



Relatório Técnico [rev.01]

Modelagem de Cascalho e Fluido Aderido

Bacia do Ceará

Preparado para: PREMIER OIL

Preparado por: André Oliveira

Ana Boechat

Marcelo Cabral

30 de março de 2015

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 – Centro

CEP 20.0040-009 – Rio de Janeiro – RJ

Tel./Fax + 55 21 2532.5666

www.prooceano.com.br

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data: 09/04/2015

Descrição: Inclusão das Tabelas 38, 40, 44 e 46

Responsável: Ana Boechat

Empresa: Prooceano

Revisão nº 02

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 03

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 04

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 05

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Sumário

1. Introdução	16
1.1. Descrição da Atividade	16
2. Metodologia.....	20
2.1. Modelo de Dispersão	20
2.2. Estratégias de Modelagem	27
2.3. Forçantes	46
3. Resultados	59
3.1. Resultados Probabilísticos.....	61
3.2. Resultados Determinísticos	84
4. Conclusão	135
5. Bibliografia	137

Índice das imagens

Figura 1: Localização dos pontos de descarte selecionados (ponto 01 – Pecem Crest; ponto 02 – Sanderstead East), situados nos Blocos CE-M-665 e CE-M-717, em vermelho. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	17
Figura 2: Representação esquemática das três fases descritas pelo efluente. Modificado de Brandsma & Smith (1999).....	20
Figura 3: Fluxograma representativo do algoritmo do modelo DREAM. Adaptado de Reed & Hetland (2002).	22
Figura 4: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença do constituinte a partir de n casos determinísticos.	41
Figura 5: Domínios das grades utilizadas na modelagem para as pilhas de deposição (em verde); e para as plumas de sólidos em suspensão (em azul). (<i>Datum</i> SIRGAS 2000)...	45
Figura 6: Localização dos pontos de grade do ROMS mais próximos aos pontos de descarte (ponto 01 e ponto 02).....	47
Figura 7: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 300, 600 e 1.800 metros, para o período representativo do cenário de verão, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 01.	48
Figura 8: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 300, 600 e 1.800 metros, para o período representativo do cenário de inverno, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 01.	49
Figura 9: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 100, 250 e 500 metros, para o período representativo do cenário de verão, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 02.	51
Figura 10: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 100, 250 e 500 metros, para o período representativo do cenário de inverno, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 02.	52
Figura 11: Localização dos pontos de grade do MyOcean mais próximos aos pontos de descarte (ponto 01 e ponto 02).....	54
Figura 12: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto do MyOcean mais próximo ao ponto 01.....	55
Figura 13: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto do MyOcean mais próximo ao ponto 02.....	55

Figura 14: Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo aos pontos 01 e 02.....	57
Figura 15: Histogramas direcionais para os ventos de cada cenário sazonal escolhido.....	58
Figura 16: Fluxograma de apresentação dos resultados.....	60
Figura 17: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 01. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	61
Figura 18: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 01. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	62
Figura 19: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 01. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000)......	63
Figura 20: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 01. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	64
Figura 21: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 01. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	65
Figura 22: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 01. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	66
Figura 23: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 01. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	67
Figura 24: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 01. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	68
Figura 25: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de verão, ponto 01. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	69
Figura 26: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de inverno, ponto 01. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	71
Figura 27: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 02. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	72

Figura 28: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 02. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	73
Figura 29: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 02. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	74
Figura 30: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 02. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	75
Figura 31: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 02. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	76
Figura 32: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 02. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	77
Figura 33: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 02. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	78
Figura 34: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 02. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	79
Figura 35: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de verão, ponto 02. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	80
Figura 36: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de inverno, ponto 02. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	82
Figura 37: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 300, 600 e 1.800 metros, para o período representativo do cenário determinístico de espessura máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 01.....	85
Figura 38: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 300, 600 e 1.800 metros, para o período representativo do cenário determinístico de distância máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 01.....	86
Figura 39: Pilha resultante da integração das seções sem <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	88
Figura 40: Pilha resultante da integração das seções com <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	89

Figura 41: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	90
Figura 42: Pilha resultante da integração das seções sem <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	92
Figura 43: Pilha resultante da integração das seções com <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	93
Figura 44: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	94
Figura 45: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta. Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	97
Figura 46: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão para o Perfil 01 com orientação SE-NW (painel superior) e para o Perfil 02 com orientação NW-SE (painel inferior). Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	98
Figura 47: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 16 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação NW-SE (painel inferior). Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	100
Figura 48: Concentração de sólidos na coluna d'água após 25 dias e 16 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação SE-NW (painel inferior). Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	102
Figura 49: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta. Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	106
Figura 50: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão para o Perfil 01 com orientação SE-NW (painel superior) e para o Perfil 02 com orientação NW-SE (painel inferior). Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	107
Figura 51: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 16 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação NW-SE (painel inferior). Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	109

Figura 52: Concentração de sólidos na coluna d'água após 25 dias e 08 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação SE-NW (painel inferior). Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	111
Figura 53: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 100, 250 e 500 metros, para o período representativo do cenário determinístico de espessura máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 02.....	114
Figura 54: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 100, 250 e 500 metros, para o período representativo do cenário determinístico de distância máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 02.....	114
Figura 55: Pilha resultante da integração das seções sem <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 02 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	116
Figura 56: Pilha resultante da integração das seções com <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 02 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	117
Figura 57: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 02 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	117
Figura 58: Pilha resultante da integração das seções sem <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 02 Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	119
Figura 59: Pilha resultante da integração das seções com <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 02 Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	119
Figura 60: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 02 Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	120
Figura 61: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta. Ponto 02 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	123
Figura 62: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão para o Perfil 01 com orientação SE-NW (painel superior) e para o Perfil 02 com orientação NE-SW (painel inferior). Ponto 02 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	124
Figura 63: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 4 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação NE-SW (painel inferior). Ponto 02 Caso determinístico – espessura máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	125

- Figura 64: Concentração de sólidos na coluna d'água após 25 dias e 10 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação SE-NW (painel inferior). Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000). 126
- Figura 65: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta. Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000). 130
- Figura 66: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão para o Perfil 01 com orientação SE-NW (painel superior) e para o Perfil 02 com orientação NE-SW (painel inferior). Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000). 131
- Figura 67: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 10 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação NE-SW (painel inferior). Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000). 132
- Figura 68: Concentração de sólidos na coluna d'água após 25 dias e 2 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação SE-NW (painel inferior). Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000). 133

Índice das tabelas

Tabela 1: Coordenadas e profundidades aproximadas dos dois pontos utilizados para as simulações. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	17
Tabela 2: Características principais do projeto de perfuração.....	18
Tabela 3: Densidades para o cascalho e fluido aderido e frações dos componentes sólidos e líquidos do fluido aderido.....	19
Tabela 4: Distribuição granulométrica para os descartes de cascalho e fluido de base água. ..	29
Tabela 5: Distribuição granulométrica para os descartes de cascalho e fluido de base sintética.	29
Tabela 6: Distribuição granulométrica para os descartes de fluido excedente.....	29
Tabela 7: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções I e II (seções sem <i>riser</i>). Ponto 01.....	32
Tabela 8: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções III a VI (seções com <i>riser</i>). Ponto 01.....	32
Tabela 9: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção I e II. Ponto 01.....	32
Tabela 10: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção III. Ponto 01.....	33
Tabela 11: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção IV. Ponto 01.....	33
Tabela 12: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção V. Ponto 01.....	33
Tabela 13: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção VI. Ponto 01.....	34
Tabela 14: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção III. Ponto 01.	34
Tabela 15: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção IV. Ponto 01.....	34
Tabela 16: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção V. Ponto 01.....	35

Tabela 17: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção VI. Ponto 01.	35
Tabela 18: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções I e II (seções sem <i>riser</i>). Ponto 02.	36
Tabela 19: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções III a VI (seções com <i>riser</i>). Ponto 02.	36
Tabela 20: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção I e II. Ponto 02.	36
Tabela 21: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção III. Ponto 02.	37
Tabela 22: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção IV. Ponto 02.	37
Tabela 23: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção V. Ponto 02.	37
Tabela 24: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção VI. Ponto 02.	38
Tabela 25: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção III. Ponto 02.	38
Tabela 26: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção IV. Ponto 02.	38
Tabela 27: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção V. Ponto 02.	39
Tabela 28: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção VI. Ponto 02.	39
Tabela 29: Número de simulações determinísticas realizadas para compor cada um dos cenários probabilísticos escolhidos.	42
Tabela 30: Passo de tempo e <i>output</i> utilizados nas simulações, distintos para os resultados de deposição e suspensão do ponto 01.	43
Tabela 31: Passo de tempo e <i>output</i> utilizados nas simulações, distintos para os resultados de deposição e suspensão do ponto 02.	43

Tabela 32: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários de verão e inverno, para o ponto 01.....	50
Tabela 33: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários de verão e inverno, para o ponto 02.....	53
Tabela 34: Temperatura do ar característica para cada cenário.	58
Tabela 35: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de verão Ponto 01.	64
Tabela 36: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de inverno Ponto 01.	68
Tabela 37: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm). Cenário de verão Ponto 01.....	70
Tabela 38: Espessuras máximas obtidas a 100, 500 e 1.000 m de distância da fonte. Cenário de verão Ponto 01.....	70
Tabela 39: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm). Cenário de inverno Ponto 01.	71
Tabela 40: Espessuras máximas obtidas a 100, 500 e 1.000 m de distância da fonte. Cenário de inverno Ponto 01.....	72
Tabela 41: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de verão Ponto 02.	75
Tabela 42: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de inverno Ponto 02.	79
Tabela 43: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm). Cenário de verão Ponto 02.....	81
Tabela 44: Espessuras máximas obtidas a 100, 500 e 1.000 m de distância da fonte. Cenário de verão Ponto 02.....	81
Tabela 45: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm). Cenário de inverno Ponto 02.	82
Tabela 46: Espessuras máximas obtidas a 100, 500 e 1.000 m de distância da fonte. Cenário de inverno Ponto 01.....	83
Tabela 47: Data inicial e final da simulação obtidas para os dois casos determinísticos selecionados para o ponto 01.....	85

Tabela 48: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários determinísticos de espessura máxima e distância máxima do ponto 01.	87
Tabela 49: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima.	90
Tabela 50: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima.	91
Tabela 51: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima.	94
Tabela 52: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima.	95
Tabela 53: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima.	103
Tabela 54: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Ponto 01 Caso determinístico – espessura máxima.	103
Tabela 55: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima.	112
Tabela 56: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Ponto 01 Caso determinístico – distância máxima.	112
Tabela 57: Data inicial e final da simulação obtidas para os dois casos determinísticos selecionados para o ponto 02.	113
Tabela 58: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários determinísticos de espessura máxima e distância máxima do ponto 02.	115
Tabela 59: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 02 Caso determinístico – espessura máxima.	117
Tabela 60: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Ponto 02 Caso determinístico – espessura máxima.	118

Tabela 61: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 02 Caso determinístico – distância máxima.	120
Tabela 62: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Ponto 02 Caso determinístico – distância máxima.	121
Tabela 63: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Ponto 02 Caso determinístico – espessura máxima.	127
Tabela 64: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Ponto 02 Caso determinístico – espessura máxima.	127
Tabela 65: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Ponto 02 Caso determinístico – distância máxima.	134
Tabela 66: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Ponto 02 Caso determinístico – distância máxima.	134

Equipe técnica

Nome: Ana Carolina Rochinha Boechat

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 4961307

Responsável pela(s) Seção(ões): Modelagem Hidrodinâmica

Assinatura: _____

Nome: André Luis Santi Coimbra de Oliveira

Registro no Conselho de Classe:

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 5967357

Responsável pela(s) Seção(ões): Modelagem Hidrodinâmica

Assinatura: _____

Nome: Marcelo Montenegro Cabral

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 5621594

Responsável pela(s) Seção(ões): Modelagem Hidrodinâmica

Assinatura: _____

1. Introdução

Neste documento, é apresentado o estudo de modelagem numérica do comportamento físico do cascalho e fluido de perfuração a serem descartados durante as atividades de perfuração nos Blocos CE-M-665 e CE-M-717, na Bacia do Ceará.

O trabalho é dividido em duas etapas: a primeira consiste na análise das características meteorológicas e oceanográficas da região, ou seja, os parâmetros capazes de afetar o comportamento do material descartado, como corrente, temperatura do ar, vento, temperatura do mar e salinidade. Para este estudo, foram selecionados dois cenários sazonais distintos (verão e inverno).

A segunda etapa compreende a simulação da dispersão do material, que resulta na formação de pilhas de deposição no assoalho marinho. Essas simulações foram conduzidas em dois modos distintos: o probabilístico e o determinístico.

A escolha dos dados utilizados como forçantes no modelo de dispersão e do método adotado neste estudo procuram atender aos requisitos da Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG/DILIC/IBAMA) para a modelagem de cascalho.

1.1. Descrição da Atividade

Este estudo é referente ao projeto de perfuração de possíveis poços localizados nos Blocos CE-M-665 e CE-M-717, na Bacia do Ceará. Para a simulação da dispersão de cascalho e fluido aderido, foram considerados dois pontos distintos: o ponto 01, nomeado Pecem Crest, localizado próximo ao extremo N do Bloco CE-M-717 e o ponto 02, chamado Sanderstead East, localizado ao S do Bloco CE-M-717. As localizações dos pontos de descarte são apresentadas na Figura 1 e na Tabela 1. Para ambas as localidades, serão considerados os mesmos projetos de prospecção.

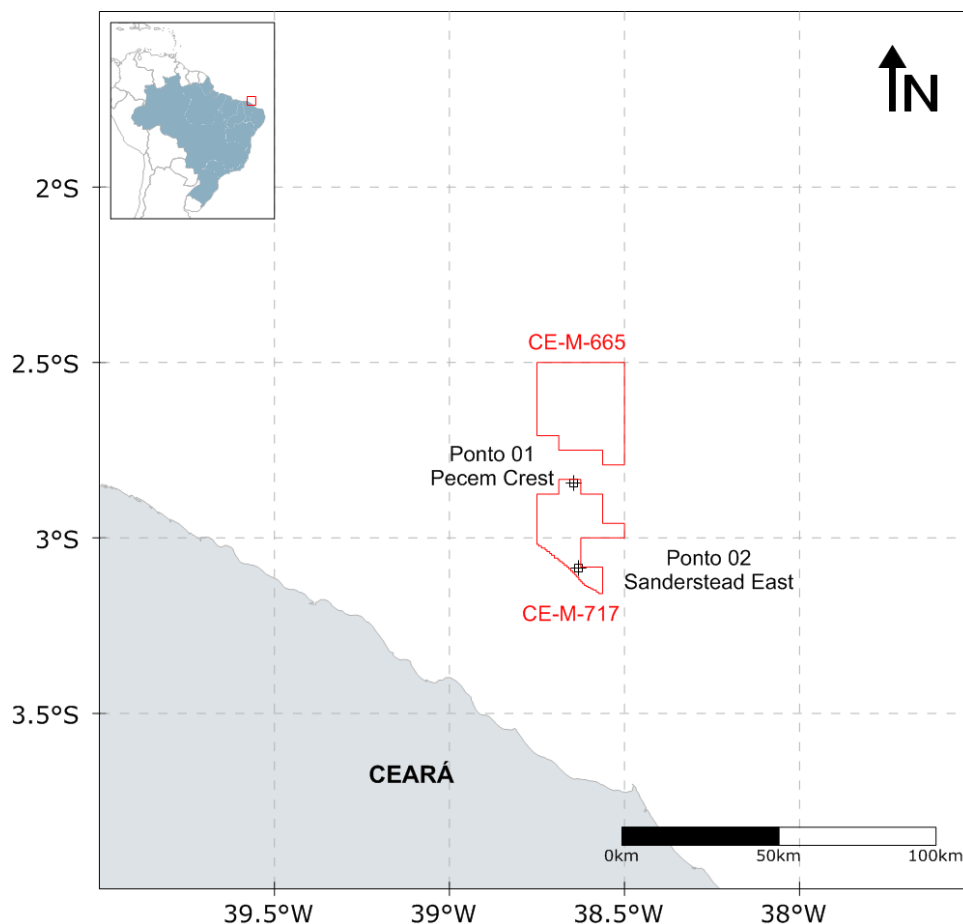


Figura 1: Localização dos pontos de descarte selecionados (ponto 01 – Pecem Crest; ponto 02 – Sanderstead East), situados nos Blocos CE-M-665 e CE-M-717, em vermelho. (Datum SIRGAS 2000).

Tabela 1: Coordenadas e profundidades aproximadas dos dois pontos utilizados para as simulações. (Datum SIRGAS 2000).

Pontos	Bloco	Coordenadas	Profundidade (m)
Ponto 01	CE-M-717	2°50'39,120" S e 38°38'40,56" W	1915
Ponto 02	CE-M-717	3°05'12,265" S e 38°37'49,577" W	509

O bloco CE-M-717 encontra-se sobre talude continental, portanto apresenta grande variação de profundidades. As profundidades das locações dos poços previstos vão de cerca de 500m até cerca de 2000 m. A região encontra-se sob a influência direta da Corrente Norte do Brasil (CNB) que flui para NW durante todo o ano. A influência CNB é menor nas regiões mais rasas próximas à plataforma continental onde prevalecem correntes de maré, e a circulação induzida

pelos ventos alísios de NE no período chuvoso (janeiro a junho) e de E no período seco (julho a dezembro).

Os resultados da modelagem de cascalho são bastante dependentes do regime de correntes. No caso de descartes próximos à superfície, a profundidade da coluna d'água tem papel fundamental no espalhamento dos sólidos dos descartes. Quanto maior for a altura ofundidade da coluna d'água, maior será o tempo de permanência dos sólidos em suspensão e maior será o alcance dos sólidos até atingirem o assoalho oceânico.

Assim, foram escolhidas para simulações dos descartes de cascalho e fluidos de perfuração, as posições de maior e menor profundidade dentre as posições das locações dos poços previstas pela Premier, no bloco CE-M-717. Com isso, buscou-se conferir representatividade aos resultados apresentados neste relatório para descartes de cascalho e fluido de perfuração que venha a ocorrer em quaisquer profundidades dentro dos limites do bloco CE-M-717.

O projeto de poço prevê a perfuração em seis seções. Na primeira etapa da perfuração, que enquadra as duas primeiras seções, não será utilizado o *riser*, com o descarte ocorrendo do fundo, e o fluido de perfuração de base aquosa. Na segunda etapa, que abrange as seções III a VI, o *riser* será instalado, com o descarte ocorrendo da superfície e o fluido utilizado de base aquosa. É previsto também descarte de fluido excedente da seção III a VI.

As informações a respeito do projeto de perfuração são apresentadas na Tabela 2. O maior volume de material gerado pela atividade será descartado na seção II, porém a maior vazão está associada ao fluido excedente da seção VI.

Tabela 2: Características principais do projeto de perfuração.

Características	I	II	III	IV	V	VI
Diâmetro com alargamento (pol)	36,00	31,85	21,45	18,77	12,96	8,83
Vol. cascalho descartado (m ³)	39,40	470,39	173,09	64,25	91,99	17,79
Vol. fluido aderido (m ³)	127,20	2000,22	34,60	12,90	23,00	5,70
Tempo de descarte (h)	18,00	61,00	68,75	50,00	200,00	125,00
Vazão (m ³ /h)	9,26	40,50	3,30	1,69	0,63	0,20
Vol. fluido excedente (m ³)	-	-	200,00	200,00	200,00	1516,69
Tempo de descarte (h)	-	-	24,00	24,00	24,00	24,00
Vazão (m ³ /h)	-	-	8,33	8,33	8,33	63,20
Base do Fluido	Água	Água	Água	Água	Água	Água
Profundidade de Descarte (m)	Fundo	Fundo	5	5	5	5

Para as simulações de dispersão do material, além das informações sobre o projeto do poço, são também necessárias as densidades de cascalho e fluido aderido, e no caso dos fluidos especificamente, qual a fração de seus componentes líquidos e sólidos (Tabela 3).

Tabela 3: Densidades para o cascalho e fluido aderido e frações dos componentes sólidos e líquidos do fluido aderido.

Cascalho	I	II	III	IV	V	VI
Densidade (kg/m ³)	2600,00	2600,00	2600,00	2600,00	2600,00	2600,00
Fluido Aderido	I	II	III	IV	V	VI
Densidade (kg/m ³)	1060	1060	1078	1138	1198	1258
Fração dos sólidos no fluido	25%	25%	6%	7%	8%	9%
Dens. dos sólidos no fluido (kg/m ³)	1150	1150	1830	2573	3130	3563
Fração dos líquidos no fluido	75%	75%	94%	93%	92%	91%
Dens. dos líquidos no fluido (kg/m ³)	1030	1030	1030	1030	1030	1030

2. Metodologia

A metodologia seguida neste estudo é apresentada em algumas etapas. Na primeira etapa, o **modelo numérico** de dispersão de cascalho e fluido aderido utilizado no estudo é descrito com base em suas características e equações governantes. A segunda etapa apresenta as **estratégias de modelagem** adotadas. E a terceira e última etapa consiste na análise dos **parâmetros meteo-oceanográficos** da região, mais especificamente aqueles capazes de afetar o comportamento do efluente lançado.

