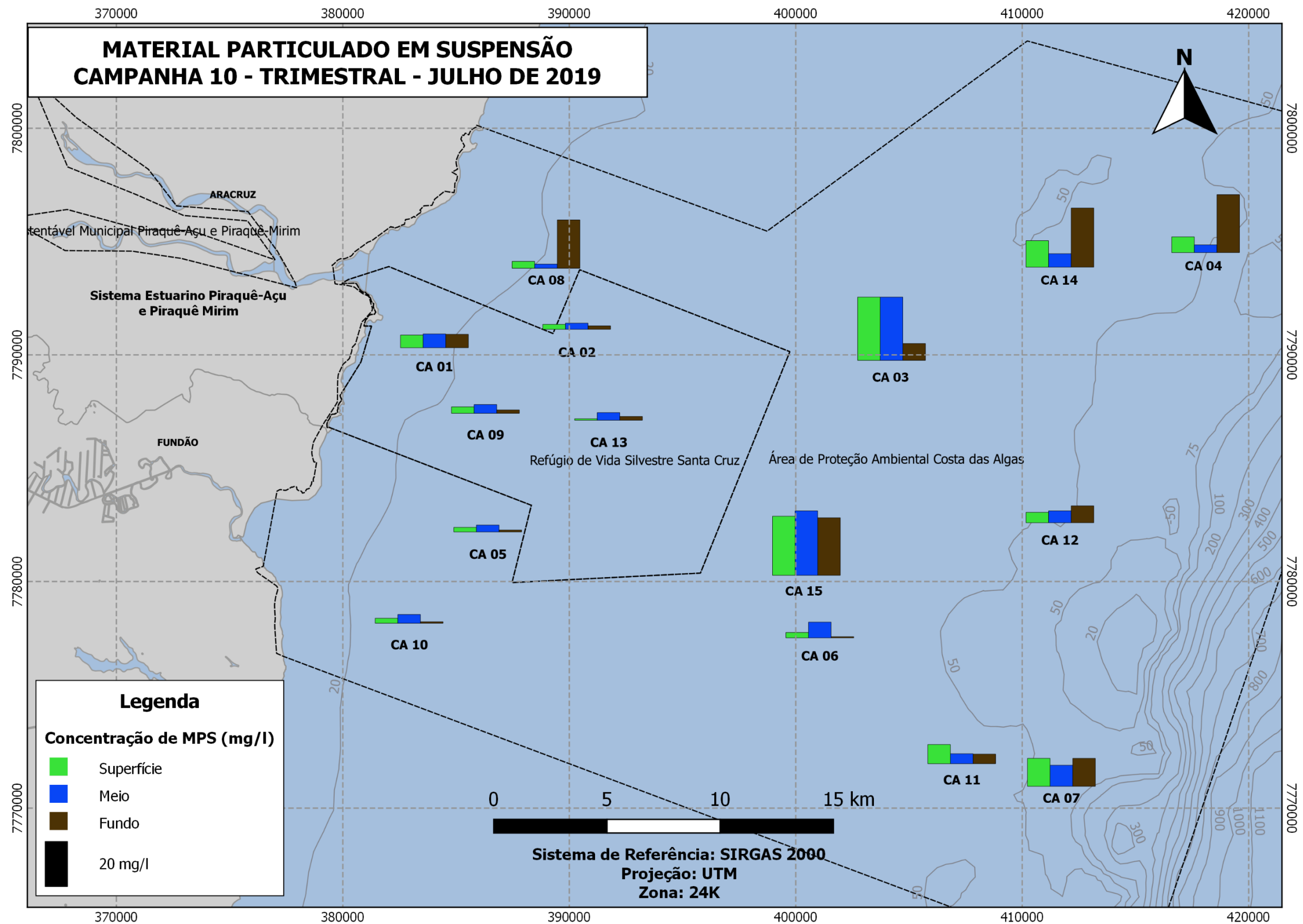


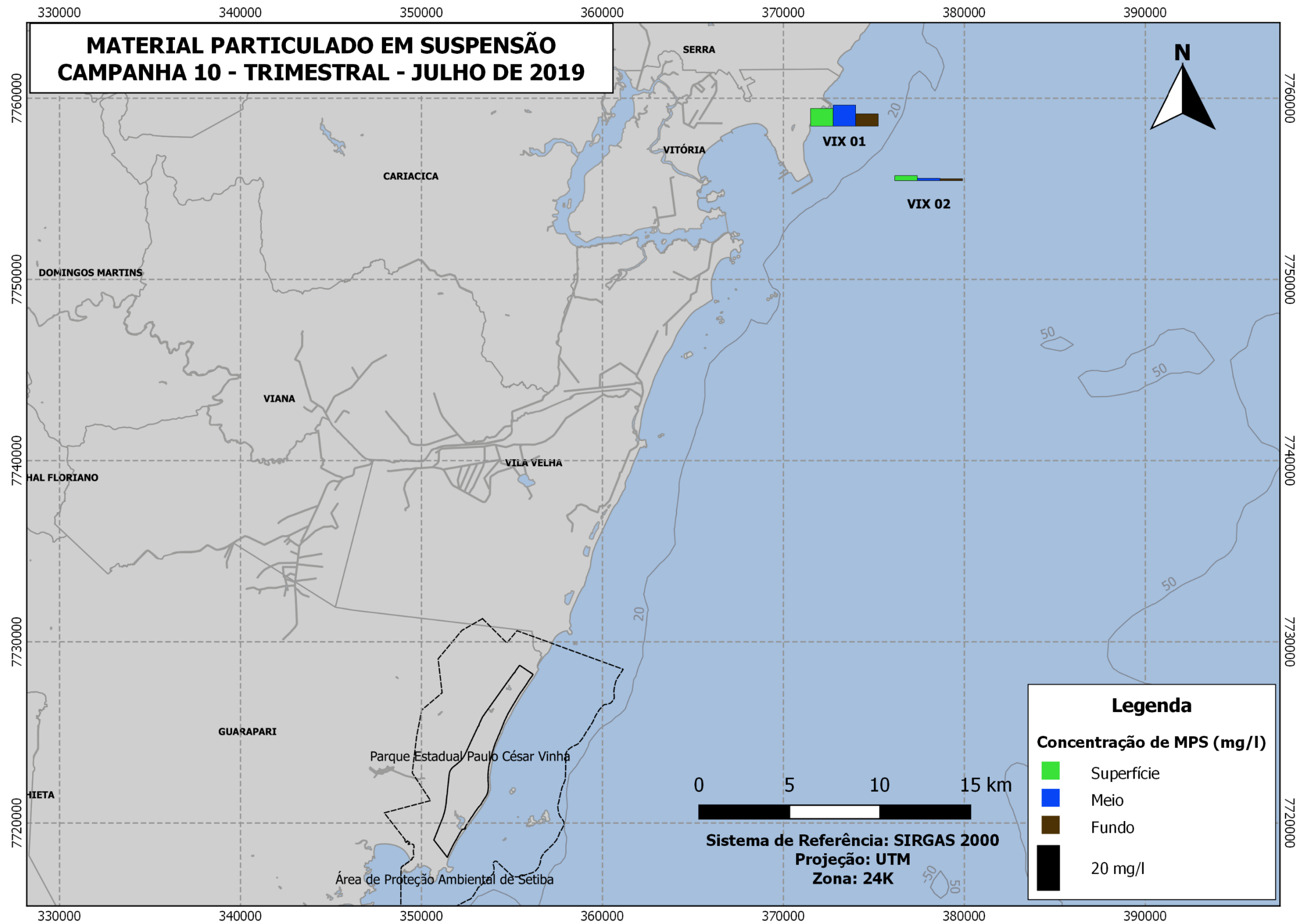


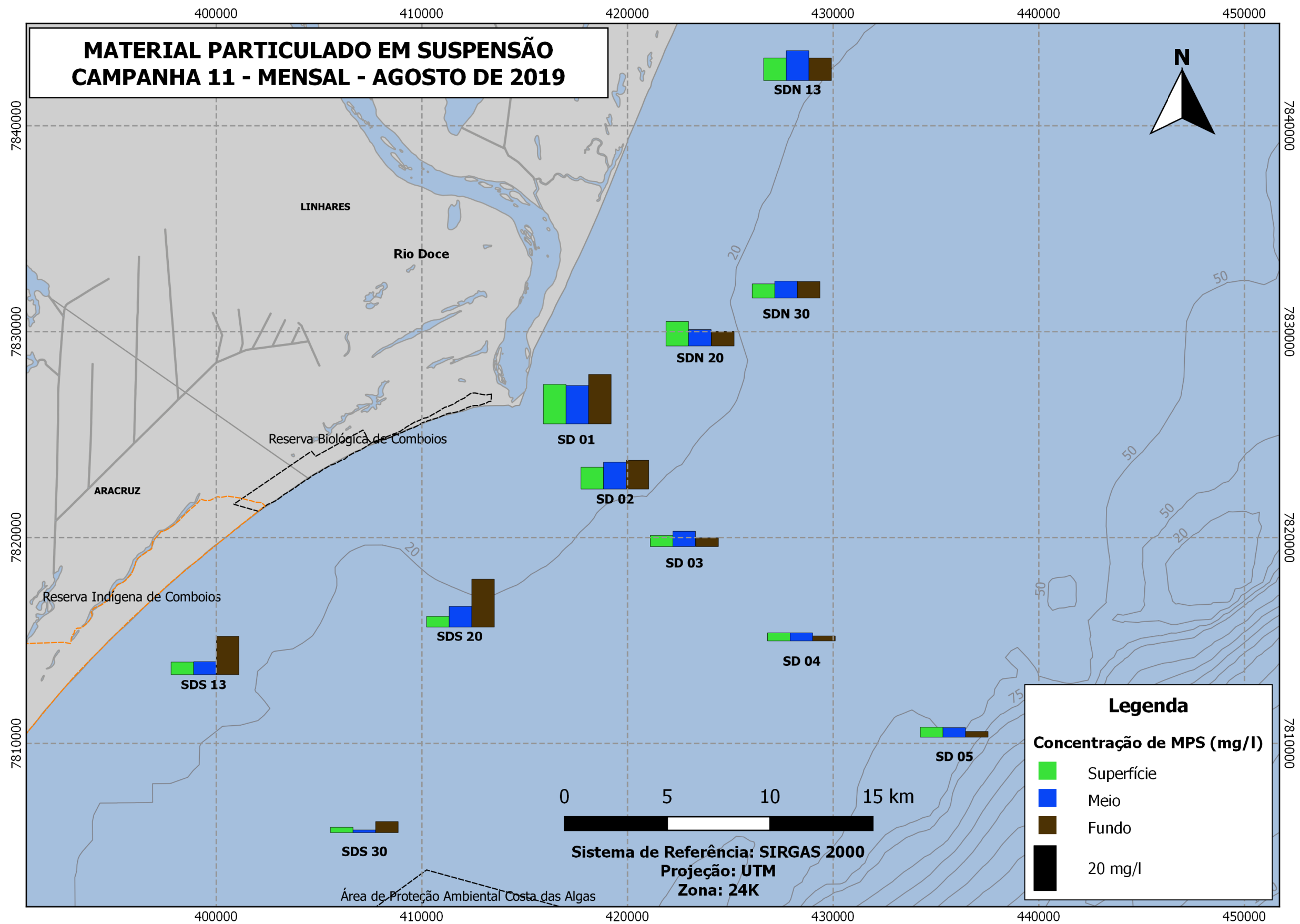


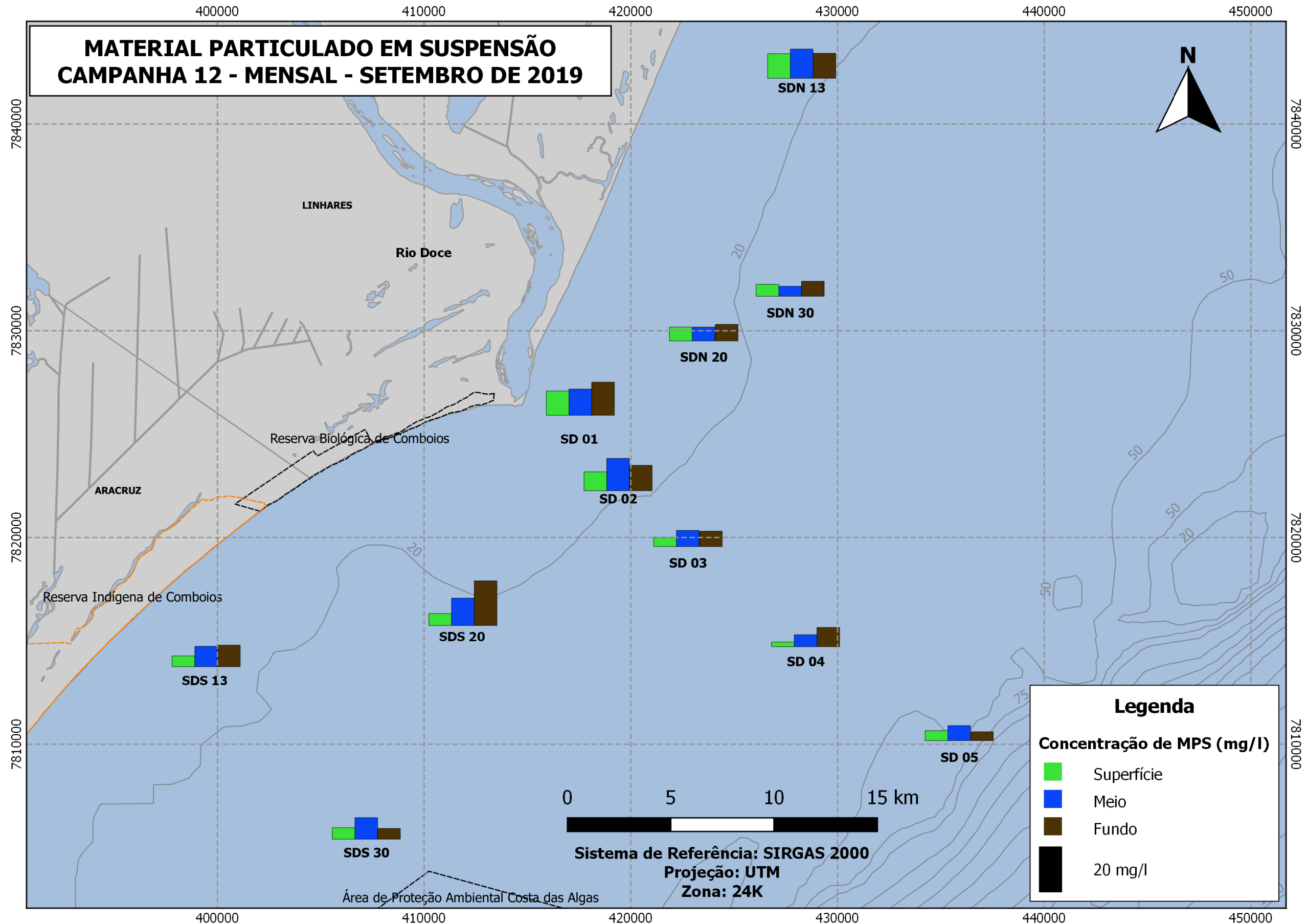




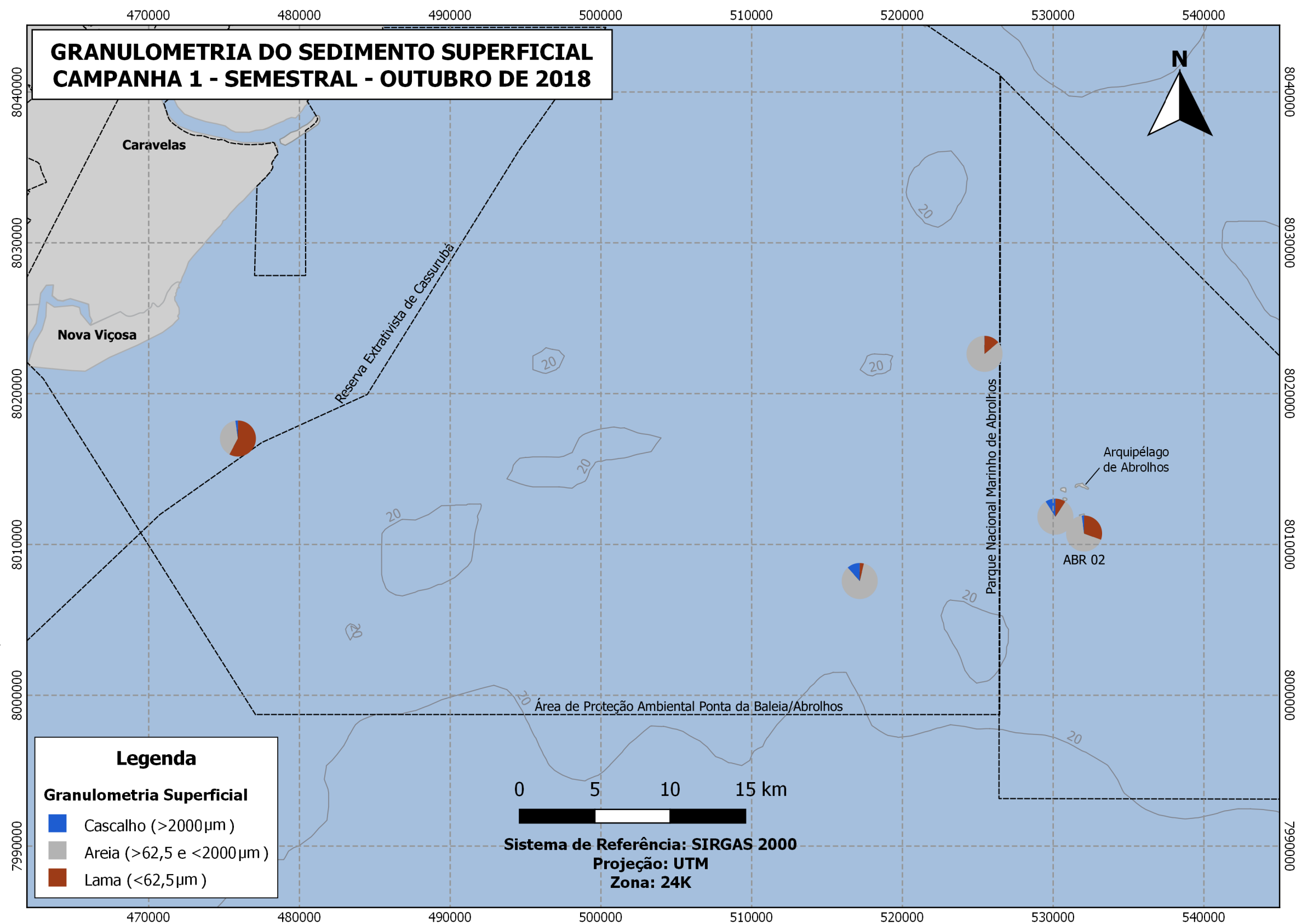


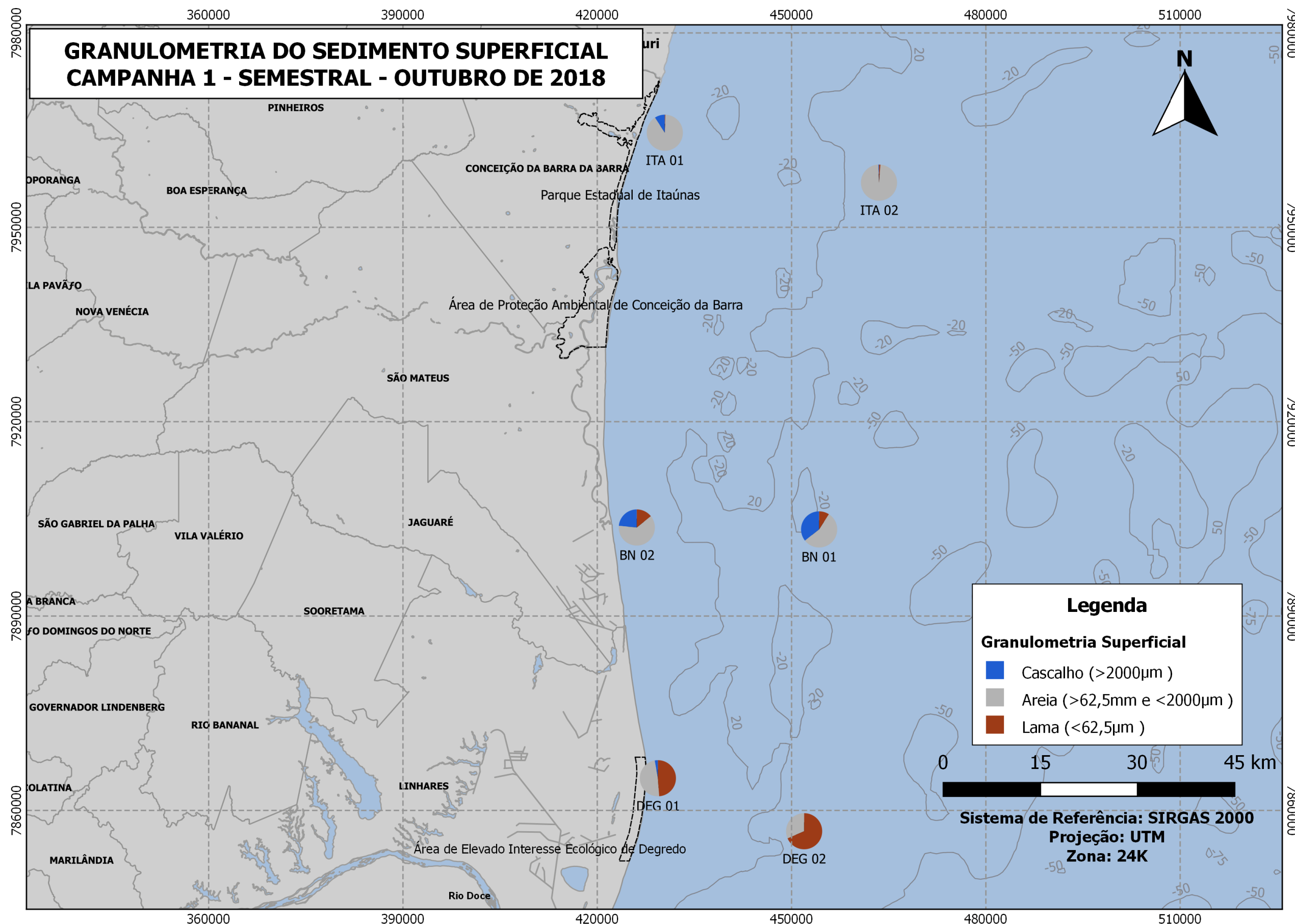


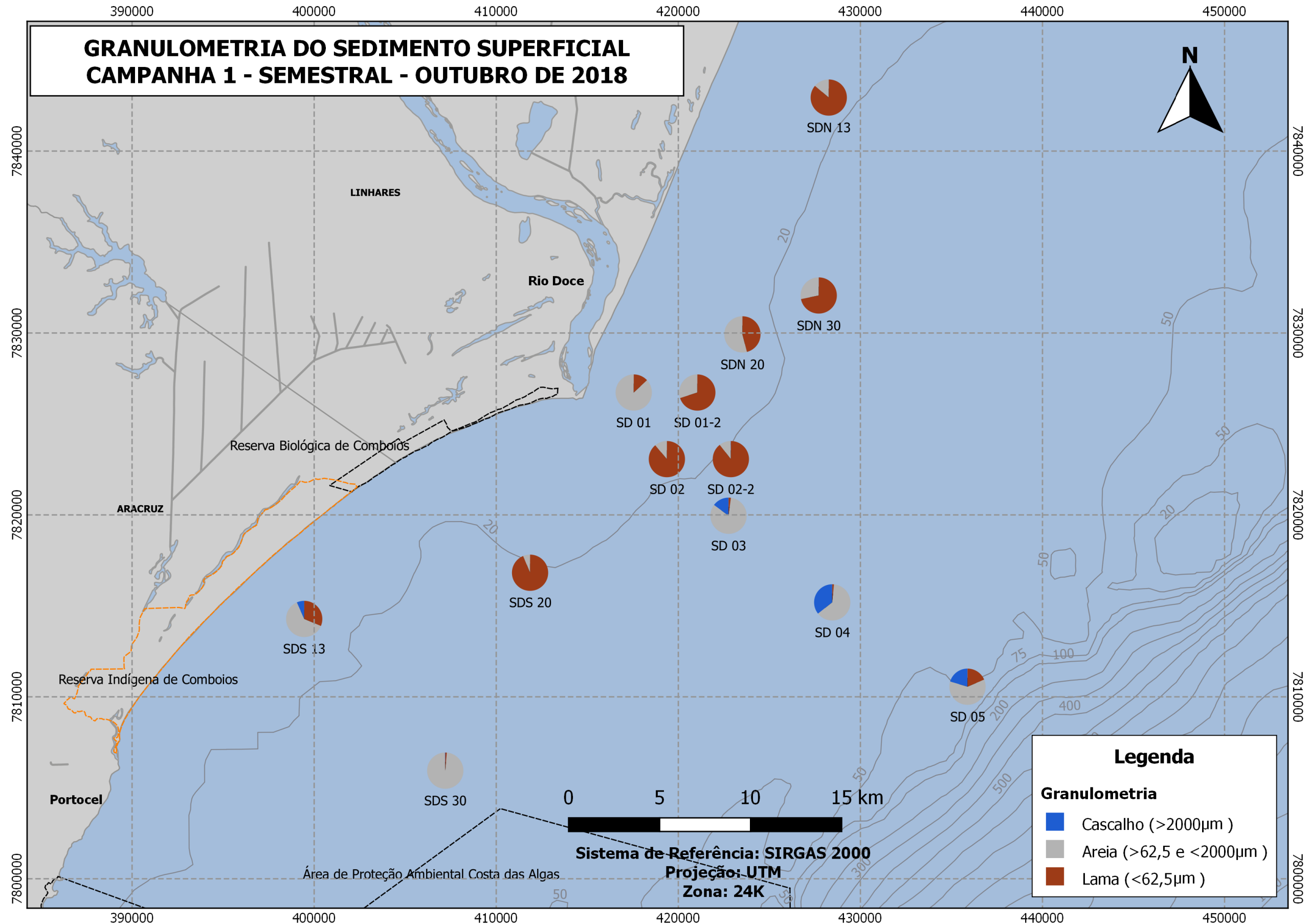


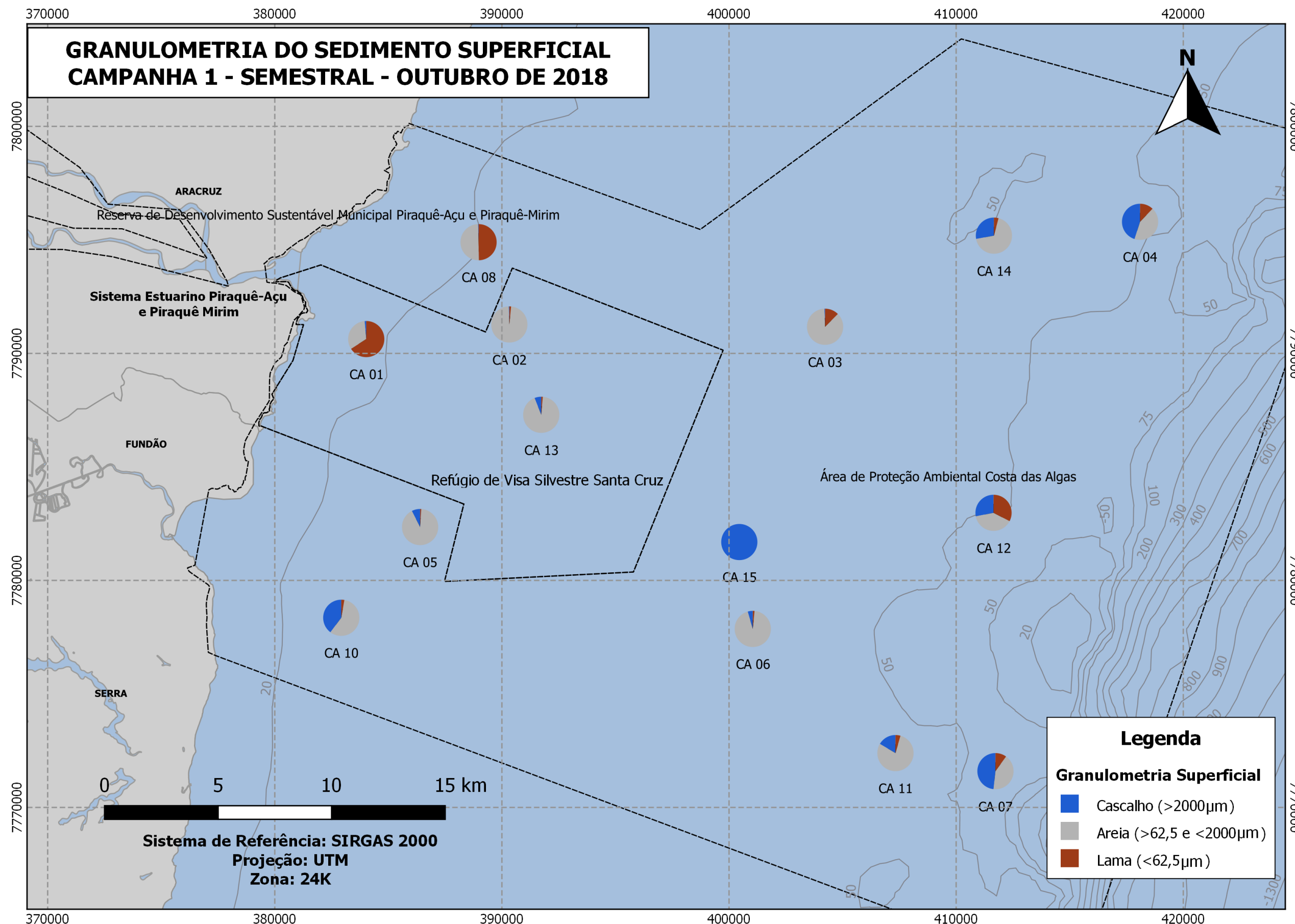


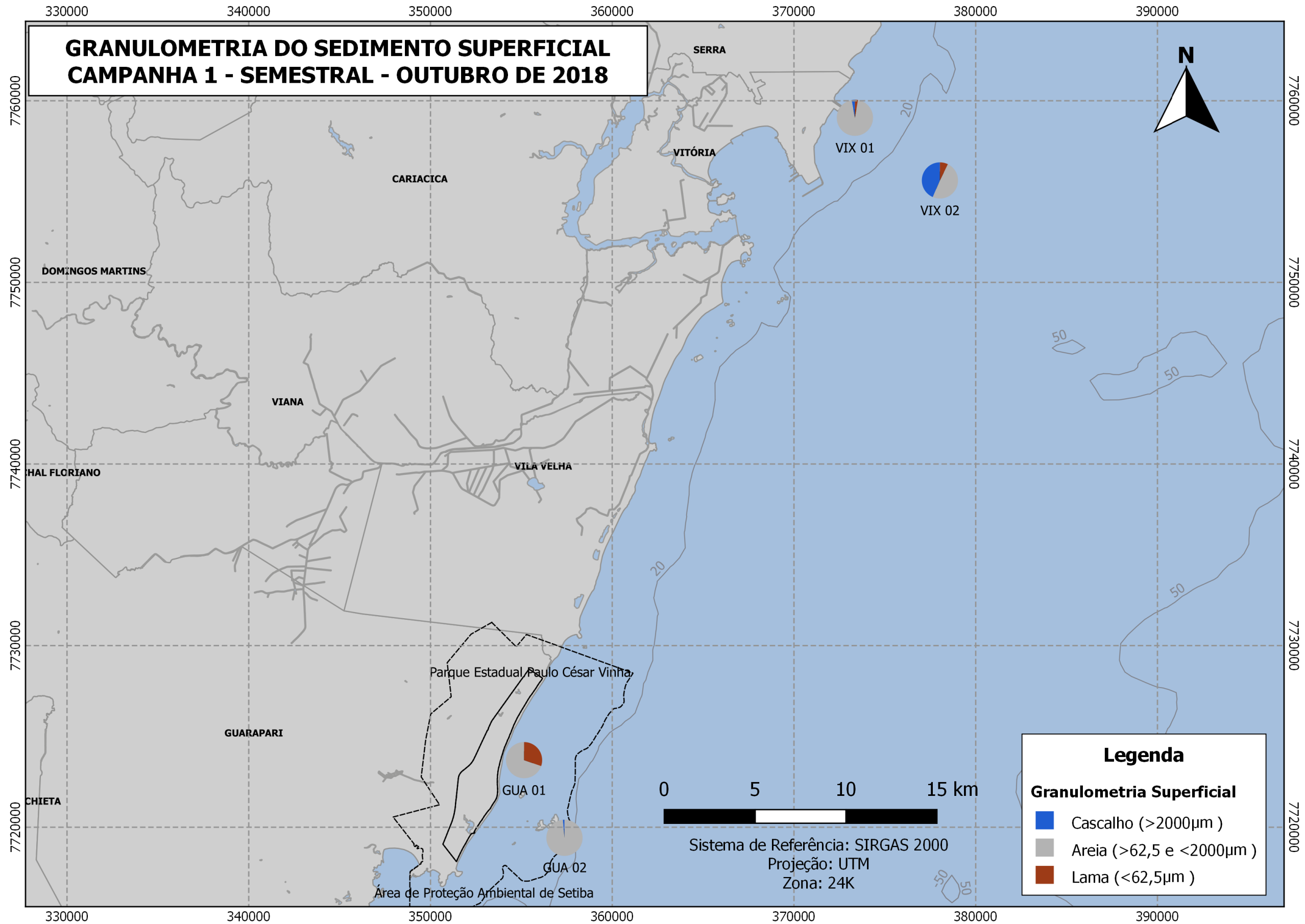
Apêndice 15: Granulometria do sedimento superficial ao longo do monitoramento para cada setor amostrado.