2.1. Modelo de Dispersão

O processo dispersivo do efluente, neste caso cascalho + fluido de perfuração, possui três diferentes fases, apresentadas na Figura 2 e detalhadas abaixo.

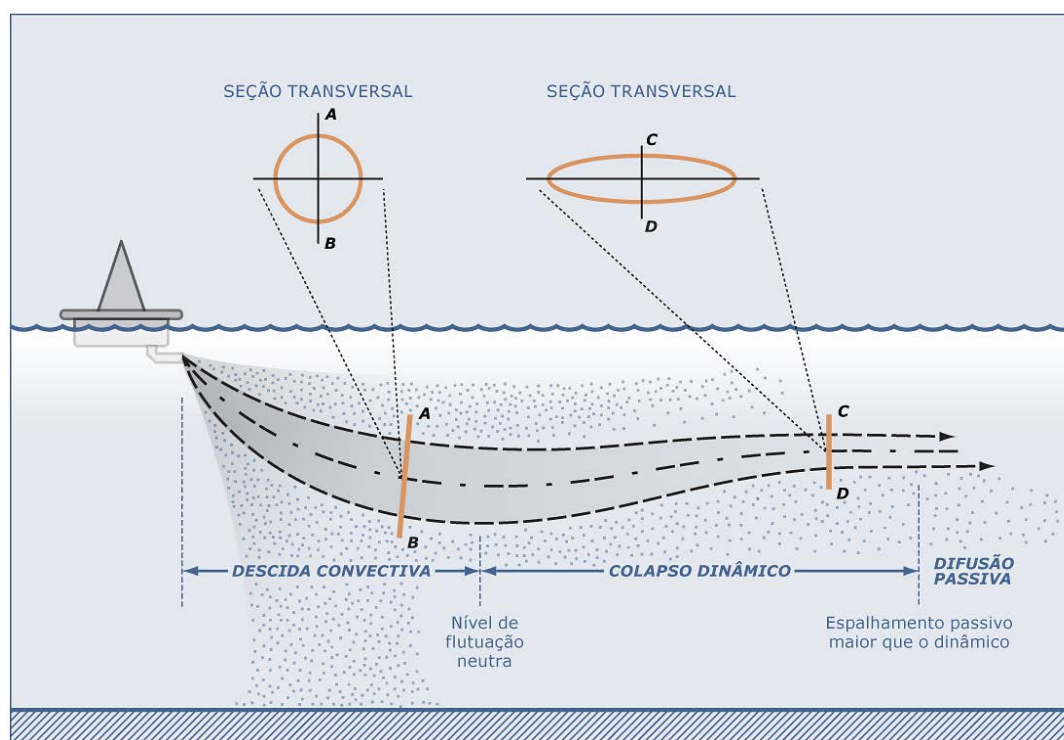


Figura 2: Representação esquemática das três fases descritas pelo efluente. Modificado de Brandsma & Smith (1999).

A primeira fase, denominada **fase de jato**, corresponde à diluição inicial do efluente, onde as forças de empuxo, quantidade de movimento do efluente e os efeitos dinâmicos das correntes locais, resultam em uma rápida mistura e diluição do efluente no corpo d'água receptor. Esta

fase ocorre enquanto o efluente possui movimento próprio, dado pela diferença de densidade com o meio ou pela velocidade de saída da fonte. A fase termina quando o efluente descartado encontra uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou se estabiliza em um nível de flutuação neutra. Finda esta primeira etapa, inicia-se a fase de **colapso dinâmico**, onde o efluente se espalhará na profundidade em que se estabilizou devido, ainda, a sua diferença de densidade em relação ao meio. Esta diferença tende a diminuir com o tempo e, em dado momento, sua contribuição para o espalhamento do efluente será inferior àquela dada pela turbulência do ambiente. Tanto a fase de jato quanto a de colapso dinâmico descrevem a **fase dinâmica, ou campo próximo**.

Ao final da fase de colapso dinâmico, tem início a terceira e última fase, denominada de **dispersão passiva, ou campo afastado**, em que o efluente, a não ser pela velocidade vertical associada a cada constituinte, não possui movimento próprio e segue apenas a dinâmica local. Partículas minerais, como cascalho e materiais pesados, podem se desprender da pluma dependendo da velocidade de deposição e da taxa de entranhamento da água na pluma.

2.1.1 Descrição do Modelo

O modelo computacional escolhido para esse estudo foi o **DREAM** (*Dose-Related Exposure Assessment Model*), desenvolvido pela SINTEF para estimar o comportamento e o destino de diversos tipos de efluente (incluindo cascalhos e fluidos de perfuração) no ambiente marinho, tanto na coluna d'água quanto no leito oceânico.

Os processos físico-químicos que regem o modelo são calculados separadamente para cada componente do efluente. Os principais componentes do sistema DREAM são um modelo de campo próximo (Plume3D) e um modelo de trajetória em três dimensões (REED & HETLAND, 2002; RYE *et al.*, 2006; JOHANSEN & DURGUT, 2006).

Um fluxograma representativo do algoritmo do modelo DREAM é apresentado na Figura 3.

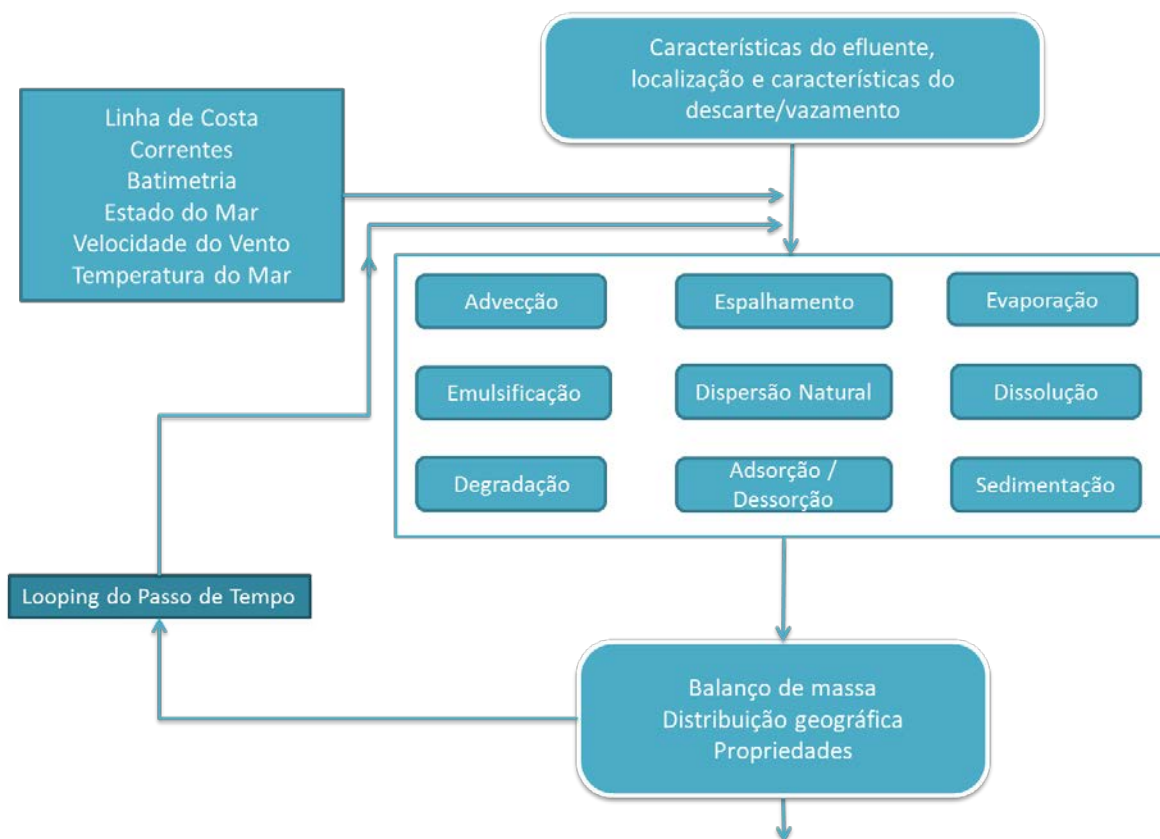


Figura 3: Fluxograma representativo do algoritmo do modelo DREAM. Adaptado de Reed & Hetland (2002).

2.1.2 Equações Governantes

A formulação numérica do modelo de campo próximo (Plume3D) é baseada nas formulações de Koh & Chang (1973). Em relação à dispersão passiva, emprega-se um método lagrangiano descrito em Reed & Hetland (2002).

O movimento de uma pluma é regido por equações de conservação de massa e volume, *momentum*, fluatibilidade e partículas sólidas, sal e entalpia. O termo pluma refere-se ao material descartado na coluna d'água, sob ação dos regimes de jato, colapso dinâmico, ou dispersão passiva.

Nas **fases dinâmicas (jato e colapso dinâmico)**, as variações dessas quantidades ocorrem ao longo do eixo no qual a pluma se direciona (centro de massa da pluma). Sendo, portanto, as taxas de mudanças descritas como derivadas em relação a esse eixo.

As equações de conservação que governam o movimento são:

Massa:

$$\frac{d}{ds}(\rho Q) = E\rho_a - \sum_i S_i \rho_i \quad (1)$$

onde Q é a vazão, ρ a densidade do efluente, ρ_a é a densidade do ambiente, ds é a variação do comprimento do eixo, E o entranhamento, ρ_i é a densidade do i -ésimo constituinte ao longo do eixo do jato e S_i a taxa de variação de volume deste elemento.

Momentum (Quantidade de Movimento):

A taxa de variação da quantidade de movimento ao longo do eixo do jato é representada pelo fluxo de fluabilidade mais o entranhamento de quantidade de movimento do ambiente, menos o somatório da taxa de quantidade de movimento de cada constituinte que passa pelo jato, mais a força de arrasto:

$$\frac{d}{ds}(\rho Q U) = \pi b^2 g(\rho - \rho_a) J + E\rho_a U_a - \sum_i (S_i \rho_i U) + F_D \quad (2)$$

Sendo g a aceleração da gravidade, J é o vetor unitário na direção vertical, U_a é a velocidade das correntes ambientais, F_D é a força de arrasto e b é o raio do jato.

Flutuabilidade:

Representada pela taxa de entranhamento do fluido ambiente devido ao empuxo menos o somatório das taxas de saída de constituintes do jato:

$$\frac{d}{ds}(Q(\rho_a(0) - \rho)) = E(\rho_a(0) - \rho_a) - \sum_i S_i(\rho_a(0) - \rho_i) \quad (3)$$

Partículas sólidas:

$$\frac{dP_i}{ds} = -S_i \quad (4)$$

Temperatura:

$$\frac{d}{ds}(Q(T_d - T_a)) = E(T_d - T_a) \quad (5)$$

T_d e T_a sendo a temperatura do efluente e do ambiente, respectivamente.

Salinidade:

$$\frac{d}{ds}(Q(S_d - S_a)) = E(S_d - S_a) \quad (6)$$

S_d e S_a sendo a salinidade do efluente e do ambiente, respectivamente.

Fluxo de volume:

$$Q = \pi b^2 |\vec{U}| \quad (7)$$

b sendo o raio da seção transversal da pluma e U a velocidade da pluma.

Como já citado, uma vez terminada a fase dinâmica da pluma tem início a fase de dispersão passiva. O esquema de dispersão utilizado nesta etapa é um modelo lagrangiano, descrito em Reed & Hetland (2002). Segundo os autores, o modelo DREAM é baseado na equação geral de transporte:

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} + \vec{V} \times \vec{\nabla} C_i = \vec{V} \times D_k \vec{\nabla} C_i + \sum_{j=1}^n r_j C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ji} C_i \quad (8)$$

onde C_i é a concentração do i^o componente químico liberado; t é o tempo; \vec{V} é o vetor de transporte advectivo; $\vec{\nabla}$ é o operador gradiente; e D_k é o coeficiente de dispersão turbulenta em $k =$ direções x, y e z. Os termos r_j representam as variações dos processos físico-químicos.

Os termos referentes à degradação, r_{ij} , controlam a degradação de subprodutos, como a transferência de massa de um componente para outro. Desta forma, as mudanças nas propriedades toxicológicas permanecem retidas no modelo.

Concentrações dos componentes do fluido na coluna d'água são calculadas a partir da distribuição de pseudopartículas Lagrangianas no tempo e espaço. Cada partícula matemática representa, conceitualmente, uma nuvem Gaussiana de componentes dissolvidos, gotículas, ou

partículas em decantação. Os campos de concentração são constituídos a partir da superposição de todas essas nuvens. Cada nuvem consiste de um elipsoide com uma partícula em seu centro, e semieixos definidos como uma função de tempo da partícula. A distribuição teórica da massa dentro do elipsoide é Gaussiana, com seus desvios padrões nas direções x , y e z (CSANADY, 1973 *apud* REED & HETLAND, 2002):

$$\sigma_i = \sqrt{2k_i t} \quad (9)$$

$$C = \frac{m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad (10)$$

onde x , y , z são as coordenadas do ponto de interesse; x_0 , y_0 , z_0 são as coordenadas do centro de massa da nuvem; σ_x^2 , σ_y^2 , σ_z^2 são as variâncias e m a massa.

Cada um desses elipsoides geralmente contribui em massa para muitas células no campo de concentração; e elipsoides vizinhos geralmente se sobrepõem espacialmente. Então, uma determinada célula do campo de concentração contém uma concentração resultante da presença de múltiplas nuvens de partículas próximas. Esse esquema remove grande parte da dependência do campo de concentração calculado sobre o número de partículas e a resolução da grade.

Os processos físico-químicos que regem o comportamento do efluente são:

Advecção e Dispersão

A advecção é calculada a partir da sobreposição de uma velocidade média local a uma componente turbulenta escolhida aleatoriamente. Geralmente, essa velocidade média local é a soma das componentes climatológicas, de maré e geradas pelos ventos e ondas (Stokes). Essas componentes especificadas são então interpoladas e somadas à componente turbulenta. A partir desse somatório, é calculada a advecção na coluna d'água. A componente turbulenta (w') é expressa como:

$$w' = \sqrt{6k / \Delta t} \quad (11)$$

onde k é o coeficiente de dispersão turbulenta estimado para as direções horizontais e verticais.

O coeficiente de dispersão horizontal pode ser aproximado a partir de dados obtidos em estudos de dispersão de corantes, como os de Okubo (1971, 1974 *apud* REED & HETLAND, 2002) e revisados posteriormente por Bowden (1983 *apud* REED & HETLAND, 2002):

$$K_x = 0,0027t^{1,34} \quad (12)$$

para K em cm^2/s e t em segundos.

O coeficiente de difusão turbulenta vertical acima da pycnoclina é relacionado às condições de onda, segundo Ichiye (1967 *apud* REED & HETLAND, 2002):

$$K_z = 0,0028 \frac{H^2}{T} \exp(-2kz) \quad (13)$$

sendo H a altura da onda, T o período de onda e k o número da onda.

Abaixo da profundidade da pycnoclina, K_z é assumido como uma constante de valor $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (KULLENBERG, 1982 *apud* REED & HETLAND, 2002). Na ausência da pycnoclina, a equação de Ichiye é aplicada da superfície ao fundo.

O deslocamento vertical das partículas é calculado a partir da sobreposição de uma velocidade turbulenta aleatória a uma velocidade ascendente (ou descendente). As velocidades verticais diferenciais são calculadas usando a média harmônica de dois extremos, uma vez que o coeficiente de arrasto é uma função do número de Reynolds (JOHANSEN, 2000 *apud* REED & HETLAND, 2002):

$$w_{rise} = 1/(w_1^{-1} + w_2^{-1}), \text{ solução combinada} \quad (14)$$

$$w_1 = d^2 g' / 18\nu, \text{ (para número de Reynolds} < 1000), \text{ e} \quad (15)$$

$$w_2 = \sqrt{3d/|g'|}, \text{ (para número de Reynolds} > 1000) \quad (16)$$

Onde

$g' = g(\rho_\alpha - \rho_0) / \rho_\alpha$, g é a aceleração gravitacional e ν a viscosidade cinemática da água ($\sim 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).

Dissolução

A dissolução é dependente da fração molar de cada componente presente no efluente. A concentração ambiental também é um fator importante, principalmente próximo ao local de descarte/vazamento. A equação que governa a dissolução do componente i é:

$$dm_i / dt = K_d A (F_i S_i - C_i) \quad (17)$$

onde, K_d é o coeficiente de transferência de massa por dissolução, em m/s; A a área superficial do efluente, em m²; F_i a fração molar do componente i remanescente no efluente; S_i a solubilidade do componente i , em g/m³, ppm; e C_i a concentração ambiente do componente i , em g/m³.

Adsorção

A adsorção desempenha um papel importante no transporte e destino dos poluentes no ambiente aquático. Ela determina a extensão do particionamento de um poluente entre a fase de particulado em suspensão e a fase dissolvida, modulando, desta forma, os efeitos tóxicos e a taxa de remoção da coluna d'água para os sedimentos.

2.2. Estratégias de Modelagem

No modelo DREAM são necessários os seguintes parâmetros para a caracterização do descarte:

- » Duração do descarte;
- » Extensão da seção;
- » Vazão;
- » Diâmetro da fonte;
- » Profundidade de descarte;
- » Angulação da fonte;
- » Inclinação vertical da fonte;
- » Densidade e massa do cascalho;
- » Densidade e massa dos componentes sólidos e líquidos do fluido aderido;

- » Massa total do fluido aderido.

2.2.1 Distribuição Granulométrica dos Sólidos

A distribuição granulométrica dos sólidos é intrínseca ao local, sendo dependente das condições da perfuração, características geológicas e da formulação dos fluidos utilizados (BRANDSMA & SMITH, 1999). Como não ocorreu a perfuração do poço em questão, dados granulométricos específicos desta atividade não estão disponíveis. Por isso, recorreu-se a distribuições granulométricas amplamente utilizadas pela comunidade científica.

Na ausência de dados específicos para o local – que só estarão disponíveis após a perfuração –, a melhor aproximação que pode ser feita para efeito de prognóstico de impacto deve ser obtida através do uso de uma distribuição granulométrica genérica, como as sugeridas por Brandsma & Smith (1999). Segundo os autores, essas distribuições foram obtidas a partir de experimentos e publicações no meio científico (e.g. DAMES & MOORE, 1978; O'REILLY *et al.*, 1989; BRANDSMA, 1993), sendo aconselhável sua utilização. Essas distribuições são amplamente utilizadas pela comunidade científica, tendo sido empregada também no MAPEM (Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima), projeto desenvolvido por iniciativa dos Centros de Pesquisa das Universidades Federais do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, em parceria com a indústria brasileira de óleo e gás, representada pelo IBP (TOLDO & AYUP- ZOUAIN, 2004).

Dependendo da base do fluido, aquosa ou sintética, há mudança também na sua distribuição granulométrica. Os componentes sólidos presentes nas bases aquosas são mais finos quando comparados aos componentes sólidos de bases sintéticas. A seguir, são especificadas as distribuições granulométricas utilizadas no estudo para o cascalho e sólidos do fluido aderido, Tabela 4 e Tabela 5, e para o fluido excedente, Tabela 6.

Tabela 4: Distribuição granulométrica para os descartes de cascalho e fluido de base água.

Classe	Diâmetro (μm)	Fração (%)
1	1.067 – 3.603	24%
2	635 – 1.067	19%
3	232 – 635	20%
4	117 – 232	12%
5	45 – 117	3%
6	14 – 45	6%
7	4 – 14	8%
8	1 – 4	8%

Tabela 5: Distribuição granulométrica para os descartes de cascalho e fluido de base sintética.

Classe	Diâmetro (μm)	Fração (%)
1	23.561 – 33.942	16%
2	19.094 – 23.561	17%
3	15.098 – 19.094	17%
4	12.599 – 15.098	16%
5	10.309 – 12.599	13%
6	8.529 – 10.309	9%
7	6.923 – 8.529	6%
8	5.490 – 6.923	3%
9	4.229 – 5.490	2%
10	3.846 – 4.229	1%

Tabela 6: Distribuição granulométrica para os descartes de fluido excedente.

Classe	Diâmetro (μm)	Fração (%)
1	43 - 84	3%
2	22 - 43	12%
3	19 - 22	20%
4	17 - 19	17%
5	16 - 17	14%
6	13 - 16	12%
7	9 - 13	8%
8	6 - 9	7%
9	4 - 6	7%

2.2.2 Velocidade e Tempo de Queda dos Sólidos

No modelo DREAM, as velocidades de deposição das partículas são divididas em dois regimes: o regime de Stokes e o regime do arrasto constante (RYE *et al.*, 2008). As velocidades de

deposição dentro do regime de Stokes, para partículas de menor tamanho, são dadas pela seguinte equação:

$$W_1 = \frac{d^2 g'}{18\nu} \quad (18)$$

$$g' = g(\rho_{partícula} - \rho_{água}) / \rho_{água} \quad (19)$$

onde W_1 é a velocidade laminar de afundamento de Stokes para uma partícula; d é o diâmetro da partícula; g' é a gravidade reduzida, expressa pela equação (19); g é a gravidade padrão; ρ é a densidade da partícula ou da água do mar; ν é a viscosidade cinemática ($1,358 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, em uma água com 10°C).

A segunda contribuição para a deposição das partículas é o regime de arrasto constante com fricção dominante, para partículas maiores. Uma expressão geral para essa velocidade de queda pode ser derivada a partir do balanço entre as forças de flutuação e de arrasto que atuam na partícula (HU & KINTNER, 1955 *apud* RYE *et al.*, 2008), calculada da seguinte forma:

$$W_2 = \sqrt{\frac{4dg'}{3C_D}} \quad (20)$$

O coeficiente de arrasto C_D , nesta equação, é uma função do Número de Reynolds ($Re = W_2 d / \nu$). Dessa forma, dois regimes assintóticos são identificados, o regime de Stokes e o regime de arrasto constante.

» Regime de Stokes ($Re < 1$):

$$W_1 = \frac{d^2 g'}{18\nu} \quad (21)$$

» Regime de arrasto constante ($Re < 1000$):

$$W_2 = K\sqrt{4dg'} \quad (22)$$

onde K é uma constante empírica adimensional. Para valores intermediários do Número de Reynolds ($1 < Re < 1000$), uma equação de interpolação para a velocidade de deposição total W da partícula pode ser utilizada, da seguinte forma:

$$W = \frac{I}{\left(\frac{I}{W_1} + \frac{I}{W_2} \right)} \quad (23)$$

A constante empírica K é escolhida de forma que a correspondência seja alcançada entre a velocidade de deposição dominada pela fricção. Essa equação considera as partículas como não esféricas e, portanto, com velocidades de deposição menor que as partículas esféricas.

Para fluidos de base água, assume-se que a maior parte dos produtos químicos existentes é dissolvida na coluna d'água. Para outros tipos de fluido (base óleo e sintética), a dissolução dos produtos químicos na coluna d'água ocorre mais lentamente.

Conhecendo a profundidade na qual o efluente será descartado e a velocidade de queda de cada partícula, é possível avaliar o tempo de chegada das partículas ao assoalho oceânico. Essa estimativa, em uma aproximação linear, pode ser realizada pela divisão da camada a ser percorrida pela velocidade de queda de cada classe de grão.

A seguir, as velocidades e os tempos de deposição serão apresentados separadamente para ambos os pontos, já que, por suas profundidades serem distintas, há diferença na altura que as partículas sólidas percorrem quando descartadas da superfície. Para as seções sem *riser*, o descarte foi considerado a 1 m acima do fundo.

2.2.2.1 Ponto 01

O cálculo da velocidade e tempo de deposição das partículas foi realizado para o cascalho (Tabela 7 e Tabela 8), para os sólidos do fluido aderido (Tabela 9 a Tabela 11) e para o fluido excedente (Tabela 14). As densidades aqui especificadas são referentes somente aos compostos sólidos, tendo sido especificadas na Tabela 3.

Tabela 7: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções I e II (seções sem *riser*). Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2600,00	2,65E-01	1,05E-03	< 1
2	2600,00	1,27E-01	2,19E-03	< 1
3	2600,00	6,03E-02	4,61E-03	< 1
4	2600,00	1,65E-02	1,68E-02	< 1
5	2600,00	4,84E-03	5,74E-02	< 1
6	2600,00	6,84E-04	4,06E-01	< 1
7	2600,00	6,53E-05	4,25E+00	< 1
8	2600,00	5,24E-06	5,30E+01	2,2

Tabela 8: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções III a VI (seções com *riser*). Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.600	2,65E-01	2,00E+00	< 1
2	2.600	1,27E-01	4,19E+00	< 1
3	2.600	6,03E-02	8,80E+00	< 1
4	2.600	1,65E-02	3,22E+01	1,3
5	2.600	4,84E-03	1,10E+02	4,6
6	2.600	6,84E-04	7,76E+02	32,3
7	2.600	6,53E-05	8,12E+03	338,5
8	2.600	5,24E-06	1,01E+05	4221,7

Tabela 9: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção I e II. Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	1.150	6,66E-02	4,17E-03	< 1
2	1.150	2,09E-02	1,33E-02	< 1
3	1.150	8,01E-03	3,47E-02	< 1
4	1.150	1,53E-03	1,81E-01	< 1
5	1.150	3,84E-04	7,23E-01	< 1
6	1.150	5,43E-05	5,12E+00	< 1
7	1.150	5,18E-06	5,36E+01	2,2
8	1.150	4,16E-07	6,68E+02	27,8

Tabela 10: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção III. Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	1.830	1,85E-01	2,87E+00	< 1
2	1.830	8,14E-02	6,52E+00	< 1
3	1.830	3,65E-02	1,45E+01	< 1
4	1.830	8,93E-03	5,94E+01	2,5
5	1.830	2,47E-03	2,14E+02	8,9
6	1.830	3,50E-04	1,52E+03	63,2
7	1.830	3,34E-05	1,59E+04	662,3
8	1.830	2,68E-06	1,98E+05	8259,9

Tabela 11: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção IV. Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.572,86	2,63E-01	2,02E+00	< 1
2	2.572,86	1,25E-01	4,24E+00	< 1
3	2.572,86	5,95E-02	8,91E+00	< 1
4	2.572,86	1,62E-02	3,27E+01	1,4
5	2.572,86	4,76E-03	1,12E+02	4,6
6	2.572,86	6,72E-04	7,89E+02	32,9
7	2.572,86	6,42E-05	8,27E+03	344,5
8	2.572,86	5,15E-06	1,03E+05	4295,7

Tabela 12: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção V. Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.130	3,09E-01	1,72E+00	< 1
2	3.130	1,52E-01	3,48E+00	< 1
3	3.130	7,43E-02	7,14E+00	< 1
4	3.130	2,14E-02	2,48E+01	1,0
5	3.130	6,47E-03	8,20E+01	3,4
6	3.130	9,14E-04	5,80E+02	24,2
7	3.130	8,73E-05	6,08E+03	253,3
8	3.130	7,00E-06	7,58E+04	3158,8

Tabela 13: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção VI. Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.563,33	3,41E-01	1,55E+00	< 1
2	3.563,33	1,71E-01	3,10E+00	< 1
3	3.563,33	8,49E-02	6,25E+00	< 1
4	3.563,33	2,53E-02	2,10E+01	< 1
5	3.563,33	7,80E-03	6,80E+01	2,8
6	3.563,33	1,10E-03	4,81E+02	20,0
7	3.563,33	1,05E-04	5,04E+03	210,1
8	3.563,33	8,44E-06	6,29E+04	2619,5

Tabela 14: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção III. Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	1.830	1,40E-03	3,78E+02	15,8
2	1.830	3,67E-04	1,44E+03	60,2
3	1.830	1,33E-04	3,99E+03	166,2
4	1.830	1,02E-04	5,18E+03	216,00
5	1.830	8,58E-05	6,18E+03	257,6
6	1.830	6,69E-05	7,93E+03	330,4
7	1.830	3,94E-05	1,35E+04	561,7
8	1.830	1,84E-05	2,88E+04	1200,1
9	1.830	8,19E-06	6,48E+04	2700,3

Tabela 15: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção IV. Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.572,86	2,70E-03	1,97E+02	8,2
2	2.572,86	7,06E-04	7,51E+02	31,3
3	2.572,86	2,56E-04	2,07E+03	86,4
4	2.572,86	1,97E-04	2,70E+03	112,3
5	2.572,86	1,65E-04	3,22E+03	134,0
6	2.572,86	1,29E-04	4,12E+03	171,8
7	2.572,86	7,57E-05	7,01E+03	292,1
8	2.572,86	3,54E-05	1,50E+04	624,2
9	2.572,86	1,57E-05	3,37E+04	1404,4

Tabela 16: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção V. Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.130	3,67E-03	1,45E+02	6,0
2	3.130	9,60E-04	5,52E+02	23,0
3	3.130	3,48E-04	1,53E+03	63,5
4	3.130	2,68E-04	1,98E+03	82,6
5	3.130	2,24E-04	2,36E+03	98,5
6	3.130	1,75E-04	3,03E+03	126,3
7	3.130	1,03E-04	5,16E+03	214,8
8	3.130	4,82E-05	1,10E+04	459,0
9	3.130	2,14E-05	2,48E+04	1032,7

Tabela 17: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção VI. Ponto 01.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.563,33	4,42E-03	1,20E+02	5,0
2	3.563,33	1,16E-03	4,58E+02	19,1
3	3.563,33	4,19E-04	1,26E+03	52,7
4	3.563,33	3,23E-04	1,64E+03	68,5
5	3.563,33	2,71E-04	1,96E+03	81,7
6	3.563,33	2,11E-04	2,51E+03	104,8
7	3.563,33	1,24E-04	4,28E+03	178,1
8	3.563,33	5,81E-05	9,13E+03	380,6
9	3.563,33	2,58E-05	2,06E+04	856,4

2.2.2.2 Ponto 02

O cálculo da velocidade e tempo de deposição das partículas foi realizado para o cascalho (Tabela 18 e Tabela 19), para os sólidos do fluido aderido (Tabela 20 a Tabela 24) e para o fluido excedente (Tabela 25 a Tabela 28). As densidades aqui especificadas são referentes somente aos compostos sólidos, tendo sido especificadas na Tabela 3.

Tabela 18: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções I e II (seções sem *riser*). Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2600,00	2,65E-01	1,05E-03	< 1
2	2600,00	1,27E-01	2,19E-03	< 1
3	2600,00	6,03E-02	4,61E-03	< 1
4	2600,00	1,65E-02	1,68E-02	< 1
5	2600,00	4,84E-03	5,74E-02	< 1
6	2600,00	6,84E-04	4,06E-01	< 1
7	2600,00	6,53E-05	4,25E+00	< 1
8	2600,00	5,24E-06	5,30E+01	2,2

Tabela 19: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções III a VI (seções com *riser*). Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.600	2,65E-01	5,28E-01	< 1
2	2.600	1,27E-01	1,11E+00	< 1
3	2.600	6,03E-02	2,32E+00	< 1
4	2.600	1,65E-02	8,49E+00	< 1
5	2.600	4,84E-03	2,89E+01	1,2
6	2.600	6,84E-04	2,05E+02	8,5
7	2.600	6,53E-05	2,14E+03	89,3
8	2.600	5,24E-06	2,67E+04	1114,0

Tabela 20: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção I e II. Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	1.150	6,66E-02	4,17E-03	< 1
2	1.150	2,09E-02	1,33E-02	< 1
3	1.150	8,01E-03	3,47E-02	< 1
4	1.150	1,53E-03	1,81E-01	< 1
5	1.150	3,84E-04	7,23E-01	< 1
6	1.150	5,43E-05	5,12E+00	< 1
7	1.150	5,18E-06	5,36E+01	2,2
8	1.150	4,16E-07	6,68E+02	27,8

Tabela 21: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção III. Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	1.830	1,85E-01	7,57E-01	< 1
2	1.830	8,14E-02	1,72E+00	< 1
3	1.830	3,65E-02	3,83E+00	< 1
4	1.830	8,93E-03	1,57E+01	< 1
5	1.830	2,47E-03	5,66E+01	2,3
6	1.830	3,50E-04	4,00E+02	16,7
7	1.830	3,34E-05	4,19E+03	174,8
8	1.830	2,68E-06	5,23E+04	2179,6

Tabela 22: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção IV. Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.572,86	2,63E-01	5,33E-01	< 1
2	2.572,86	1,25E-01	1,12E+00	< 1
3	2.572,86	5,95E-02	2,35E+00	< 1
4	2.572,86	1,62E-02	8,62E+00	< 1
5	2.572,86	4,76E-03	2,94E+01	1,2
6	2.572,86	6,72E-04	2,08E+02	8,7
7	2.572,86	6,42E-05	2,18E+03	90,9
8	2.572,86	5,15E-06	2,72E+04	1133,5

Tabela 23: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção V. Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.130	3,09E-01	4,53E-01	< 1
2	3.130	1,52E-01	9,19E-01	< 1
3	3.130	7,43E-02	1,88E+00	< 1
4	3.130	2,14E-02	6,54E+00	< 1
5	3.130	6,47E-03	2,16E+01	< 1
6	3.130	9,14E-04	1,53E+02	6,4
7	3.130	8,73E-05	1,60E+03	66,8
8	3.130	7,00E-06	2,00E+04	833,5

Tabela 24: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido da seção VI. Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.563,33	3,41E-01	4,10E-01	< 1
2	3.563,33	1,71E-01	8,18E-01	< 1
3	3.563,33	8,49E-02	1,65E+00	< 1
4	3.563,33	2,53E-02	5,54E+00	< 1
5	3.563,33	7,80E-03	1,79E+01	< 1
6	3.563,33	1,10E-03	1,27E+02	5,3
7	3.563,33	1,05E-04	1,33E+03	55,4
8	3.563,33	8,44E-06	1,66E+04	691,2

Tabela 25: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção III. Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	1.830	1,40E-03	9,99E+01	4,2
2	1.830	3,67E-04	3,81E+02	15,9
3	1.830	1,33E-04	1,05E+03	43,8
4	1.830	1,02E-04	1,37E+03	57,0
5	1.830	8,58E-05	1,63E+03	68,0
6	1.830	6,69E-05	2,09E+03	87,2
7	1.830	3,94E-05	3,56E+03	148,2
8	1.830	1,84E-05	7,60E+03	316,7
9	1.830	8,19E-06	1,71E+04	712,5

Tabela 26: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção IV. Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.572,86	2,70E-03	5,19E+01	2,2
2	2.572,86	7,06E-04	1,98E+02	8,3
3	2.572,86	2,56E-04	5,47E+02	22,8
4	2.572,86	1,97E-04	7,12E+02	29,6
5	2.572,86	1,65E-04	8,49E+02	35,3
6	2.572,86	1,29E-04	1,09E+03	45,3
7	2.572,86	7,57E-05	1,85E+03	77,1
8	2.572,86	3,54E-05	3,95E+03	164,7
9	2.572,86	1,57E-05	8,89E+03	370,6

Tabela 27: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção V. Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.130	3,67E-03	3,82E+01	1,6
2	3.130	9,60E-04	1,46E+02	6,1
3	3.130	3,48E-04	4,02E+02	16,8
4	3.130	2,68E-04	5,23E+02	21,8
5	3.130	2,24E-04	6,24E+02	26,0
6	3.130	1,75E-04	8,00E+02	33,3
7	3.130	1,03E-04	1,36E+03	56,7
8	3.130	4,82E-05	2,91E+03	121,1
9	3.130	2,14E-05	6,54E+03	272,5

Tabela 28: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente da seção VI. Ponto 02.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.563,33	4,42E-03	3,17E+01	1,3
2	3.563,33	1,16E-03	1,21E+02	5,0
3	3.563,33	4,19E-04	3,34E+02	13,9
4	3.563,33	3,23E-04	4,34E+02	18,1
5	3.563,33	2,71E-04	5,17E+02	21,6
6	3.563,33	2,11E-04	6,64E+02	27,6
7	3.563,33	1,24E-04	1,13E+03	47,0
8	3.563,33	5,81E-05	2,41E+03	100,4
9	3.563,33	2,58E-05	5,42E+03	226,0

2.2.3 Tempo de Simulação

Para a estimativa do tempo de simulação, é necessário o conhecimento do tempo total gasto para o descarte de todo o material e, ainda, do tempo ao qual este material estará sujeito à deposição no ambiente, como o apresentado no item 2.2.2 (Velocidade e Tempo de Queda dos Sólidos).

Estima-se que, neste estudo, o tempo total de descarte será de 25,78 dias – soma dos tempos previstos para o descarte de todas as seções. O tempo de simulação deve ser suficiente para que a maior parte do material descartado seja depositada no assoalho oceânico.

Em relação à análise do tempo de queda dos sólidos, é preciso cuidado especial com aqueles que demandam maiores períodos para deposição, que foram assinalados de vermelho. É importante ressaltar que esses longos períodos são referentes a classes granulométricas

extremamente finas ($< 14 \mu\text{m}$) e são representadas por baixas frações do material. Para essas frações granulométricas, a dispersão no ambiente será tão eficiente que tais classes não formarão pilhas de deposição significativas no assoalho marinho. No entanto, contribuirão significativamente para a alteração na concentração dos sedimentos em suspensão. As demais classes granulométricas levam menos de 1 dia para sua total deposição. Nota-se que todas as classes que obtiveram tempo de deposição superior a 1 dia são referentes às seções com *riser*, ou seja, aquelas em que o descarte ocorre em superfície.

Dessa forma, visando associar a melhor representação do descarte a um custo computacional viável, estipulou-se um tempo de simulação de **30 dias**, ~4 dias além do tempo total de descarte.

2.2.4 Características das Simulações

2.2.4.1 Simulações Probabilísticas

A modelagem determinística consiste em estudar o comportamento do contaminante em um determinado cenário ambiental, apresentando instantâneos deste comportamento em tempos definidos pelo usuário. Cabe à simulação probabilística averiguar o comportamento da dispersão sob a influência de uma extensa combinação de cenários ambientais e determinar a probabilidade de presença do contaminante em cada região de domínio do modelo. A Figura 4 ilustra como que um resultado probabilístico pode ser calculado a partir de n casos determinísticos.

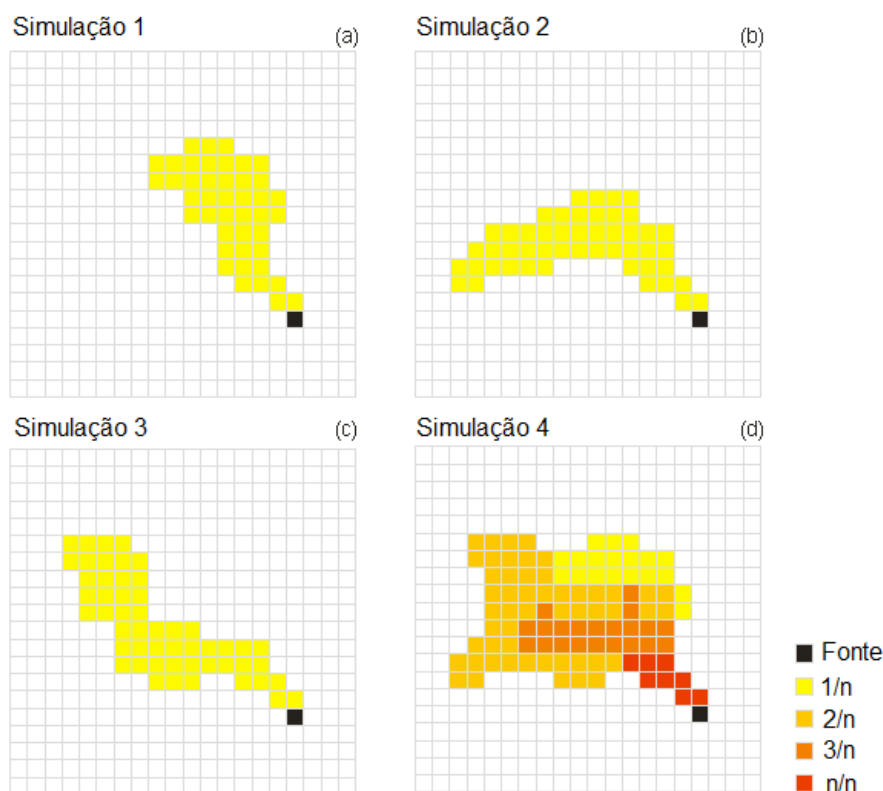


Figura 4: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença do constituinte a partir de n casos determinísticos.

Era prática usual nos estudos de licenciamento ambiental que as simulações fossem executadas a partir da seleção prévia de alguns cenários ambientais específicos, comumente separados por estações do ano – verão e inverno – ou por casos extremos de correntes – mais intensas e mais fracas. Tal prática permite um dimensionamento das espessuras e do alcance máximo dos depósitos do material descartado no assoalho marinho. Entretanto, a seleção dos cenários ambientais extremos limita a análise dos resultados a situações específicas com baixa probabilidade de ocorrência, tornando imperativo o emprego de interpretações dos resultados bem conservadoras. Para regiões de águas profundas, a incerteza da modelagem é ainda maior, quando comparada aos resultados de águas rasas. Essa questão é abordada na Nota Técnica nº 06/09, emitida pelo CGPEG/IBAMA. Para uma maior certeza sobre as reais áreas potencialmente impactadas e espessuras formadas, é necessário um estudo probabilístico, no qual uma grande quantidade de cenários ambientais possíveis é avaliada e não apenas os casos extremos.