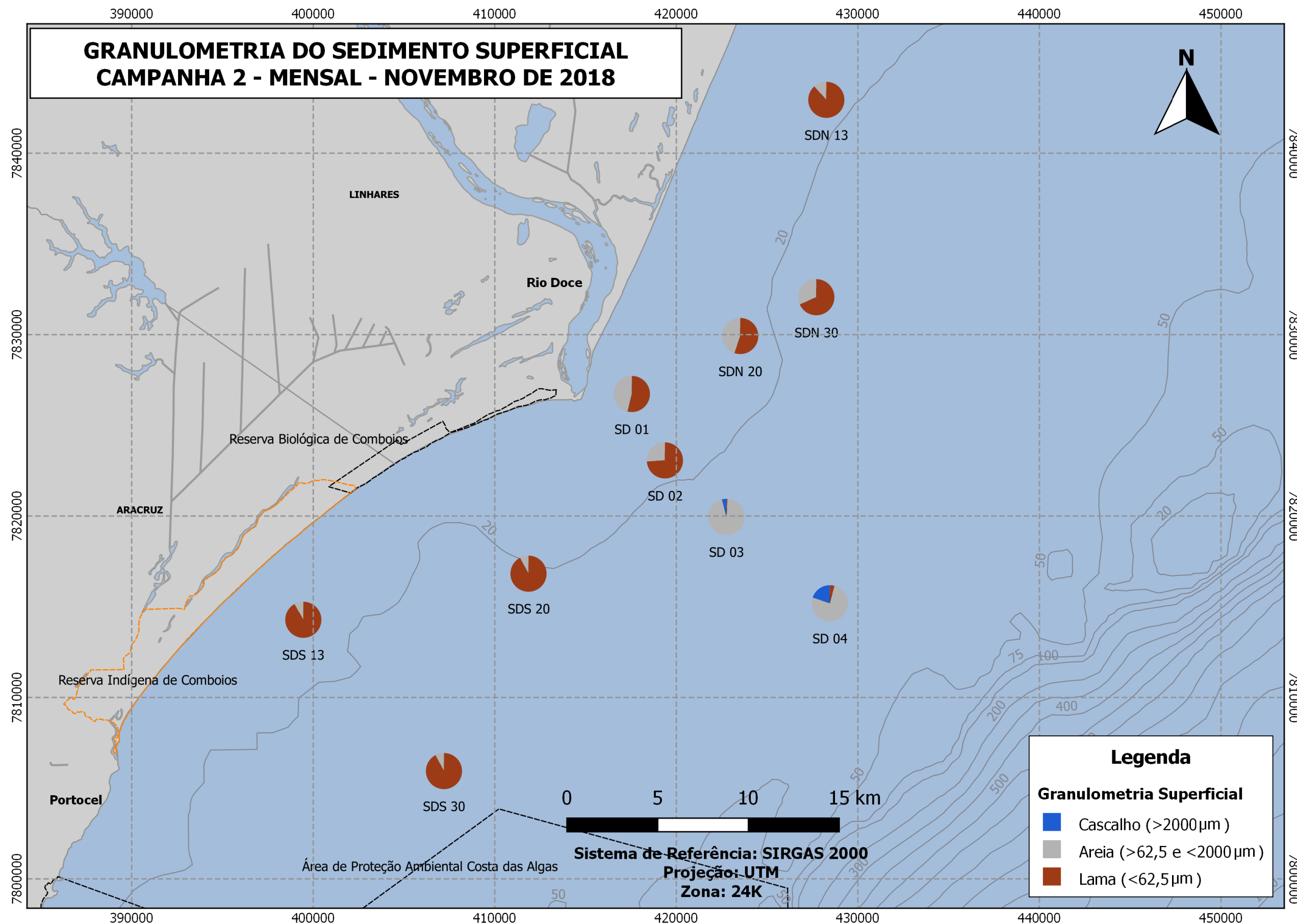


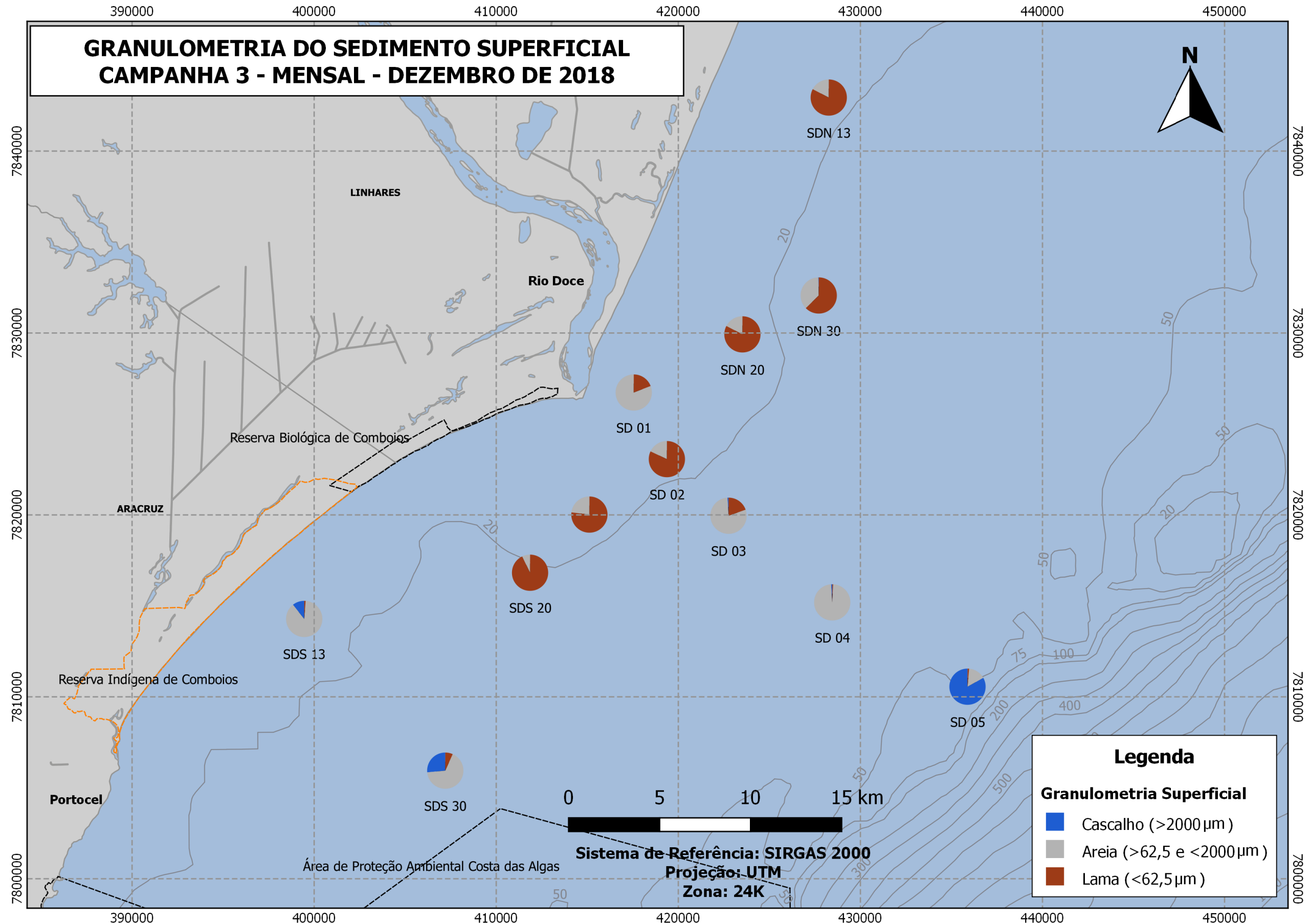


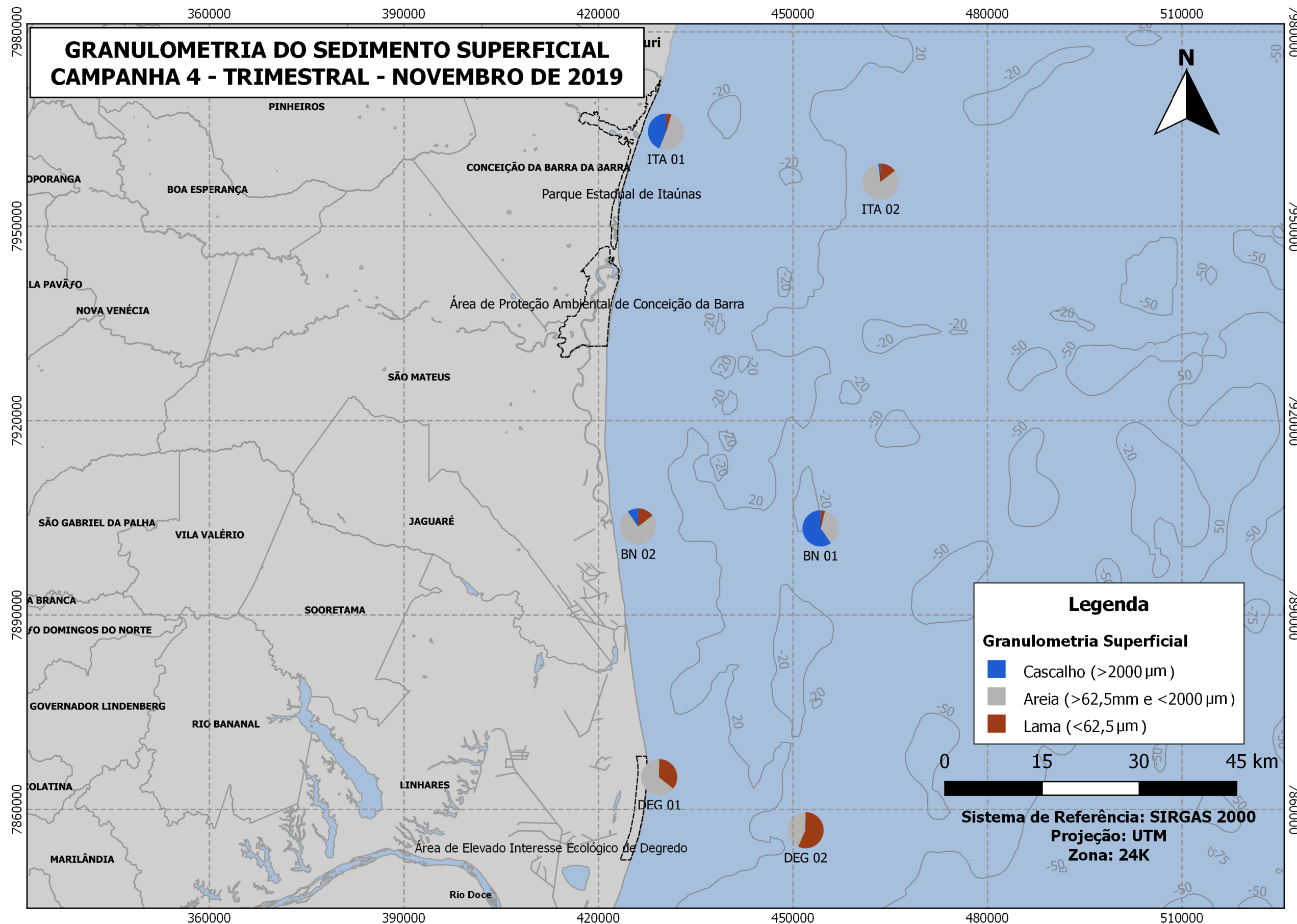


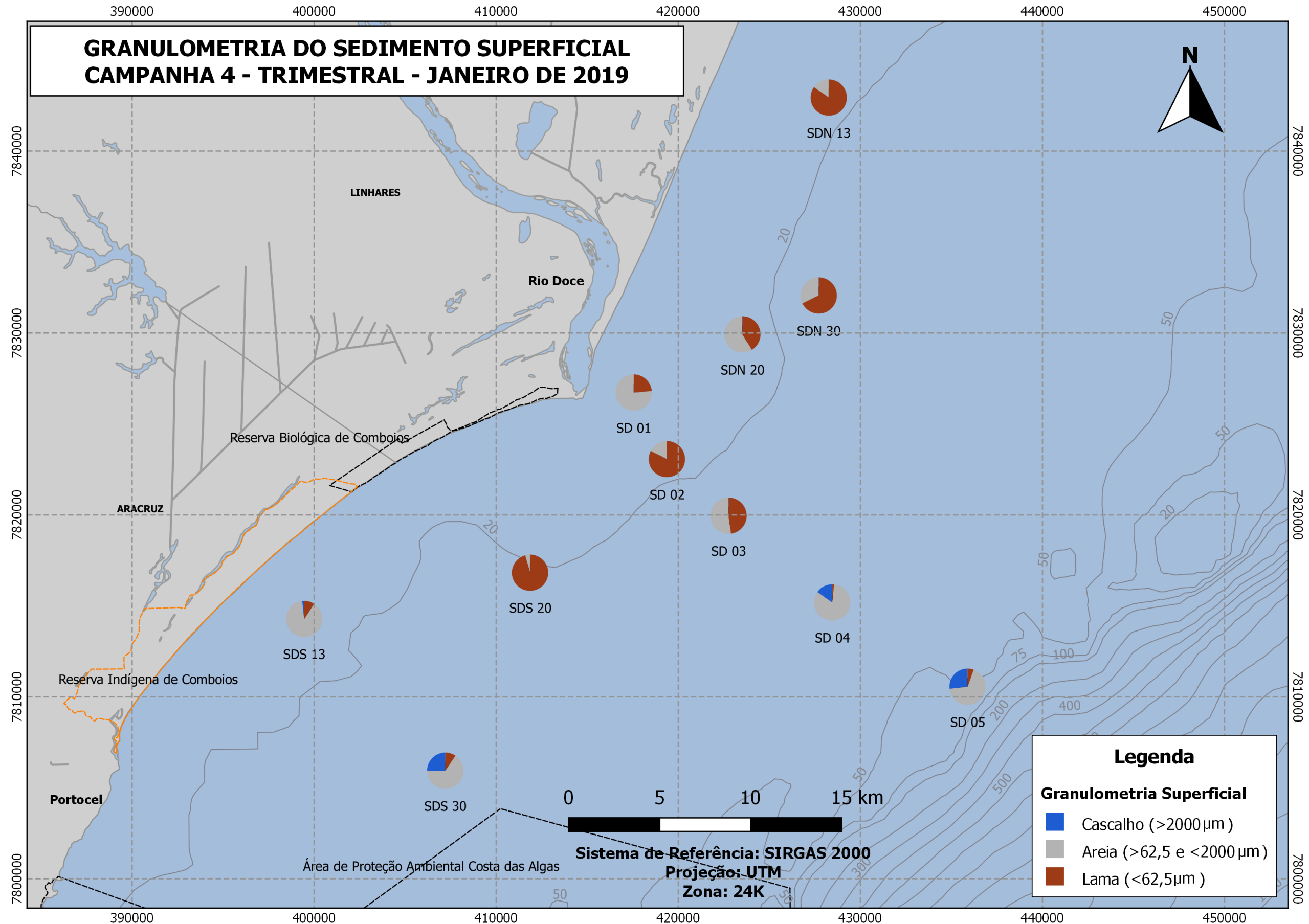


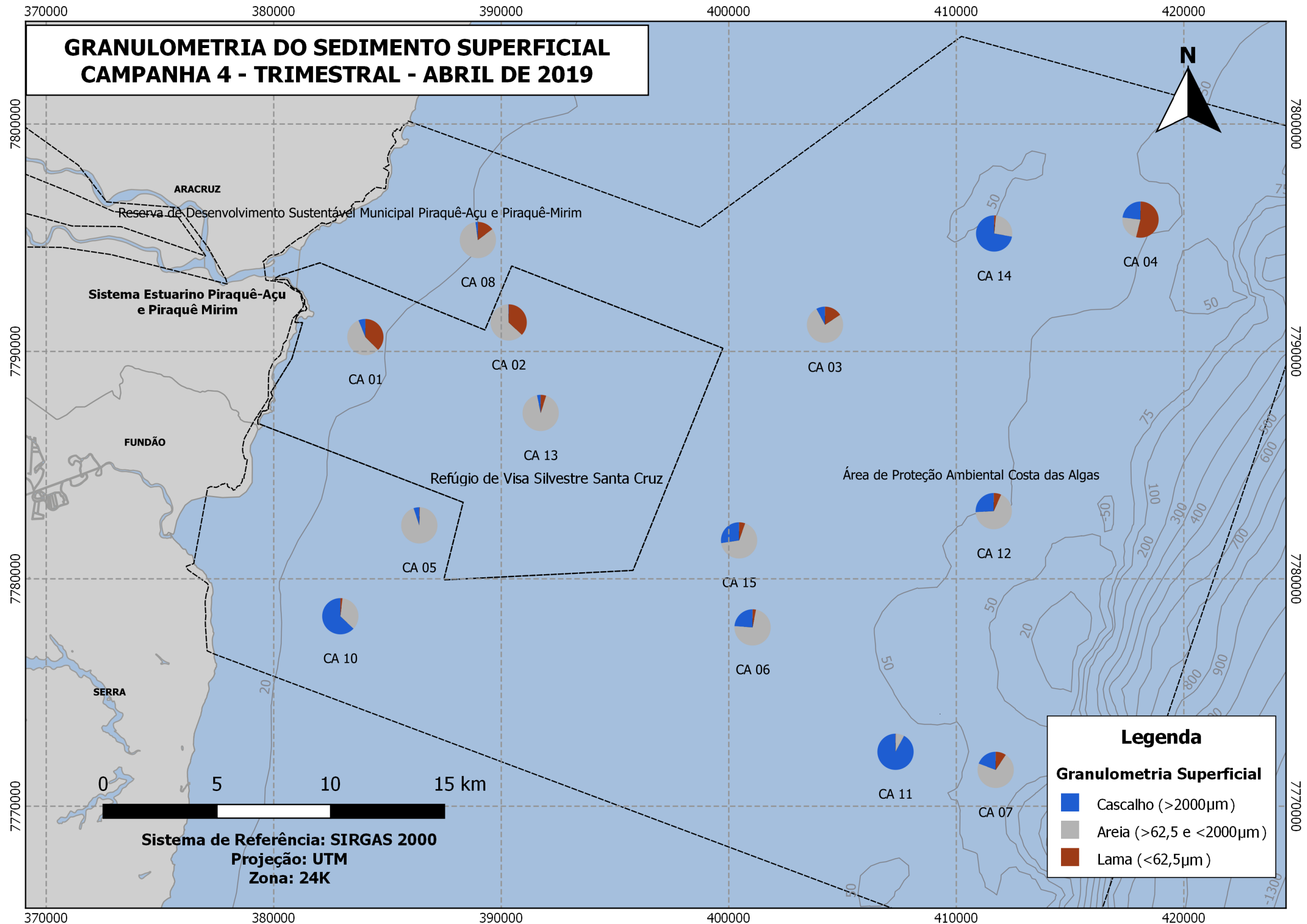


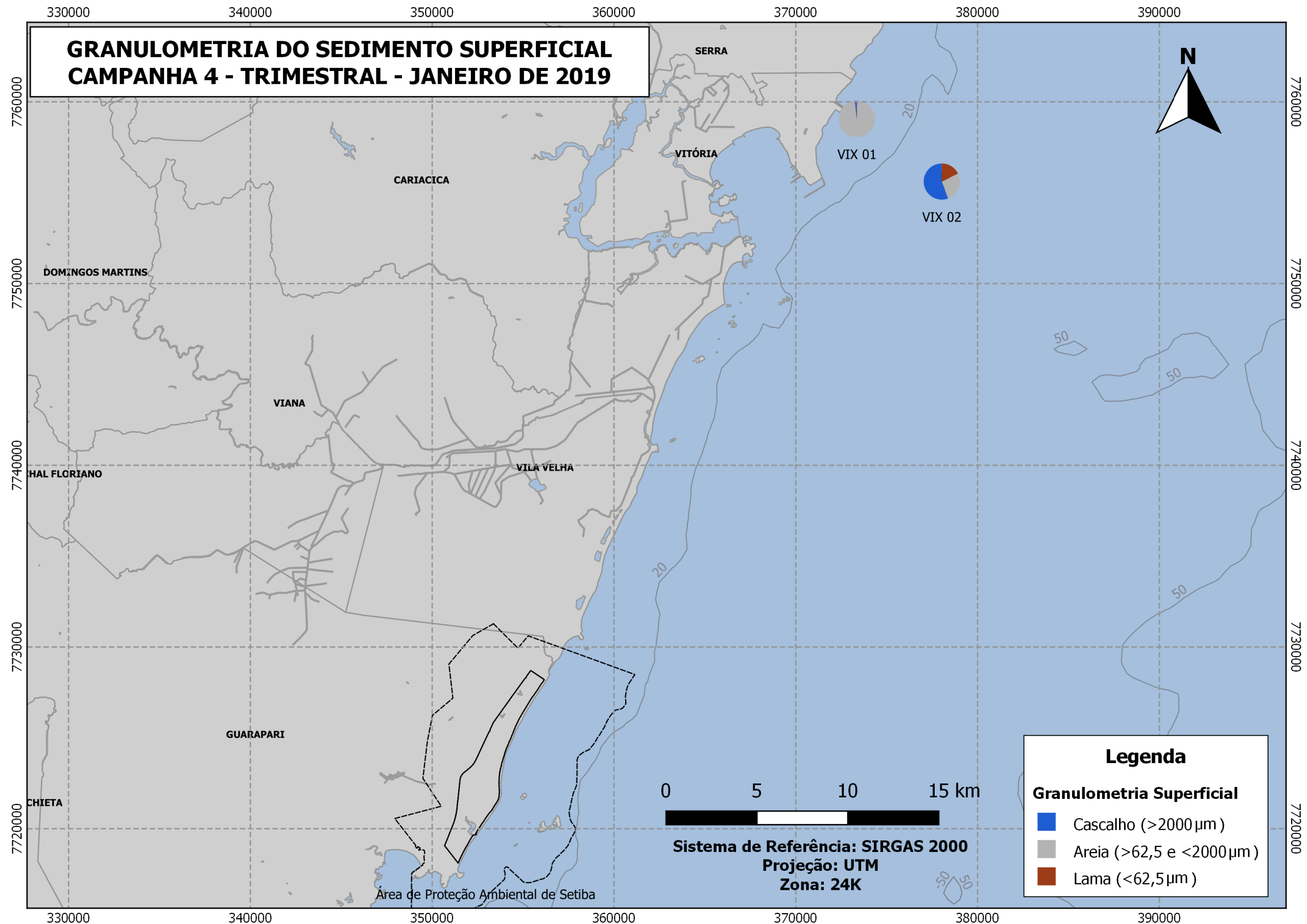


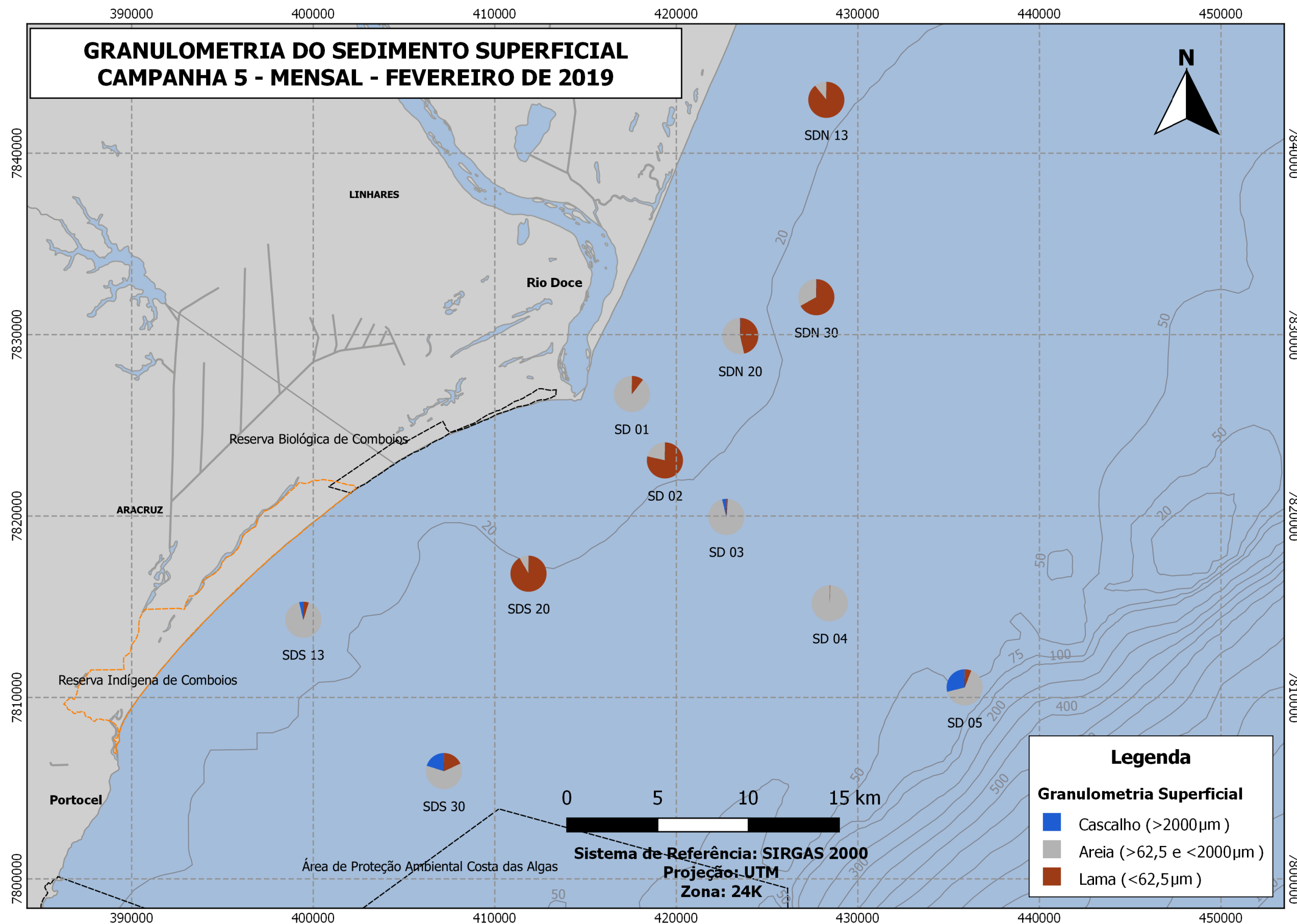


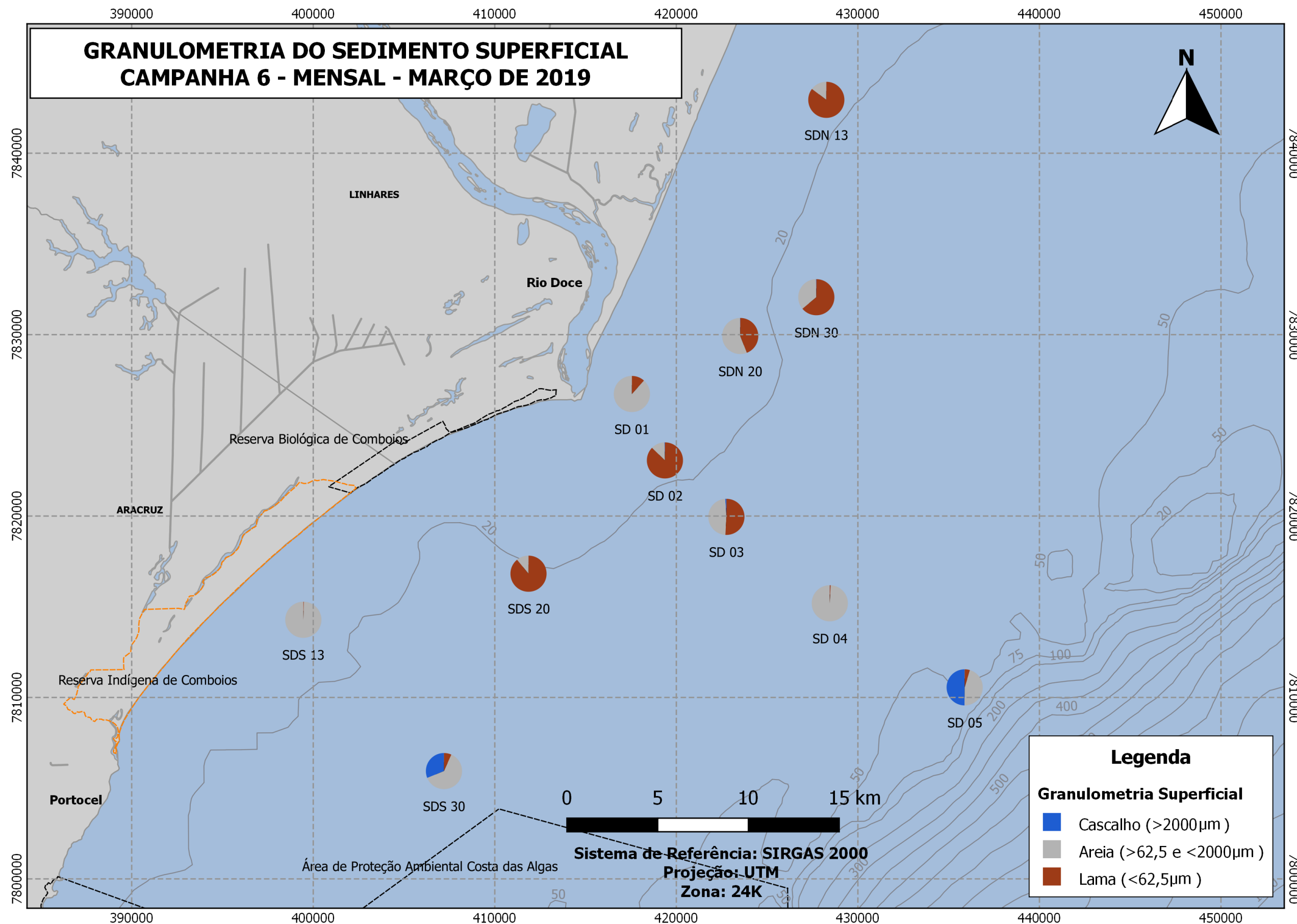


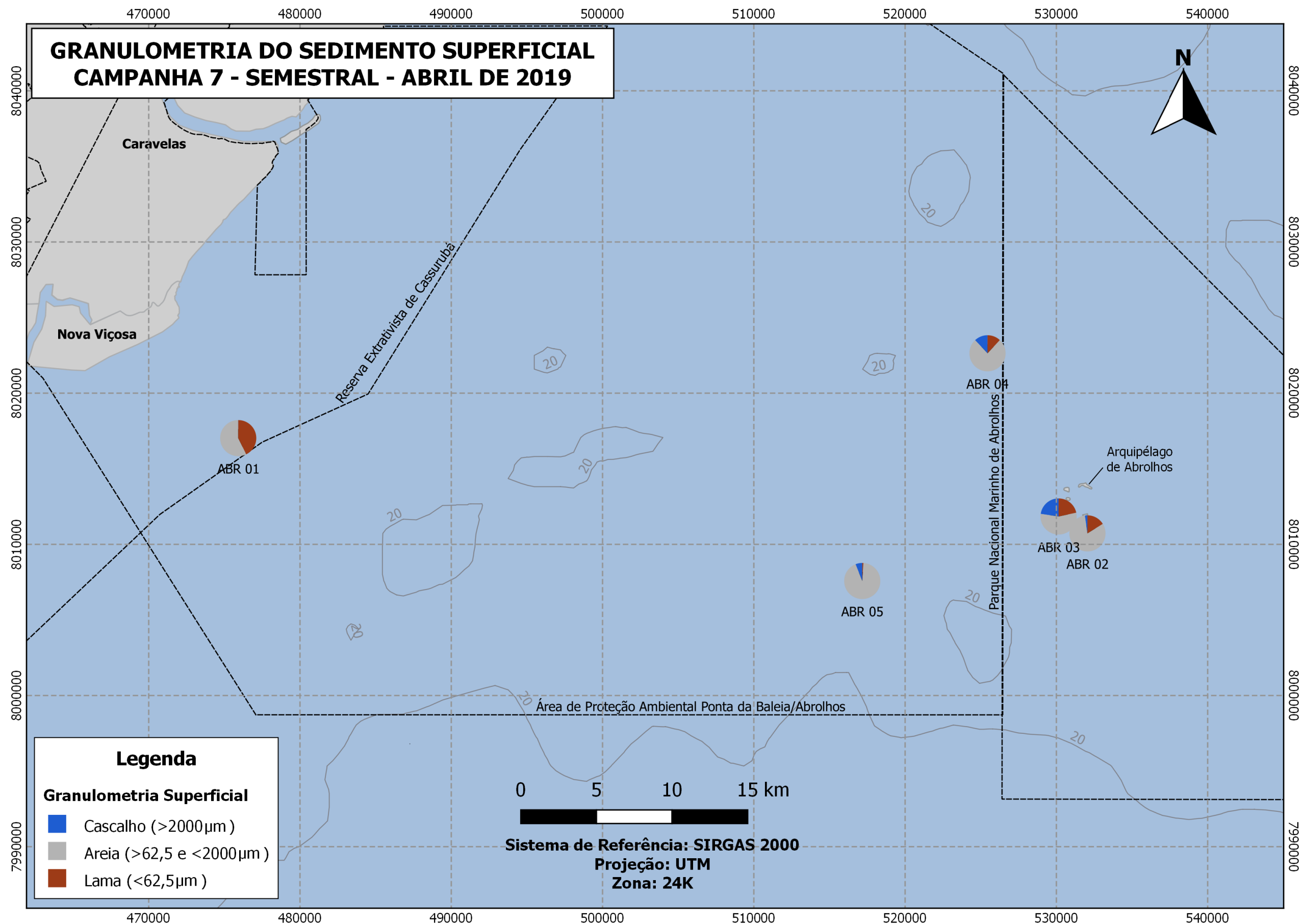


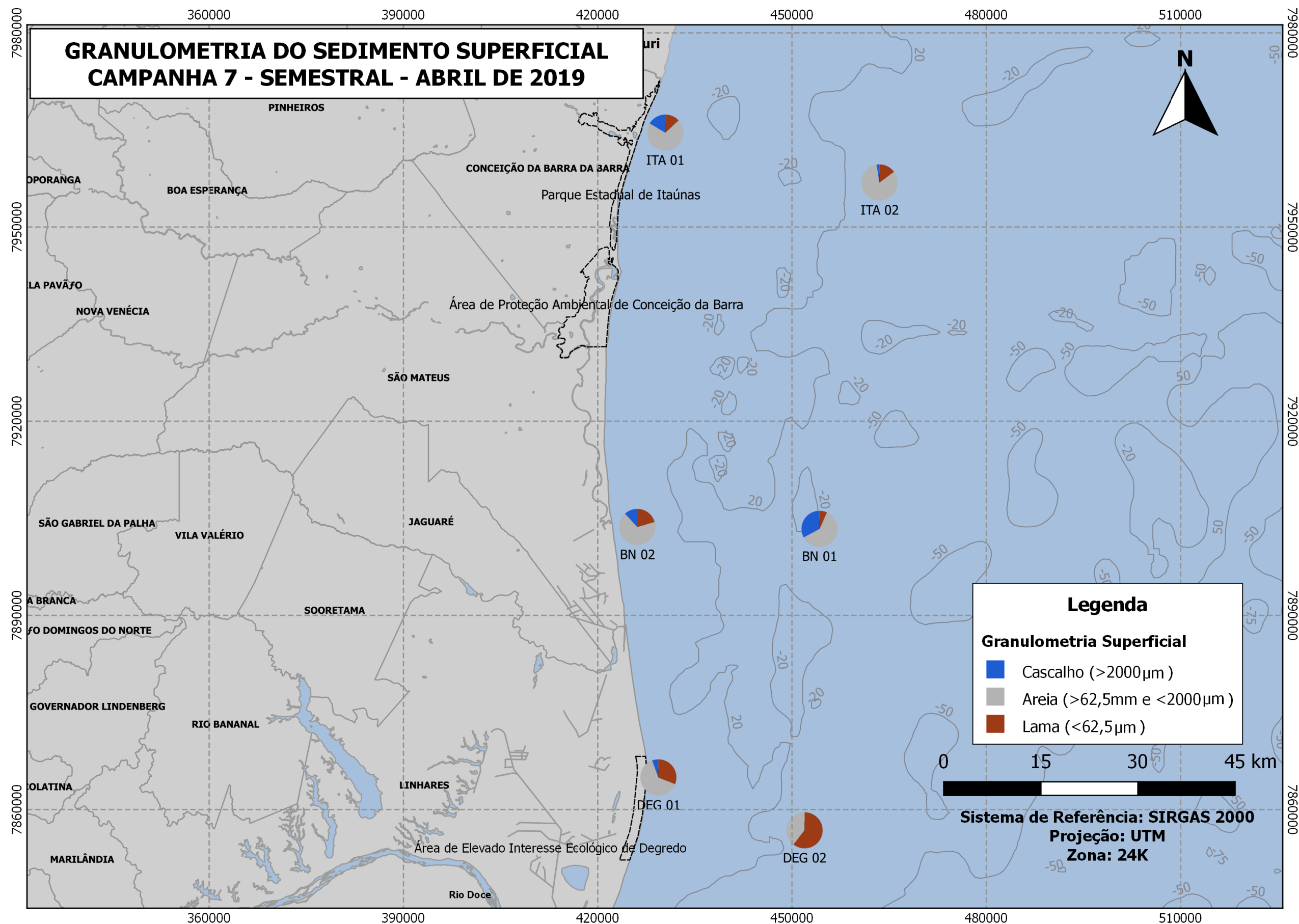


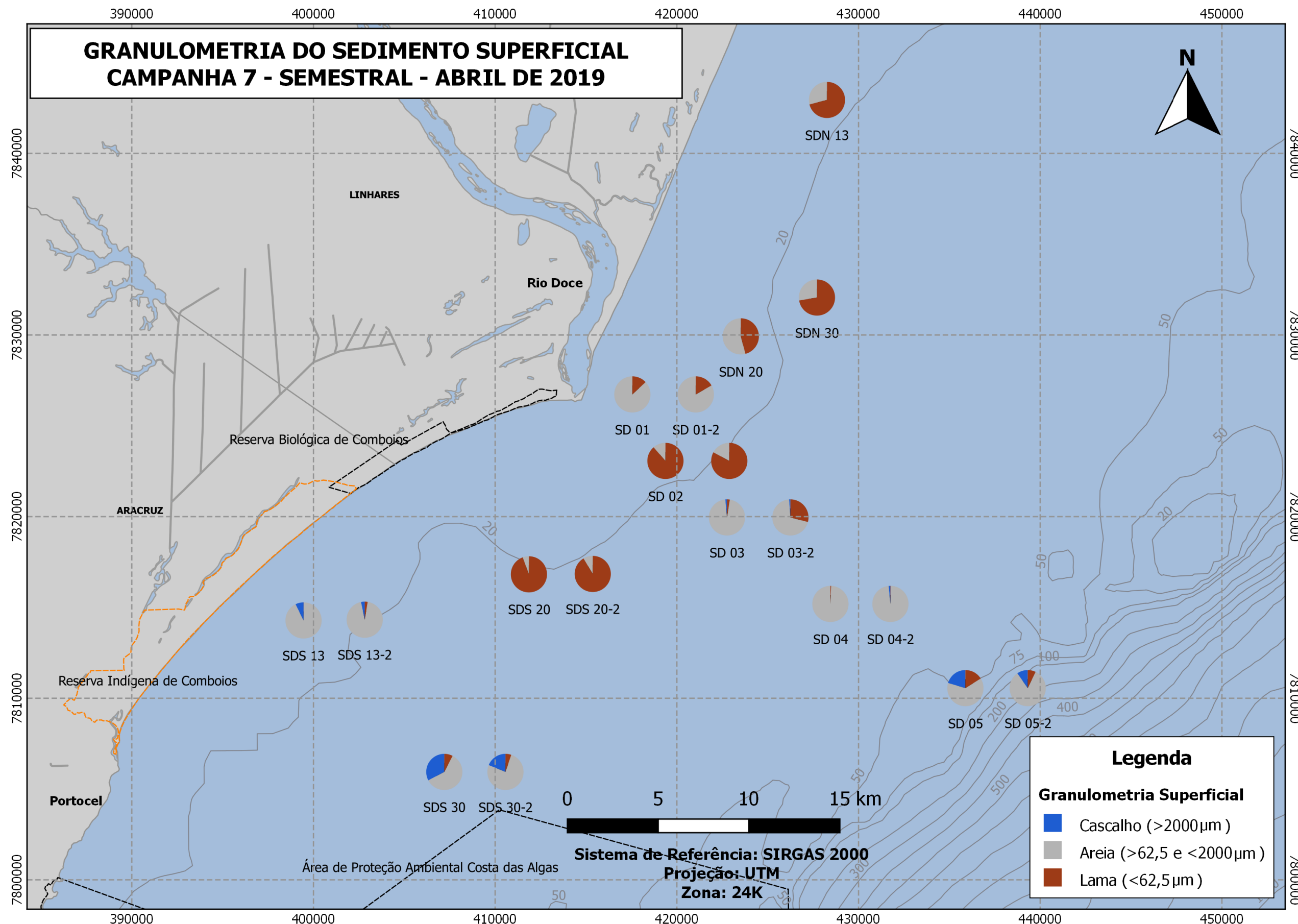