Mesmo com o advento dos modelos numéricos de simulação de cascalho e fluido aderido, todos ainda são limitados a simulações determinísticas, ao contrário dos modelos numéricos de dispersão de óleo, que apresentam análises em cenários probabilísticos. Dessa forma, foi proposta pela PROOCEANO, a aplicação de uma metodologia que consiste em simular um

determinado número de casos determinísticos no DREAM e após a obtenção desses resultados, extrair qual seria a probabilidade de ocorrência do constituinte para cada ponto de grade.

A aplicação desta metodologia consome um maior tempo para processamento e pós-processamento dos dados, em comparação com os modelos probabilísticos de óleo, mas sua confecção é viável. Esse tempo é variável e dependente da quantidade de cenários determinísticos simulados e do tempo de duração de cada descarte.

Dessa forma, a metodologia a ser empregada deve ser suficiente para captar a variabilidade ambiental e, ao mesmo tempo ser viável – a preparação de 300 simulações determinísticas manualmente seria inviável, por exemplo. Para tal, foi proposto a delimitação de 1 ano para análise, o qual foi dividido em verão e inverno, e para cada período foram simulados descartes de 30 dias (tempo de simulação estimado no item 2.2.3).

Para a separação em cenários sazonais, foi considerado o mesmo critério descrito na Modelagem de Óleo realizada pela empresa PROOCEANO para a mesma região: a observação das informações de ventos e correntes. O período de **verão** compreende os meses de **outubro a março** e os meses de **abril a setembro**, caracterizam o período de **inverno**.

A Tabela 29 apresenta o número de simulações determinísticas realizadas para cada período sazonal escolhido: verão e inverno. O intervalo entre cada simulação, tanto de verão quanto de inverno, foi de 5 dias.

Tabela 29: Número de simulações determinísticas realizadas para compor cada um dos cenários probabilísticos escolhidos.

Cenários Sazonais	Número de Simulações
Verão	31
Inverno	31

O maior impacto causado pelo descarte de cascalho e fluido aderido, resultante da perfuração marítima, é o acúmulo de sólidos no fundo oceânico. Ainda levando em conta a viabilidade do trabalho – uma modelagem probabilística dos sólidos em suspensão demandaria o dobro das simulações determinísticas realizadas, já que essas demandam normalmente uma grade maior (item 2.2.6) e um maior refinamento temporal (passo de tempo e *output* – Tabela 30 e Tabela 31) – e a importância dos resultados a serem apresentados, a apresentação da modelagem probabilística foi restrita às pilhas de deposição formadas no assoalho oceânico. As concentrações dos sólidos em suspensão na coluna d'água serão limitadas às apresentações dos resultados determinísticos.

Tabela 30: Passo de tempo e *output* utilizados nas simulações, distintos para os resultados de deposição e suspensão do ponto 01.

Resultados	Passo de Tempo (min)	Output (h)
Pilhas de Deposição	5	6
Sólidos em Suspensão	5	2

Tabela 31: Passo de tempo e *output* utilizados nas simulações, distintos para os resultados de deposição e suspensão do ponto 02.

Resultados	Passo de Tempo (min)	Output (h)
Pilhas de Deposição	5	6
Sólidos em Suspensão	2	2

2.2.4.2 Simulações Determinísticas

Para a escolha dos cenários determinísticos a serem apresentados, foram considerados dois critérios: **espessura máxima** e **distância máxima da fonte**. Dessa forma, dentre todos os cenários determinísticos obtidos, tanto para o verão como para o inverno, serão escolhidos dois casos distintos, aquele em que foi obtido o valor máximo de espessura no fundo, e o que obteve a maior distância da fonte, considerando o limiar mais conservador (0,01 mm).

Para estas simulações serão apresentados resultados referentes às pilhas de deposição e às plumas de sólidos em suspensão.

2.2.5 Limiar de Monitoramento

2.2.5.1 Pilhas de Deposição

O estudo de Kjeilen-Eilertsen *et al.* (2004) apresenta uma revisão bibliográfica (KRANZ, 1974; MAURER *et al.*, 1980 e 1981; BELLCHAMBERS & RICHARDSON, 1995; CHANDRASEKARA & FRID, 1998; HOLTHAUS *et al.*, 2003) dos limites mínimos de espessura para os quais são identificados efeitos nocivos em diversos grupos e espécies de organismos bentônicos. São considerados quatro efeitos críticos para análise: mortalidade, redução do crescimento da espécie, redução do assentamento larval e mudanças na composição faunística.

Dos trabalhos analisados, o estudo de Holthaus *et al.* (2003) estima a espessura mínima para a qual o soterramento não seria considerado nocivo à comunidade bentônica com base na análise de curvas SSD (Species Sensitivity Distribution). Os valores obtidos são os seguintes:

- » Para sedimentos exógenos (não-nativos): 0,96 cm;
- » Para sedimentos endógenos (nativos): 0,65 cm.

Com base nessa análise, é ainda sugerido no estudo de Kjeilen-Eilertsen *et al.* (2004) que o limite em que já não são sentidos efeitos nocivos seja de 0,5 cm, podendo este ser utilizado como limiar para estudos de modelagem de cascalho e fluidos de perfuração.

Baseado nas referências bibliográficas apresentadas acima, percebe-se que o limiar de 0,1 cm (1 mm) seria conservador o suficiente para a representação e estimativa das pilhas de deposição formadas no assoalho marinho. Entretanto, de maneira geral, os Termos de Referência elaborados pela CGPEG/DILIC/IBAMA para modelagens de cascalho e fluido aderido, normalmente, exigem que as pilhas de deposição sejam monitoradas até o limiar de 0,01 mm. Dessa forma, visando atender ao que usualmente é solicitado, os resultados serão apresentados considerando o limiar de 0,01 mm, sendo sempre comparados com o que foi obtido para 1 mm.

2.2.5.2 Sólidos em Suspensão

Smit *et al.* (2006) analisou diversos estudos prévios realizados para identificar o efeito do descarte de cascalho e fluido aderido nos organismos nectônicos. Segundo esses estudos, o menor limiar ao qual os organismos estão sujeitos a alterações significativas, em descartes com fluido de base água, foi de 10 mg/L (~10 ppm). Apesar desse limiar levar em consideração resultados de descartes de fluidos aquosos, é importante ressaltar que essa abordagem é viável, já que esses são os que se dispersam por mais tempo no ambiente, sendo os mais impactantes aos organismos nectônicos. Dessa forma, visando uma abordagem conservadora, o limiar monitorado neste estudo foi de 5 ppm.

2.2.6 Descrição da Grade

Os efeitos dos descartes de sólidos no mar variam consideravelmente de acordo com a distância vertical entre a fonte e o assoalho marinho. Nas seções onde o descarte é feito próximo ao fundo (sem utilização do *riser*), o material tende a formar uma pilha de deposição significativamente maior que aquela associada aos descartes que ocorrem junto à superfície. Por outro lado, o material descartado da superfície (com *riser*) irá percorrer uma distância maior, sofrendo influência das forçantes locais e cobrindo uma área mais extensa quando depositado. Entretanto, também há a questão do tipo de fluido que é descartado, devido a sua

menor densidade, os sólidos presentes nos fluidos de base água tendem a se dispersar mais que aqueles derivados de fluidos de base sintética.

Em estudos de modelagem, a relação entre a resolução da grade projetada e a escala do fenômeno estudado é vital na obtenção de bons resultados. Deve-se atentar para o fato de que uma grade ampla, que abranja toda a região de deposição ou de dispersão dos sólidos em suspensão, pode não ter resolução suficiente para mapear com exatidão a região de maior espessura. Da mesma forma, uma grade de alta resolução pode não cobrir uma área suficientemente grande como a que se espera para a deposição do material ou dispersão dos sólidos.

Como solução para o problema apresentado acima, é proposto o uso de duas grades distintas para cada ponto de descarte: a primeira com tamanho e resolução suficientes para representar a região de maior acúmulo de sedimentos; e a segunda, com maior área porém menos refinada, voltada para o alcance dos sólidos em suspensão. Os domínios das grades utilizadas no estudo são apresentados na Figura 5. As grades indicadas em verde são referentes às pilhas de deposição e as grades indicadas em azul estão relacionadas às plumas de sólidos em suspensão.

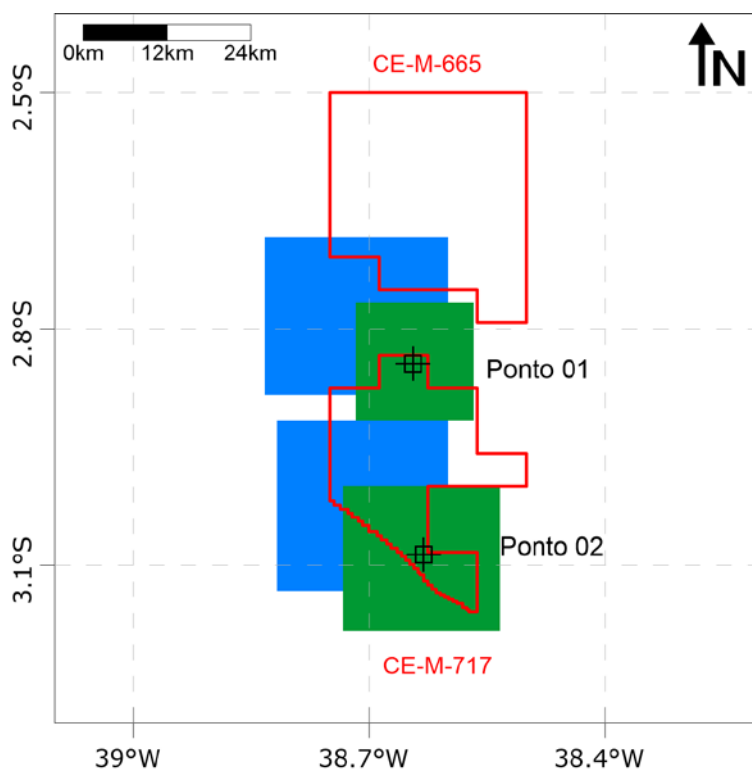


Figura 5: Domínios das grades utilizadas na modelagem para as pilhas de deposição (em verde); e para as plumas de sólidos em suspensão (em azul). (Datum SIRGAS 2000).

Para o ponto 01, a grade para a deposição apresenta um espaçamento de 25 m nas direções zonal e meridional e 31,9 m em cada nível de profundidade. Os seus limites são: ao sul, 02°55'S; ao norte, 02°46'S; a oeste, 38°43'W; e a leste, 38°34'W. Obtendo assim uma matriz com 632x625 células em superfície e 60 células verticais. Já, a grade para os sólidos em suspensão foi construída com um espaçamento de 30 m nas direções zonal e meridional e 31,9 m na direção vertical. Esta grade apresenta 829x771 células em superfície e 60 células verticais, com seus limites compreendidos entre: 02°53'S e 02°41'S, em latitude, e 38°50'W; e 38°36'W, em longitude. Para fins de modelagem, foi considerada uma profundidade uniforme de 1915 m em todo o domínio da grade, que corresponde à profundidade da lâmina d'água local informada pela PREMIER.

No ponto 02, a grade utilizada para a deposição apresenta um espaçamento de 25 m nas direções zonal e meridional e 20,4 m em cada nível de profundidade. Os seus limites são: ao sul, 03°11'S; ao norte, 03°00'S; a oeste, 38°44'W; e a leste, 38°32'W. Obtendo assim uma matriz com 913x831 células em superfície e 25 células verticais. Já, a grade para os sólidos em suspensão foi construída com um espaçamento de 30 m nas direções zonal e meridional e 20,4 m na direção vertical. Esta grade apresenta 574x595 células em superfície e 25 células verticais, com seus limites compreendidos entre: 02°55'S e 03°08'S, em latitude, e 38°49'W; e 38°36'W, em longitude. Para fins de modelagem, foi considerada uma profundidade uniforme de 509 m em todo o domínio da grade, que corresponde à profundidade da lâmina d'água local informada pela PREMIER.

2.3. Forçantes

A separação sazonal definida para o presente estudo seguiu o mesmo critério adotado no relatório de modelagem de óleo apresentado neste mesmo processo de licenciamento. O período de verão corresponde aos meses de **outubro a março** e o período de inverno, aos meses entre **abril e setembro**. Para manter a coerência, todos os parâmetros de entrada do modelo de dispersão (correntes, temperatura e salinidade do mar, ventos e temperatura do ar) serão apresentados de acordo com os períodos escolhidos.

2.3.1 Correntes

Como forçante hidrodinâmica foram utilizados os resultados do modelo hidrodinâmico, descritos no relatório de Modelagem Hidrodinâmica. As localizações dos pontos de grade mais próximos aos pontos de descarte são apresentadas na Figura 6.

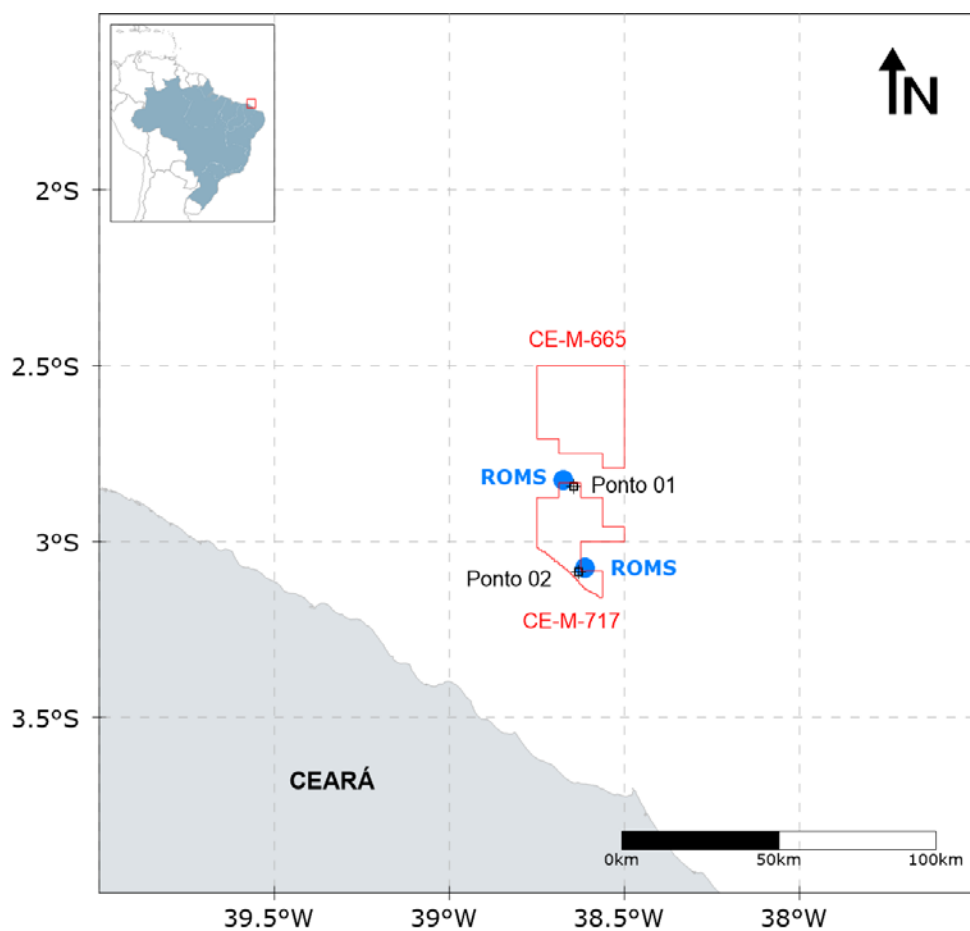


Figura 6: Localização dos pontos de grade do ROMS mais próximos aos pontos de descarte (ponto 01 e ponto 02).

A seguir, serão apresentadas as rosas de correntes obtidas para cada ponto de descarte.

2.3.1.1 Ponto 01

Na Figura 7 e na Figura 8, são apresentadas as rosas de correntes obtidas para verão e inverno, respectivamente, variando nas profundidades de 0, 300, 600 e 1.800 m, para o ponto mais próximo ao ponto 01.

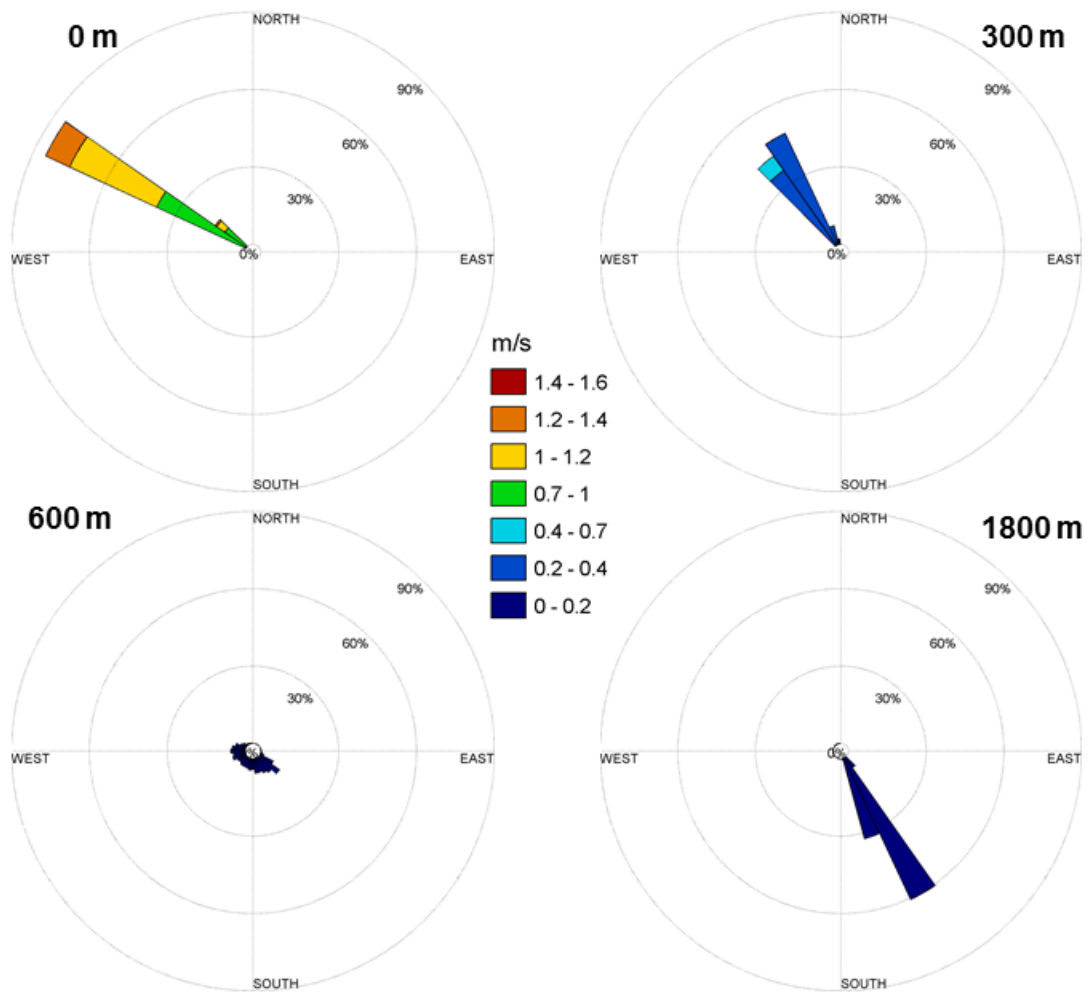


Figura 7: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 300, 600 e 1.800 metros, para o período representativo do cenário de verão, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 01.

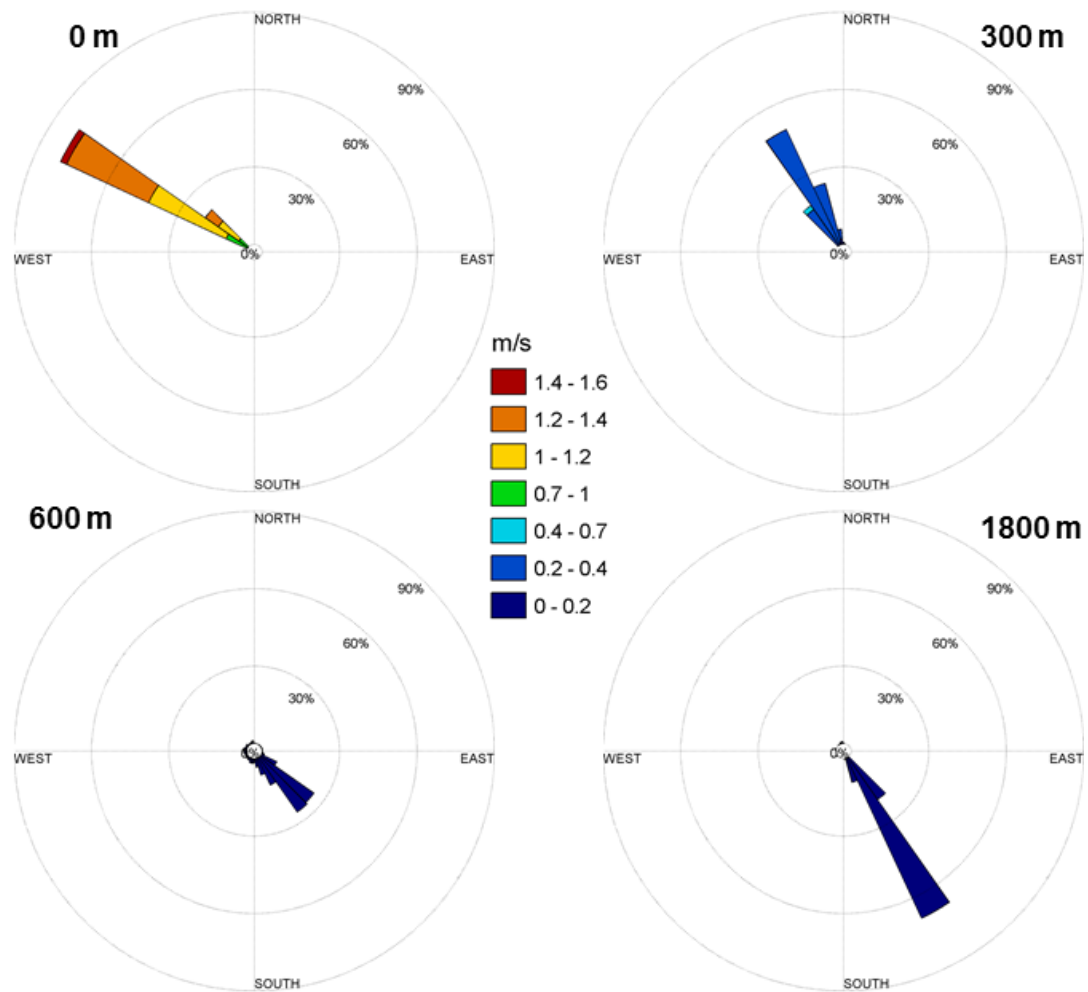


Figura 8: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 300, 600 e 1.800 metros, para o período representativo do cenário de inverno, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 01.

A Tabela 32 apresenta os valores máximos de intensidade obtidos para ambos os cenários.

Tabela 32: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários de verão e inverno, para o ponto 01.

Profundidade (m)	Intensidade Máxima (m/s)	
	Verão	Inverno
0	1,38	1,52
300	0,47	0,45
600	0,15	0,20
1800	0,13	0,20

Em ambos os cenários verifica-se uma inversão das correntes ao longo da coluna d'água. Em superfície e em 300 metros, as correntes são predominantemente para noroeste, enquanto em 600 e 1800 metros são, em sua maioria, para sudeste. Observa-se que, em profundidades elevadas, as correntes não ultrapassam 0,2 m/s. O cenário de inverno apresenta as correntes mais intensas quando comparado ao cenário de verão, com máxima de 1,52 m/s em superfície.

2.3.1.2 Ponto 02

Na Figura 9 e na Figura 10, são apresentadas as rosas de correntes obtidas para verão e inverno, respectivamente, variando nas profundidades de 0, 100, 250 e 500 m, para o ponto mais próximo ao ponto 02.

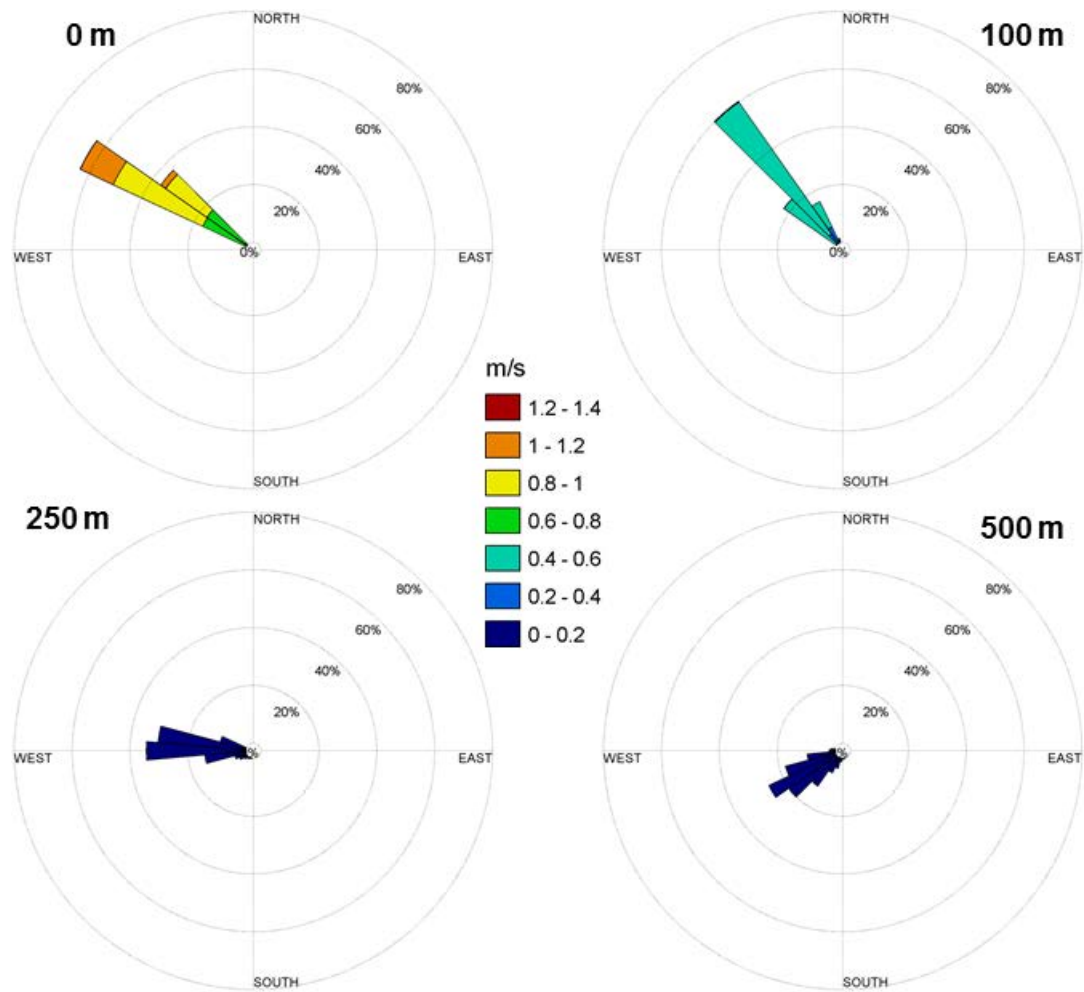


Figura 9: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 100, 250 e 500 metros, para o período representativo do cenário de verão, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 02.

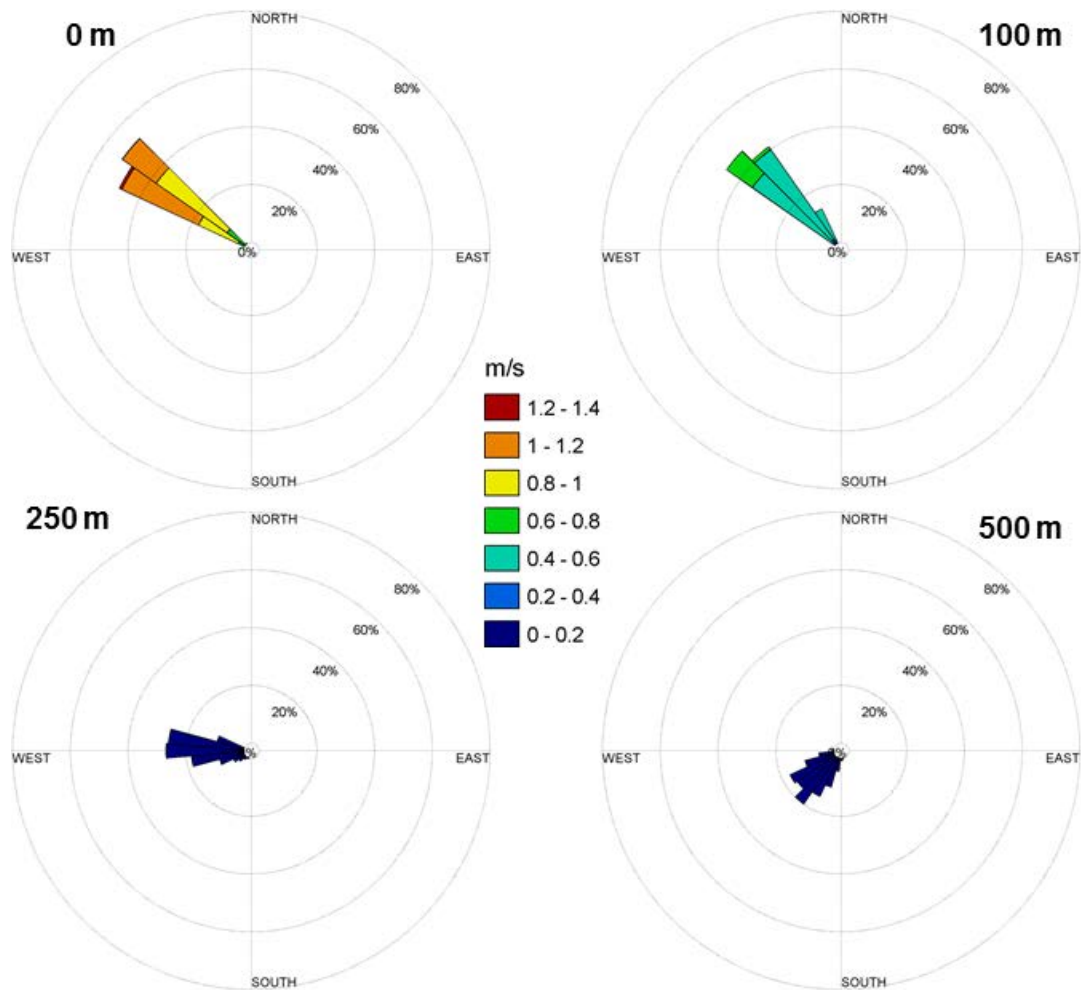


Figura 10: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 100, 250 e 500 metros, para o período representativo do cenário de inverno, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 02.

A Tabela 33 apresenta os valores máximos de intensidade obtidos para ambos os cenários.

Tabela 33: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários de verão e inverno, para o ponto 02.

Profundidade (m)	Intensidade Máxima (m/s)	
	Verão	Inverno
0	1,23	1,28
100	0,62	0,76
250	0,10	0,10
500	0,10	0,10

De maneira geral, a corrente predominante em superfície e em 100 metros de profundidade é a de noroeste. Em 250 metros observa-se uma predominância da direção oeste e, em 500 metros, a corrente de sudoeste passa a ter a maior contribuição. Em superfície, os maiores valores de velocidade são observados no inverno (1,28 m/s), enquanto que a 100 metros o maior valor é no verão, correspondendo a 0,76 m/s.

2.3.2 Temperatura e Salinidade do Mar

Para definir os perfis de temperatura e salinidade a serem incorporados na modelagem de óleo foram utilizados os dados da Análise Global do Projeto MyOcean, os mesmos utilizados na condição inicial e de contorno da Modelagem Hidrodinâmica. Os pontos de grade do MyOcean mais próximos aos pontos de descarte são apresentados na Figura 11.

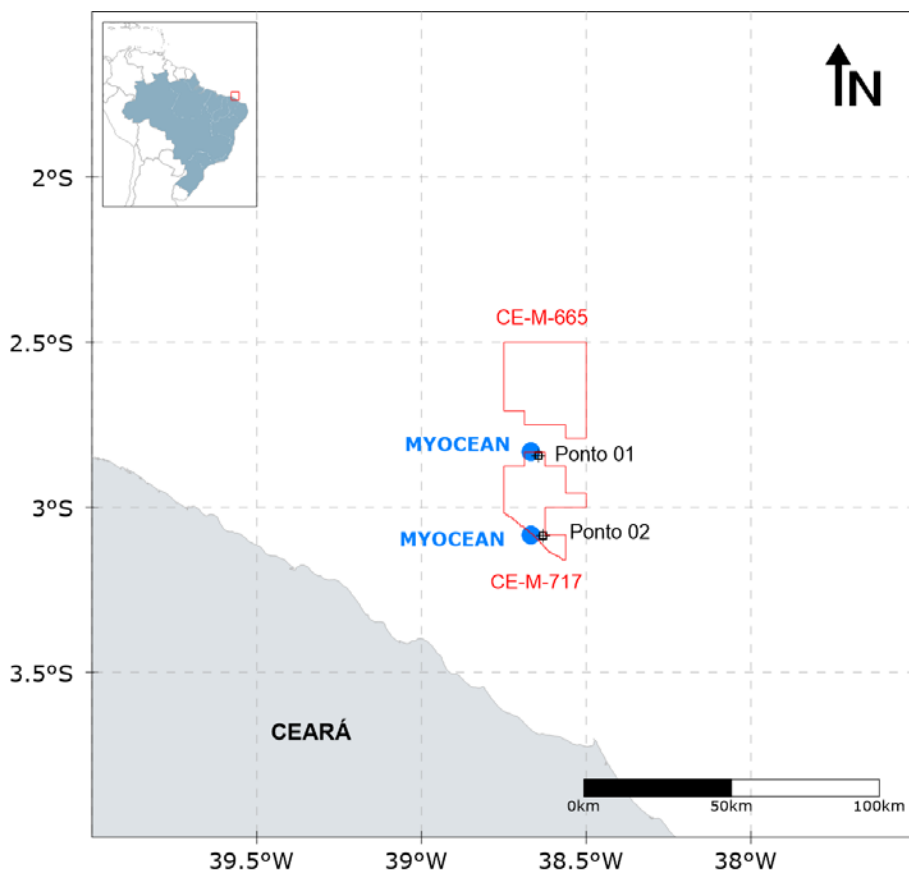


Figura 11: Localização dos pontos de grade do MyOcean mais próximos aos pontos de descarte (ponto 01 e ponto 02).

No DREAM, apesar de ser utilizada uma série temporal para representar a variabilidade dos dados de corrente, os parâmetros temperatura e salinidade não seguem esse padrão. O usuário do modelo tem a opção de inserir apenas um perfil de temperatura e salinidade para cada cenário. Desta forma, foi calculado um perfil médio desses parâmetros para cada período selecionado e para cada ponto de descarte (Figura 12 – ponto 01 e Figura 13 – ponto 02).

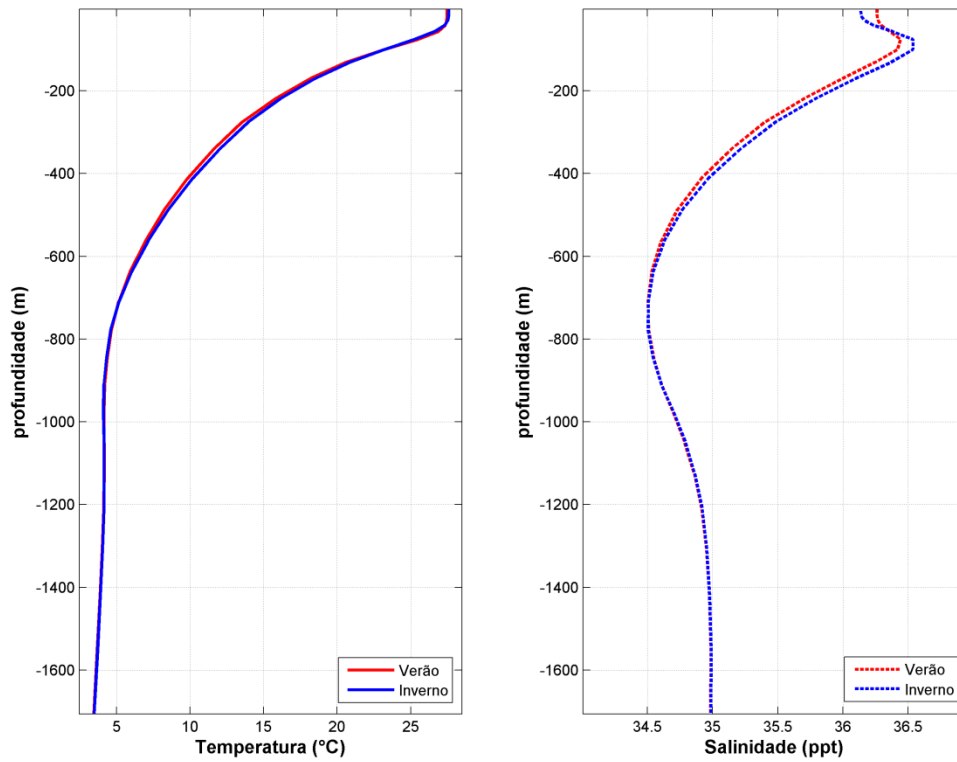


Figura 12: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto do MyOcean mais próximo ao ponto 01.

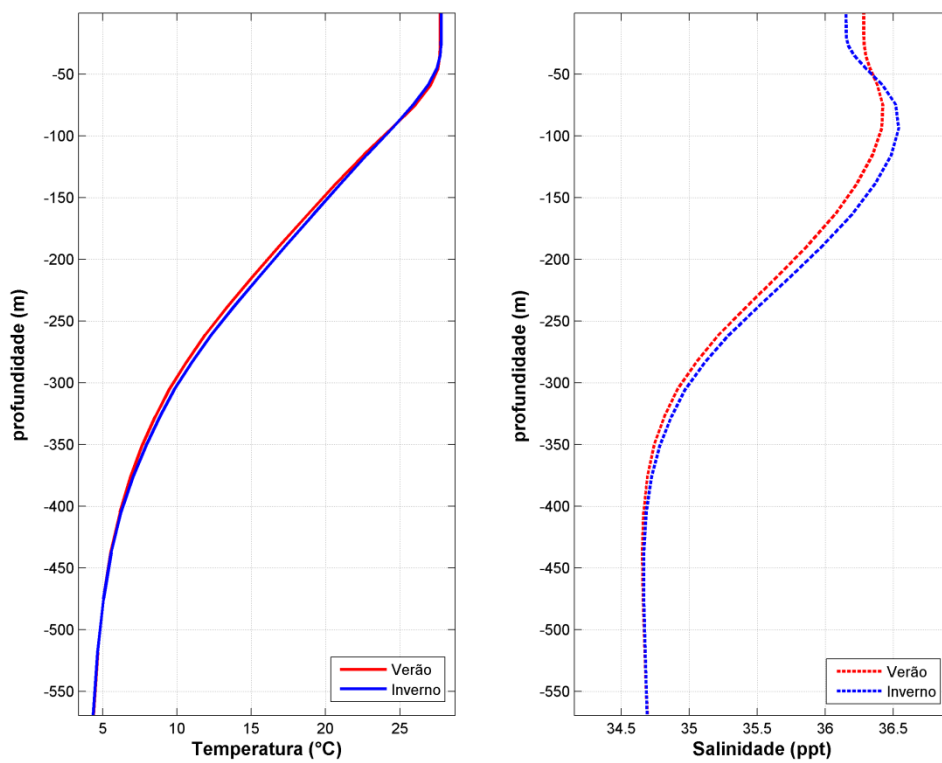


Figura 13: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto do MyOcean mais próximo ao ponto 02.

2.3.3 Ventos

Os dados de vento utilizados como forçante no modelo são provenientes das Reanálises do NCEP – *National Centers for Environmental Prediction* – (KALNAY *et al.*, 1996). A base de dados conhecida como “Reanálises do NCEP” foi originada a partir de uma cooperação entre o NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) e o NCAR (*National Center for Atmospheric Research*), com intuito de produzir inicialmente uma rede de 40 anos de dados meteorológicos globais com base nas análises dos campos atmosféricos (KALNAY *et al.*, 1996). Posteriormente, esse projeto foi ampliado para uma janela de tempo de 50 anos (KISTLER *et al.*, 2001), e atualmente, estão disponíveis mais de 60 anos (1948-atual) de dados.

A Reanálise do NCEP (R-1) usa o estado da arte em sistemas de assimilação de dados e um banco de dados mais completo possível, abrangendo informações meteorológicas primárias das mais diversas fontes associadas aos dados do modelo atmosférico global do NCEP (KISTLER *et al.*, 2001).