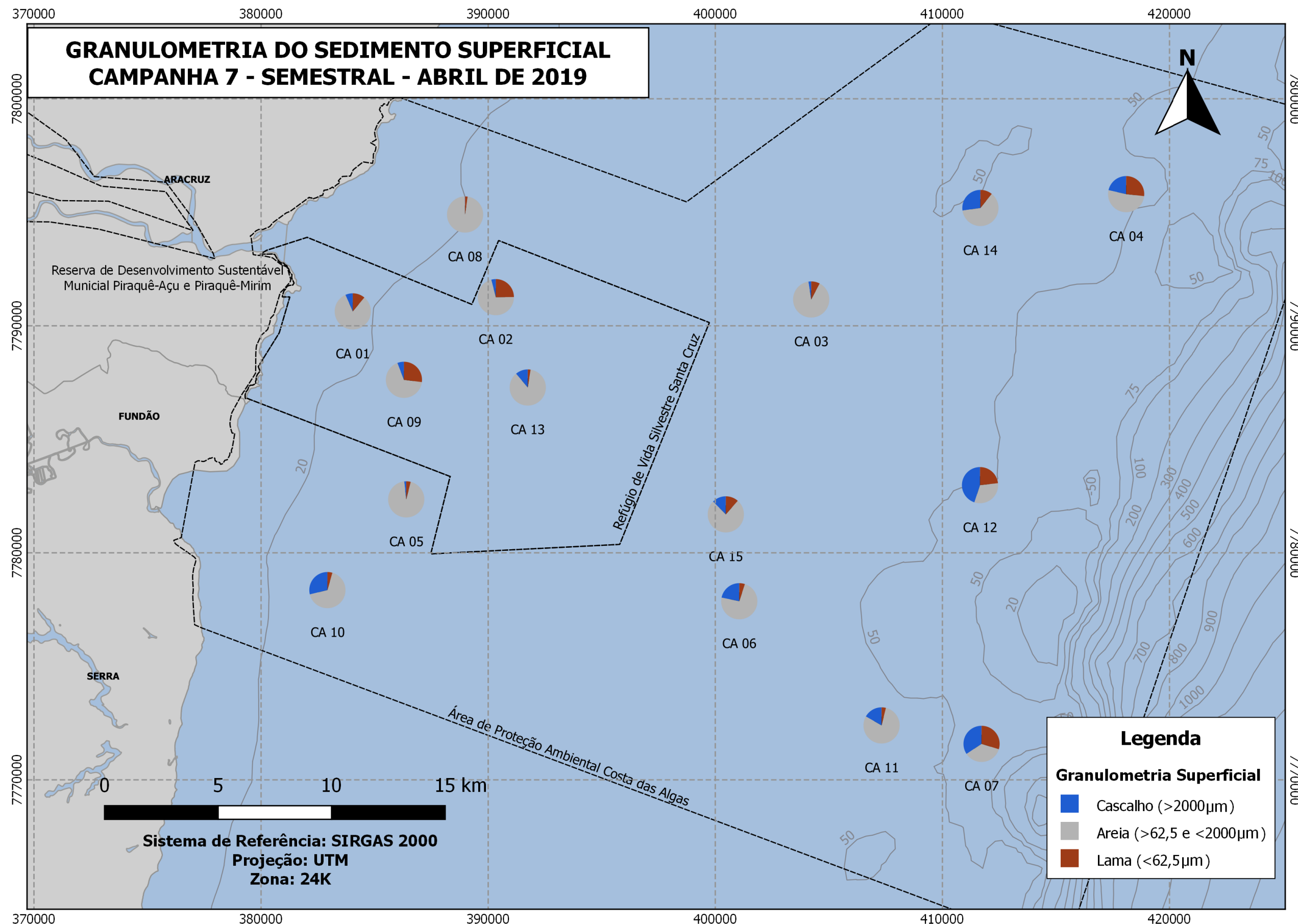


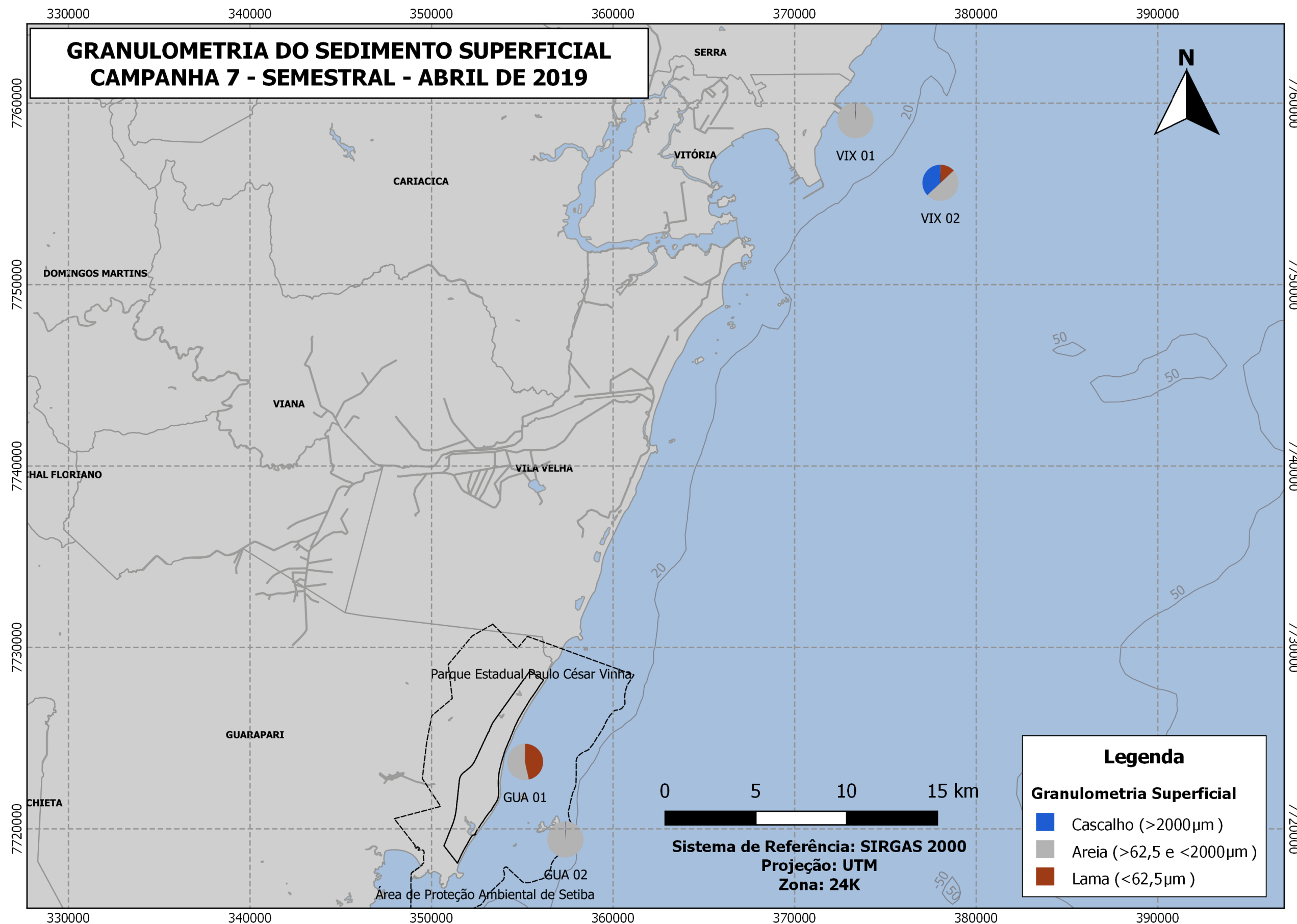


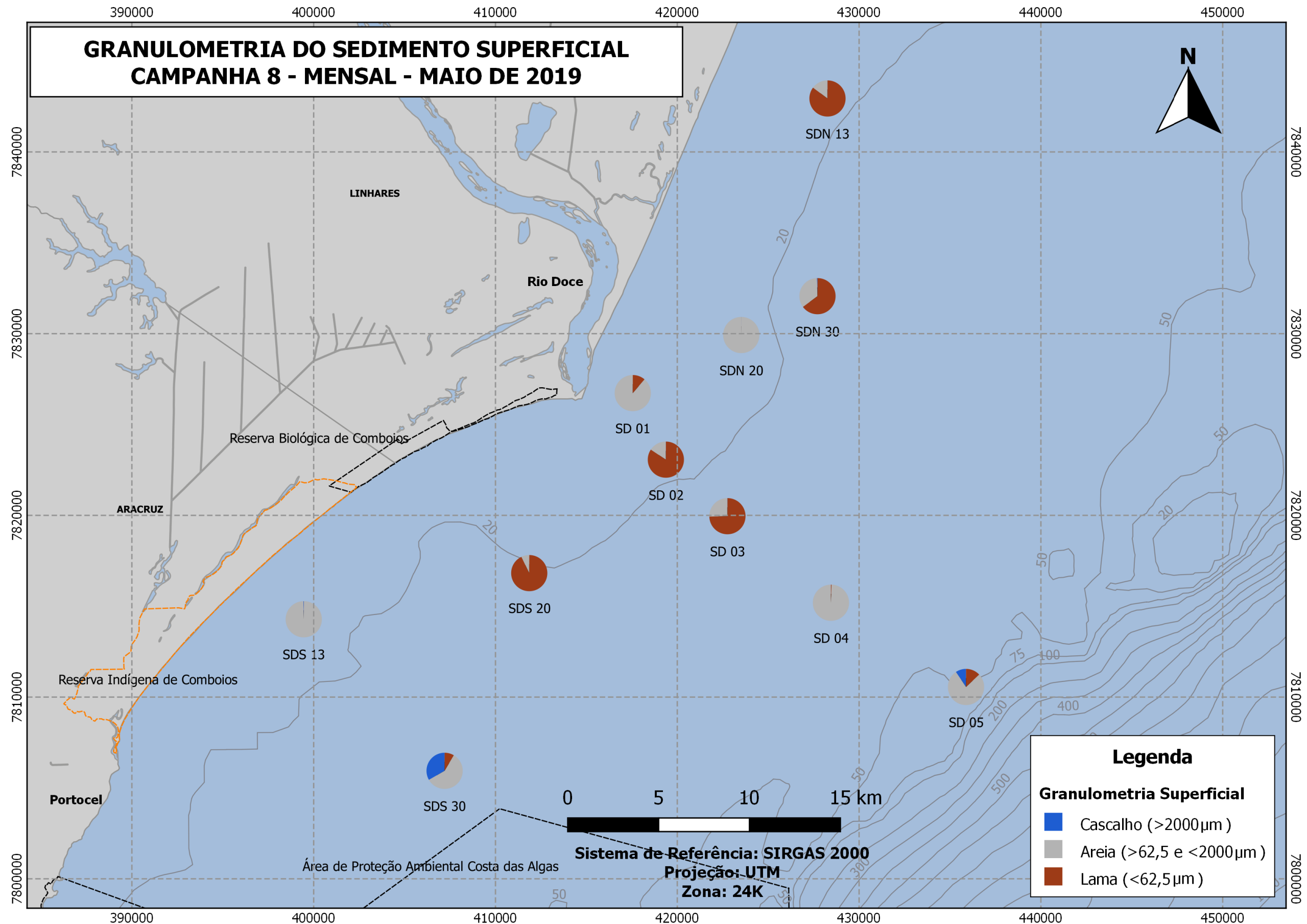


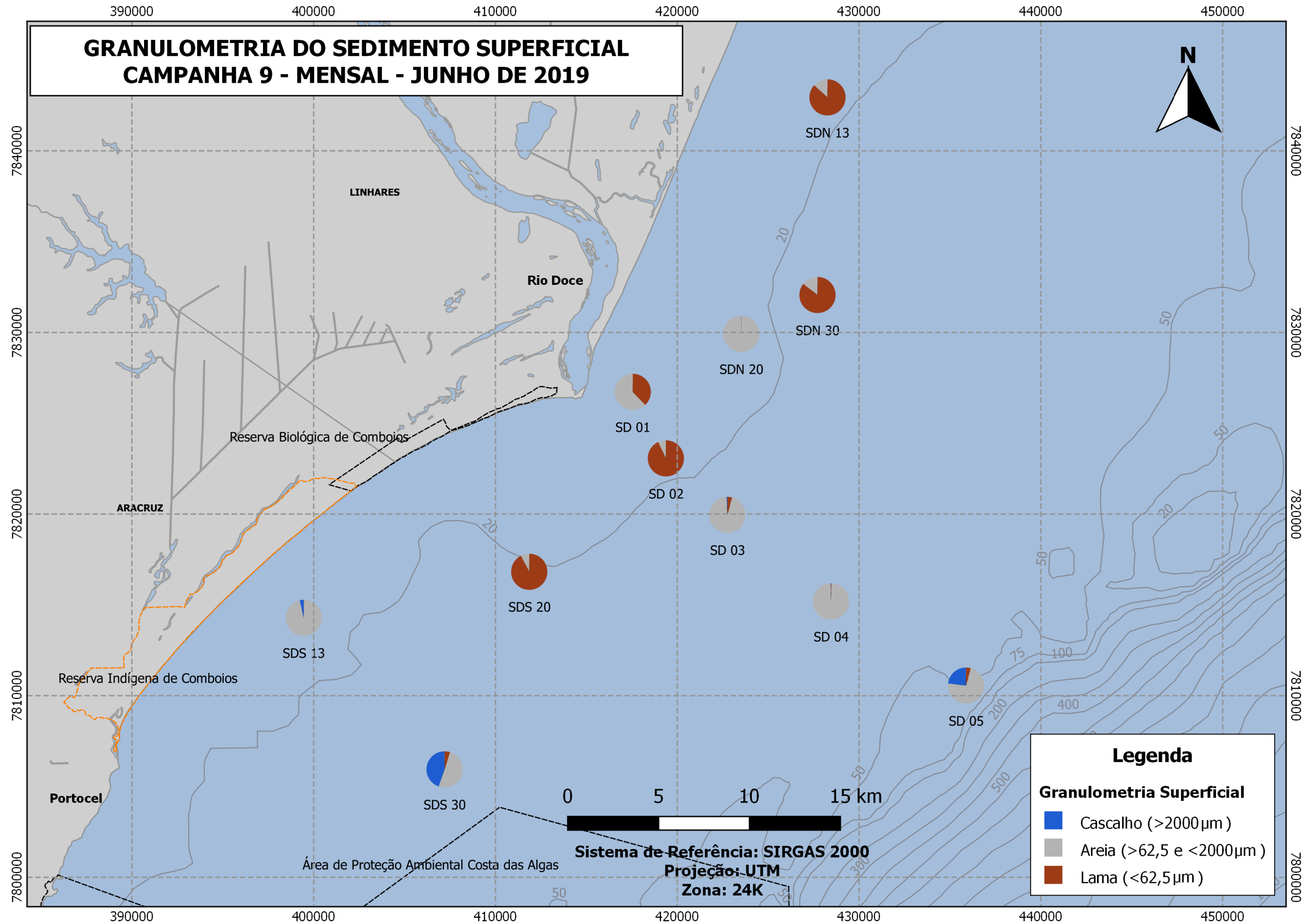


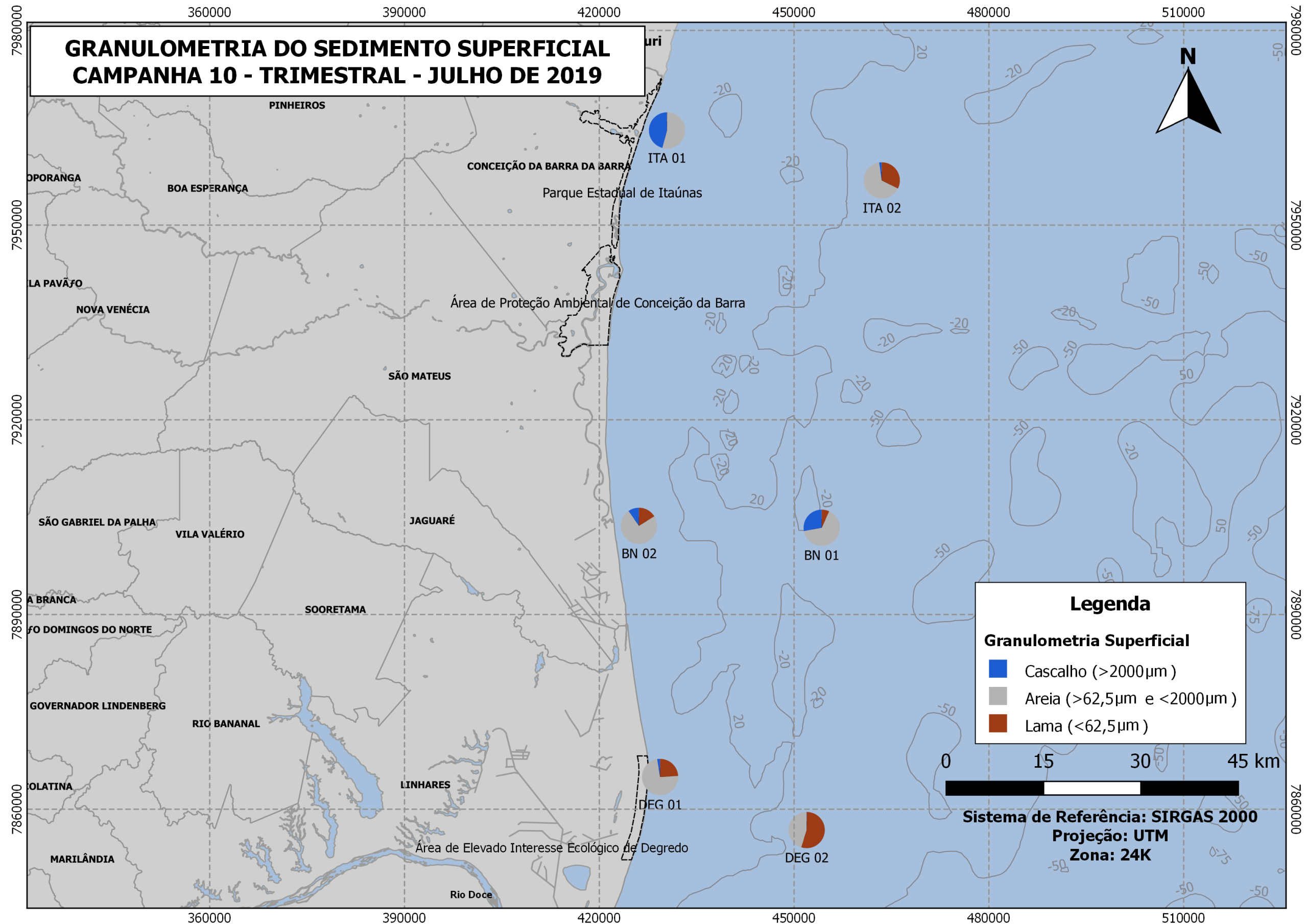


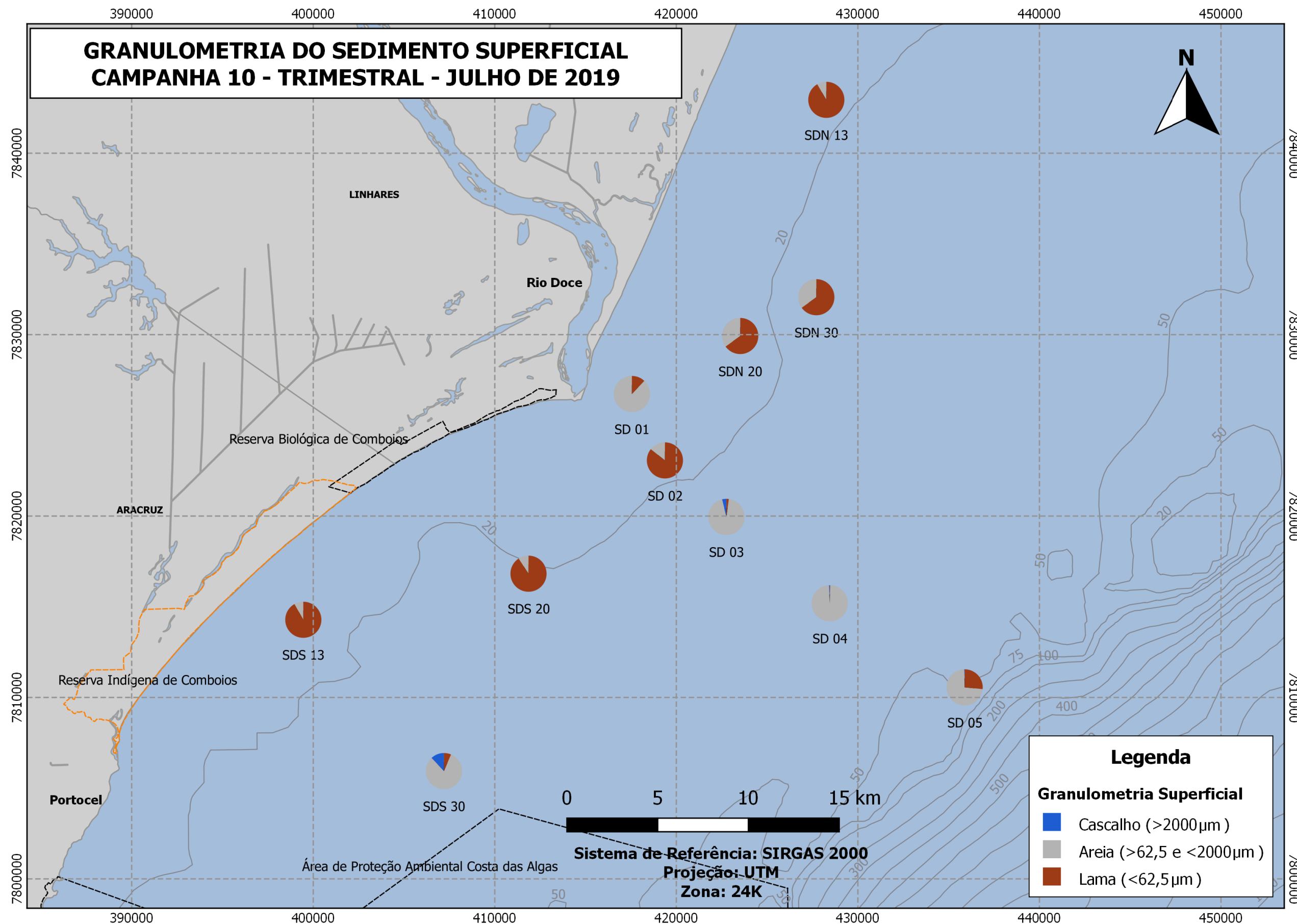


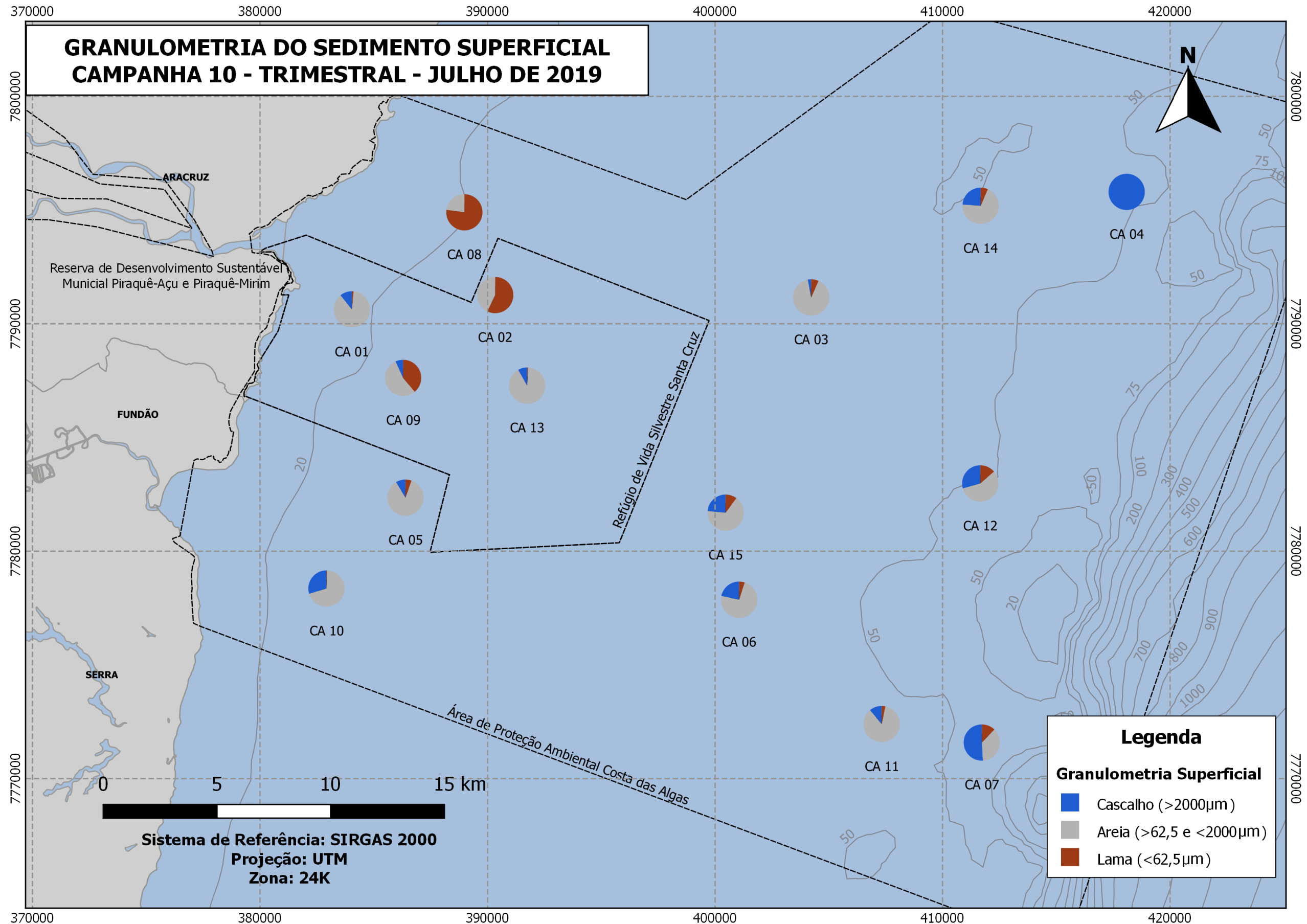


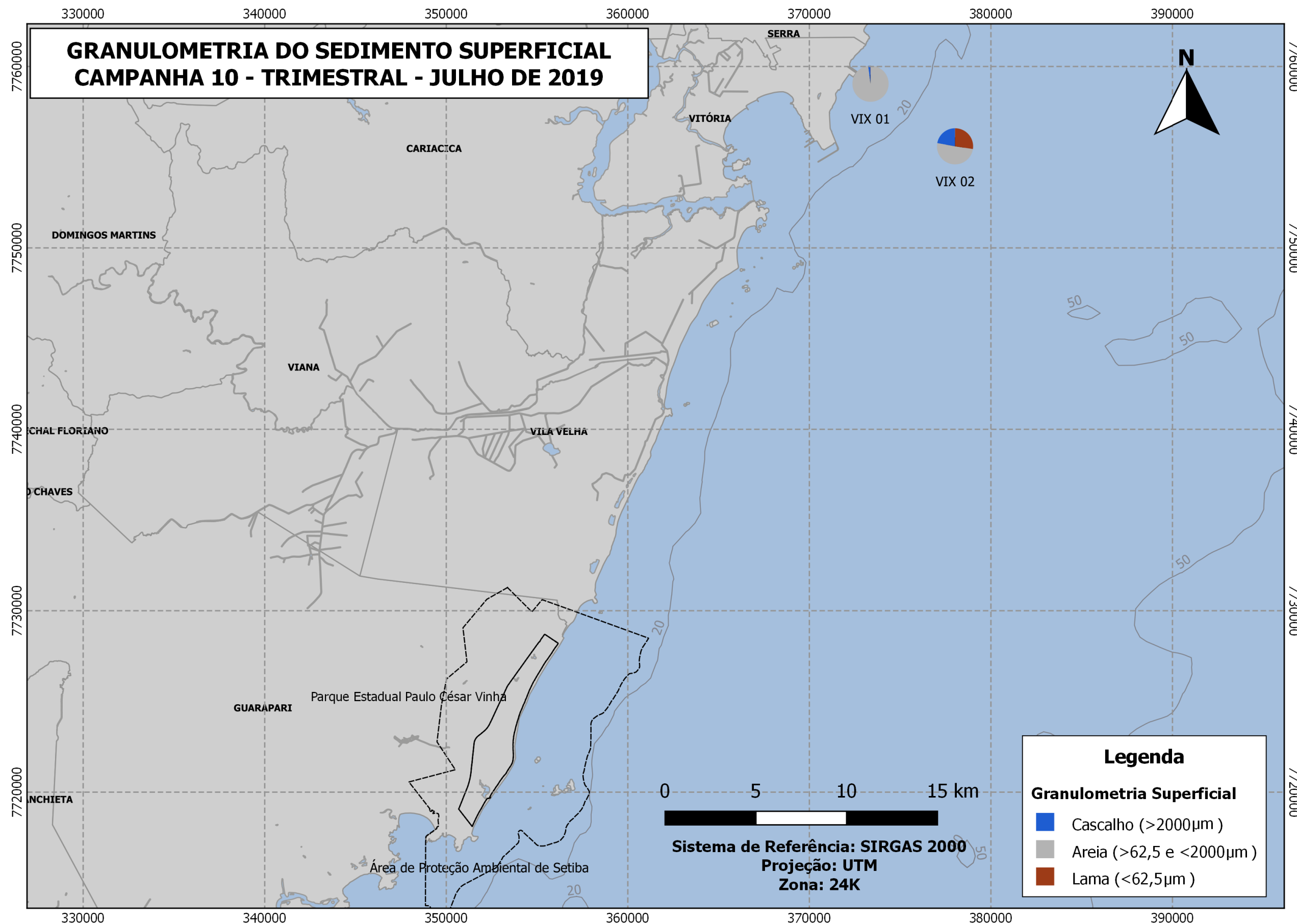


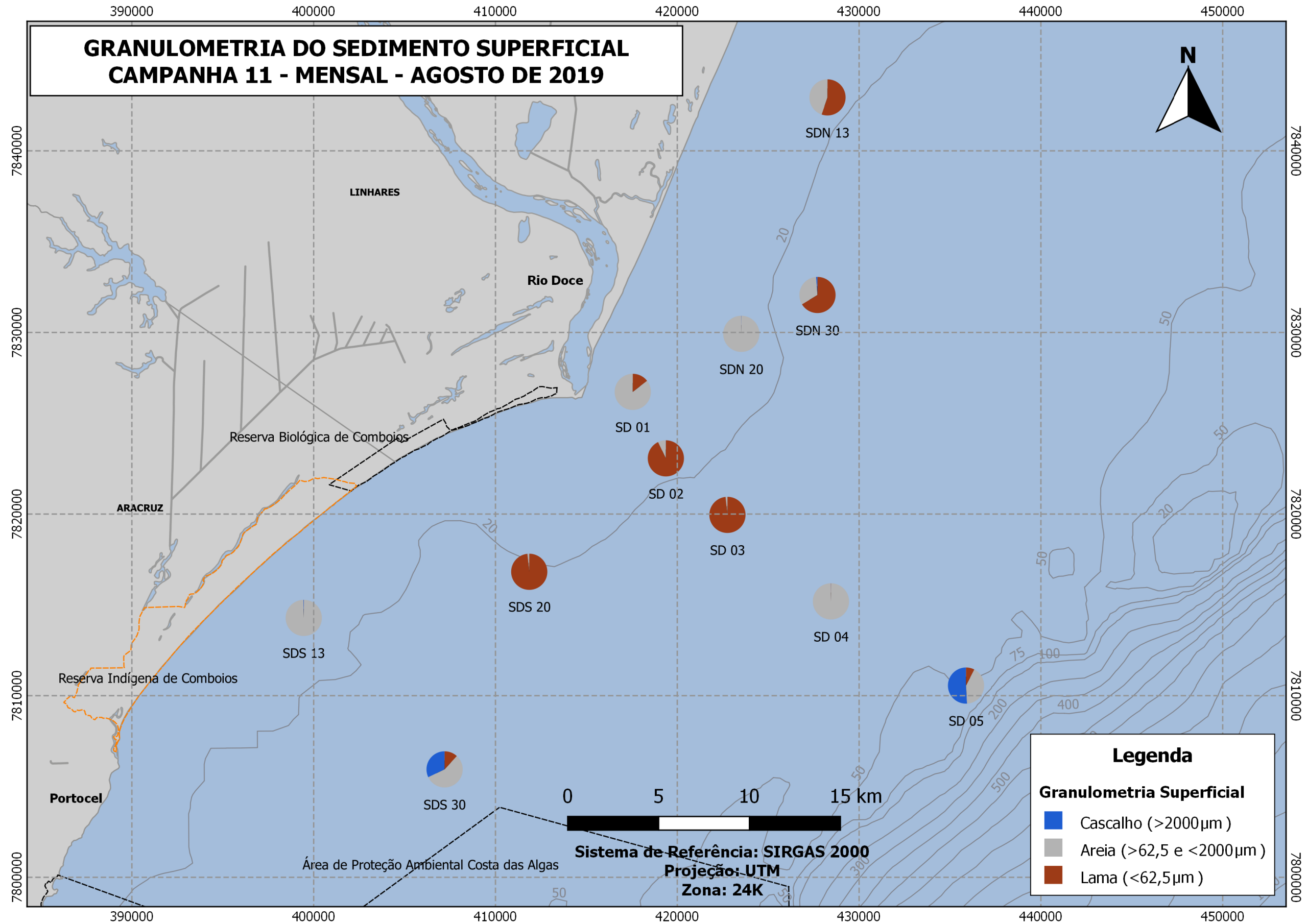


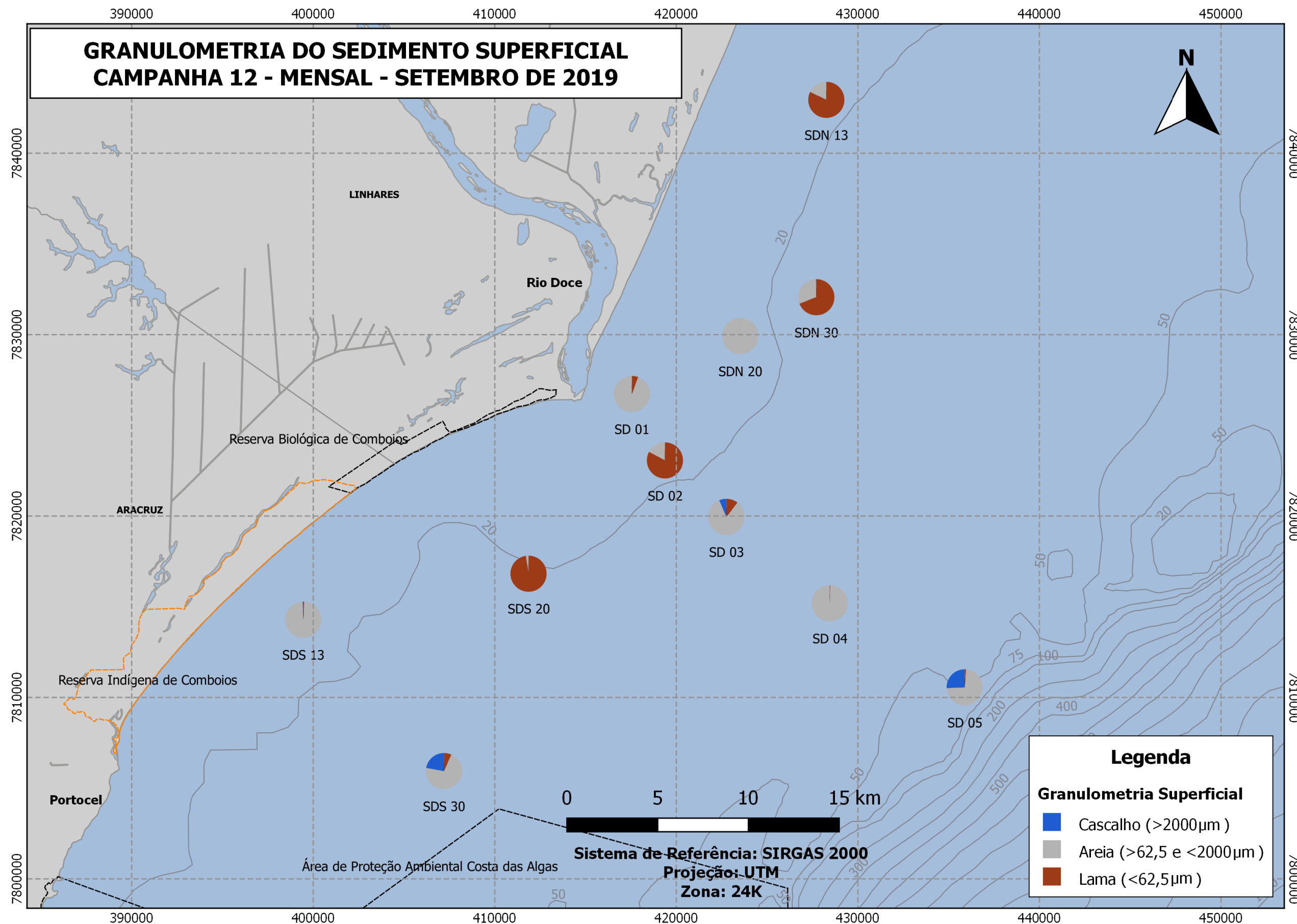




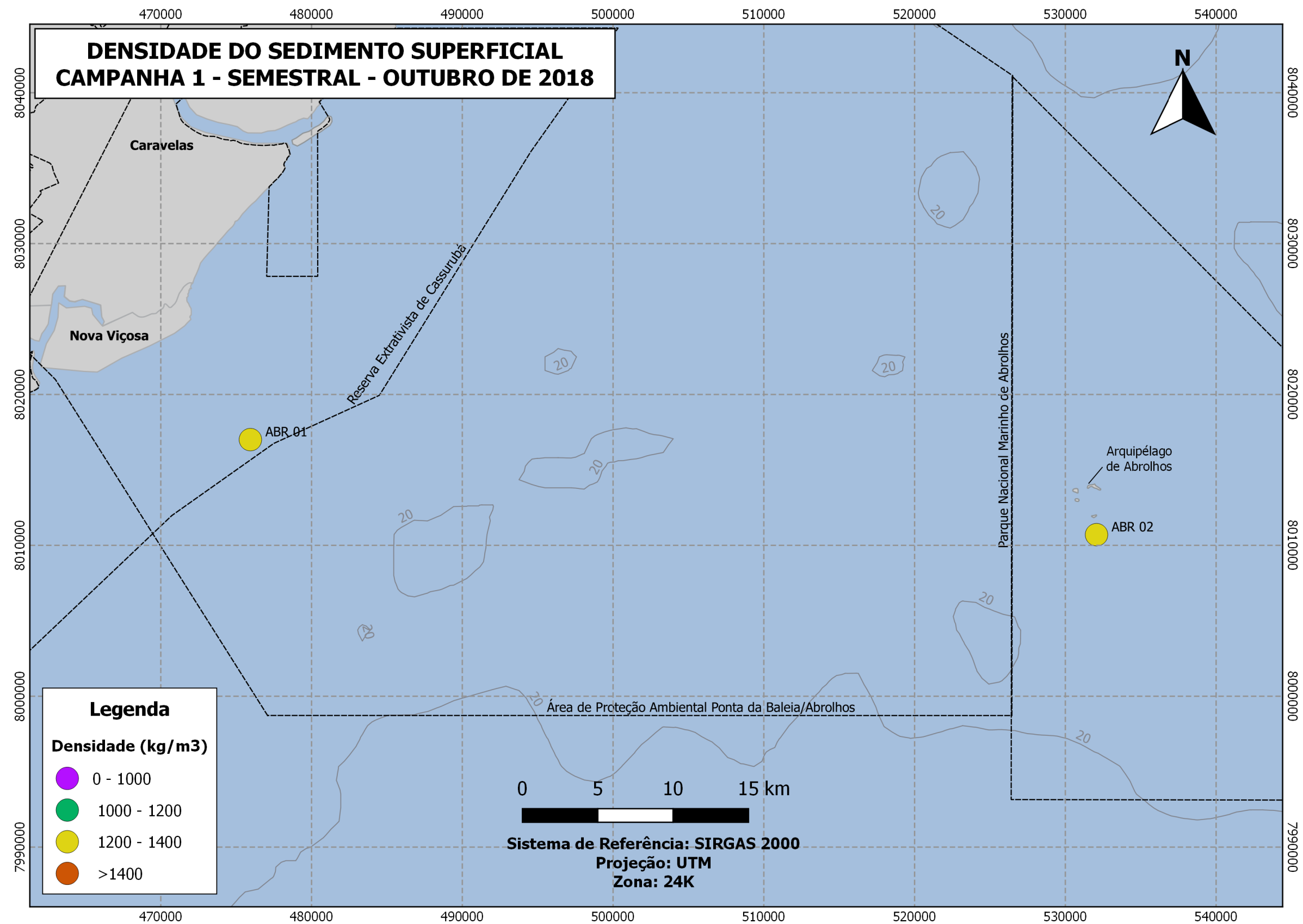


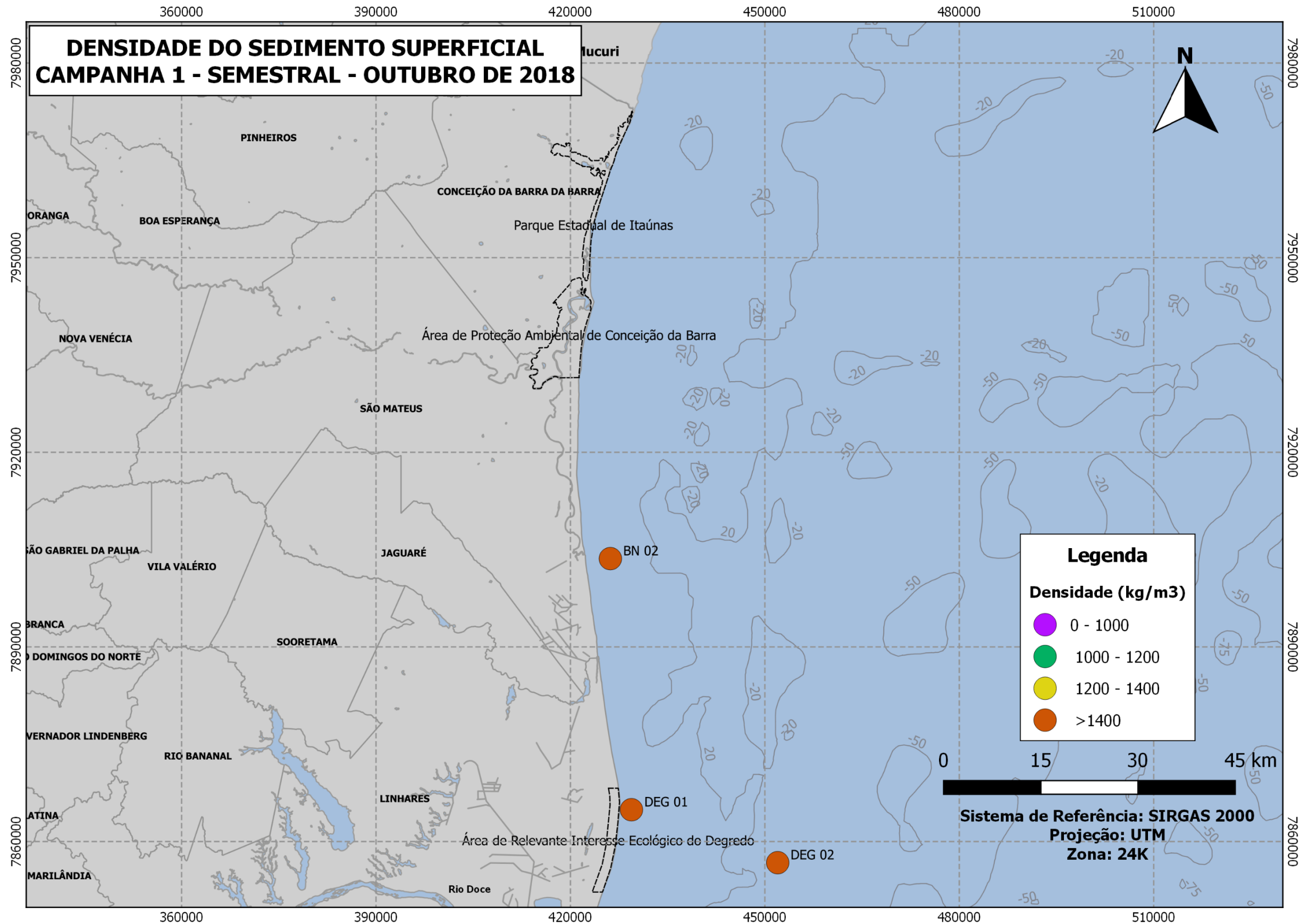


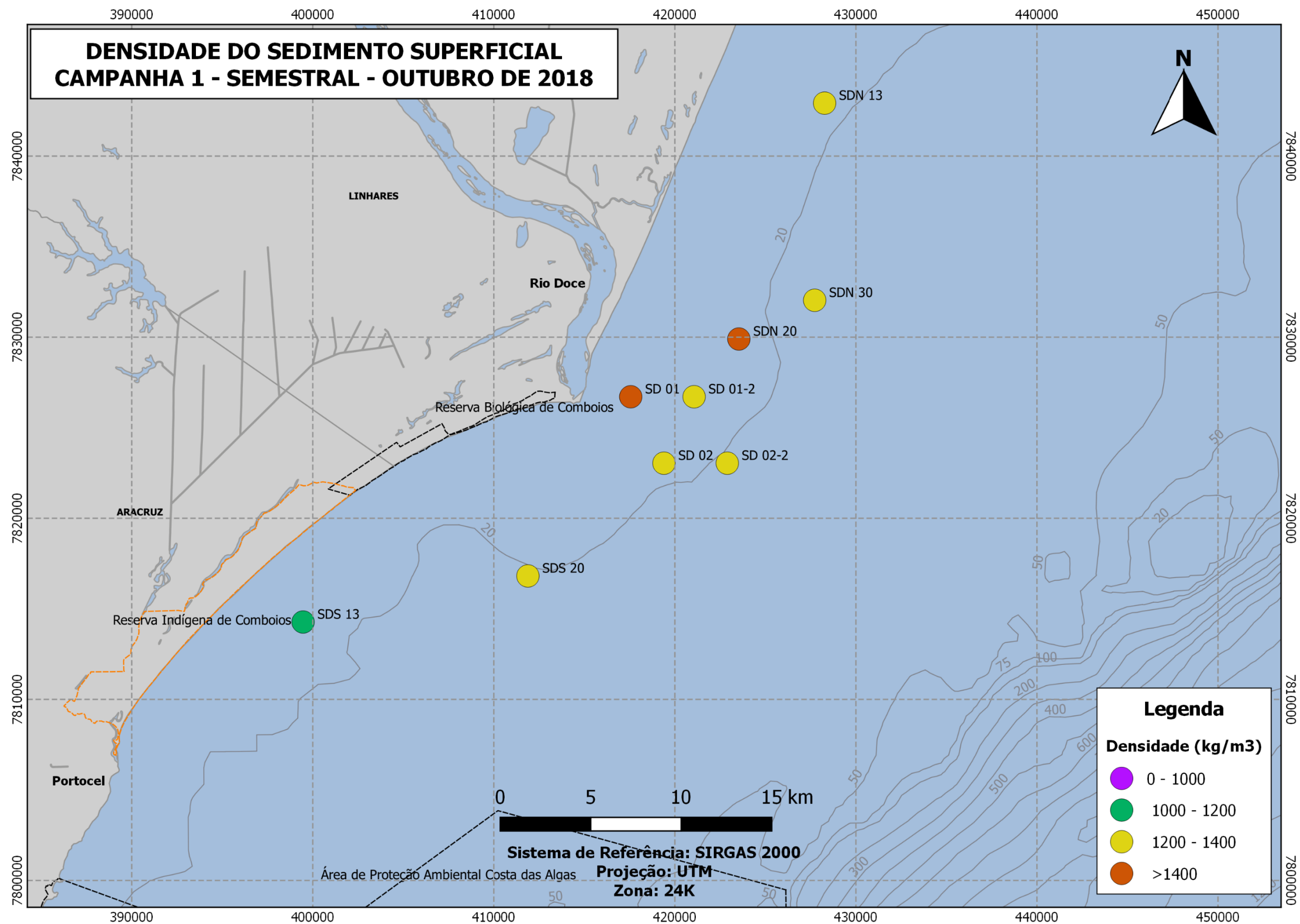


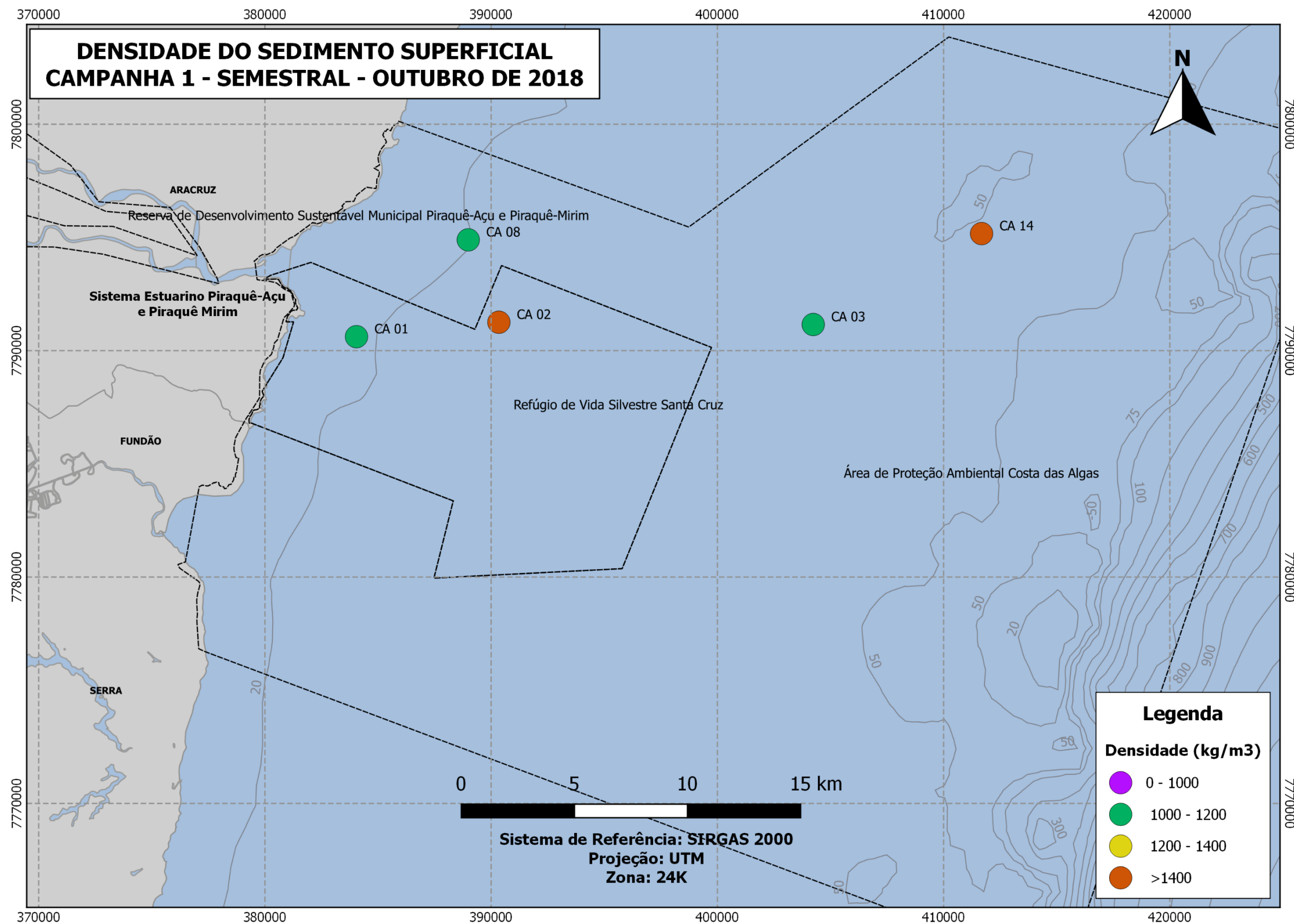


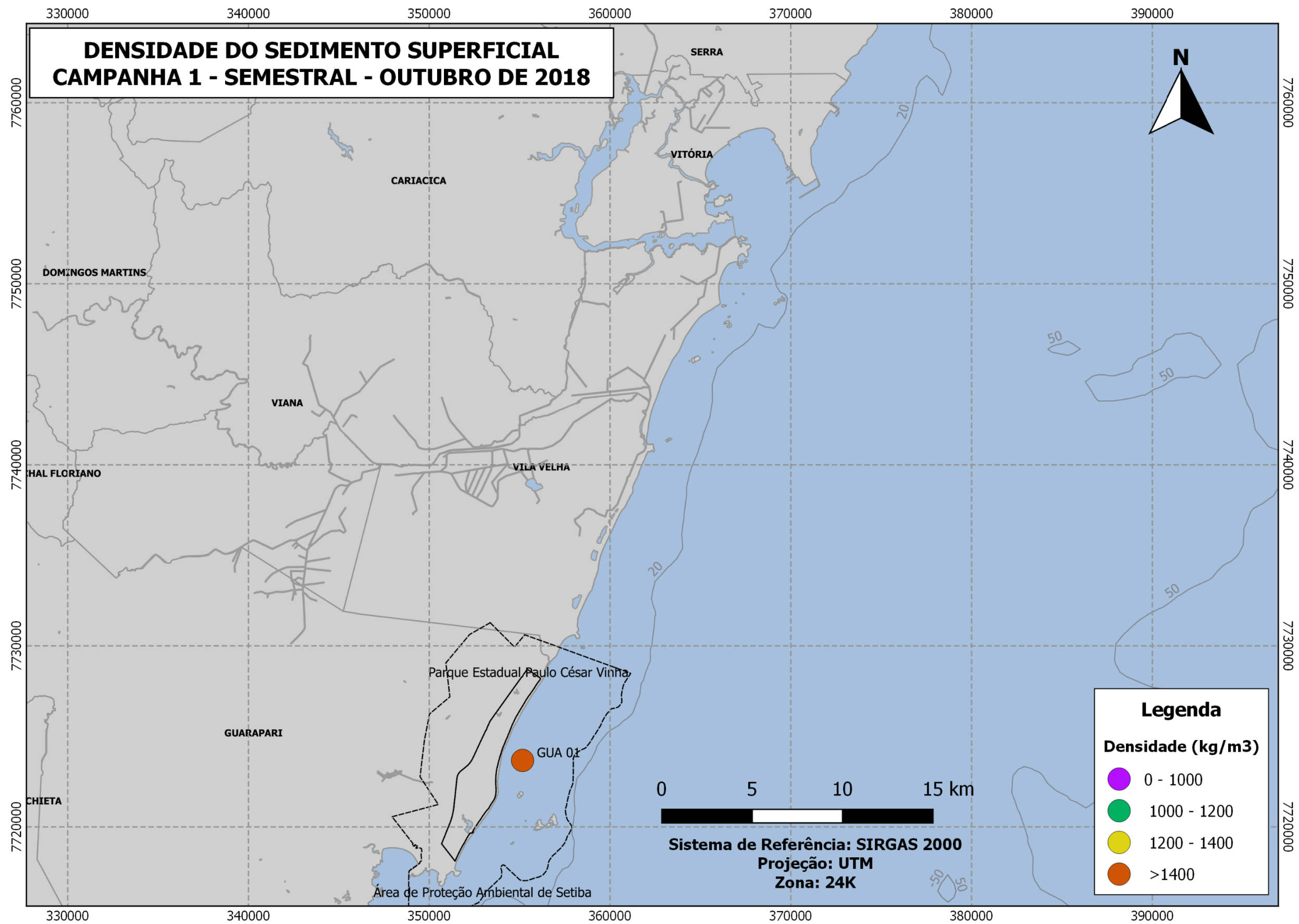
Apêndice 16: Densidade do sedimento superficial ao longo do monitoramento para cada setor amostrado. Amostras que não possuem registro são decorrentes da presença de sedimento arenoso ou da não recuperação de sedimento durante a amostragem (fundo rochoso).