Estes dados são amplamente utilizados pela comunidade científica, sendo, portanto adequados para utilização em estudos dessa natureza. Os dados primários utilizados para gerar as reanálises são de diferentes origens:

- » Dados globais de radiossondas.
- » Dados da superfície do mar obtidos através do projeto COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) no período de 1983 a 1996 (14 anos), originados de diversas fontes, dentre elas, observações de navios, bóias fixas, bóias móveis e estações oceânicas próximas à superfície.
- » Dados aéreos, originados de observações por aeronaves em todo o globo, geralmente associados a projetos como GARP (Global Atmospheric Research Program) e GATE (Global Atlantic Tropical Experiment), por exemplo.
- » Dados de Satélite, que começaram a ser obtidos em 1967, através de diversos programas. Atualmente, o NCEP/NCAR utiliza dados fornecidos pelo projeto TOVS (Operational Vertical Sounder System), com variáveis em três dimensões, cuja resolução espacial média é de 2,5 graus.
- » Dados de vento em superfície, obtidos pelo sensor espacial Microwave/Imager (SSM/I) a partir de 1987, submetidos ao tratamento feito pela rede neural de Kransnopolsky *et al.* (1995) *apud* Kalnay *et al.* (1996).
- » Dados de cobertura de nuvens obtidos por estimativas dos dados de Satélites Meteorológicos Geoestacionários (SMG). Esses dados estão disponíveis desde 1978.

Todos os dados utilizados nas reanálises passam por um rigoroso controle de qualidade e recebem um tratamento diferenciado de acordo com a forma de obtenção. Utilizando-se técnicas de interpolação espaço-temporal, que levam em consideração não somente a estatística como também a dinâmica dos fenômenos meteorológicos (análise objetiva).

Para este estudo, foram utilizados os dados coincidentes com o período disponível para as correntes – ano de 2013 –, tendo uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia). A resolução espacial na área em questão é de aproximadamente 1,8°, tendo sido utilizado o ponto de grade do NCEP mais próximo aos pontos de descarte (Figura 14), sendo este igual para ambos os pontos. A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos (Figura 15), elaboradas para os períodos sazonais escolhidos.

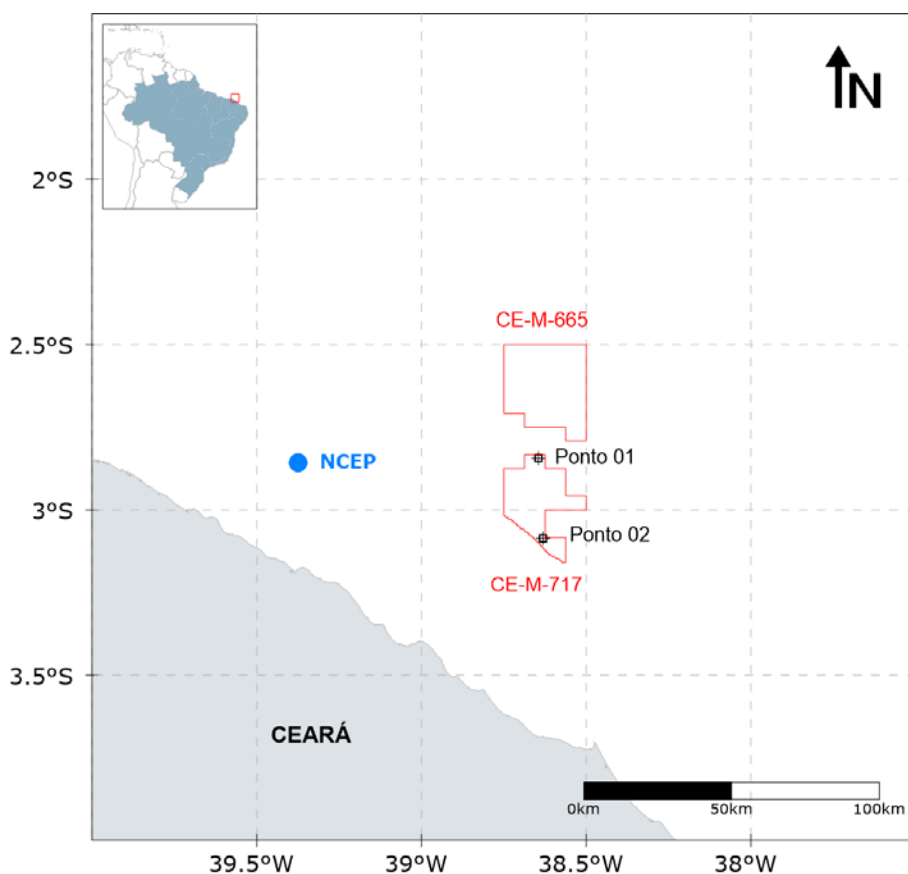


Figura 14: Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo aos pontos 01 e 02.

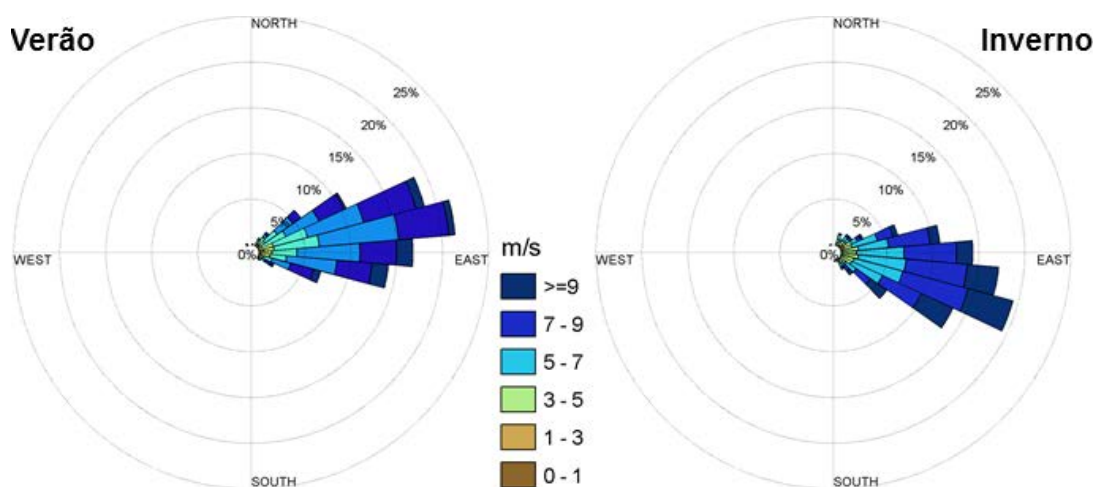


Figura 15: Histogramas direcionais para os ventos de cada cenário sazonal escolhido.

Ambos os cenários apresentam predominância de ventos de leste, com uma tendência maior para leste-nordeste no verão e leste-sudeste durante o inverno. As maiores intensidades (≥ 9 m/s) são mais frequentes durante o inverno.

2.3.4 Temperatura do Ar

Os dados de temperatura do ar utilizados como forçantes do modelo também são oriundos das Reanálises do NCEP. Assim como nos dados de temperatura do mar e salinidade, no DREAM há a opção de inserir apenas um valor de temperatura do ar para cada cenário. Sendo assim, optou-se também por utilizar os valores médios de cada período, apresentados na Tabela 34.

Tabela 34: Temperatura do ar característica para cada cenário.

Cenários Sazonais	Temperatura do Ar (°C)
Verão	27,12
Inverno	27,62

3. Resultados

A seguir, serão apresentados os resultados probabilísticos e determinísticos das simulações de dispersão de cascalho e fluido aderido, para os cenários sazonais de verão e inverno. Os resultados serão apresentados separadamente para os dois pontos simulados: ponto 01 (Pecem Crest) e ponto 02 (Sanderstead East).

Na abordagem probabilística, são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando todos os processos citados nos itens anteriores, para diferentes condições meteorológicas e oceanográficas. Os resultados probabilísticos são de grande importância, pois ilustram tanto a abrangência da área passível de ser afetada pelo descarte de cascalho e fluido aderido, quanto as regiões com maior probabilidade de serem afetadas por tal descarte.

Para a obtenção destes resultados foram realizadas diferentes simulações, com intervalos temporais de 5 dias, para cada período (verão e inverno). Visto que o impacto principal da atividade é o empilhamento de material no assoalho oceânico, os resultados probabilísticos aqui apresentados são restritos à espessura resultante no fundo. Serão apresentados mapas de probabilidade de presença na região para determinados limiares de espessura e mapas da espessura máxima obtida. As concentrações de sólidos em suspensão na coluna d'água serão apresentadas para os casos determinísticos selecionados.

Para a escolha dos cenários determinísticos a serem apresentados, foram considerados dois critérios: **espessura máxima dos depósitos no fundo** e **distância máxima da fonte dos depósitos no fundo**. Dessa forma, dentre todos os cenários determinísticos obtidos, tanto para o verão como para o inverno, serão apresentados dois resultados distintos, aquele em que foi obtido o valor máximo de espessura no fundo, e o que obteve a maior distância da fonte, considerando o limiar mais conservador (0,01 mm). Para tais casos, serão apresentados resultados de espessura, considerando a integração total de todos os descartes e a integração das seções com e sem *riser*, analisadas separadamente, além da concentração dos sólidos em suspensão na coluna d'água.

A Figura 16 resume a forma como os resultados dos modos probabilísticos e determinísticos serão apresentados.

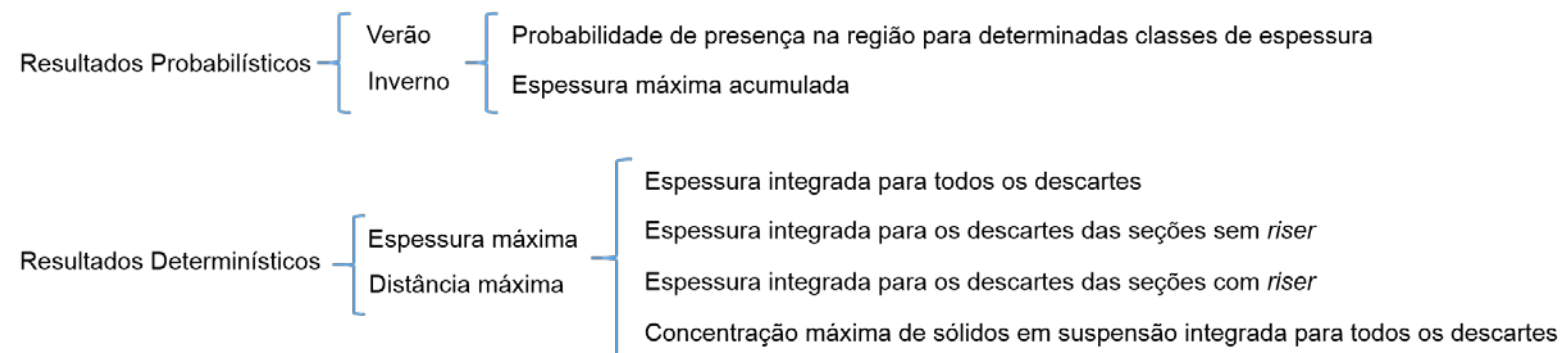


Figura 16: Fluxograma de apresentação dos resultados.

3.1. Resultados Probabilísticos

A seguir, serão apresentados mapas de probabilidade de presença de espessuras acima de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm, considerando todos os casos determinísticos simulados. Serão também apresentados mapas com a espessura máxima observada acima de 0,01 mm, ou seja, para cada ponto de grade, foi extraído o maior valor de espessura observado, dentre todos os casos obtidos. Os resultados serão apresentados, separadamente, para o ponto 01 e 02 e para os cenários de verão e inverno.

3.1.1 Ponto 01

3.1.1.1 Probabilidade de Presença

3.1.1.1.1 Verão

As probabilidades de presença para as classes de espessura acima de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm são apresentadas da Figura 17 à Figura 20, para o cenário de verão, considerando a integração de todos os descartes.

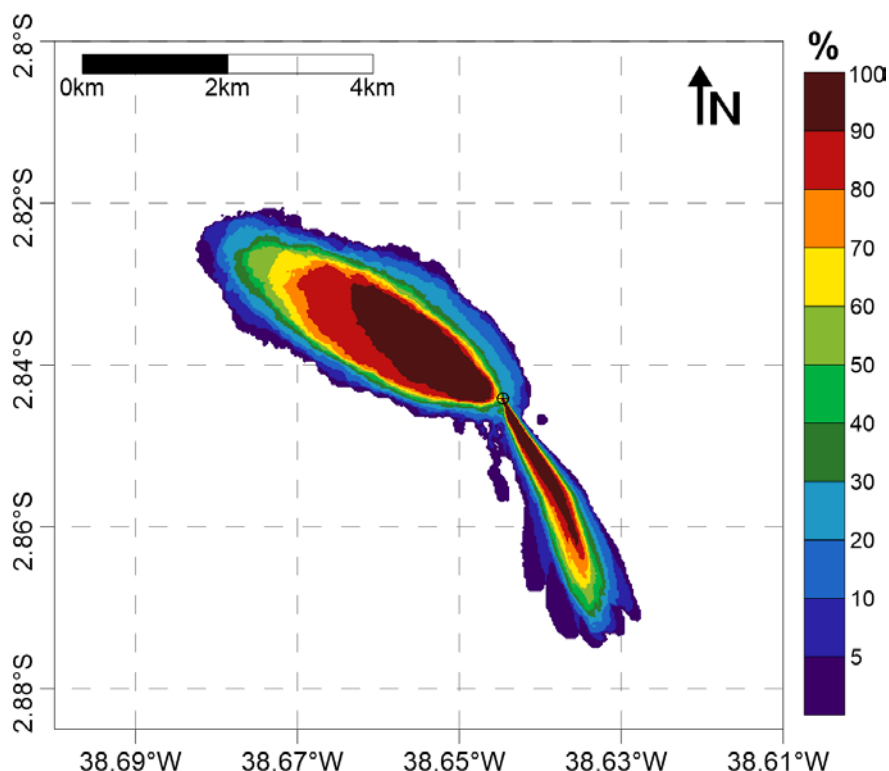


Figura 17: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 01. (Datum SIRGAS 2000).

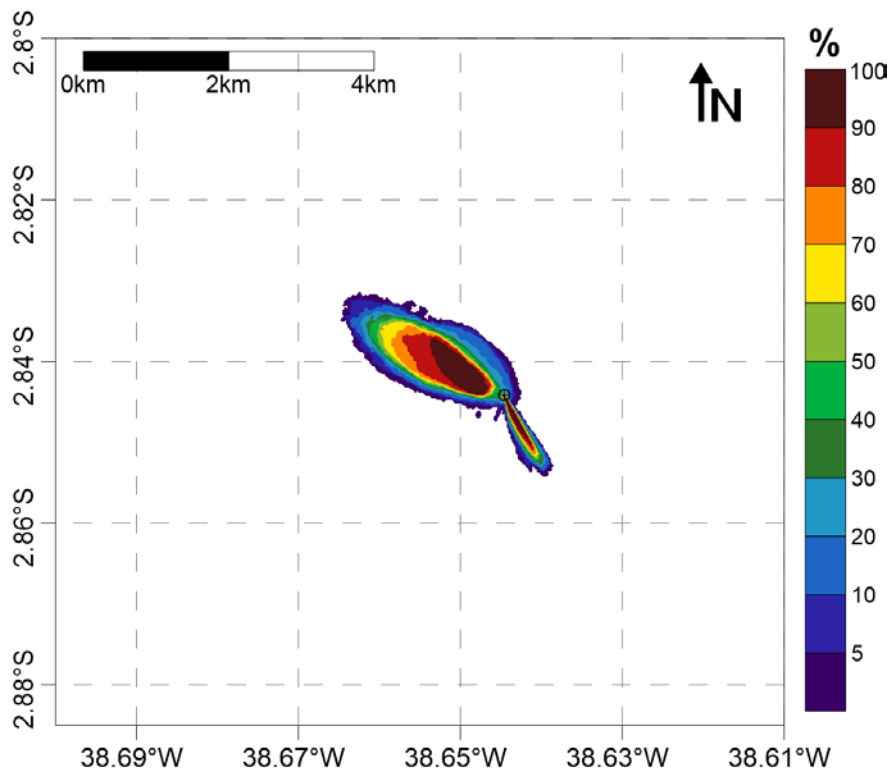


Figura 18: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 01. (*Datum* SIRGAS 2000).

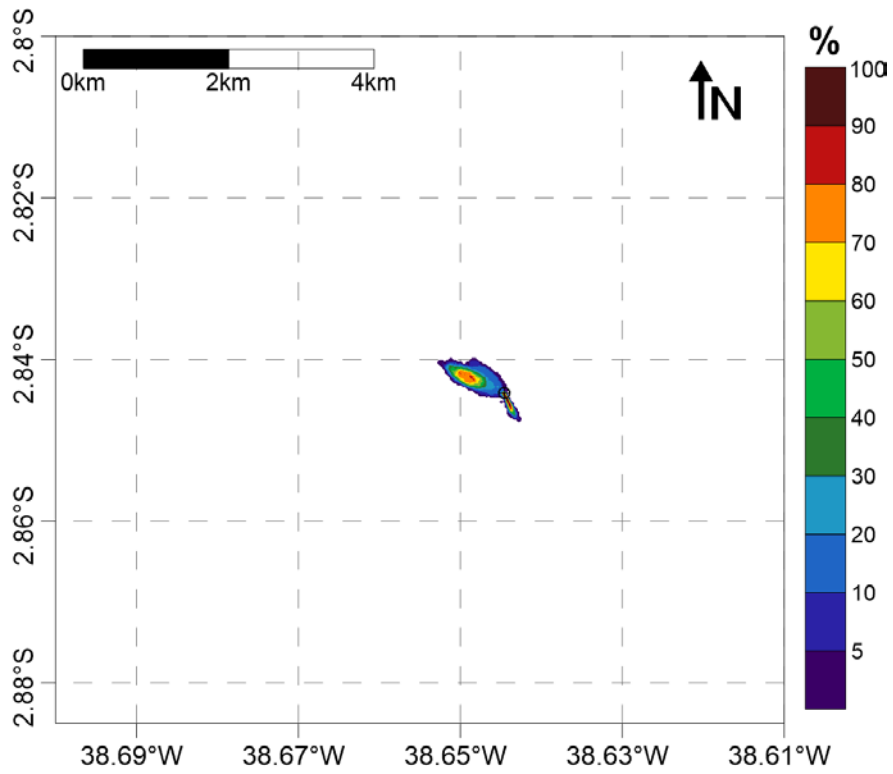


Figura 19: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 01. (*Datum* SIRGAS 2000).

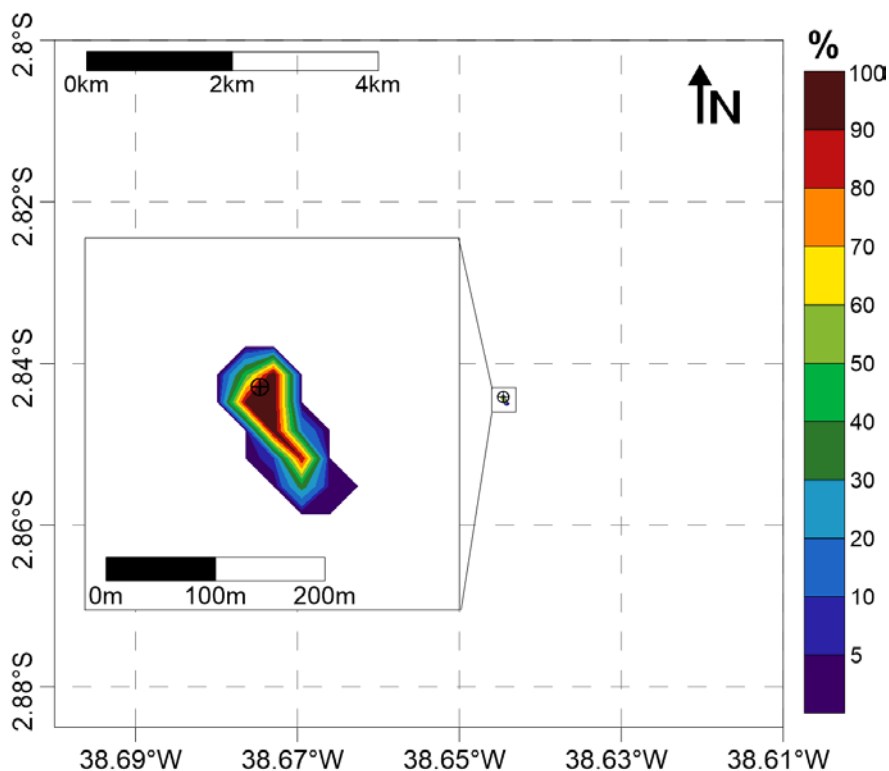


Figura 20: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 01. (Datum SIRGAS 2000).

A seguir, na Tabela 35, são apresentadas as áreas obtidas para algumas classes de probabilidade, durante o cenário de verão, considerando cada limiar monitorado.

Tabela 35: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de verão | Ponto 01.

Probabilidade	Área (km ²)			
	Limiar de 0,01 mm	Limiar de 0,1 mm	Limiar de 1 mm	Limiar de 10 mm
> 0%	10,81	2,53	0,33	0,006
>= 25%	6,38	1,43	0,13	0,004
>= 50%	4,62	1,03	0,07	0,003
>= 75%	3,21	0,71	0,02	0,003
= 100%	1,00	0,18	0,004	0,002

Pela análise dos resultados, percebe-se que as maiores probabilidades de ocorrência de espessuras são para noroeste, relativos ao vazamento em superfície com a utilização do riser, e para sudeste, proveniente do vazamento de fundo nas duas primeiras seções modeladas, estando coerente com o perfil de correntes para a região, apresentado na Figura 7.