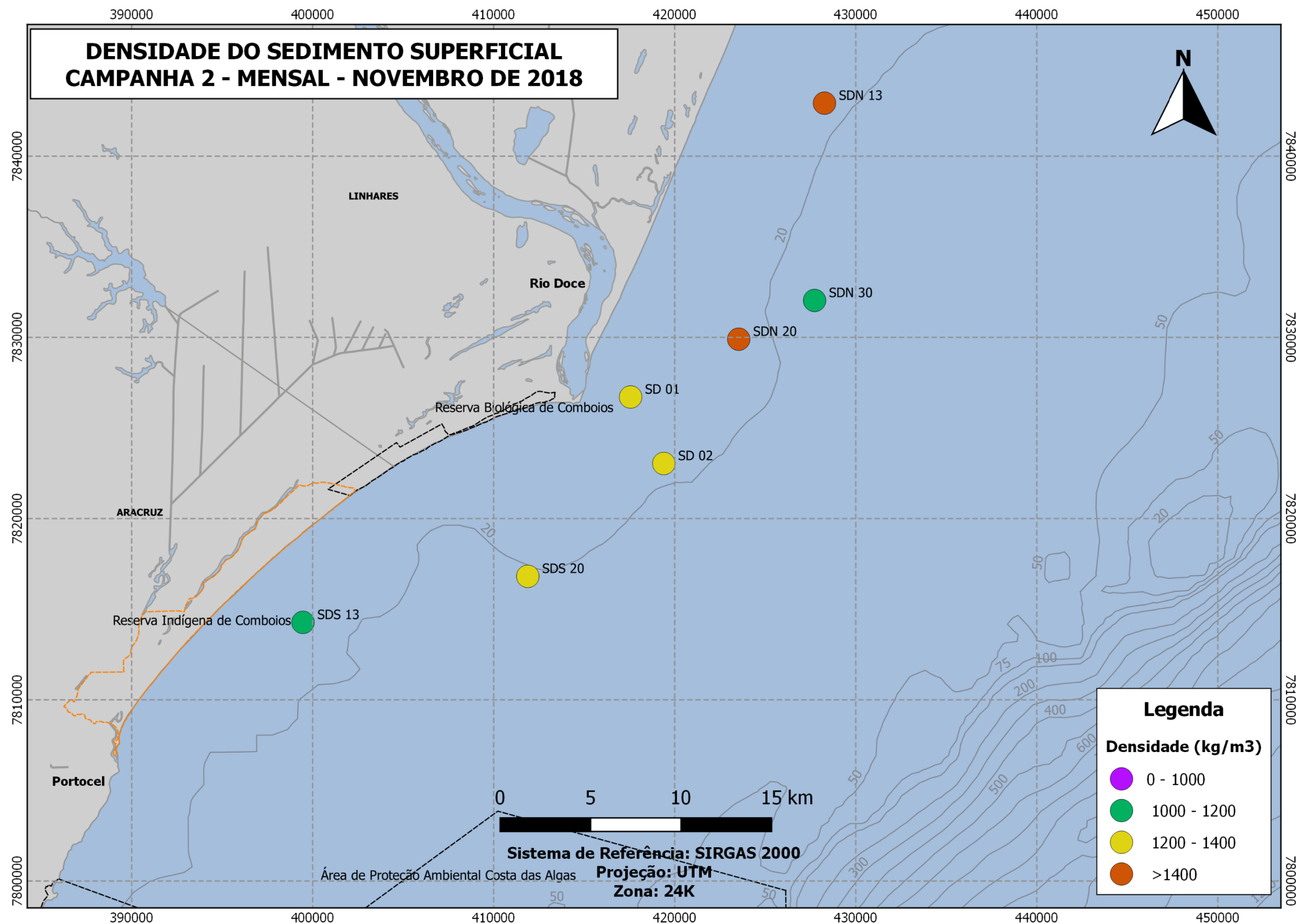


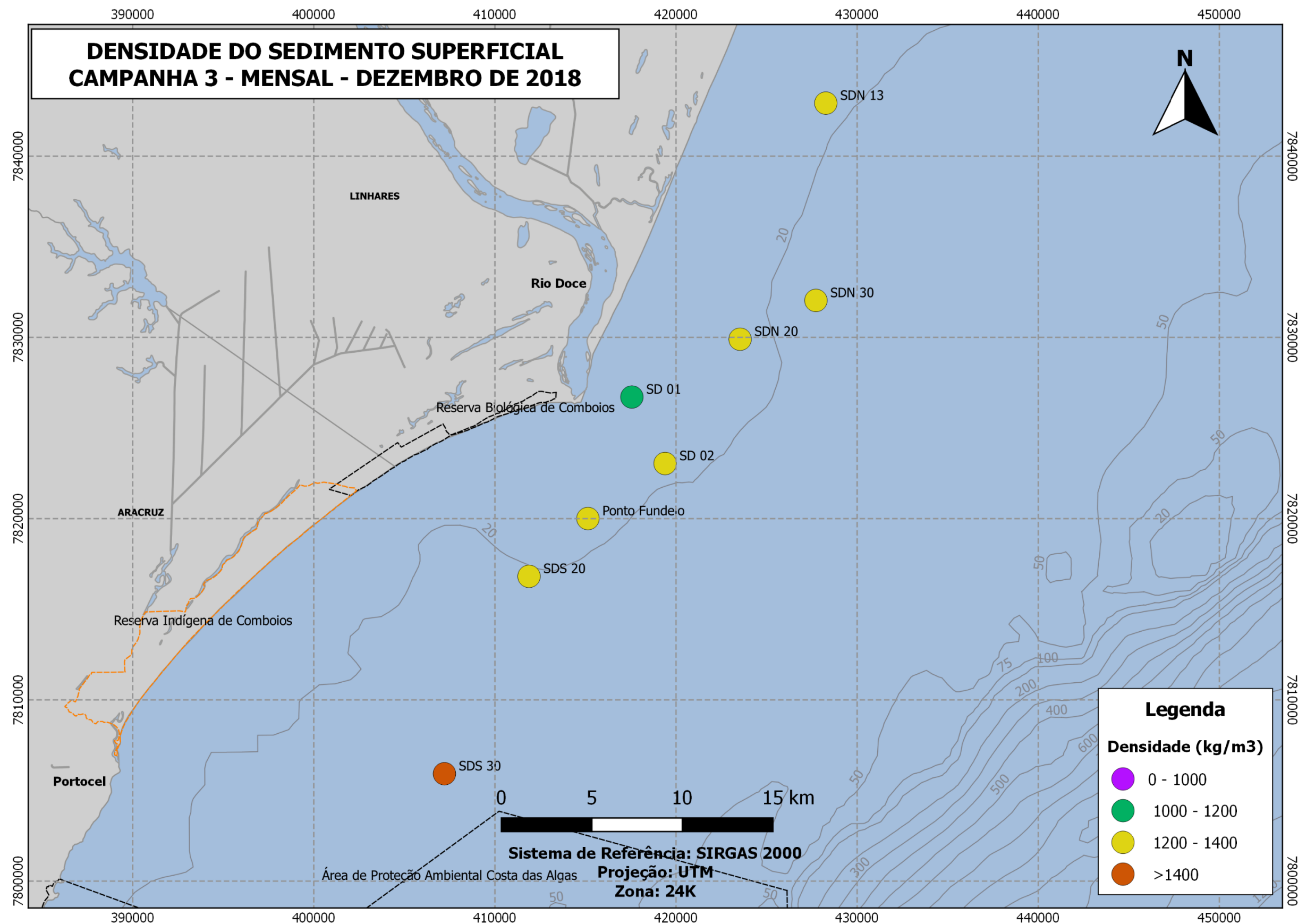


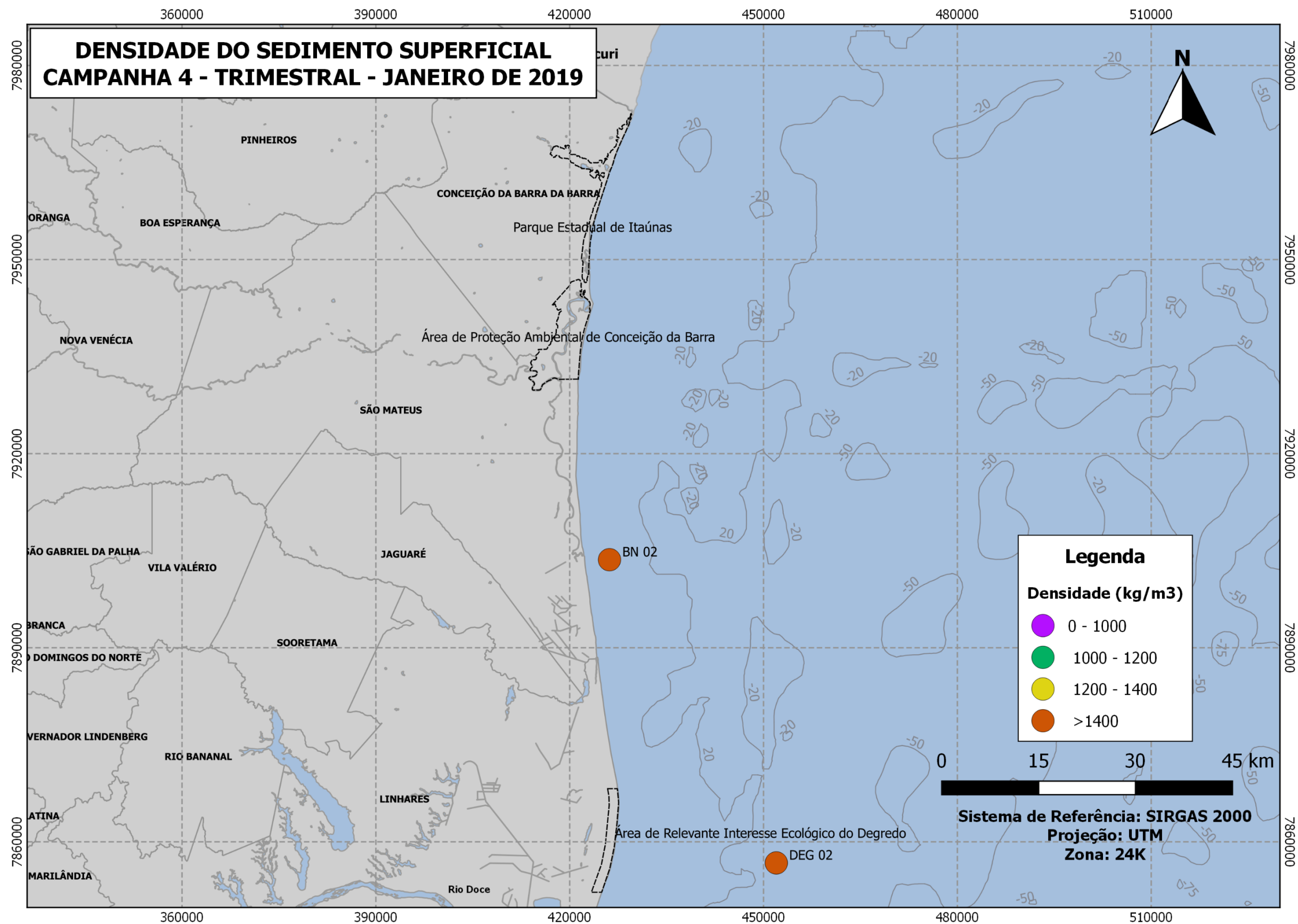


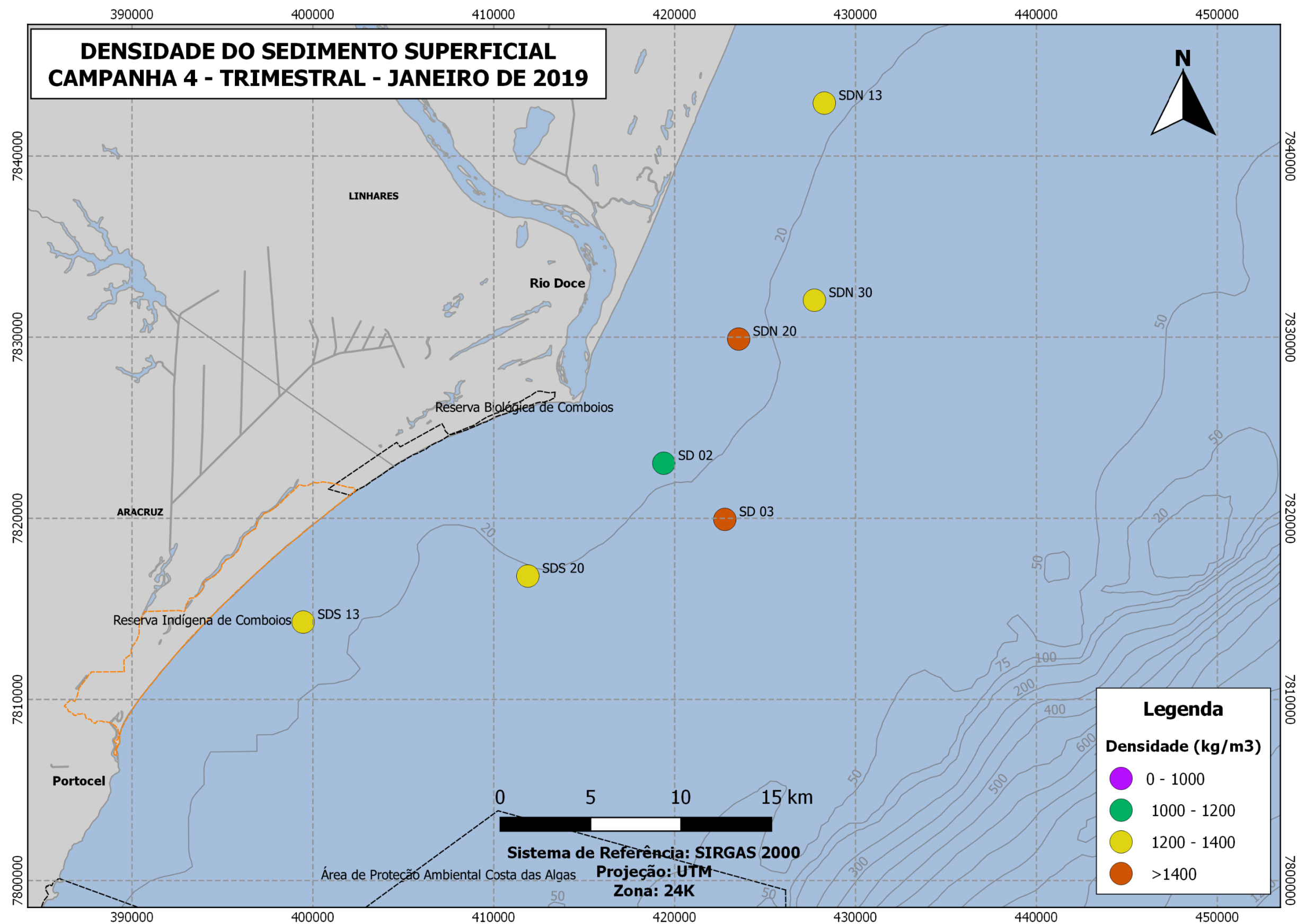


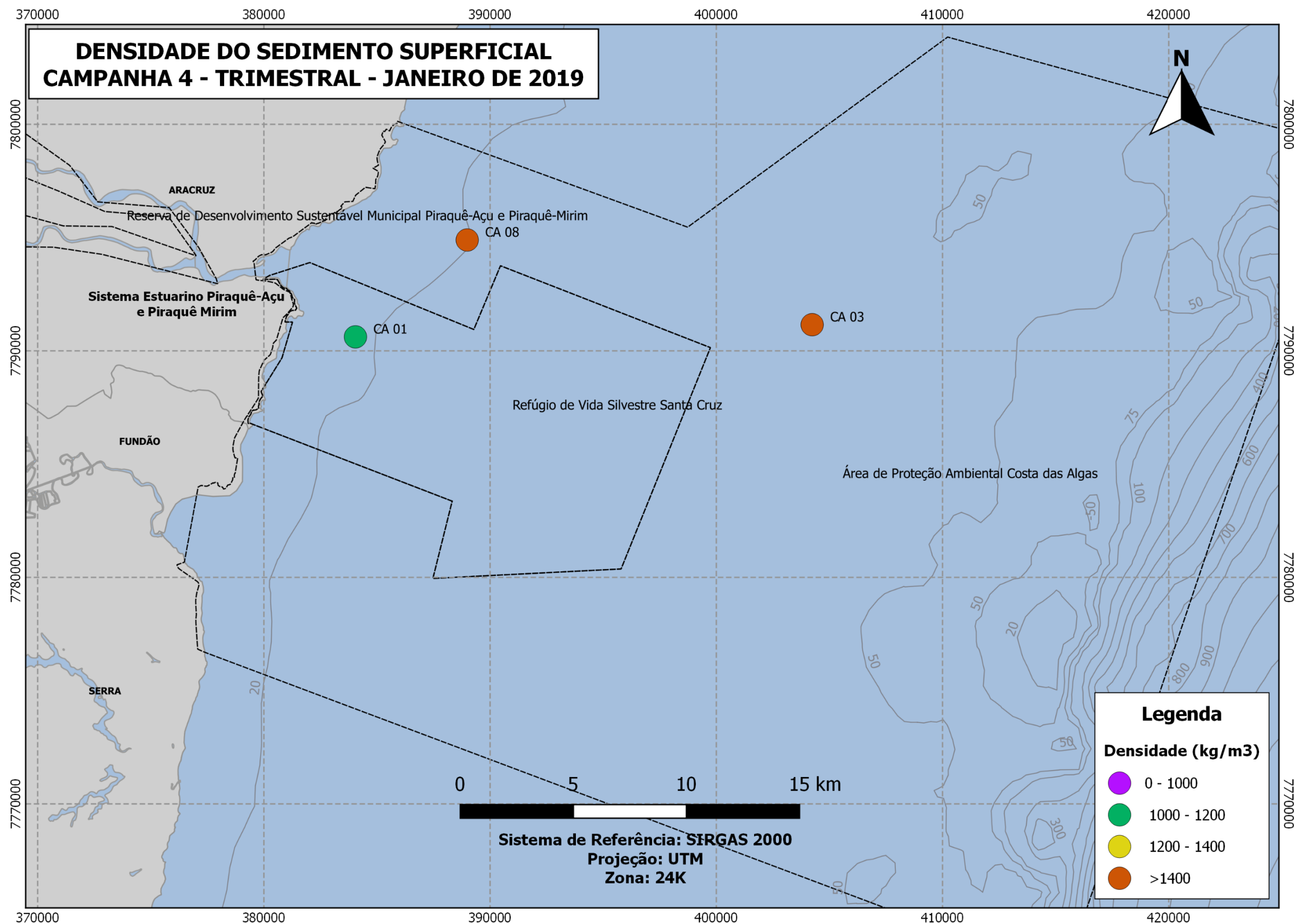


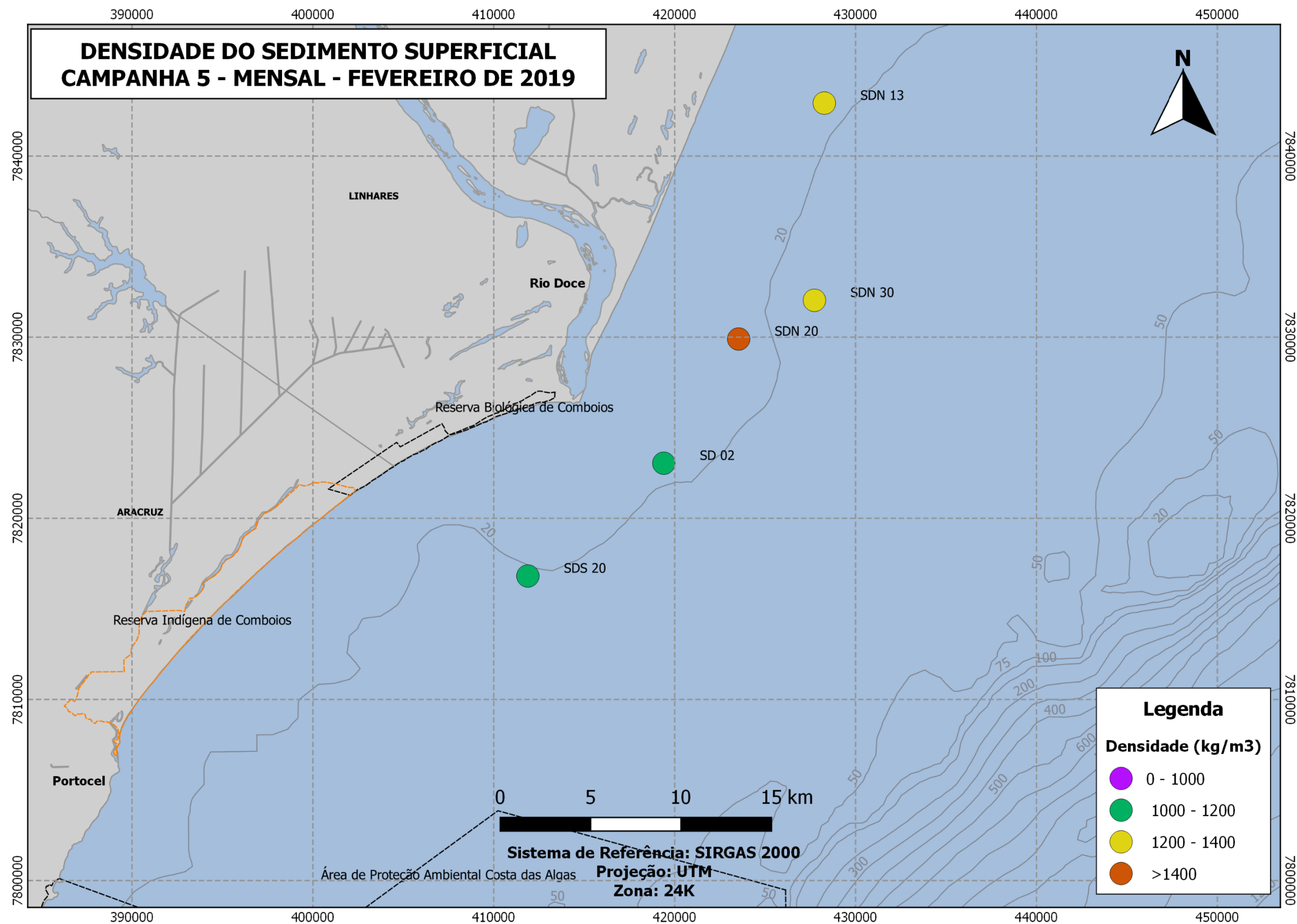


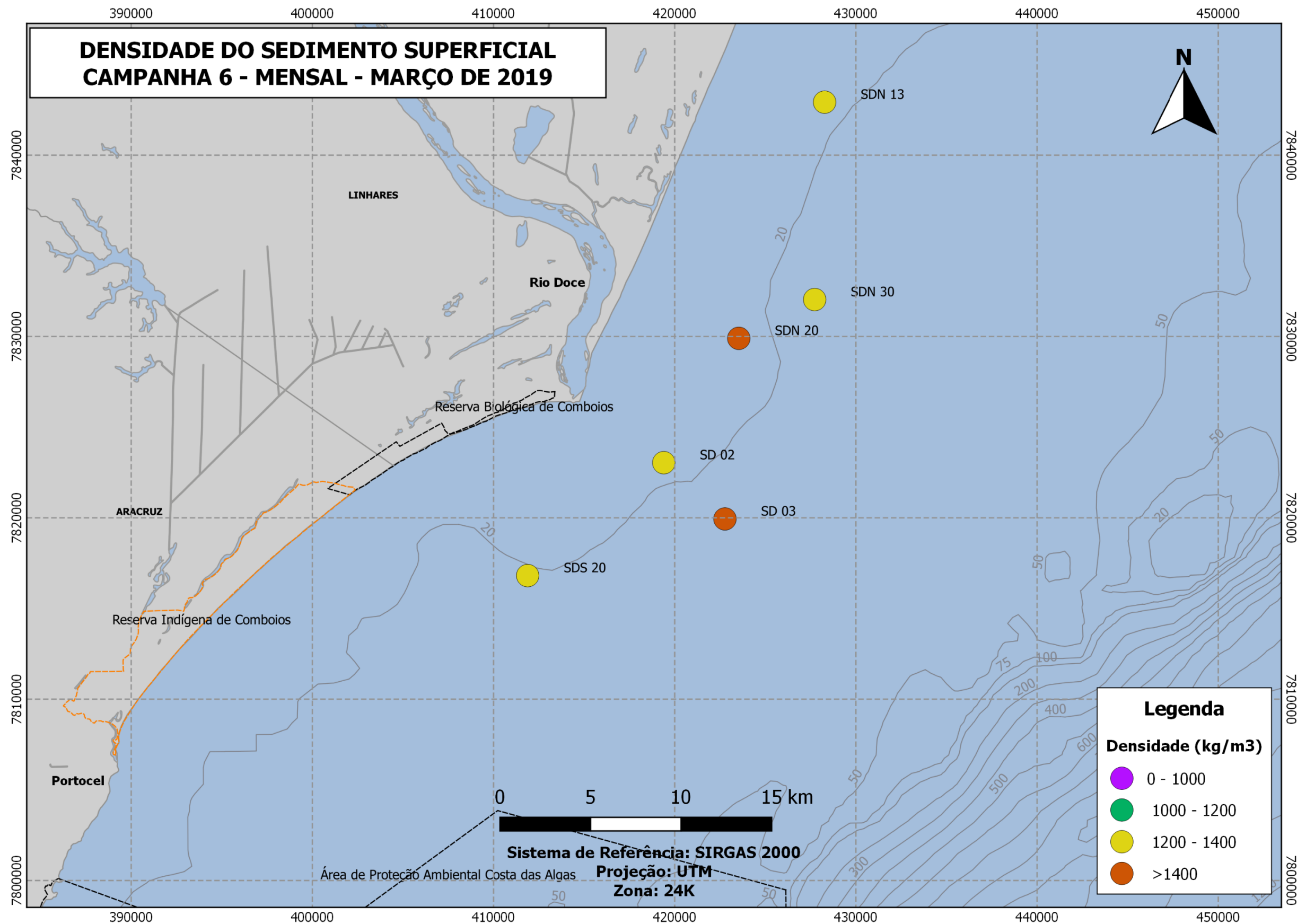


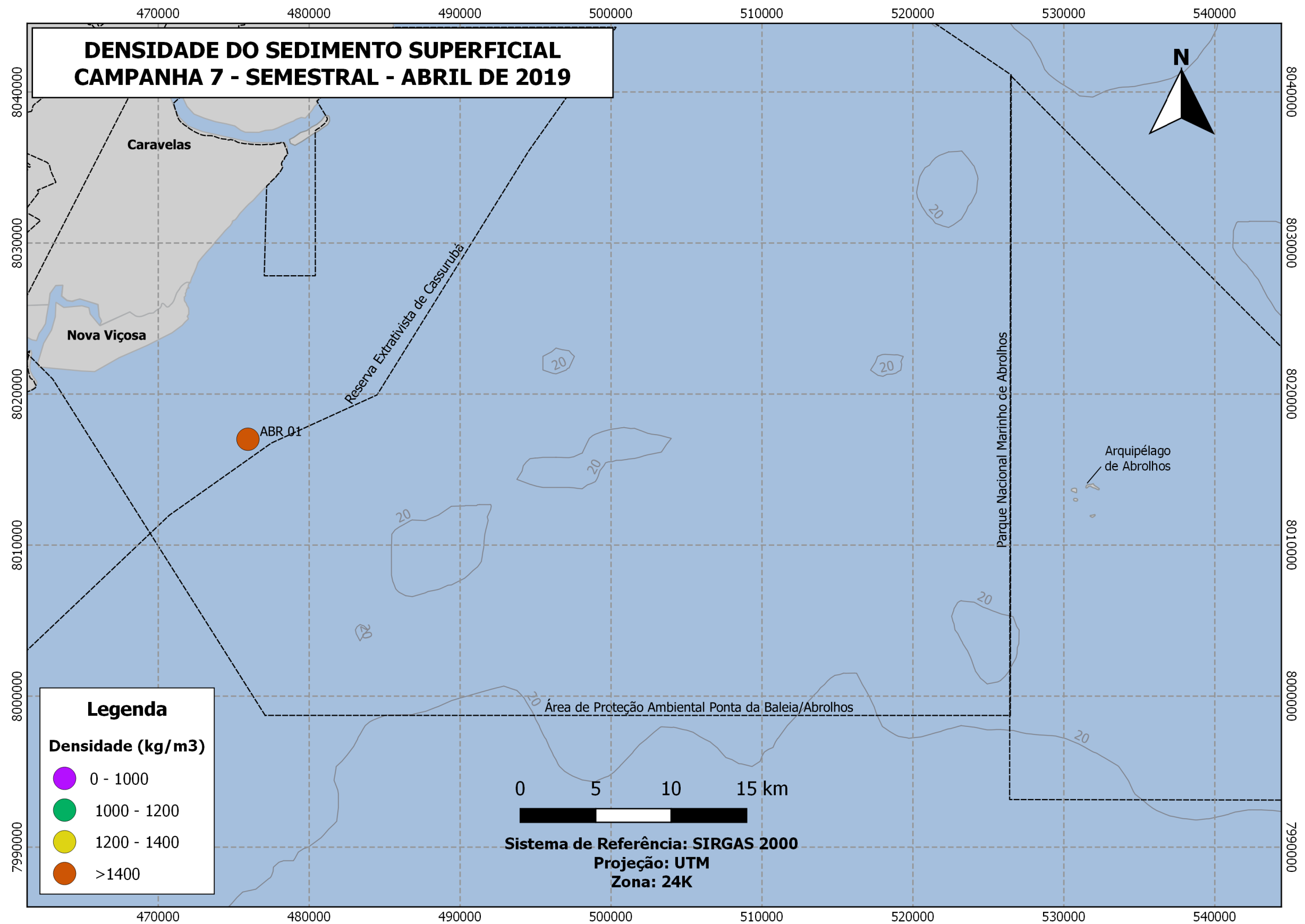


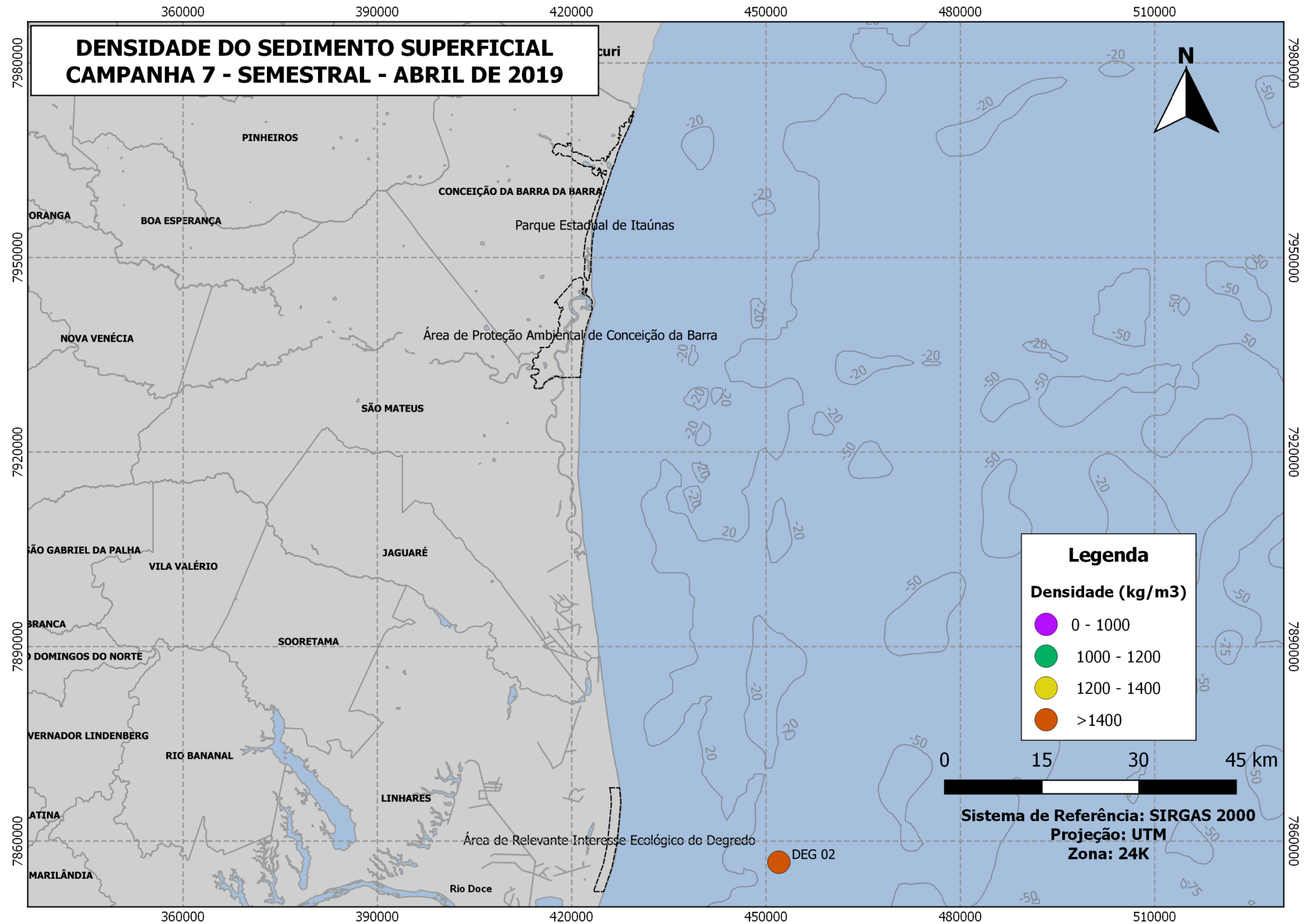


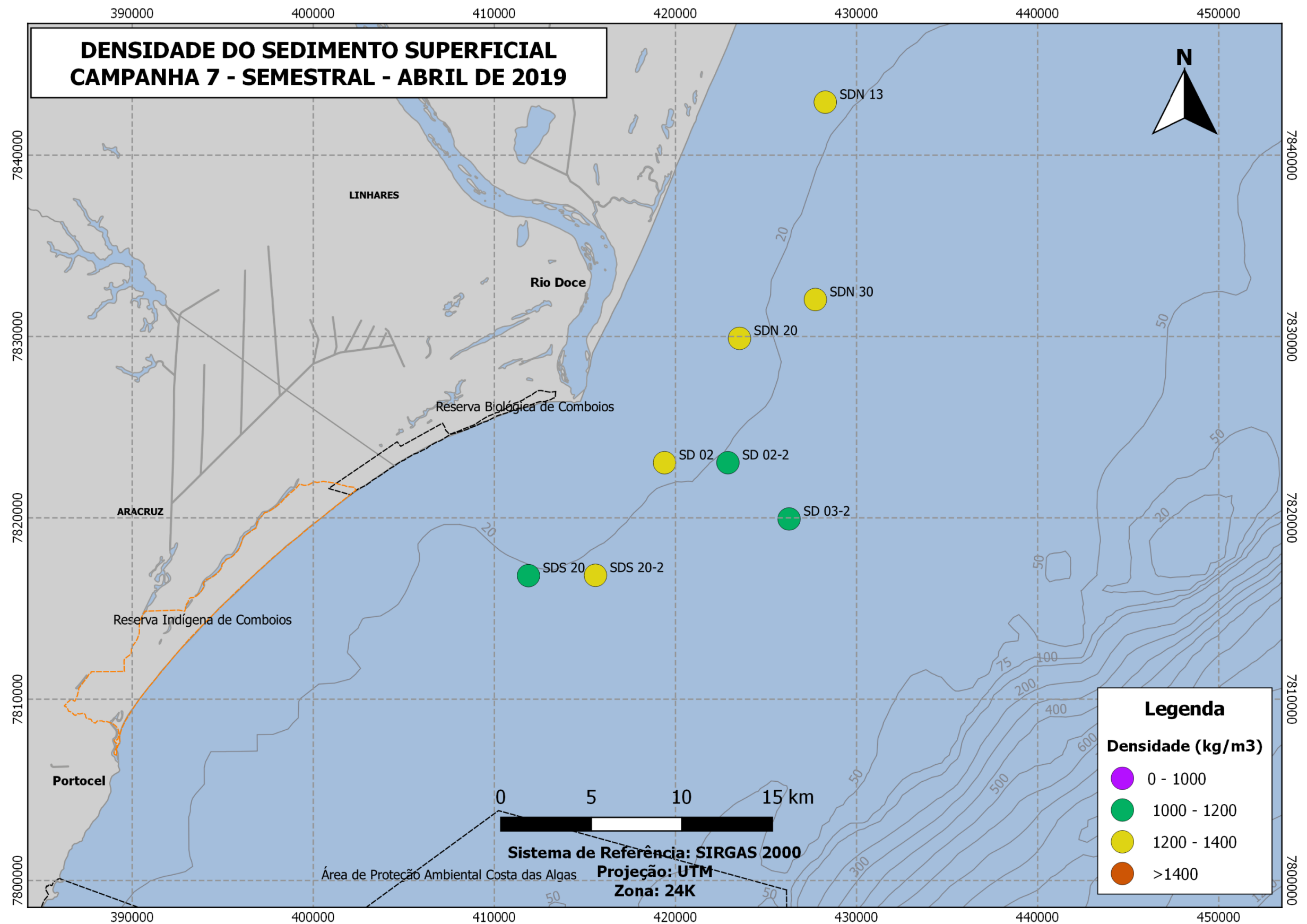


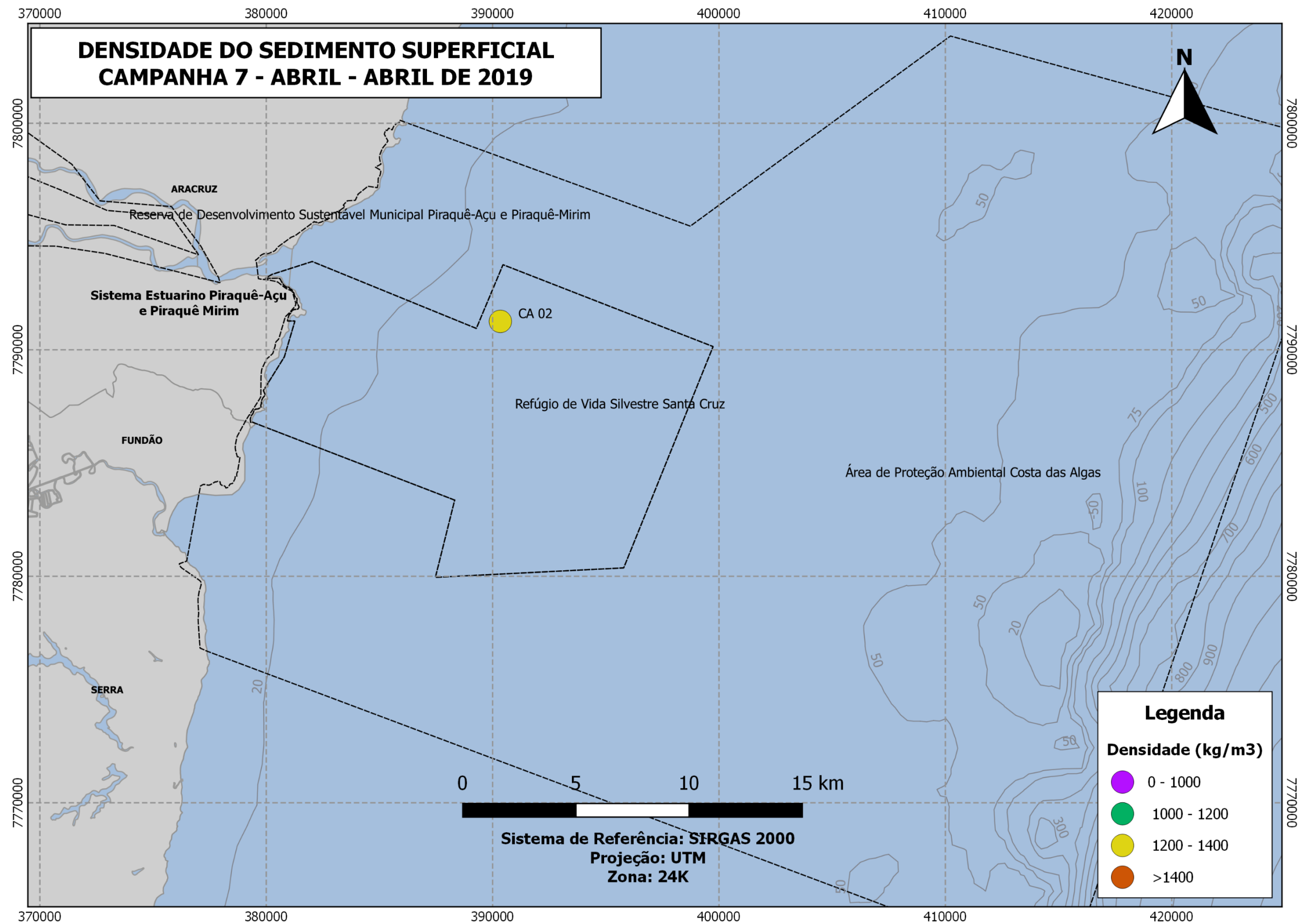


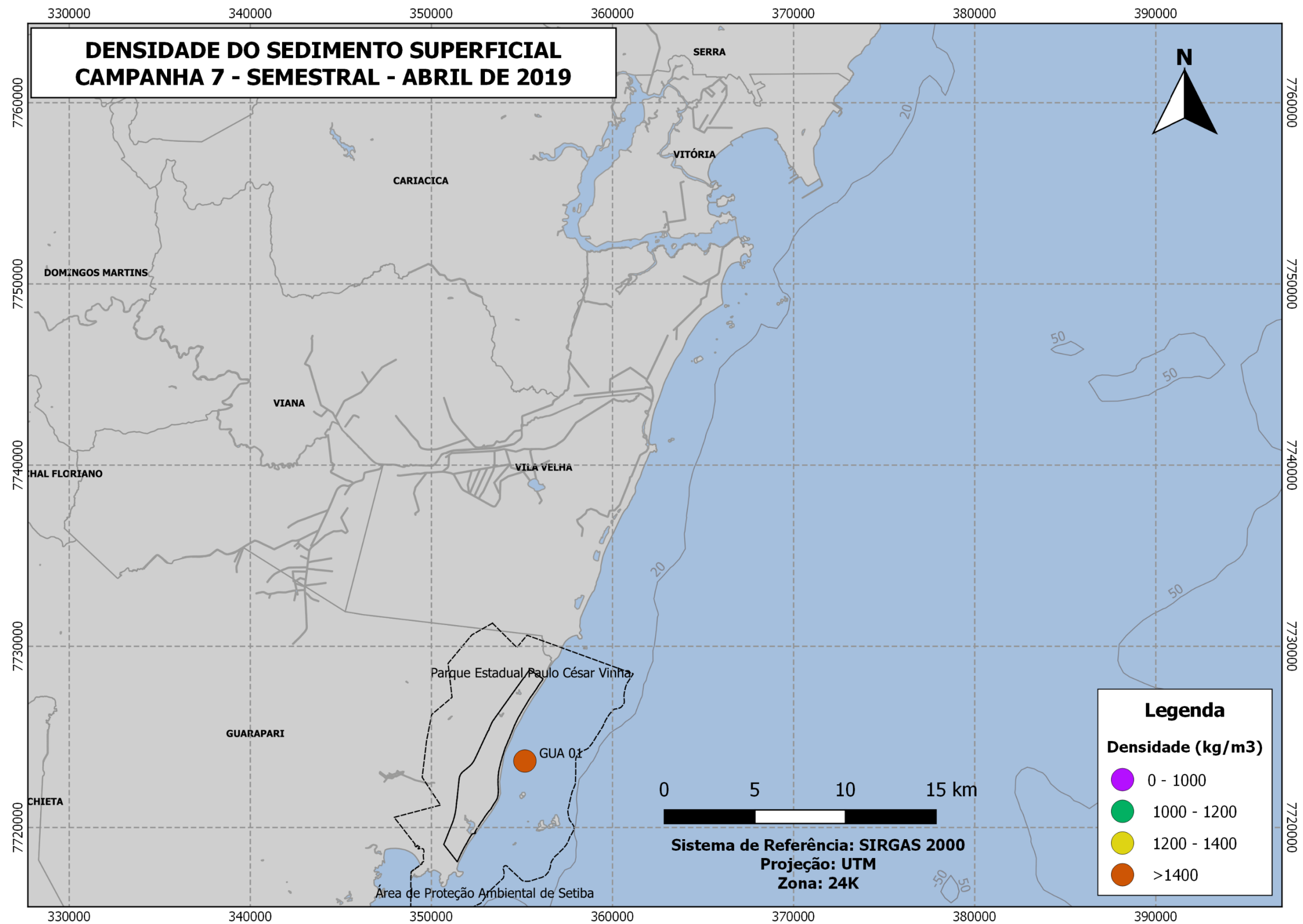


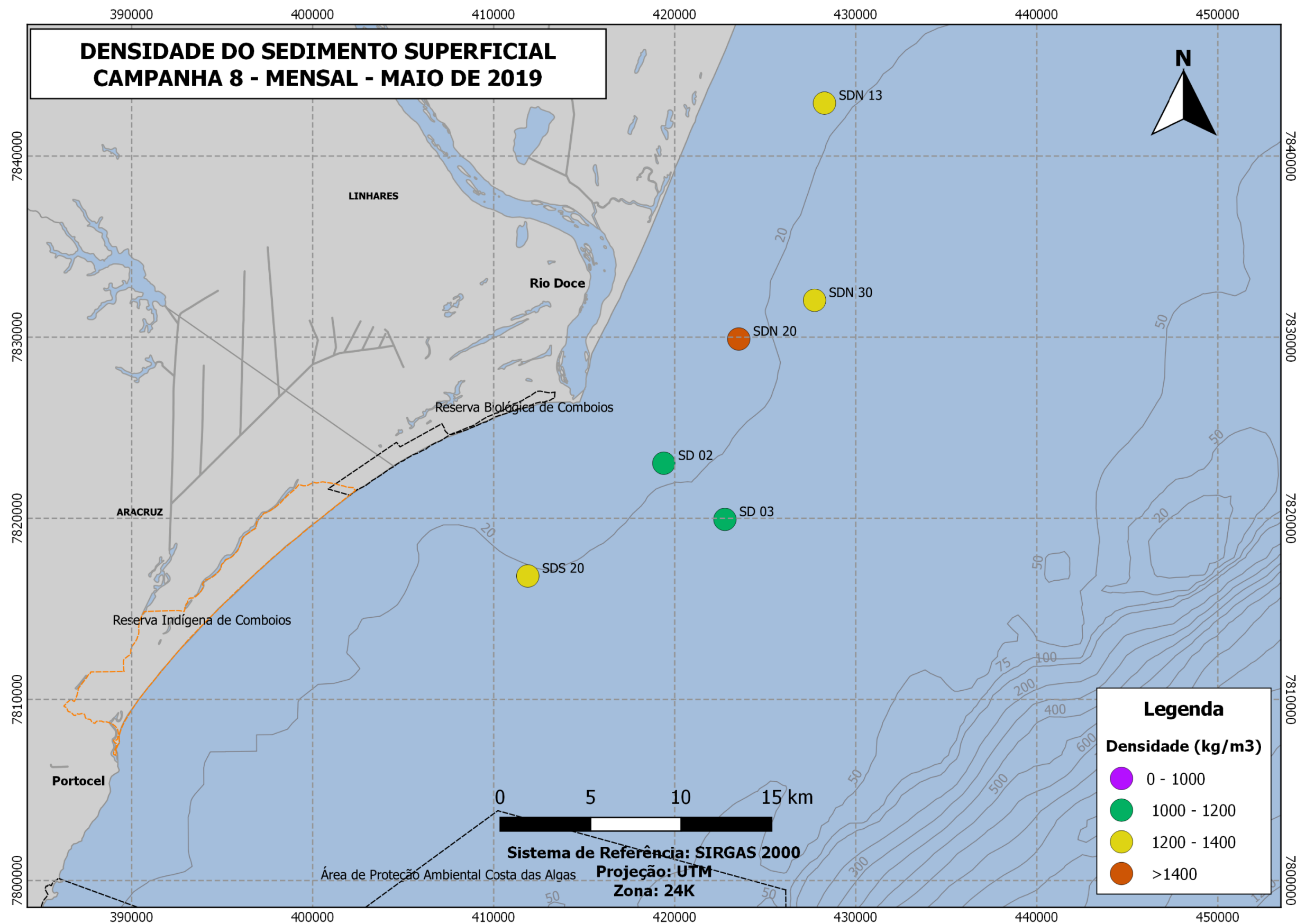


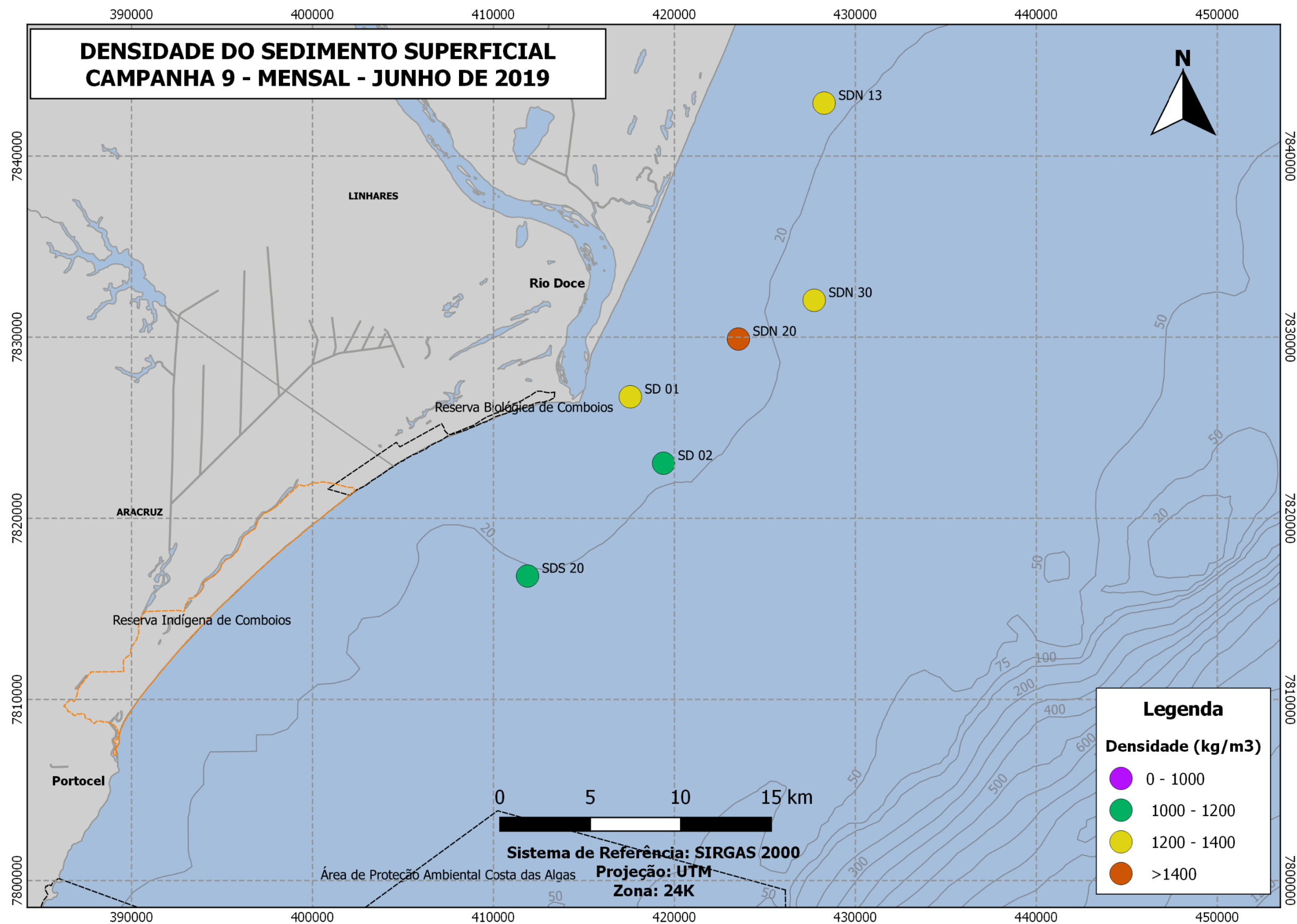


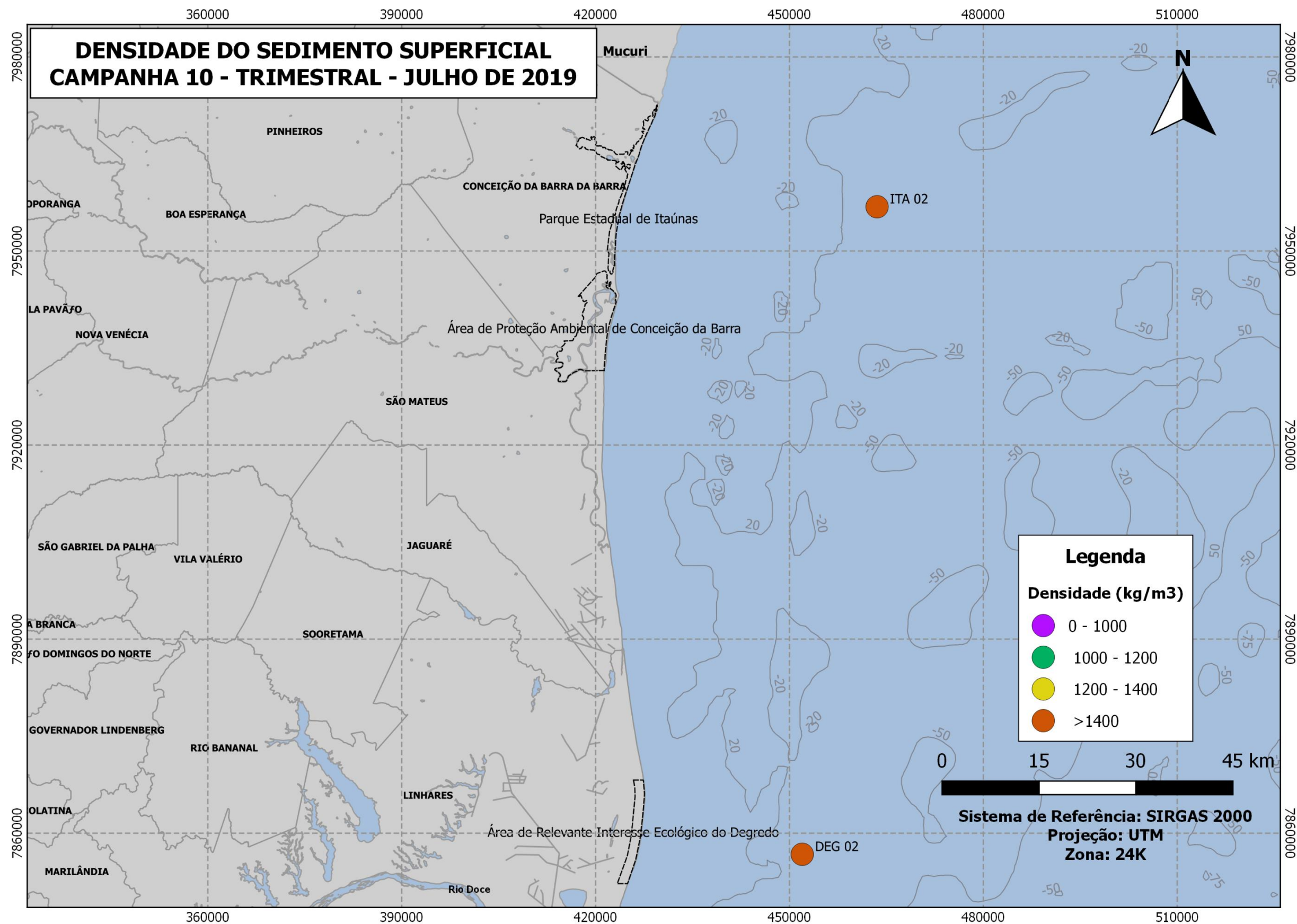


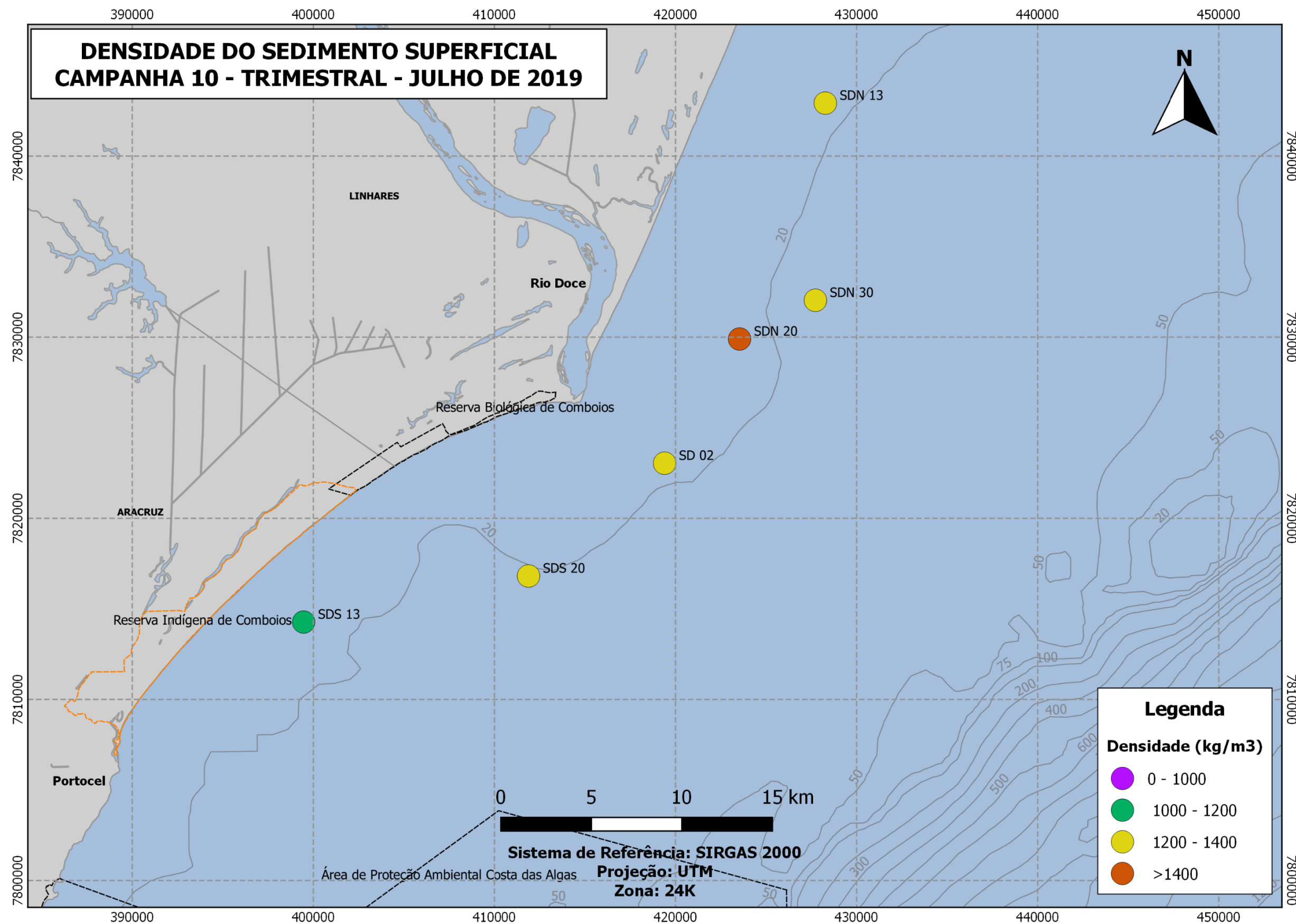


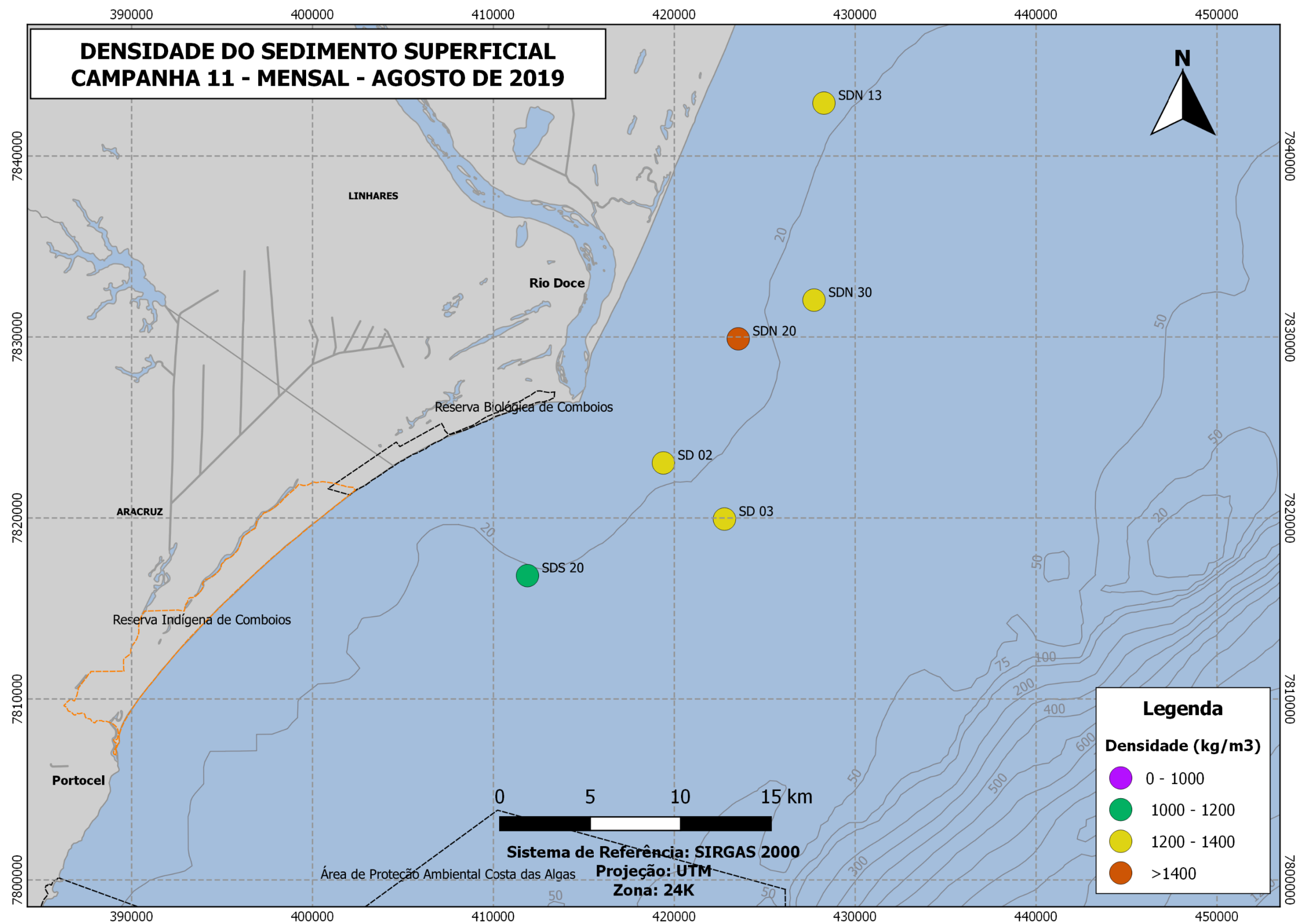


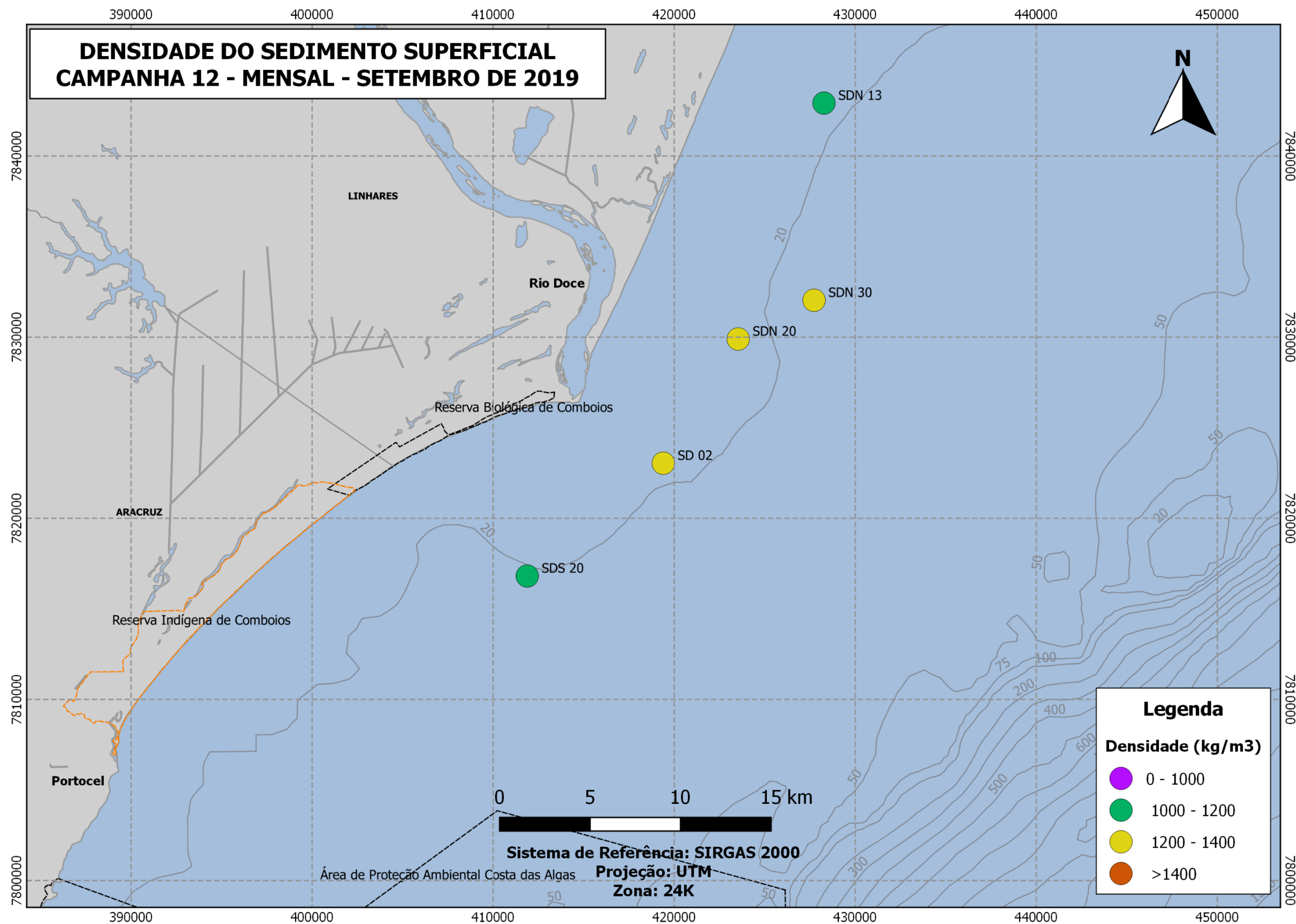




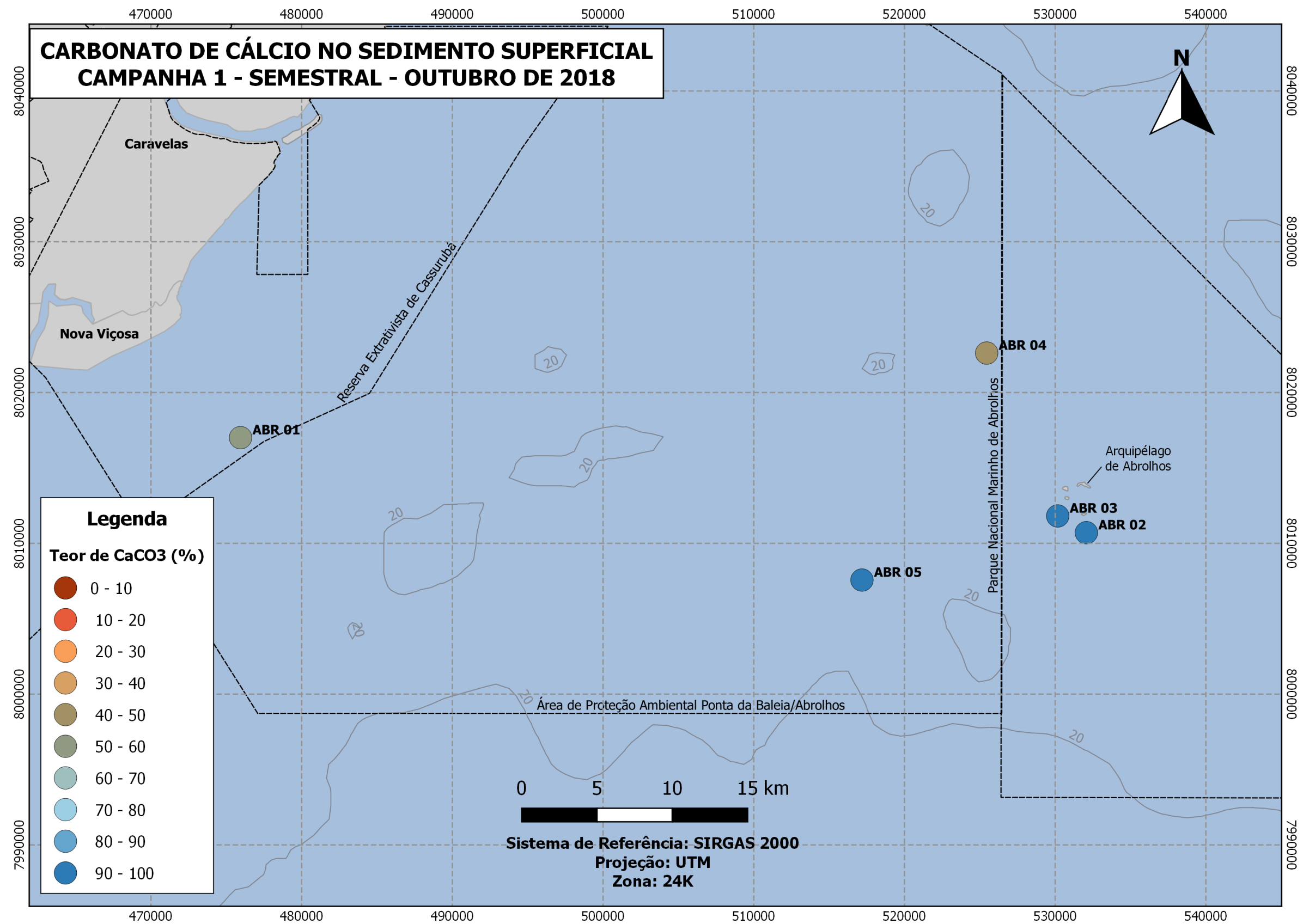


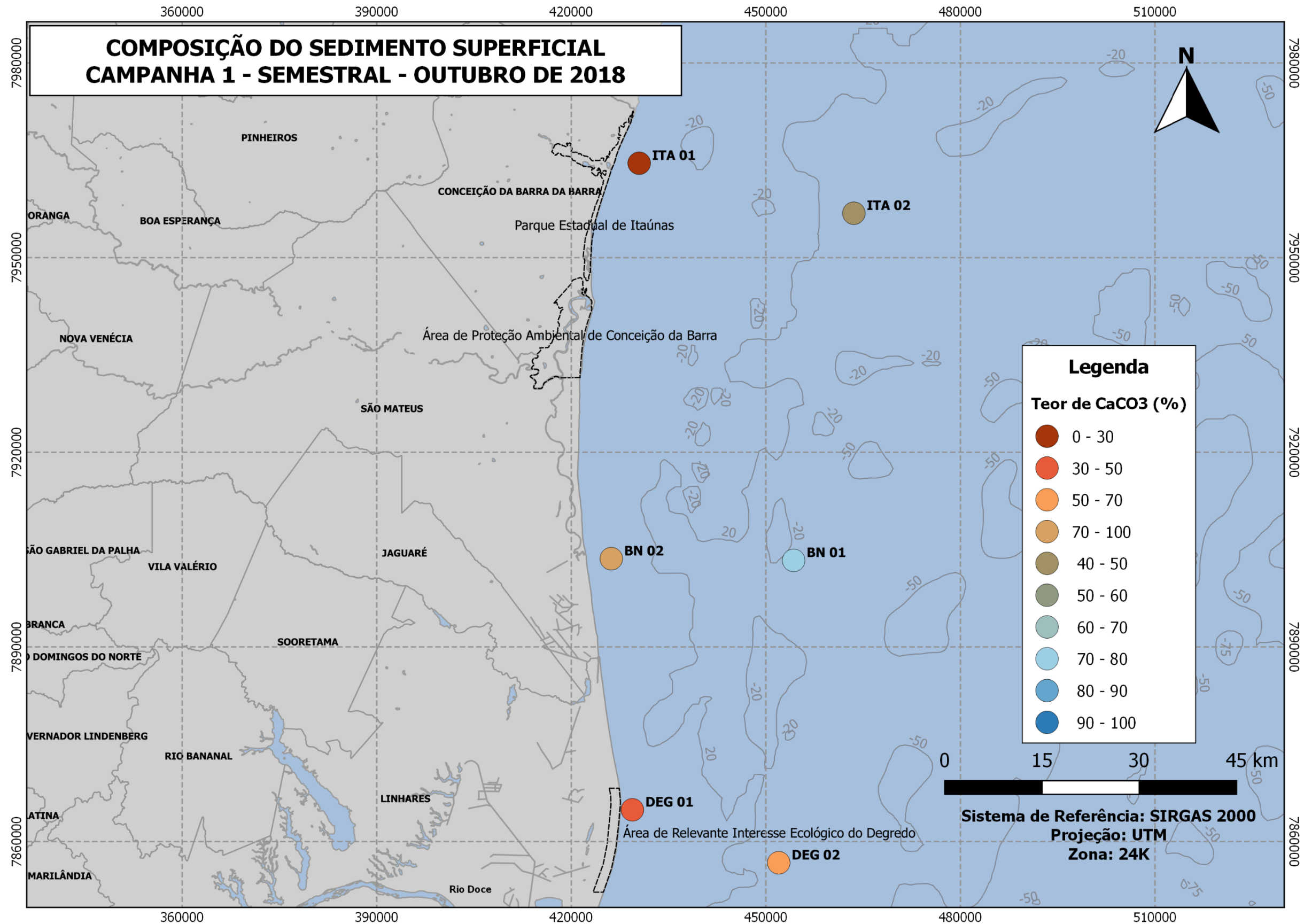


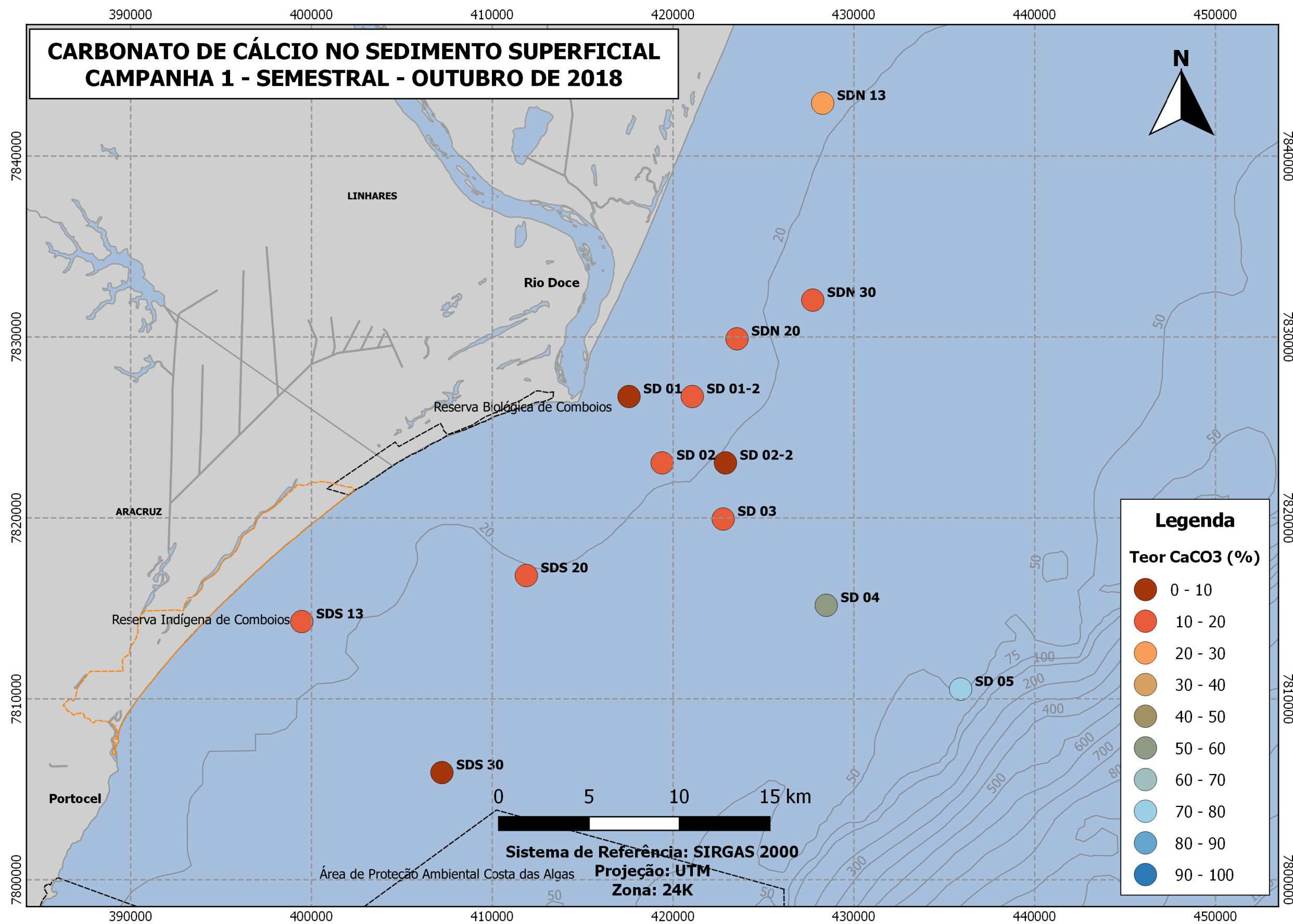


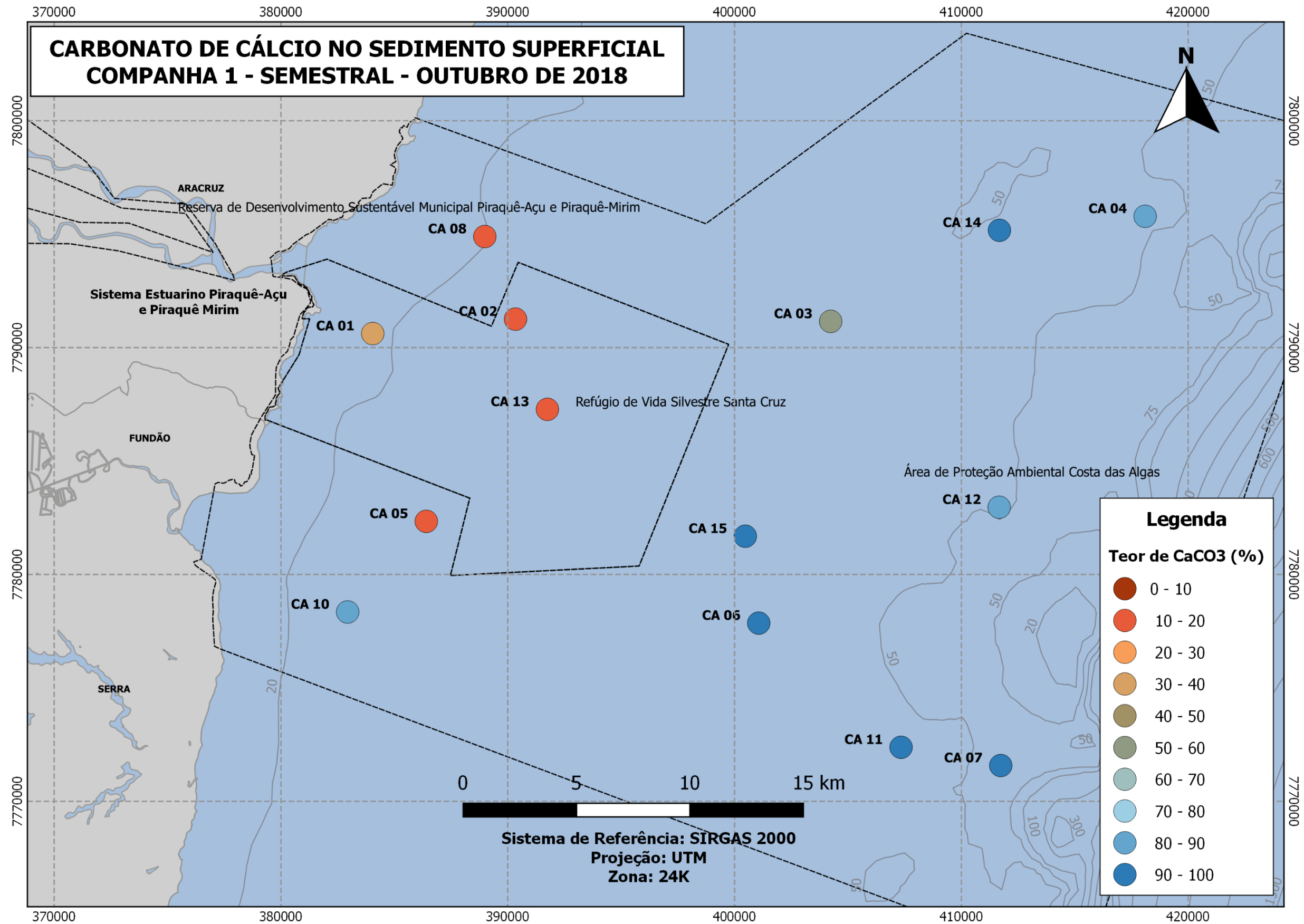


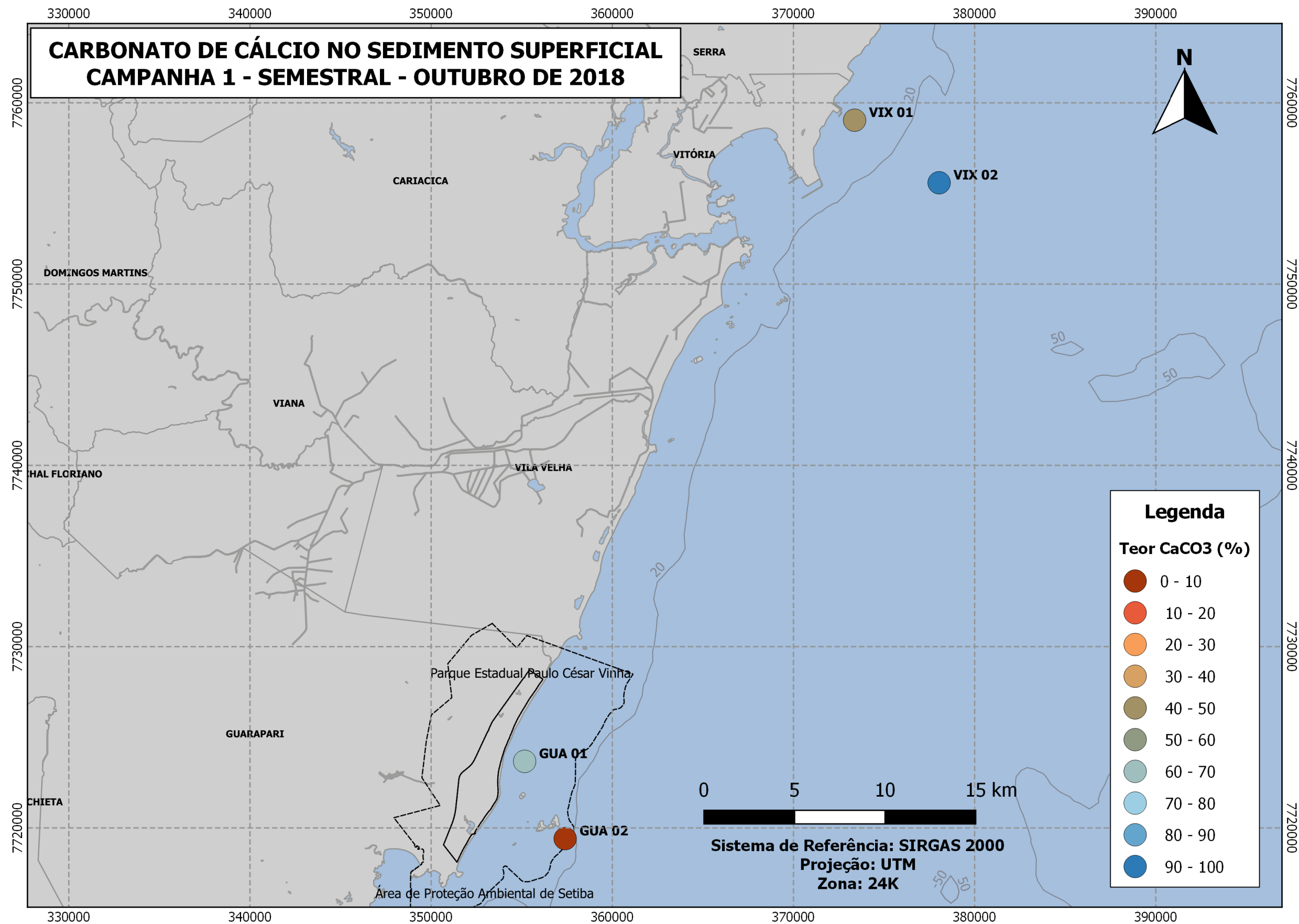
Apêndice 17: Carbonato de Cálcio (CaCO_3) do sedimento superficial ao longo do monitoramento para cada setor amostrado.