Há uma diminuição significativa da probabilidade de presença a medida que os maiores limiares são analisados. Para 0,01 mm, a área total de ocorrência é de 10,81 km², um valor muito alto quando comparado ao resultado obtido para 1 mm, de 0,33 km².

3.1.1.1.2 Inverno

As probabilidades de presença para as classes de espessura acima de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm são apresentadas da Figura 21 à Figura 24, para o cenário de inverno, considerando a integração de todos os descartes.

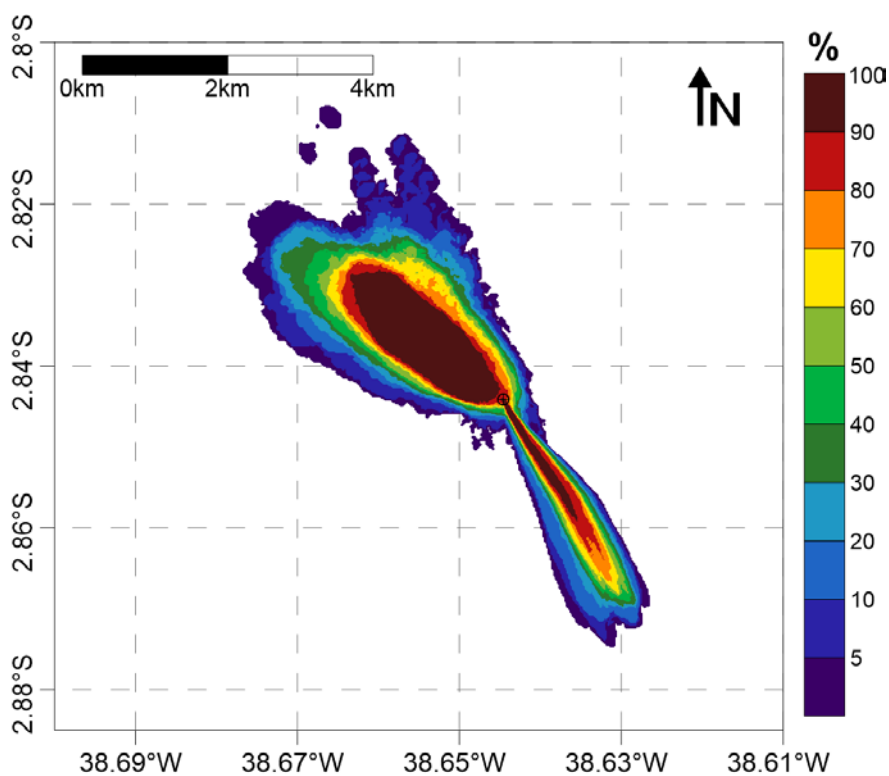


Figura 21: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 01. (Datum SIRGAS 2000).

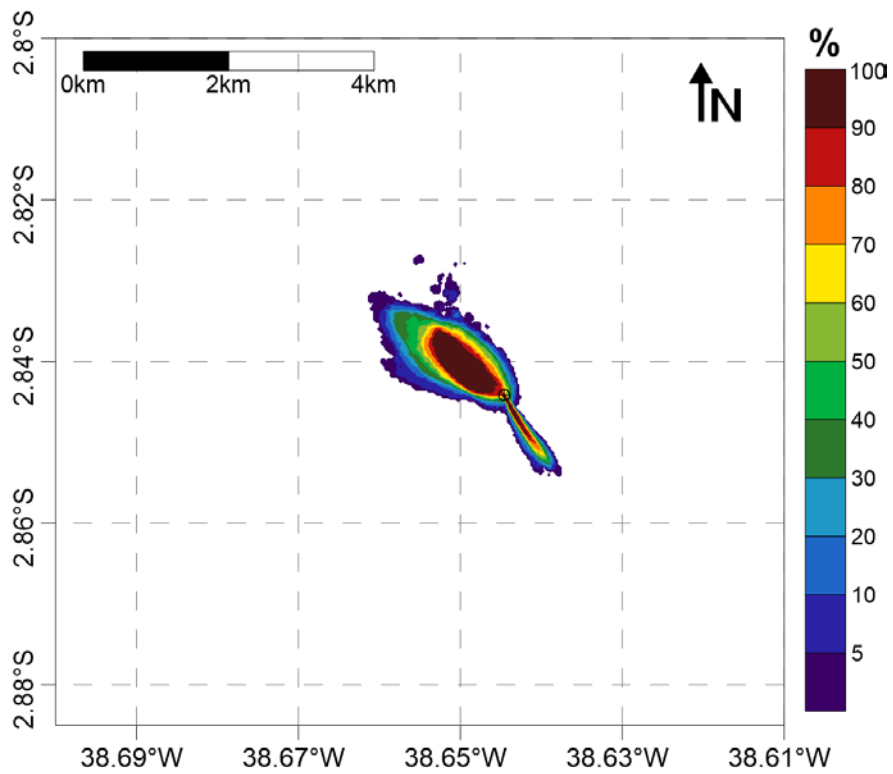


Figura 22: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 01. (Datum SIRGAS 2000).

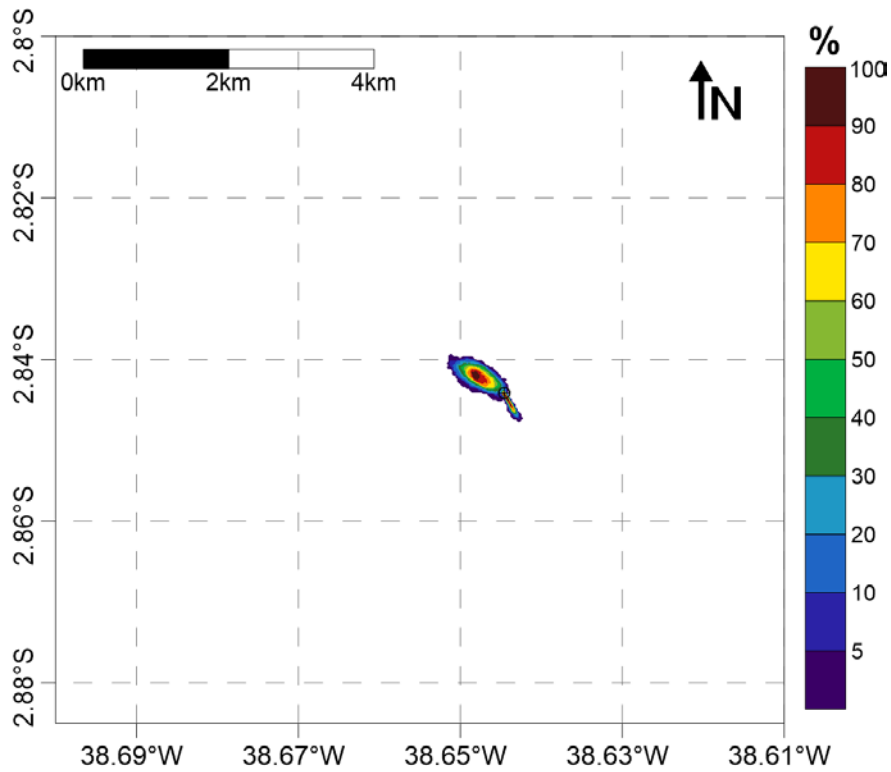


Figura 23: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 01. (Datum SIRGAS 2000).

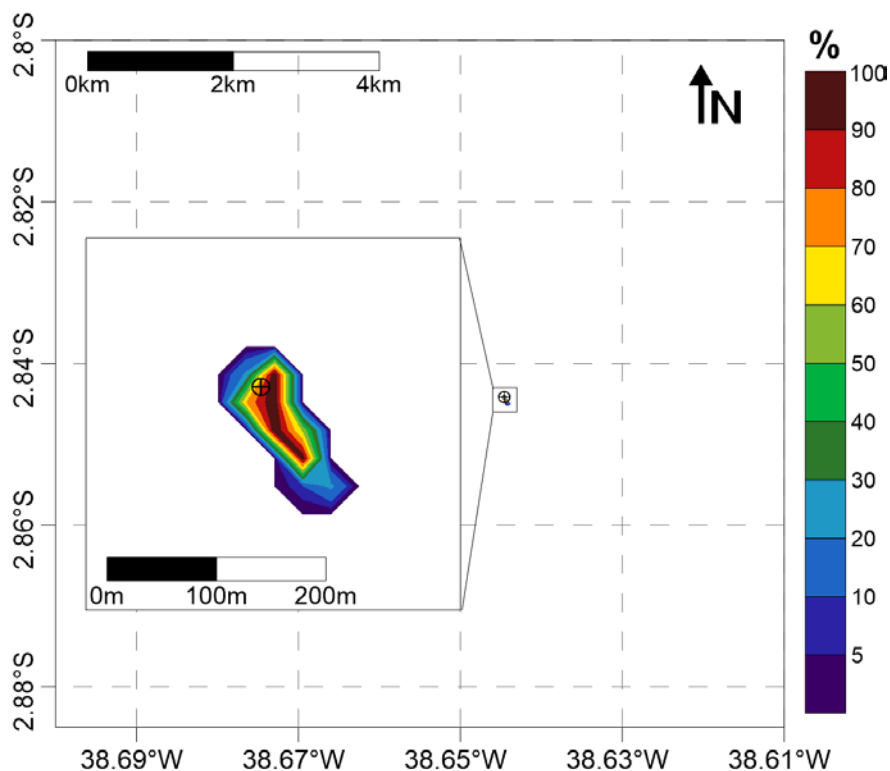


Figura 24: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 01. (Datum SIRGAS 2000).

A seguir, na Tabela 36, são apresentadas as áreas obtidas para algumas classes de probabilidade, durante o cenário de inverno, considerando cada limiar monitorado.

Tabela 36: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de inverno | Ponto 01.

Probabilidade	Área (km ²)			
	Limiar de 0,01 mm	Limiar de 0,1 mm	Limiar de 1 mm	Limiar de 10 mm
> 0%	11,72	2,39	0,32	0,006
>= 25%	6,31	1,35	0,17	0,004
>= 50%	4,29	0,89	0,10	0,004
>= 75%	2,79	0,57	0,05	0,003
= 100%	1,36	0,28	0,007	0,002

Neste cenário, observaram-se os mesmos padrões de direção que no cenário de verão, resultando em espessuras concentradas majoritariamente nas direções noroeste e sudeste.

Assim como o observado para o cenário de verão, há uma diminuição significativa da probabilidade de presença a medida que os maiores limiares são analisados. Entretanto, de maneira geral, as áreas totais obtidas são maiores no inverno.

A área total de ocorrência para o limiar de 0,01 mm é de 11,72 km², e para o limiar de 1 mm, é de 0,32 km².

3.1.1.2 Espessura Máxima

3.1.1.2.1 Verão

A Figura 25 apresenta a espessura máxima obtida acima de 0,01 mm para todos os casos determinísticos do verão, considerando a integração de todos os resultados. A espessura máxima obtida neste cenário foi de 2.131,3 mm.

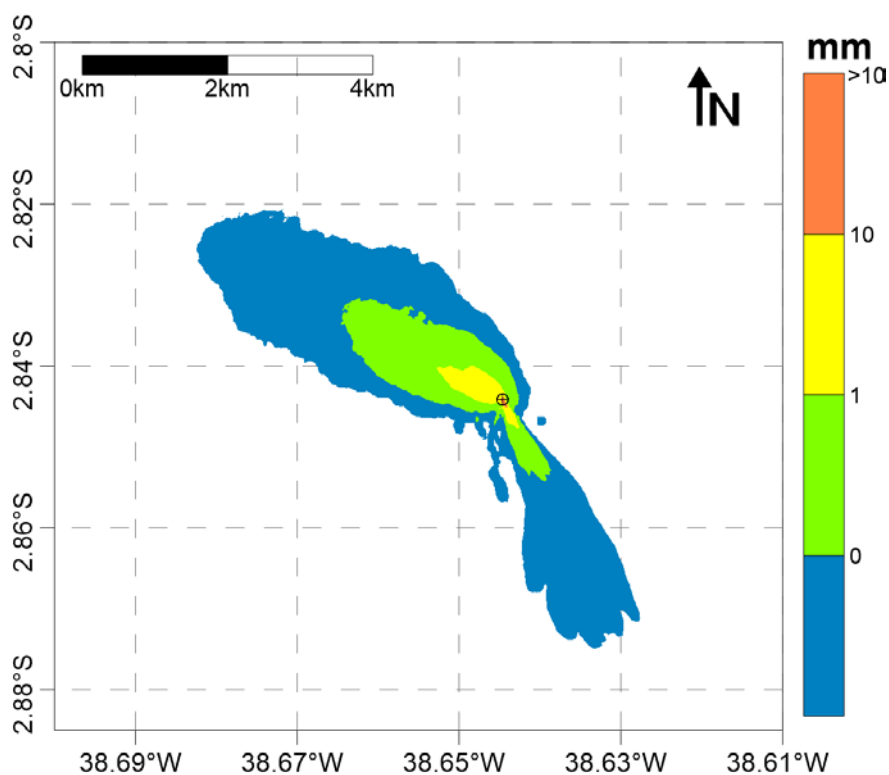


Figura 25: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de verão, ponto 01. (*Datum* SIRGAS 2000).

A Tabela 37 apresenta as distâncias máximas da fonte alcançadas em função de cada classe de limiar adotado, para o cenário de verão. A distância máxima observada para espessuras acima de 0,01 mm foi de 4,71 km, contrastando com a distância obtida para o limiar de 1 mm, que foi de 1,01 km.

Tabela 37: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm). Cenário de verão | Ponto 01.

Espessura (mm)	Distância Máxima da Fonte (km)
>= 0,01	4,71
>= 0,1	2,54
>= 1	1,01
>= 10	0,08

A Tabela 38 apresenta as espessuras máximas obtidas a determinadas distâncias da fonte. A 1 km do ponto de descarte, a máxima espessura observada foi de 1,07 mm.

Tabela 38: Espessuras máximas obtidas a 100, 500 e 1.000 m de distância da fonte. Cenário de verão | Ponto 01.

Distância (m)	Espessura Máxima (mm)
100	9,24
500	2,61
1.000	1,07

3.1.1.2.2 Inverno

A Figura 26 apresenta a espessura máxima obtida acima de 0,01 mm para todos os casos determinísticos do inverno, considerando a integração de todos os resultados. A espessura máxima obtida neste cenário foi de 2.152,7 mm.

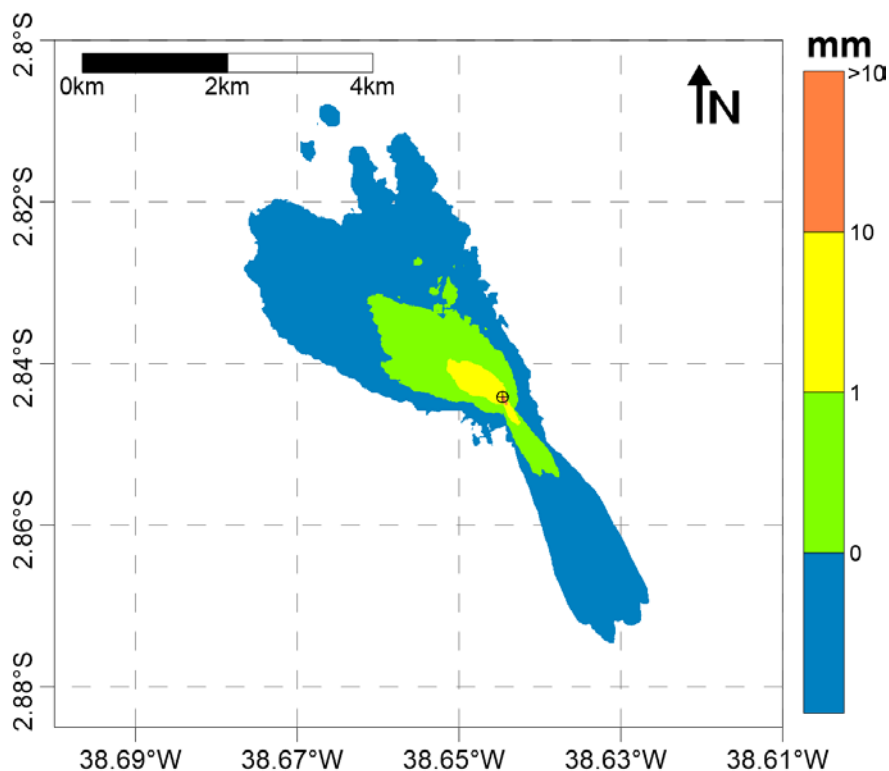


Figura 26: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de inverno, ponto 01. (Datum SIRGAS 2000).

As espessuras máximas apresentaram o mesmo padrão visto anteriormente no cenário de verão, com dois padrões de direção preferenciais, noroeste e sudeste.

A Tabela 39 apresenta as distâncias máximas da fonte alcançadas em função de cada classe de limiar adotado, para o cenário de inverno. Foi observada uma distância de até 4,74 km acima de 0,01 mm. Para o limiar de 1 mm, a distância obtida foi de 0,92 km.

Tabela 39: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm). Cenário de inverno | Ponto 01.

Espessura (mm)	Distância Máxima da Fonte (km)
$\geq 0,01$	4,74
$\geq 0,1$	2,31
≥ 1	0,92
≥ 10	0,08

A Tabela 40 apresenta as espessuras máximas obtidas a determinadas distâncias da fonte. A 1 km do ponto de descarte, a máxima espessura observada foi de 0,88 mm.

Tabela 40: Espessuras máximas obtidas a 100, 500 e 1.000 m de distância da fonte. Cenário de inverno | Ponto 01.

Distância (m)	Espessura Máxima (mm)
100	9,49
500	2,76
1.000	0,88

3.1.2 Ponto 02

3.1.2.1 Probabilidade de Presença

3.1.2.1.1 Verão

As probabilidades de presença para as classes de espessura acima de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm são apresentadas da Figura 27 à Figura 30, para o cenário de verão, considerando a integração de todos os descartes.

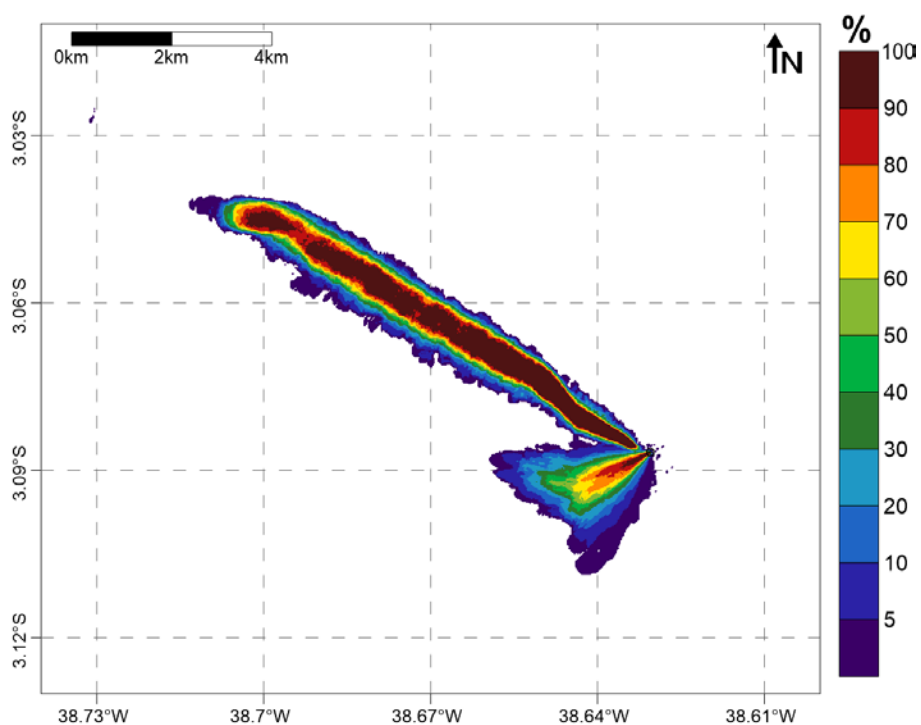


Figura 27: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 02. (*Datum* SIRGAS 2000).