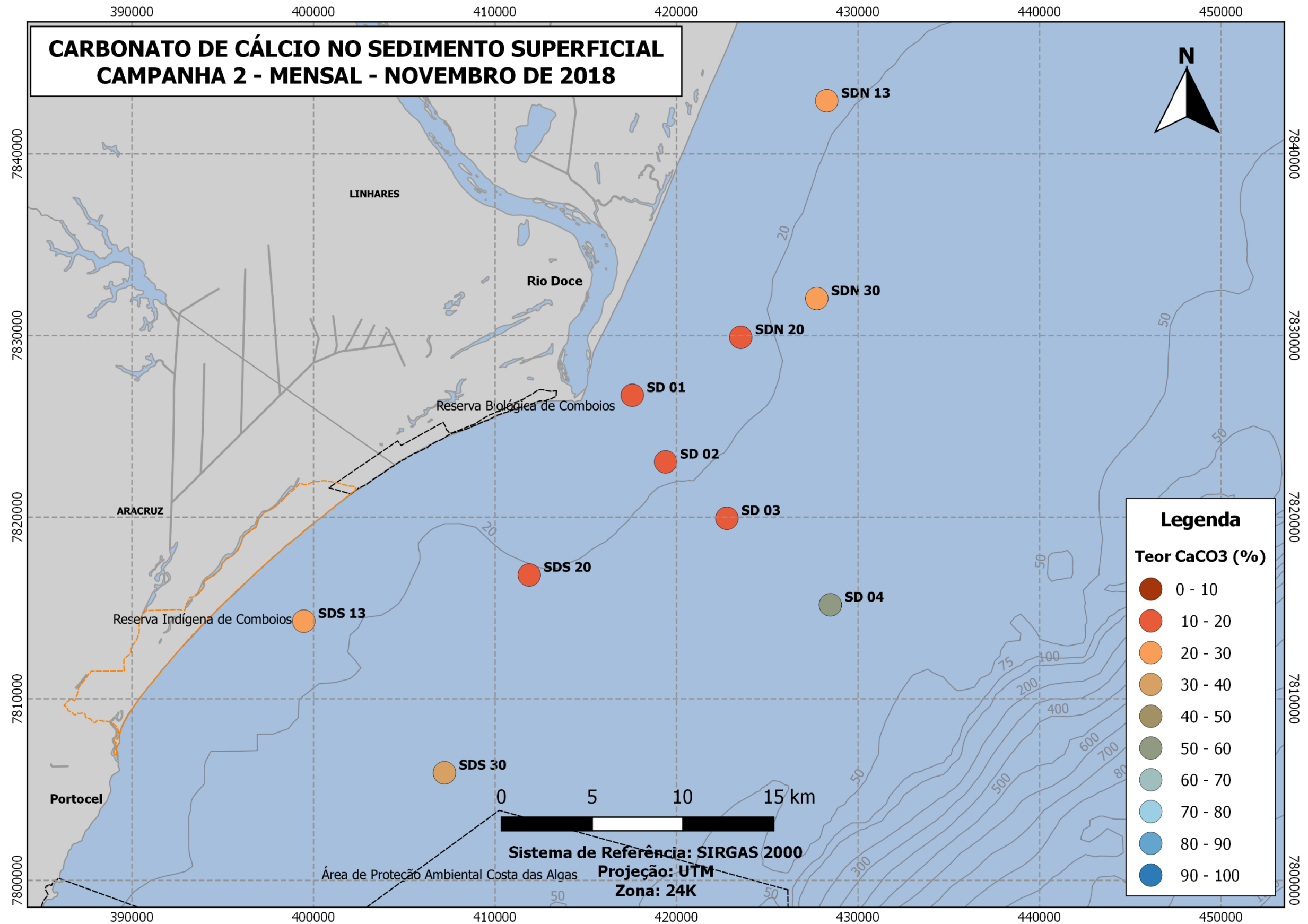


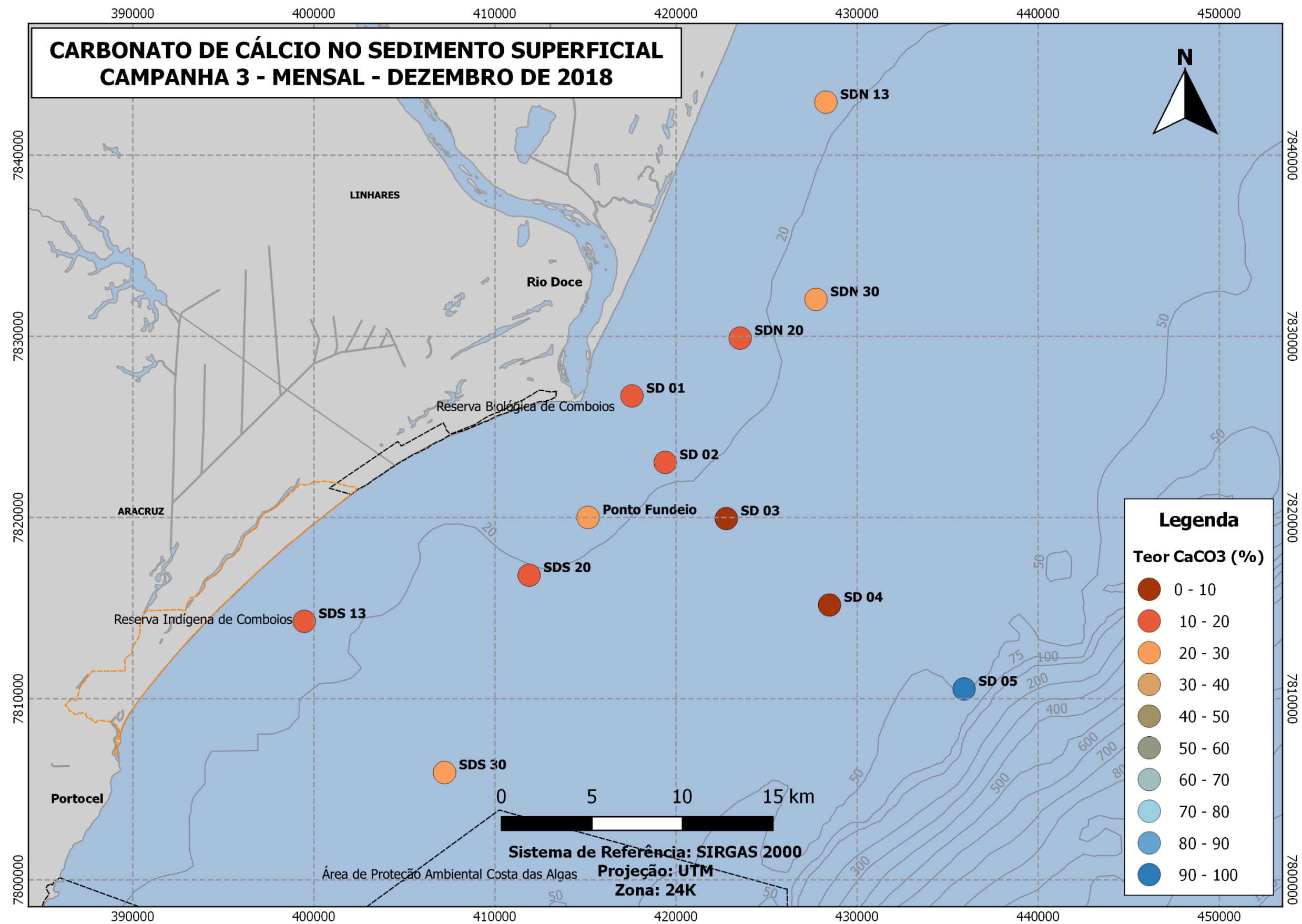


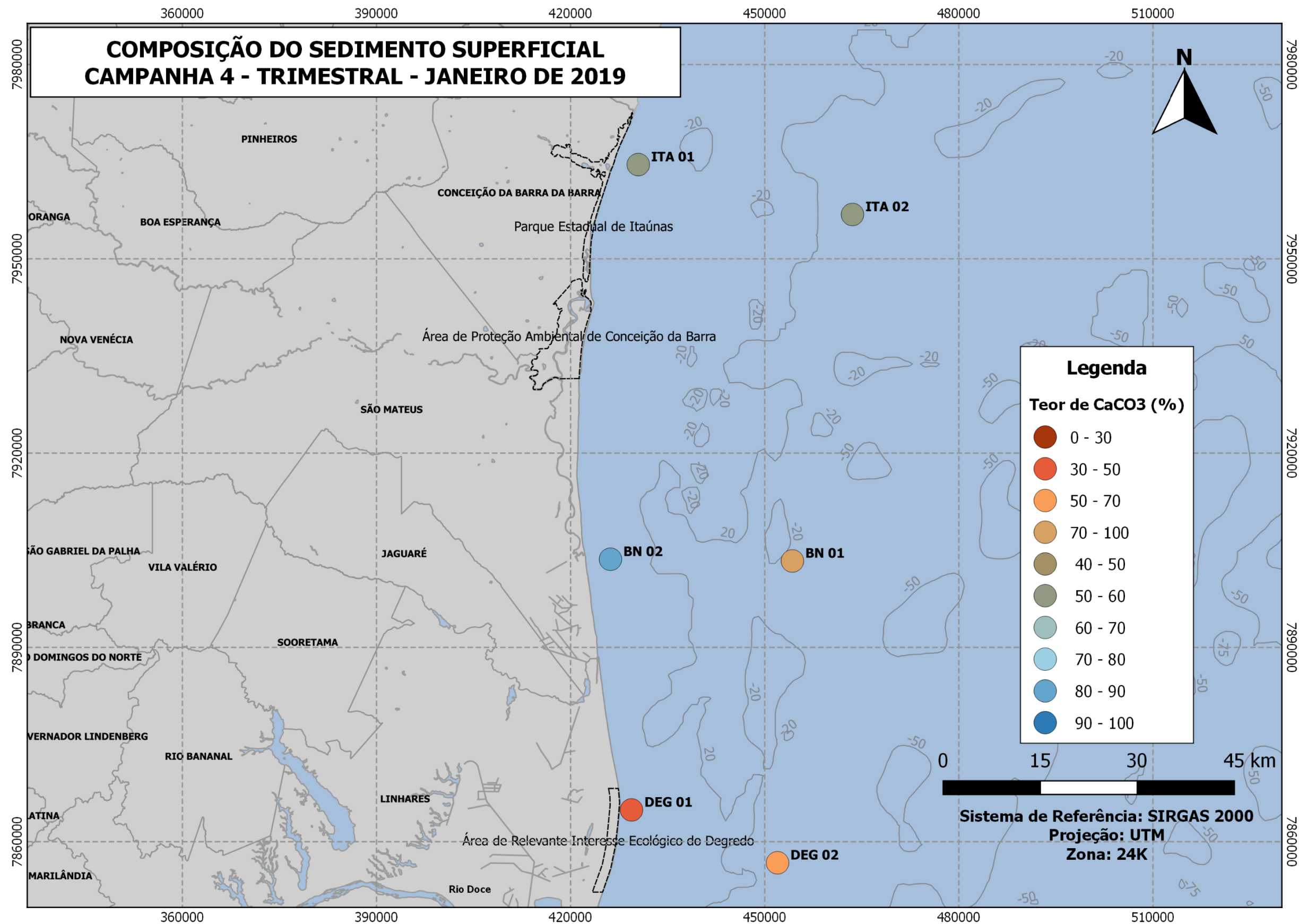


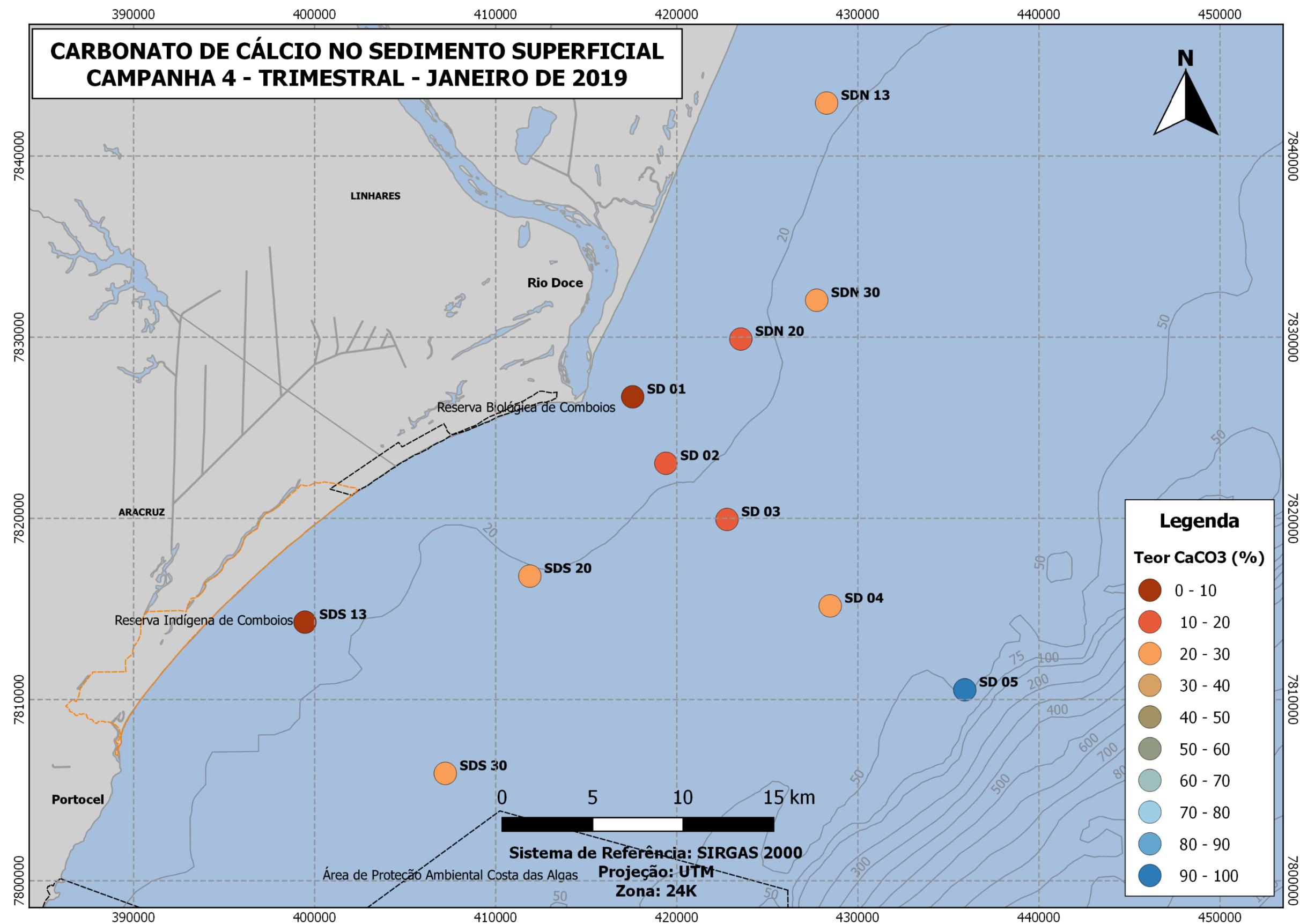


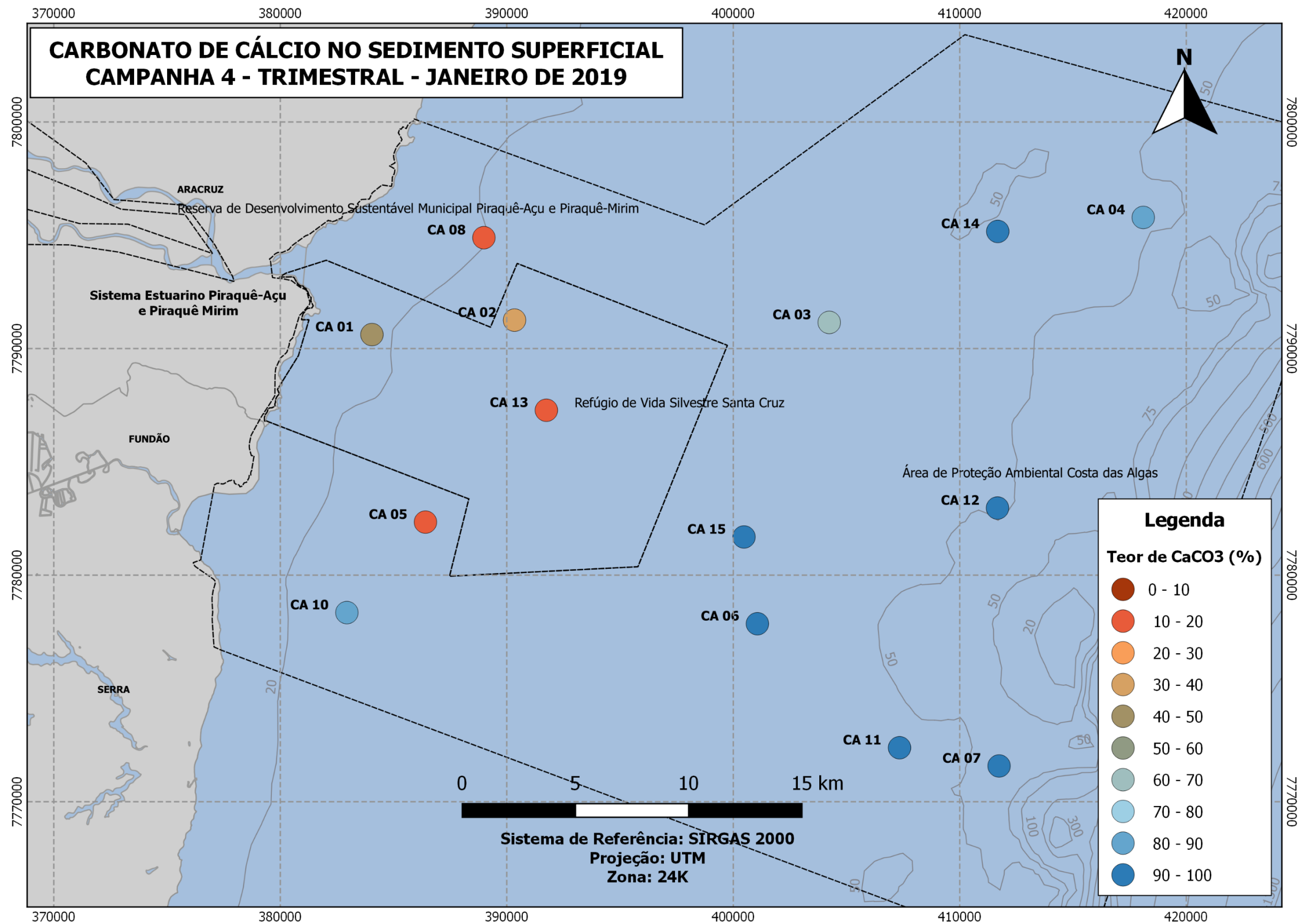


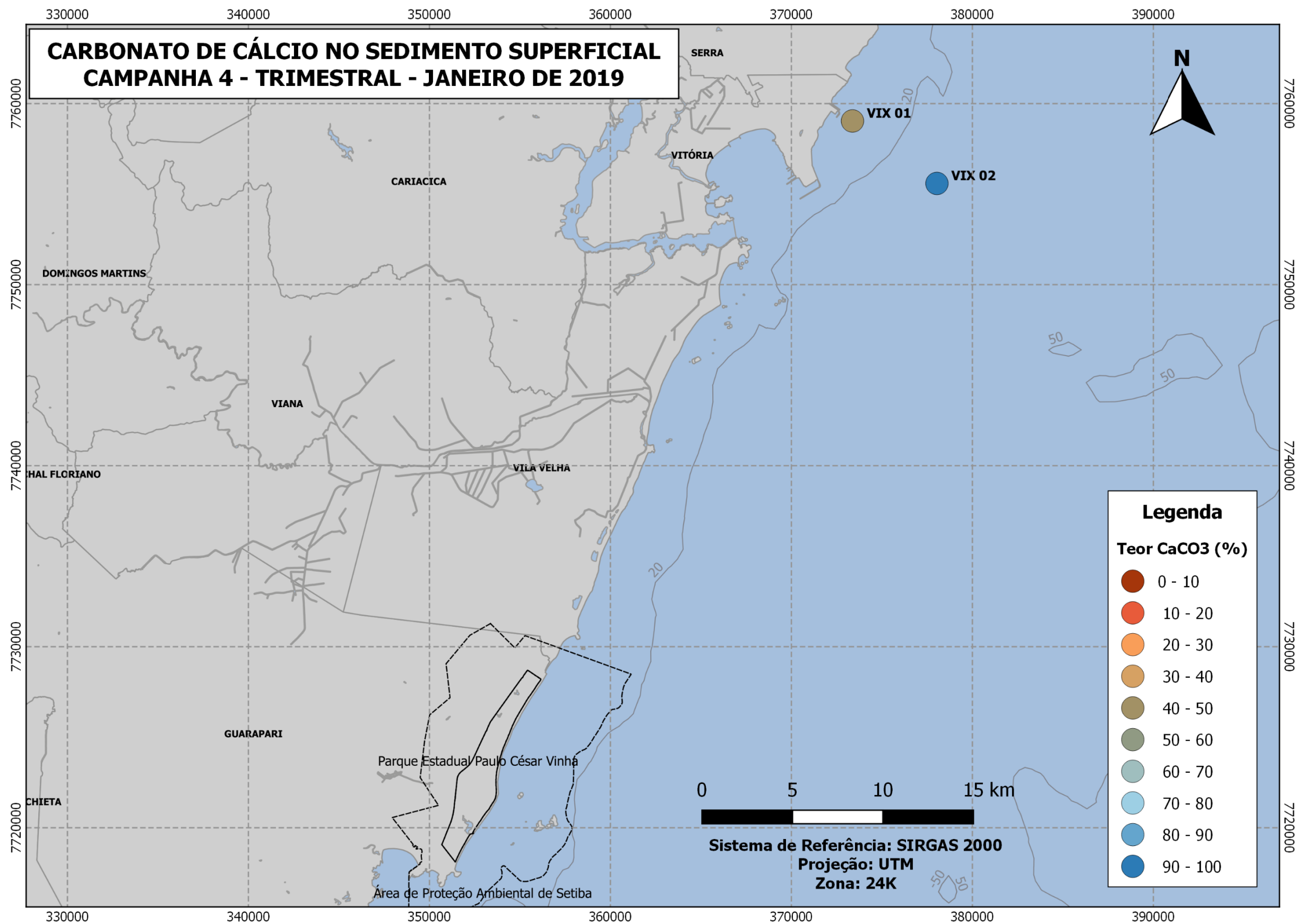


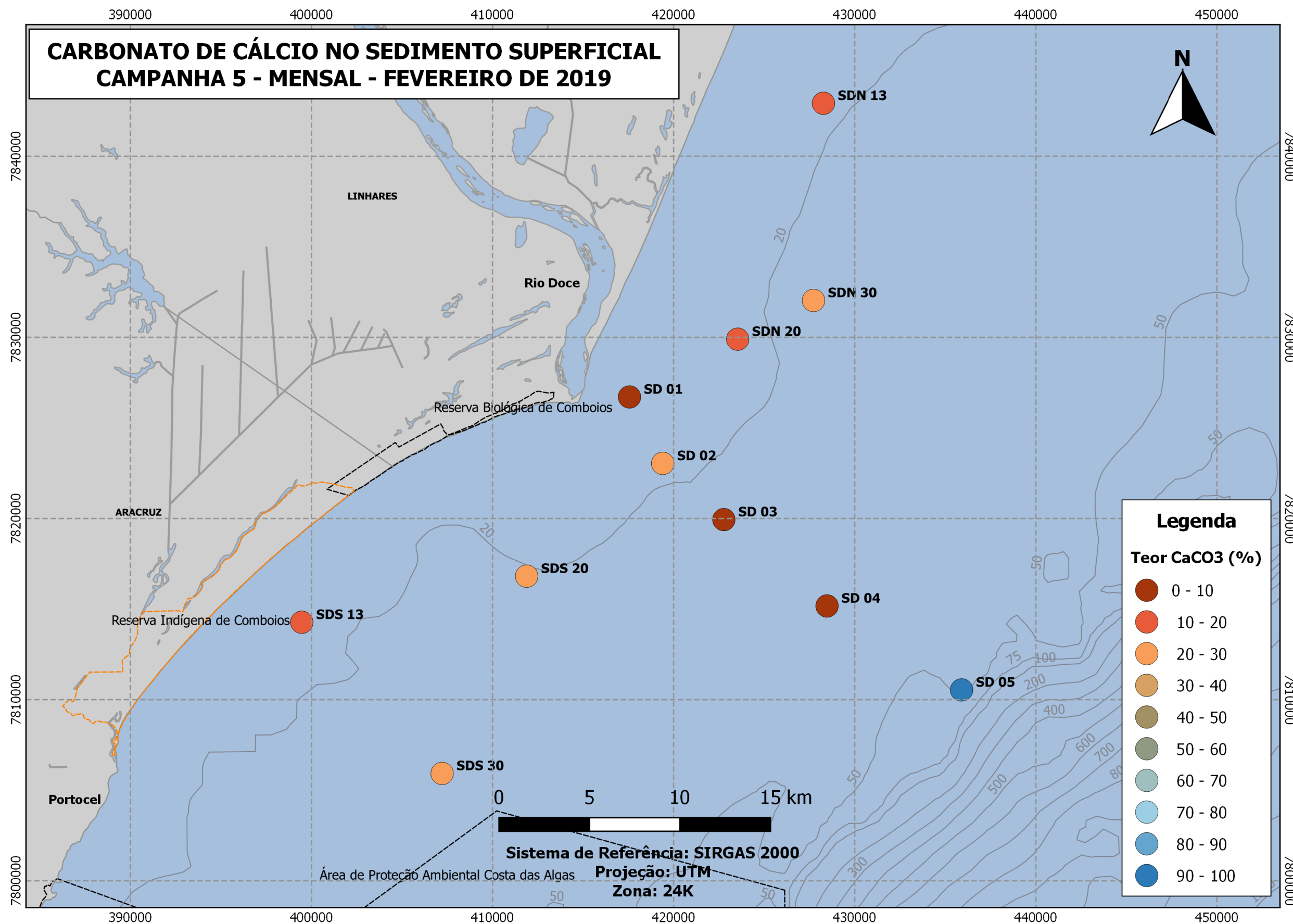


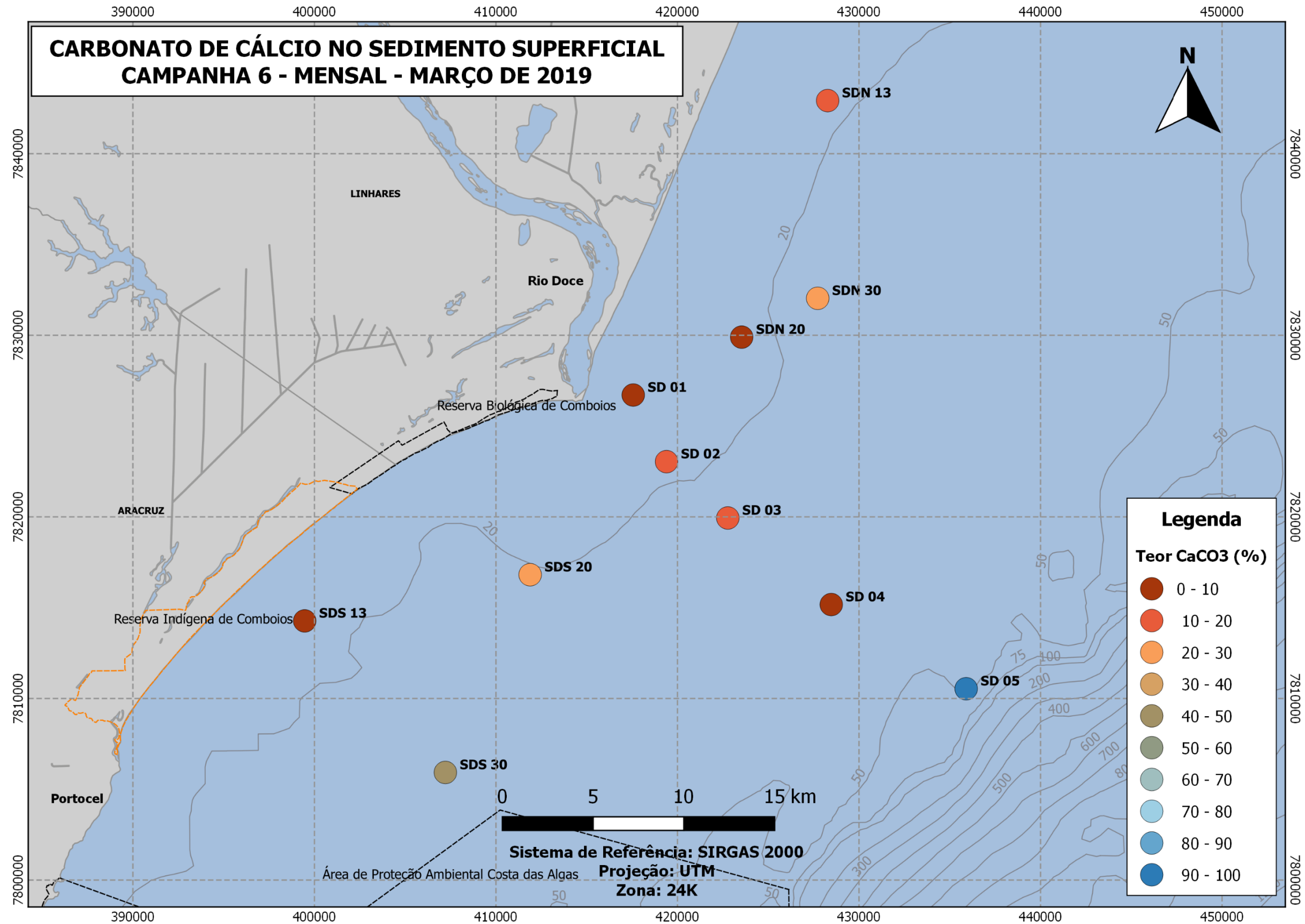


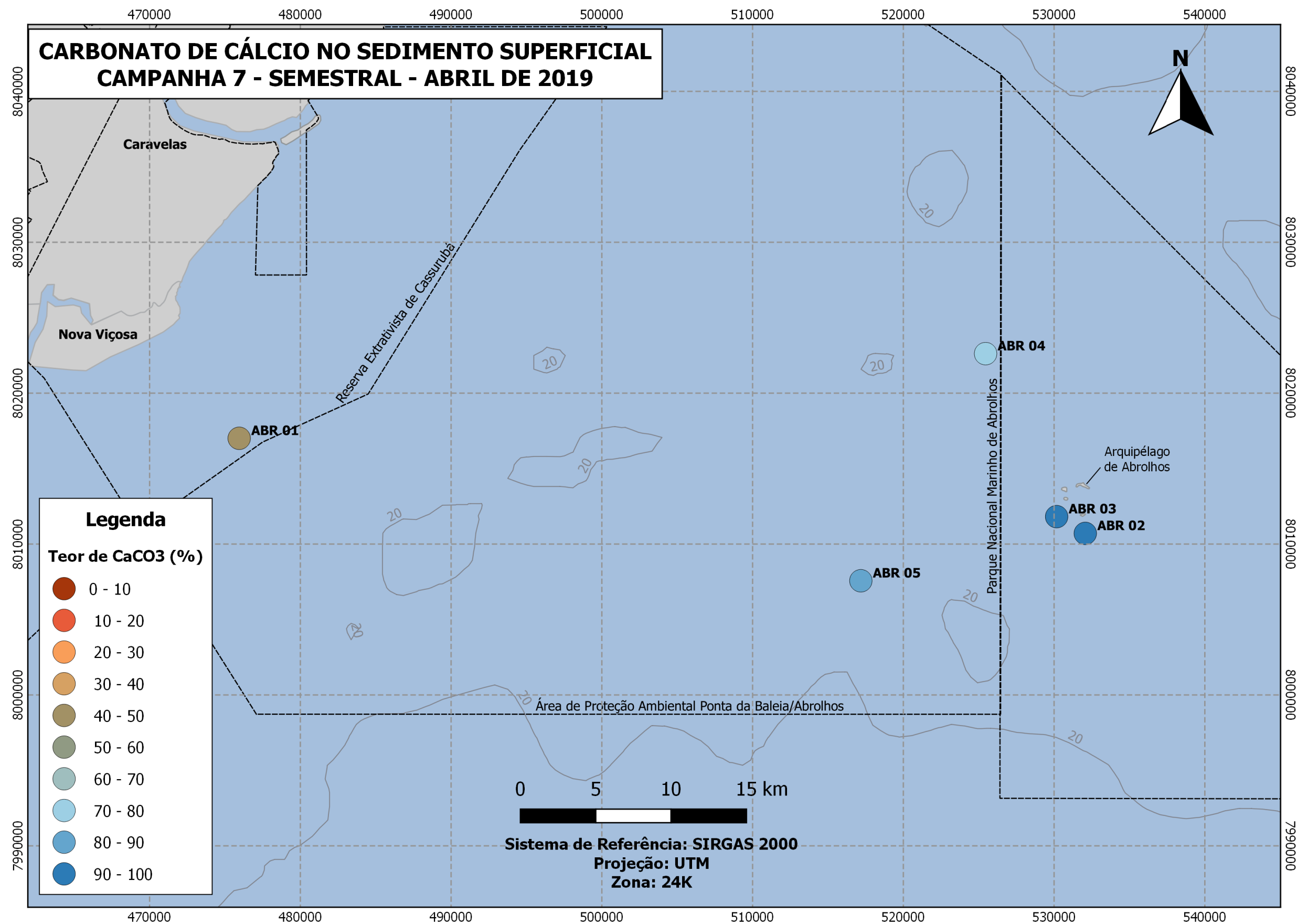


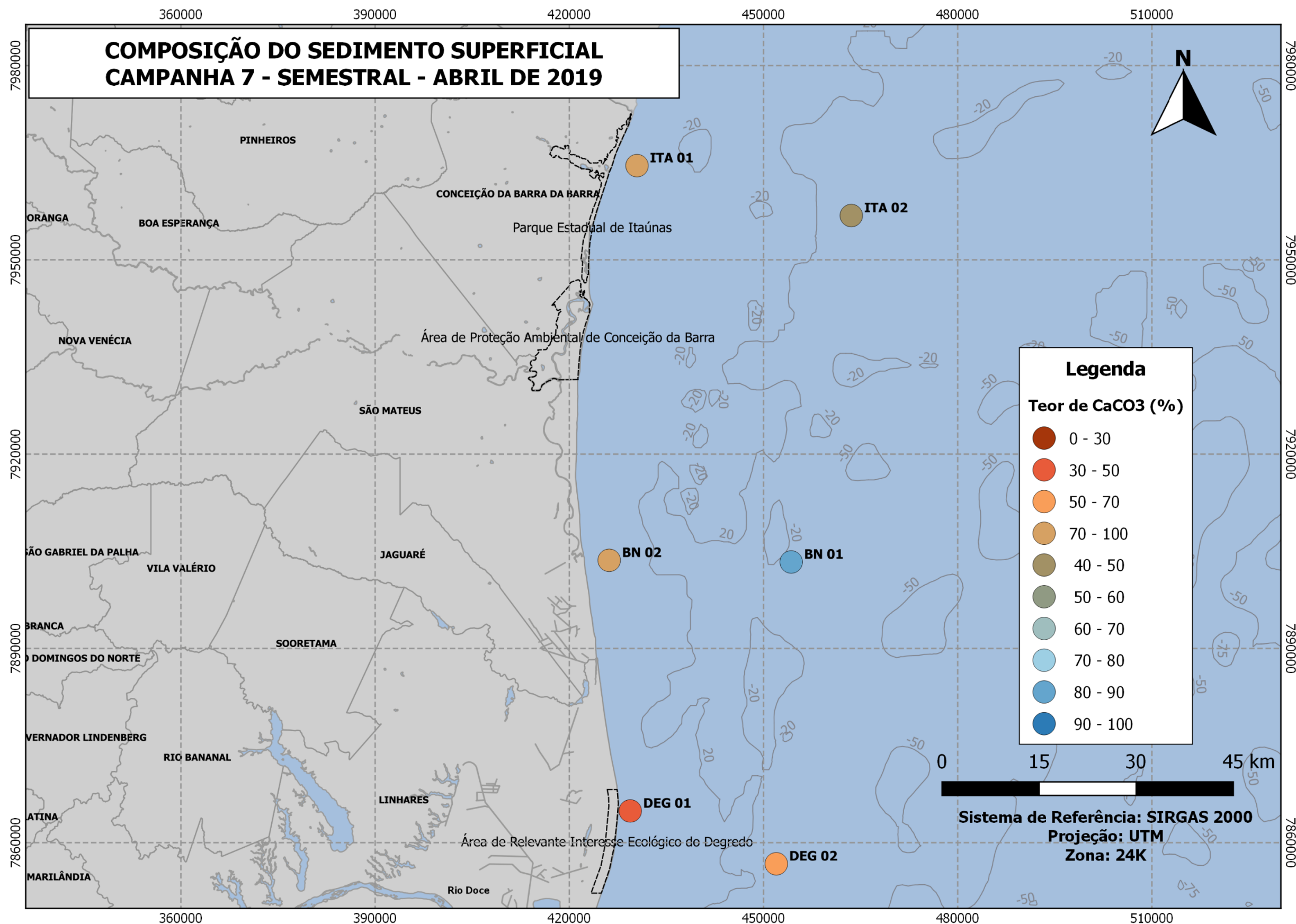


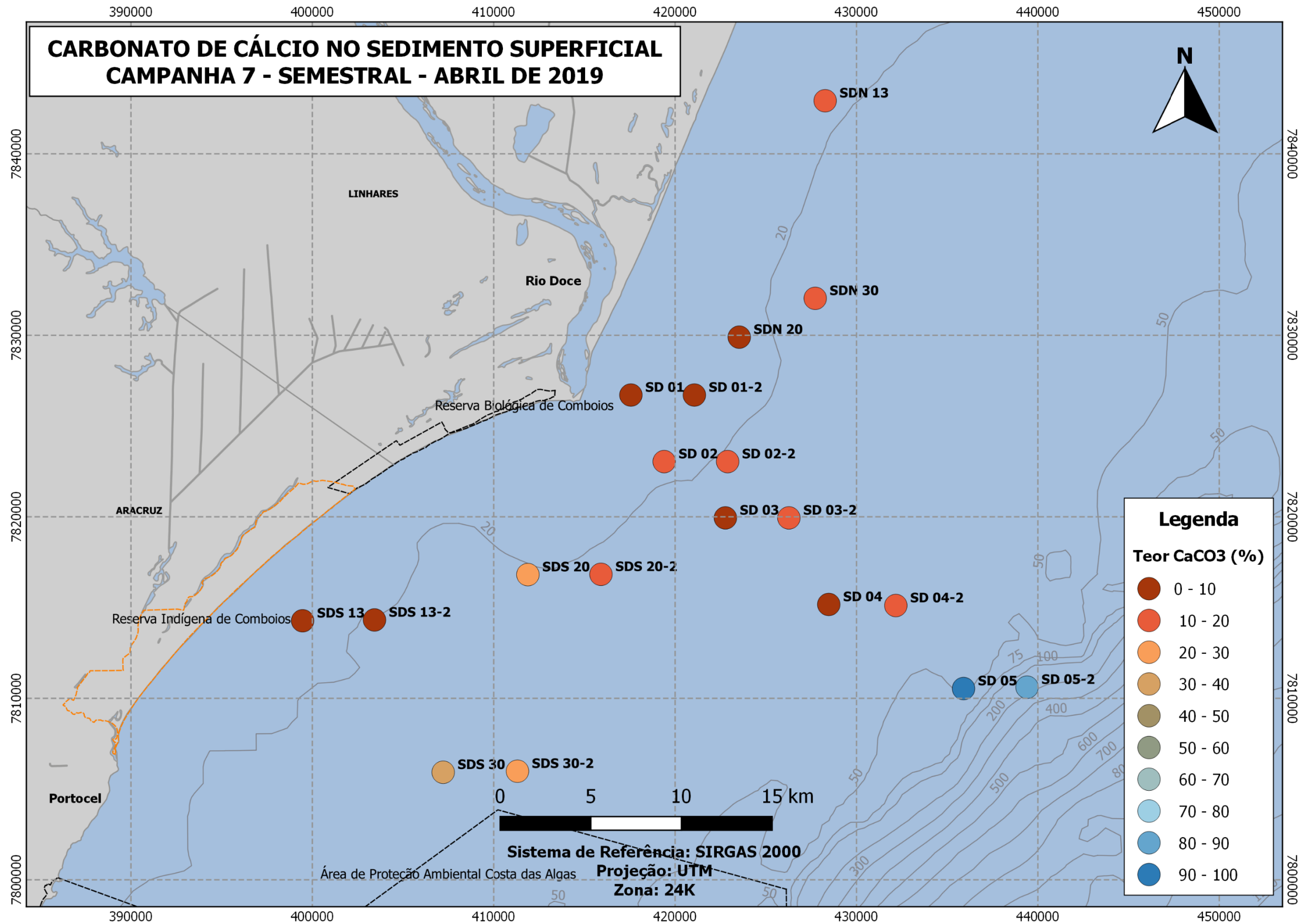


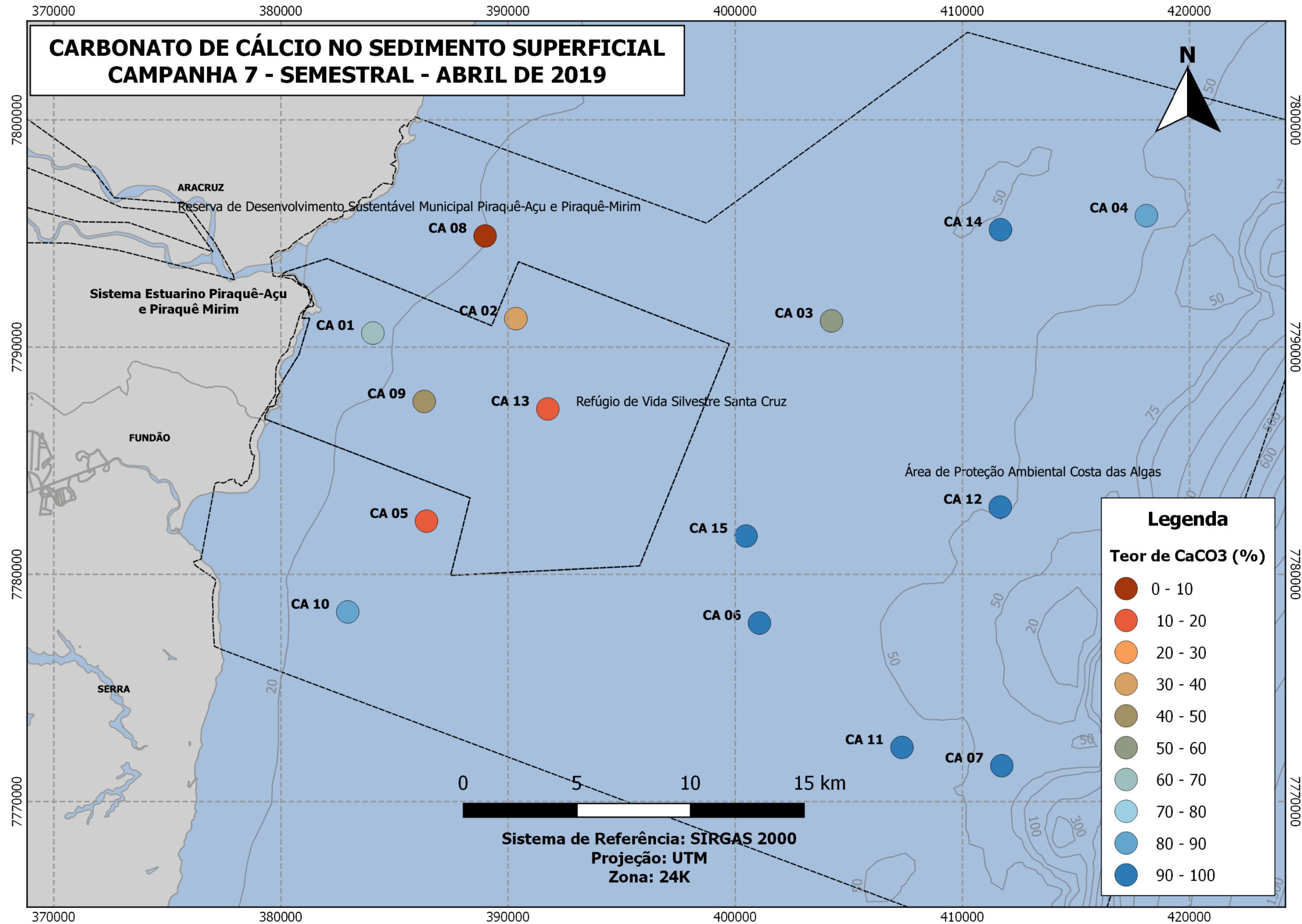


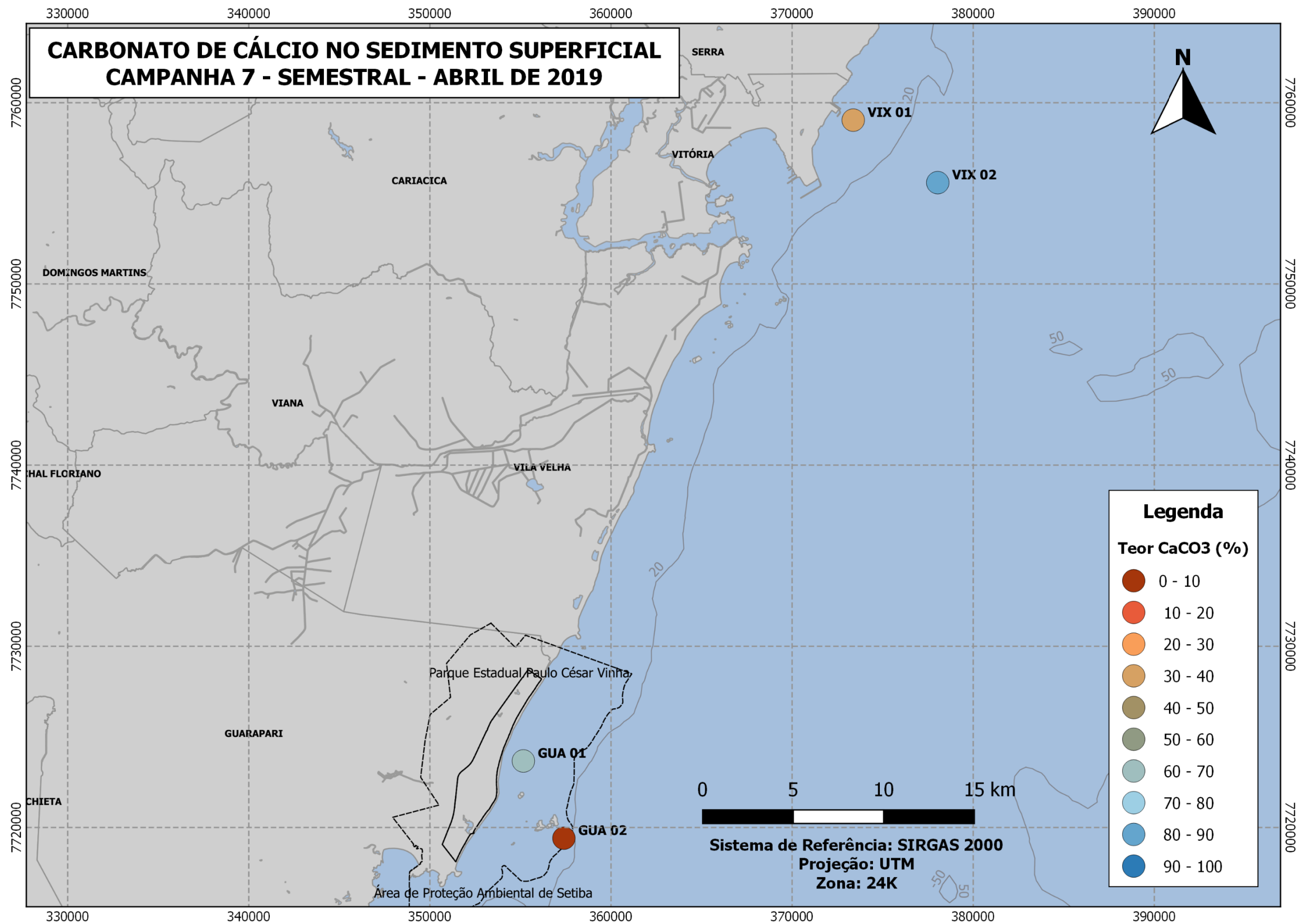


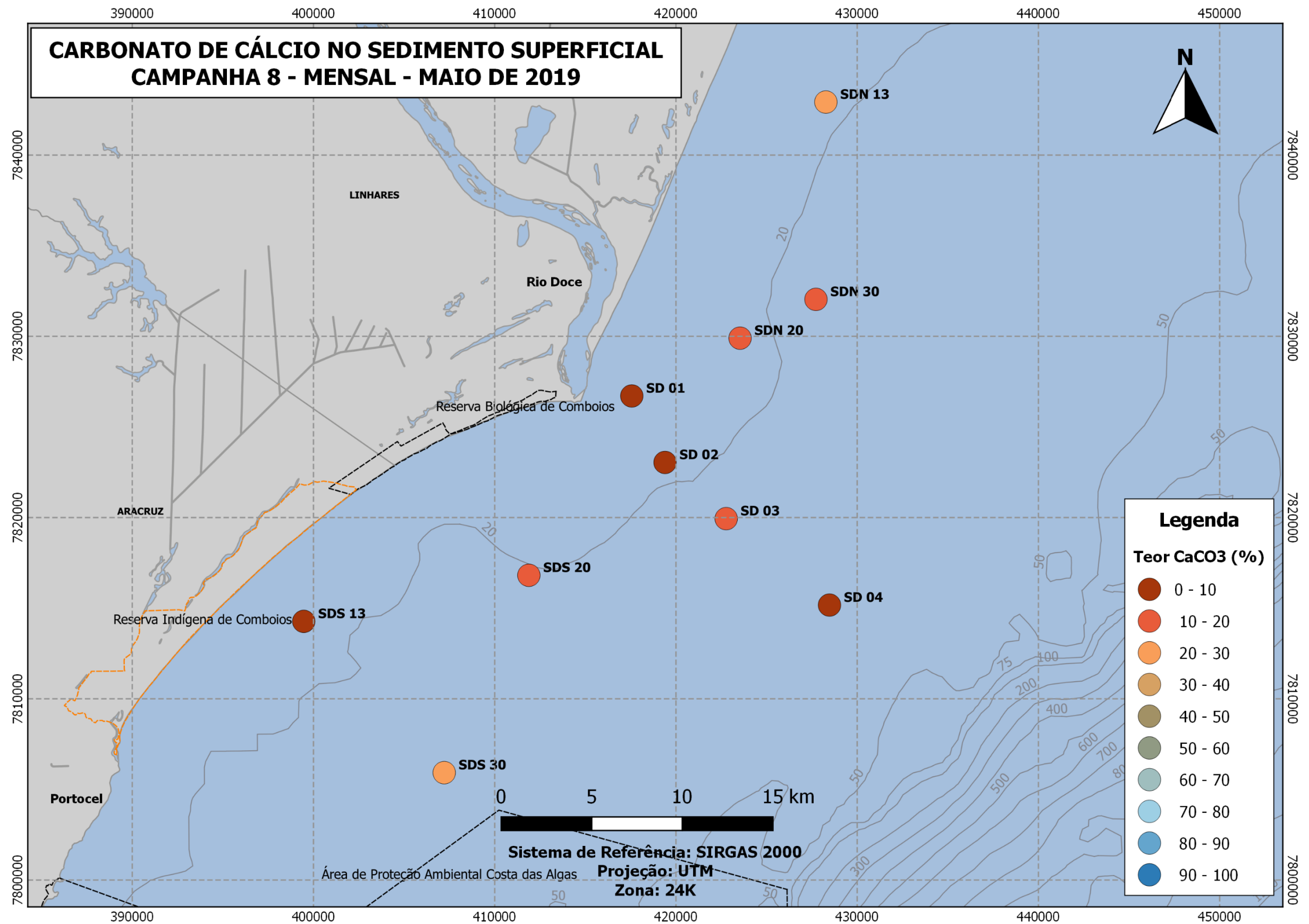


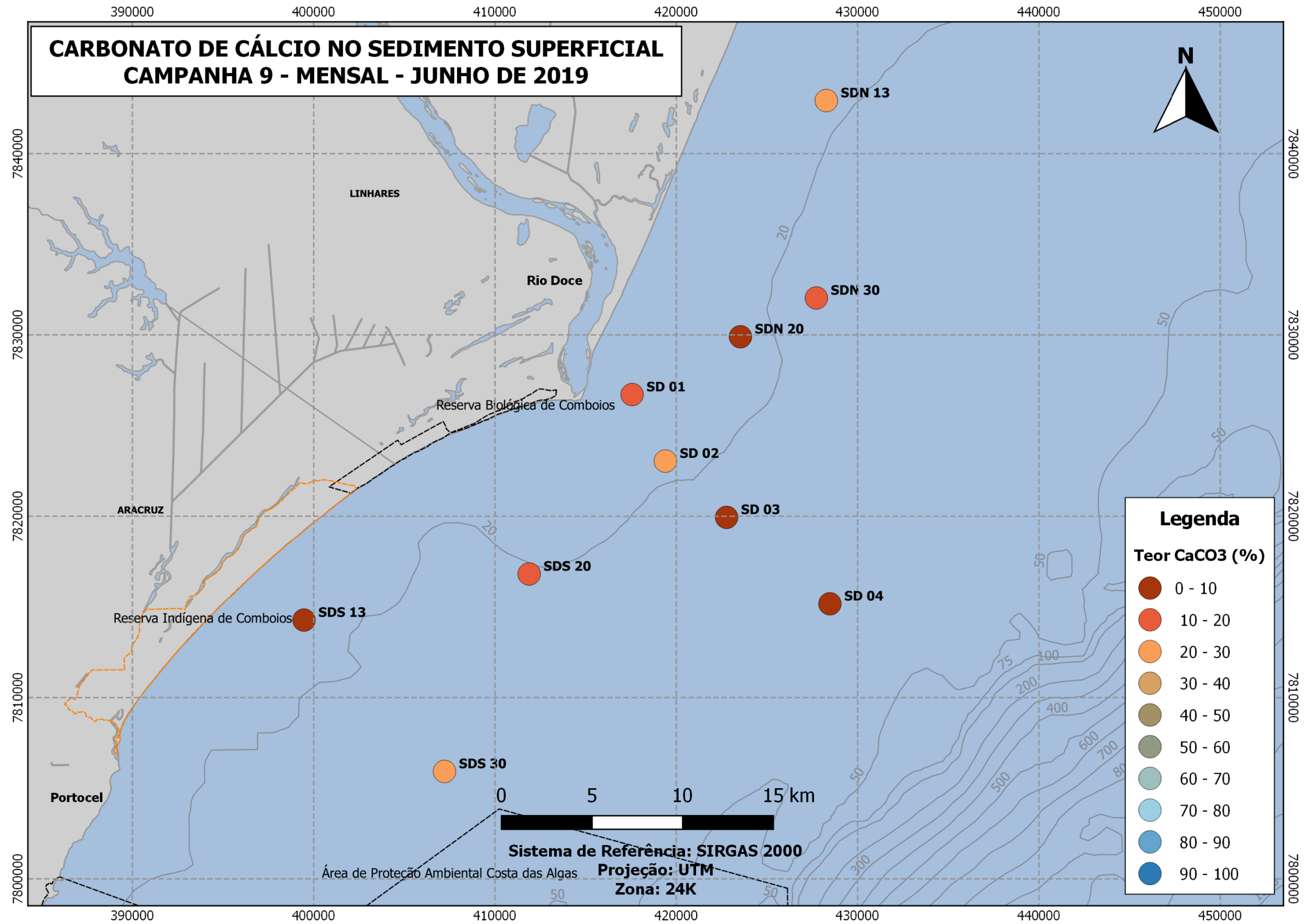


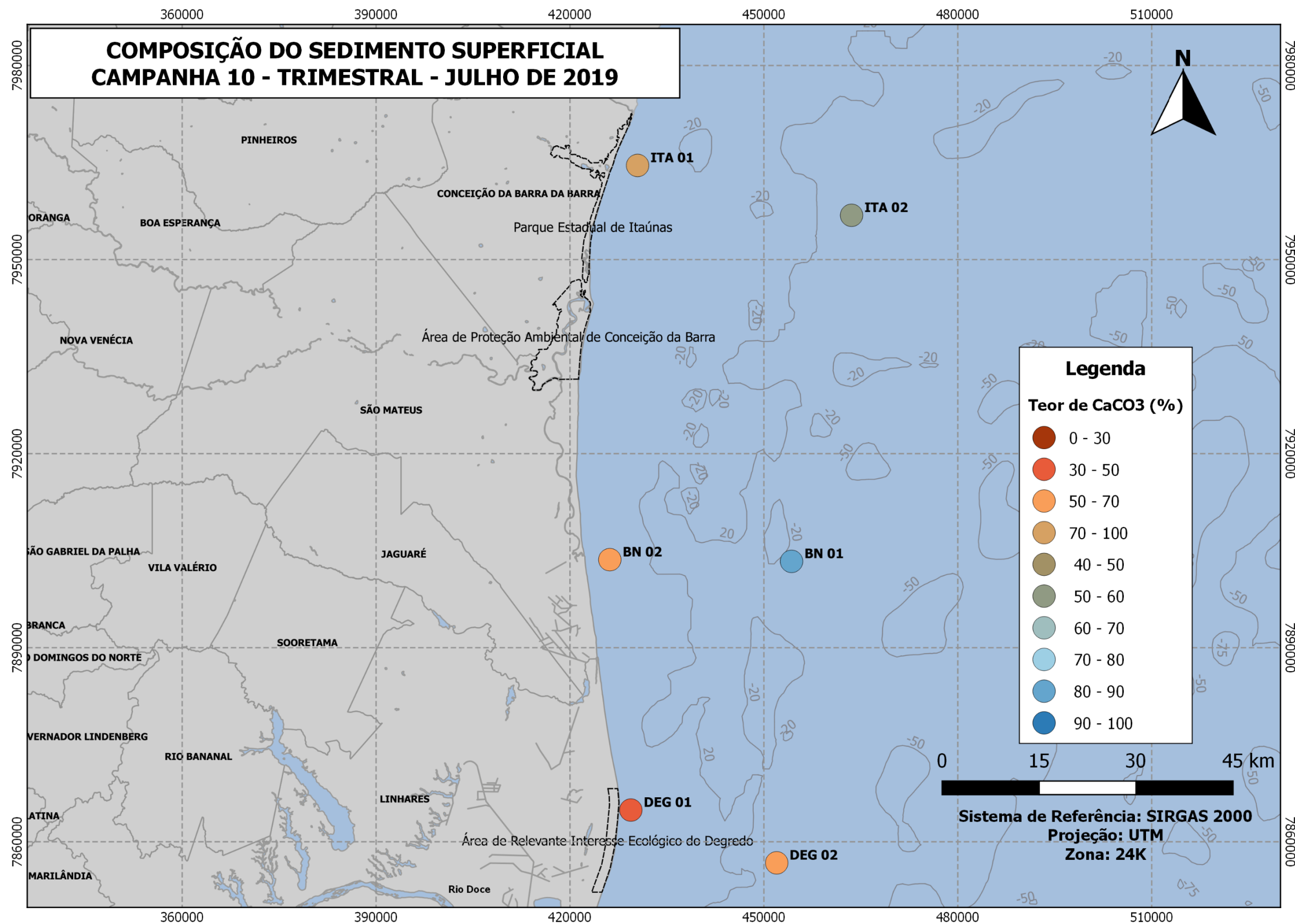


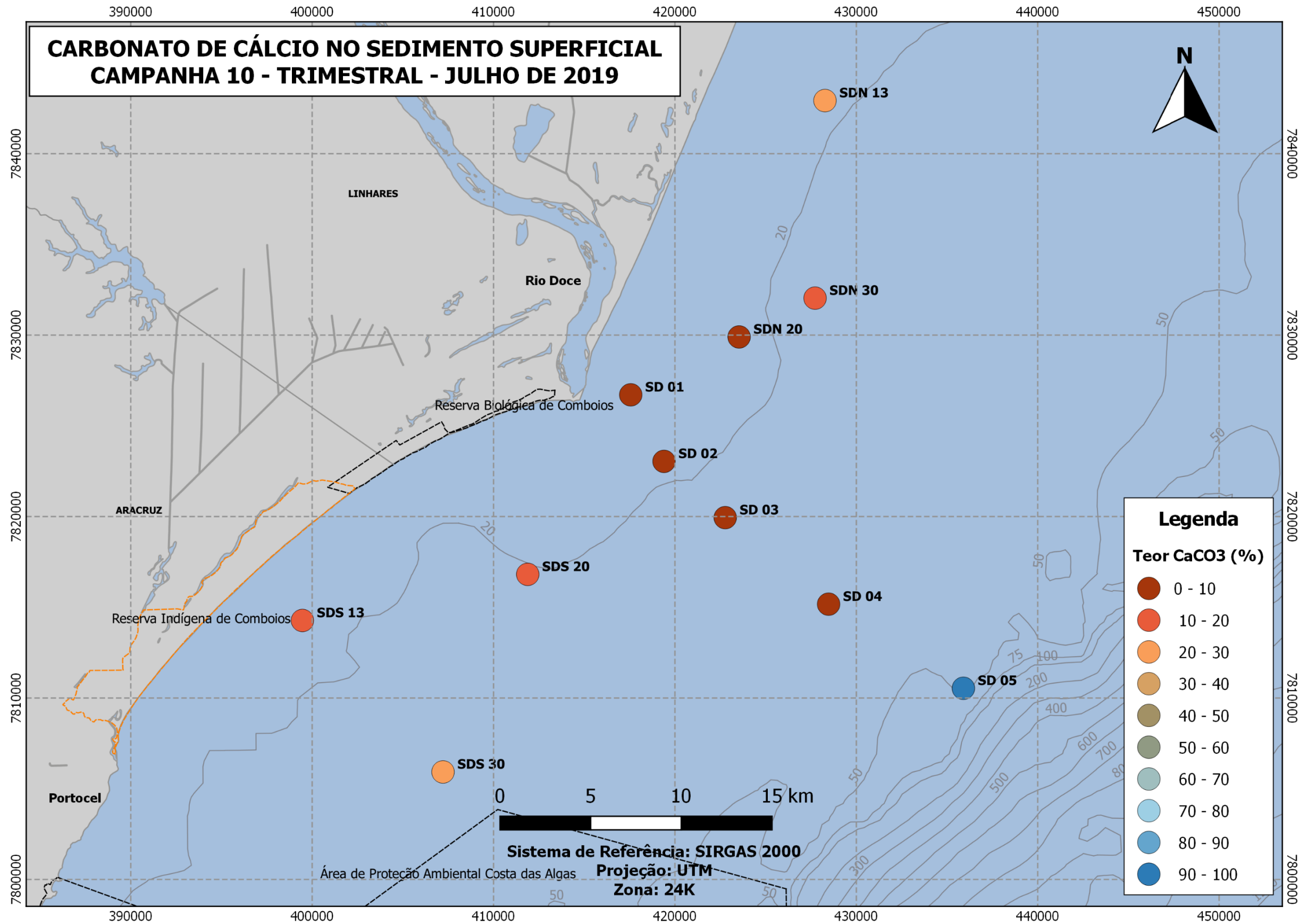


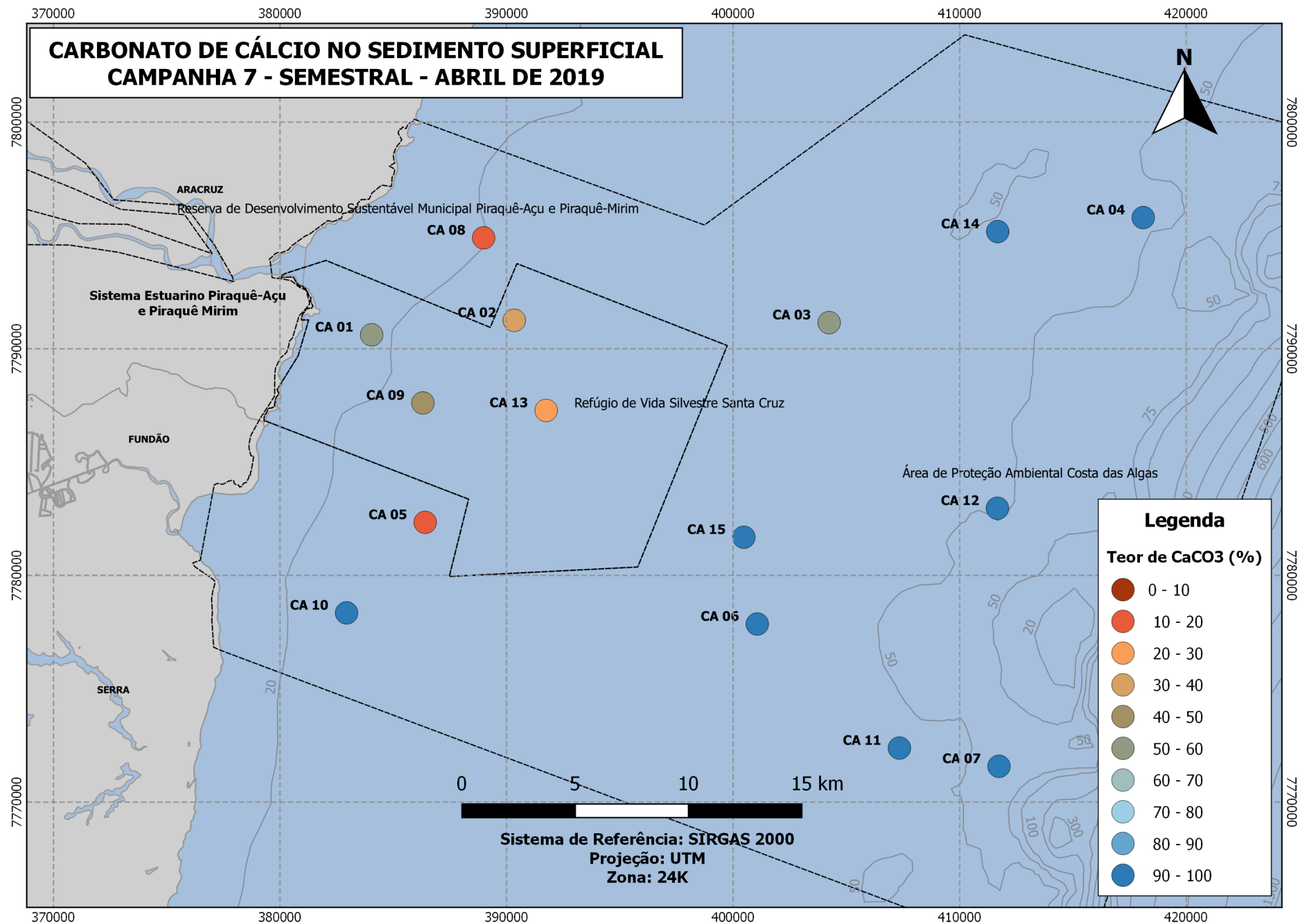


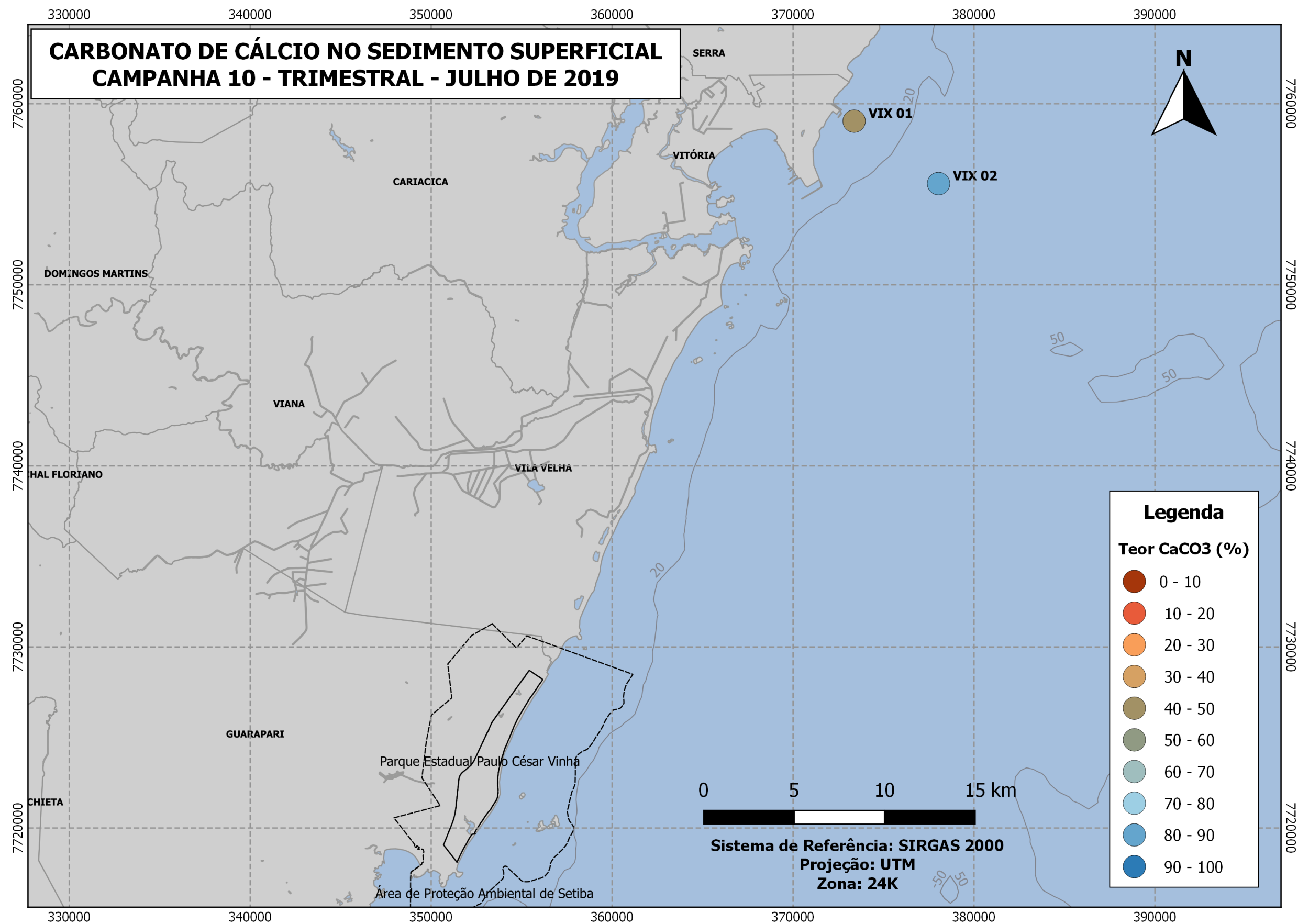


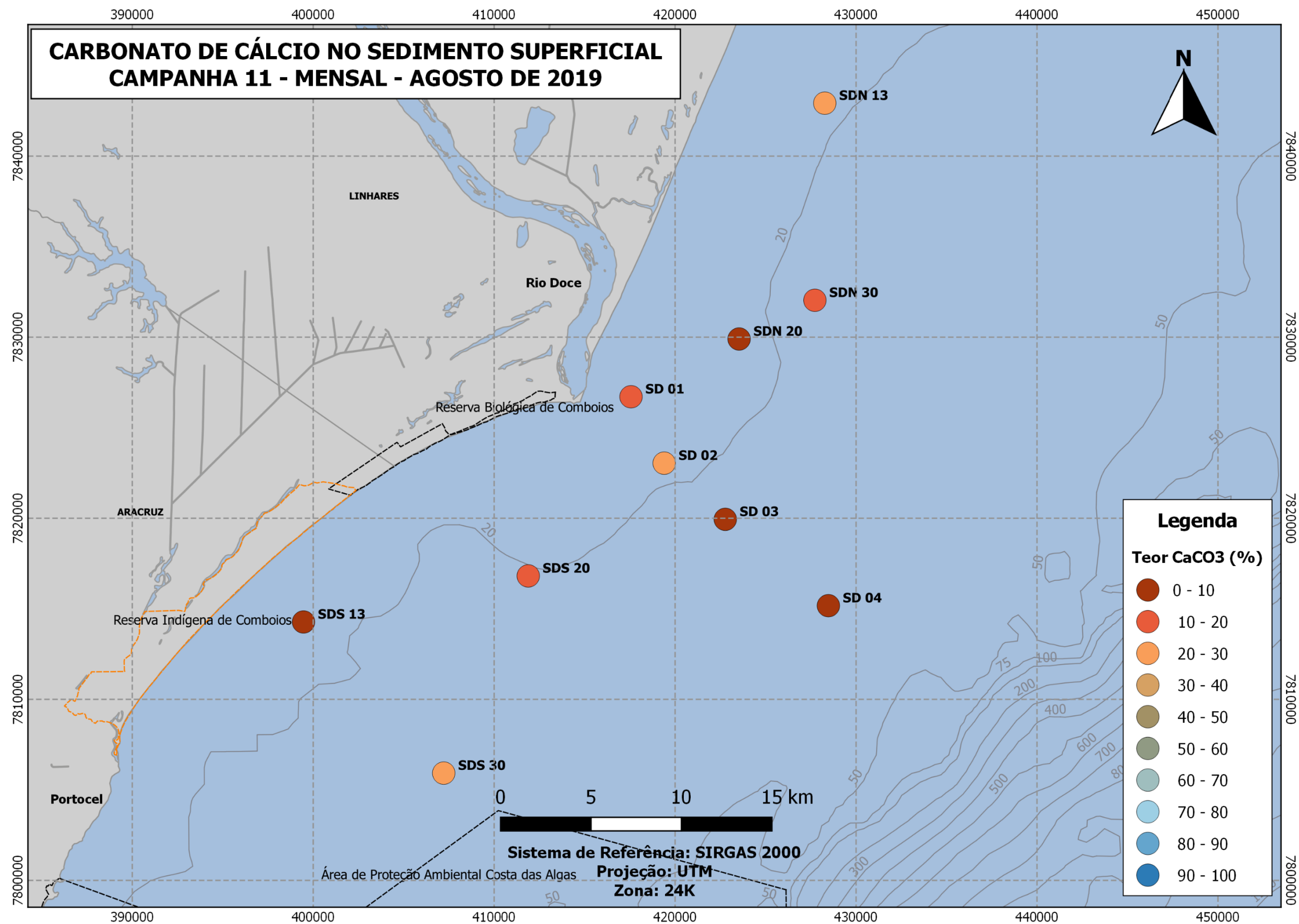


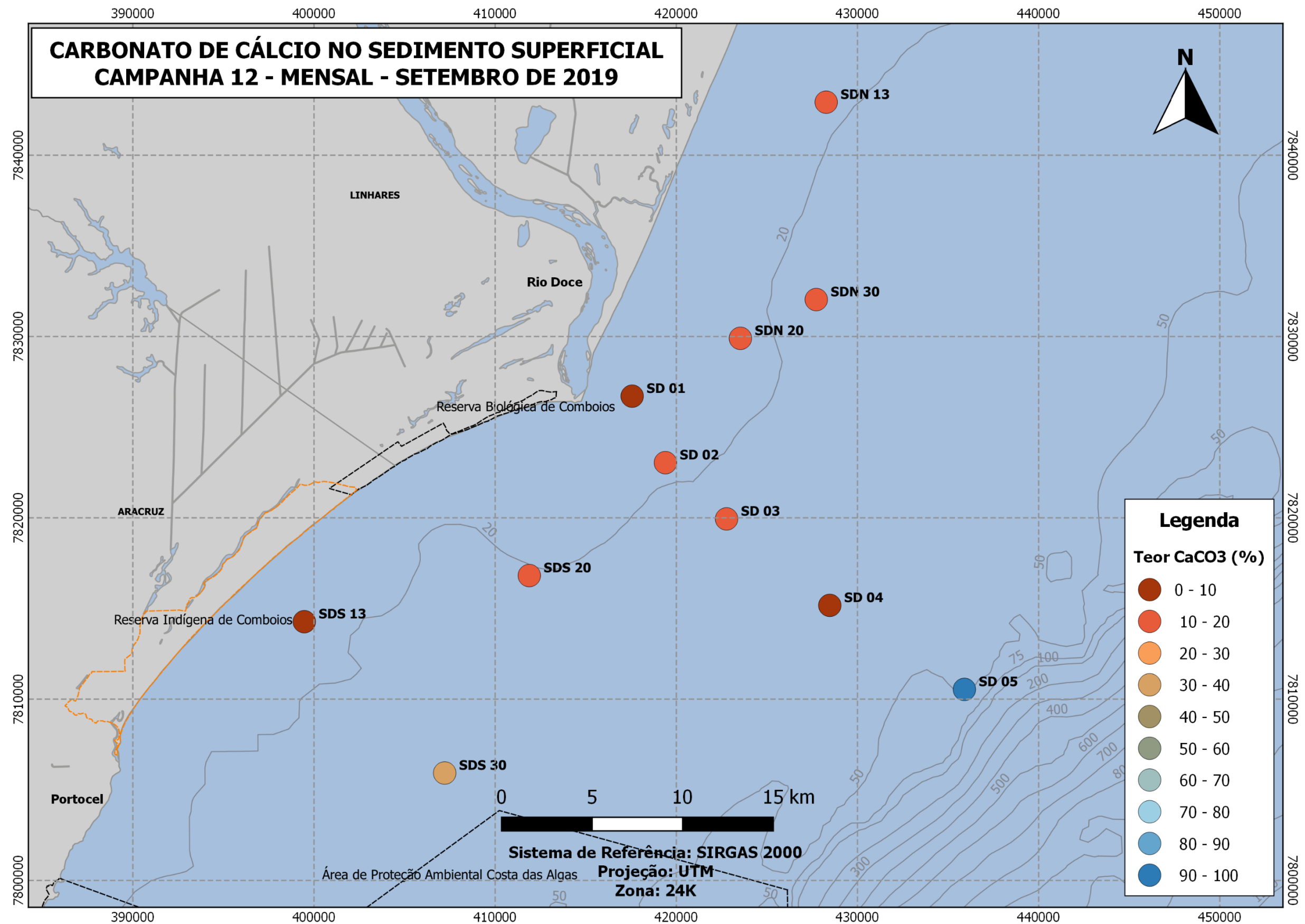












Apêndice 18: Matéria orgânica (MO) do sedimento superficial ao longo do monitoramento para cada setor amostrado.