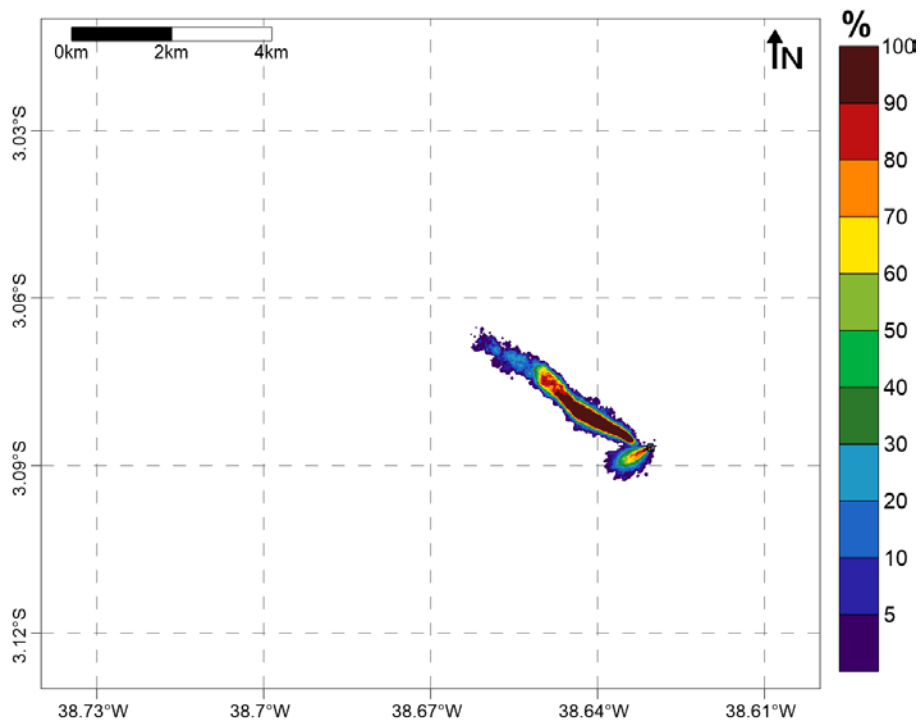


Figura 28: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 02. (Datum SIRGAS 2000).

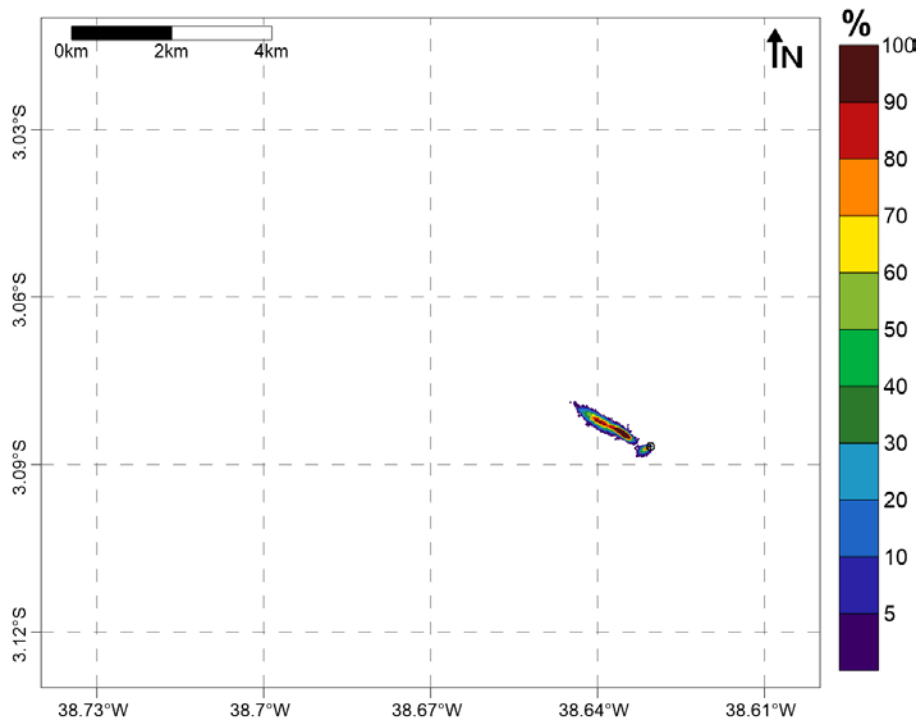


Figura 29: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 02. (*Datum* SIRGAS 2000).

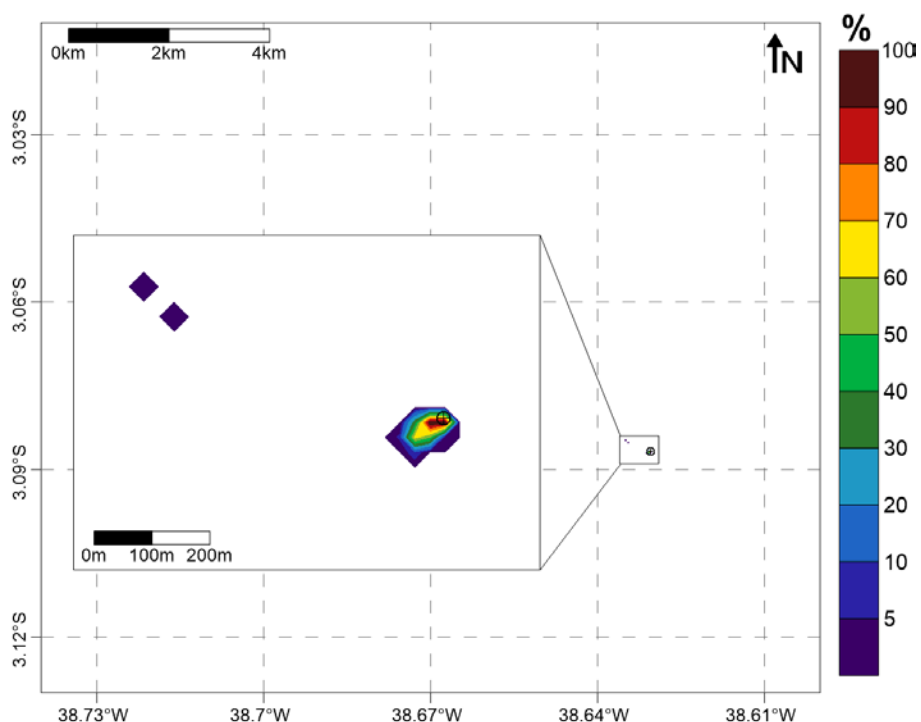


Figura 30: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão, ponto 02. (Datum SIRGAS 2000).

A seguir, na Tabela 41, são apresentadas as áreas obtidas para algumas classes de probabilidade, durante o cenário de verão, considerando cada limiar monitorado.

Tabela 41: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de verão | Ponto 02.

Probabilidade	Área (km ²)			
	Limiar de 0,01 mm	Limiar de 0,1 mm	Limiar de 1 mm	Limiar de 10 mm
> 0%	15,19	2,24	0,40	0,006
>= 25%	8,61	1,05	0,20	0,003
>= 50%	6,44	0,77	0,13	0,002
>= 75%	4,59	0,54	0,08	0,001
= 100%	1,59	0,25	0,02	0,001

Nesse ponto (Sanderstead East) observam-se novamente dois padrões diferentes de circulação quando consideradas as camadas de fundo e de superfície, como descrito no item 2.3.1.2. Para as duas primeiras seções, descartadas no fundo sem utilização do riser, o material acumulou-se ao longo da direção sudoeste, enquanto que nas demais seções, descartadas em superfície com a instalação do riser, propagaram-se na direção noroeste.

Há uma diminuição significativa da probabilidade de presença a medida que os maiores limiares são analisados. Para 0,01 mm, a área total de ocorrência é de 15,19 km², um valor muito alto quando comparado ao resultado obtido para 1 mm, de 0,40 km².

3.1.2.1.2 Inverno

As probabilidades de presença para as classes de espessura acima de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm são apresentadas da Figura 31 à Figura 34, para o cenário de inverno, considerando a integração de todos os descartes.

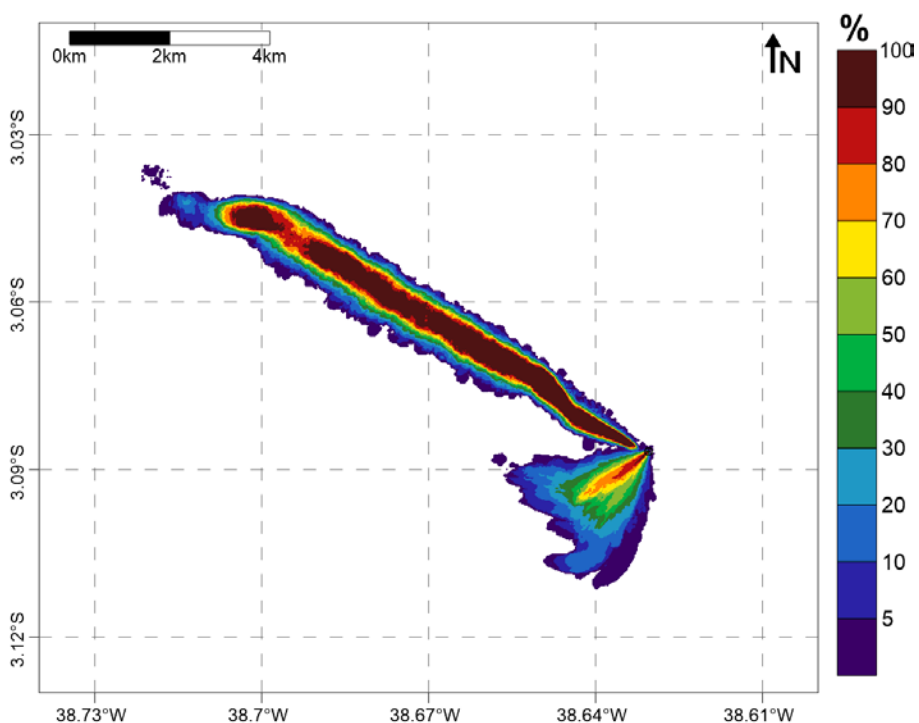


Figura 31: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 02. (Datum SIRGAS 2000).

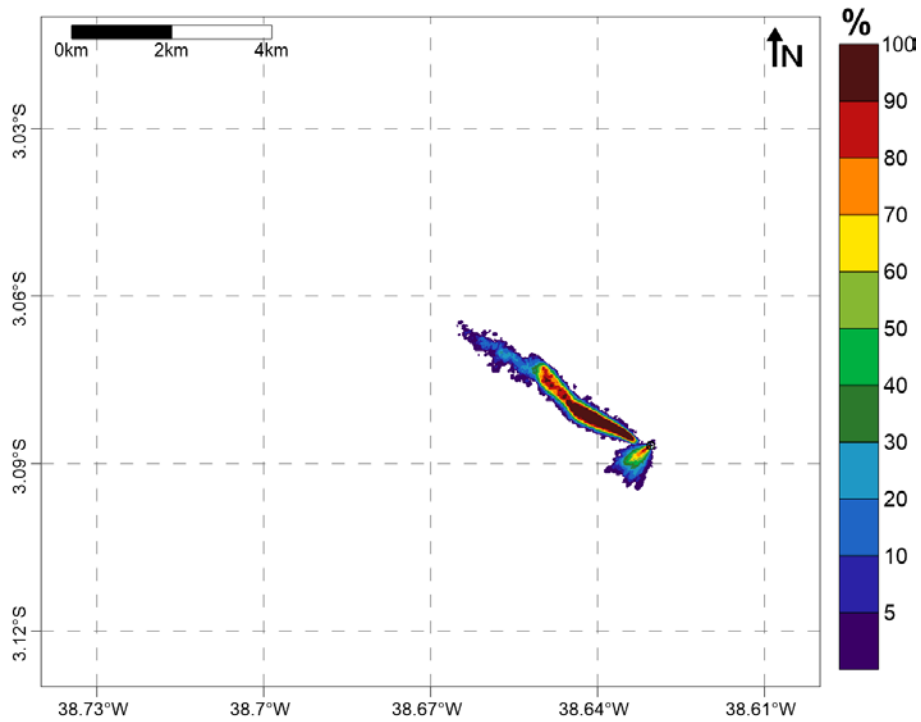


Figura 32: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 02. (Datum SIRGAS 2000).

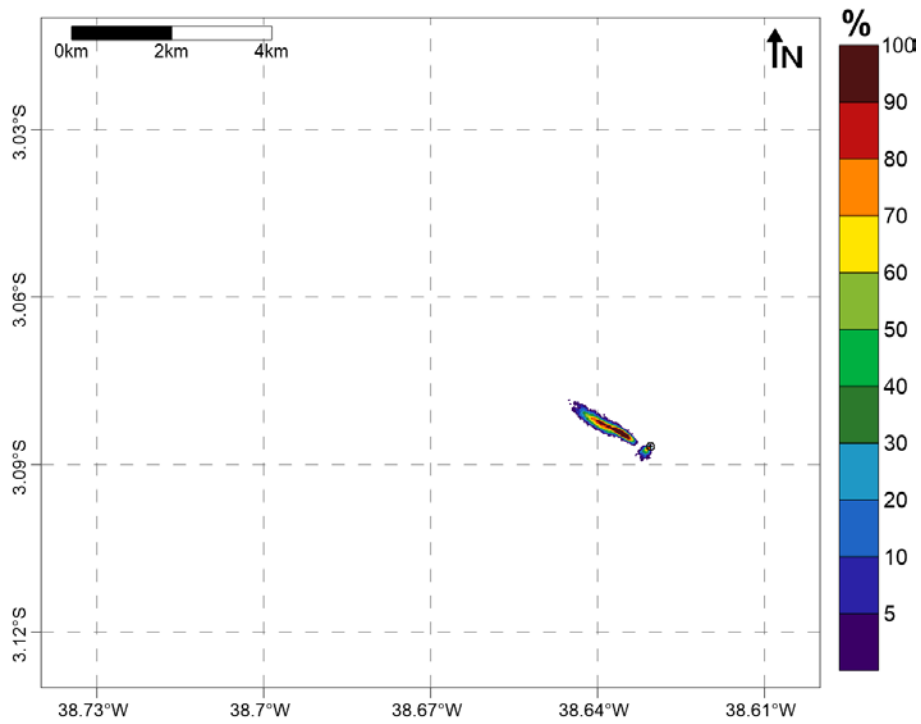


Figura 33: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 02. (Datum SIRGAS 2000).

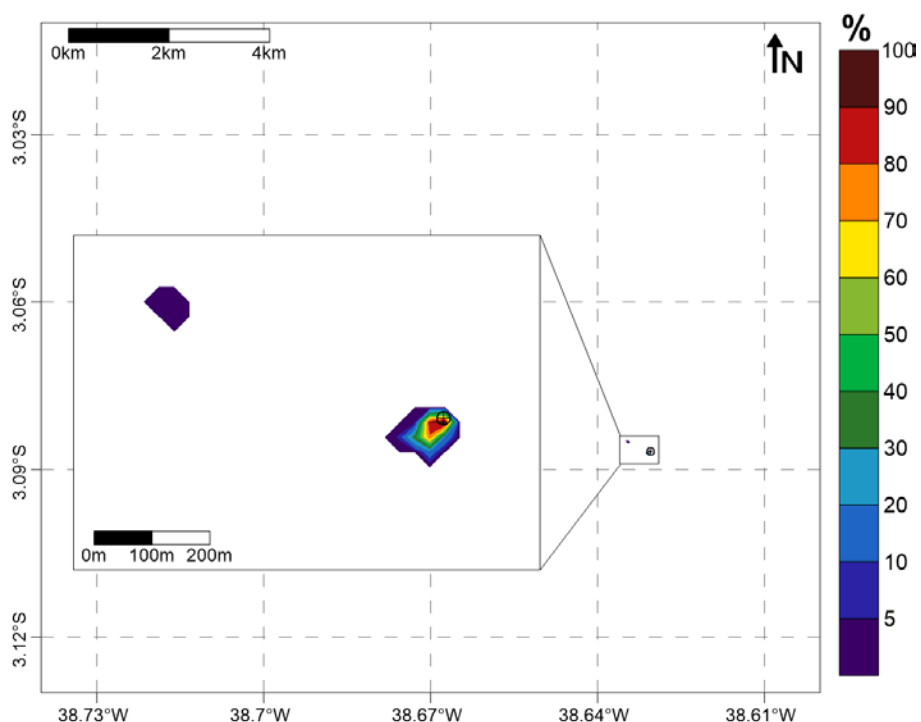


Figura 34: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno, ponto 02. (Datum SIRGAS 2000).

A seguir, na Tabela 42, são apresentadas as áreas obtidas para algumas classes de probabilidade, durante o cenário de inverno, considerando cada limiar monitorado.

Tabela 42: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de inverno | Ponto 02.

Probabilidade	Área (km ²)			
	Limiar de 0,01 mm	Limiar de 0,1 mm	Limiar de 1 mm	Limiar de 10 mm
> 0%	15,97	2,26	0,39	0,007
>= 25%	8,80	1,01	0,21	0,003
>= 50%	6,29	0,71	0,14	0,002
>= 75%	4,43	0,50	0,08	0,002
= 100%	1,68	0,20	0,02	0,001

No cenário de inverno, os resultados da probabilidade de presença de material descartado no fundo marinho foram análogos aos resultados do cenário de verão. Devido à similaridade do campo hidrodinâmico nos dois períodos, os resultados mantiveram-se com direções preferenciais de acúmulo para noroeste e sudoeste.

Assim como o observado para o cenário de verão, há uma diminuição significativa da probabilidade de presença a medida que os maiores limiares são analisados. Entretanto, de maneira geral, as áreas totais obtidas são menores no inverno.

A área total de ocorrência para o limiar de 0,01 mm é de 15,97 km², e para o limiar de 1 mm, é de 0,39 km².

3.1.2.2 Espessura Máxima

3.1.2.2.1 Verão

A Figura 35 apresenta a espessura máxima obtida acima de 0,01 mm para todos os casos determinísticos do verão, considerando a integração de todos os resultados. A espessura máxima obtida neste cenário foi de 2.247,3 mm.

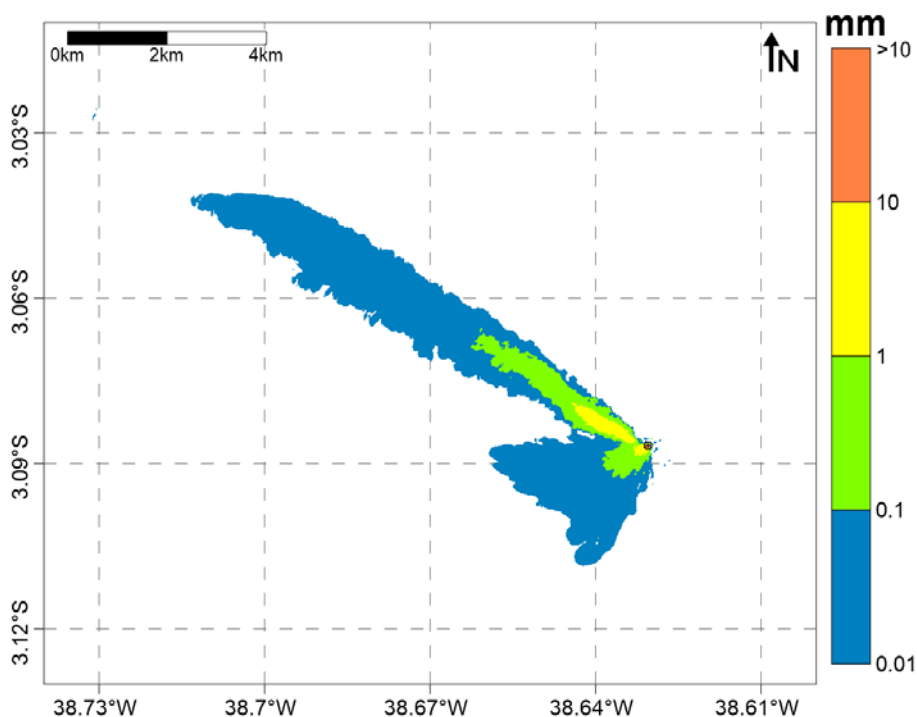


Figura 35: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de verão, ponto 02. (*Datum* SIRGAS 2000).

A Tabela 43 apresenta as distâncias máximas da fonte alcançadas em função de cada classe de limiar adotado, para o cenário de verão. A distância máxima observada para espessuras acima de 0,01 mm foi de 13,03 km, contrastando com a distância obtida para o limiar de 1 mm, que foi de 1,82 km.

Tabela 43: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm). Cenário de verão | Ponto 02.

Espessura(mm)	Distância Máxima da Fonte (km)
>= 0,01	13,03
>= 0,1	4,23
>= 1	1,82
>= 10	0,54

A Tabela 44 apresenta as espessuras máximas obtidas a determinadas distâncias da fonte. A 1 km do ponto de descarte, a máxima espessura observada foi de 2,67 mm.

Tabela 44: Espessuras máximas obtidas a 100, 500 e 1.000 m de distância da fonte. Cenário de verão | Ponto 02.

Distância (m)	Espessura Máxima (mm)
100	17,01
500	10,66
1.000	2,67

3.1.2.2.2 Inverno

A Figura 36 apresenta a espessura máxima obtida acima de 0,01 mm para todos os casos determinísticos do inverno, considerando a integração de todos os resultados. A espessura máxima obtida neste cenário foi de 2.264,3 mm.

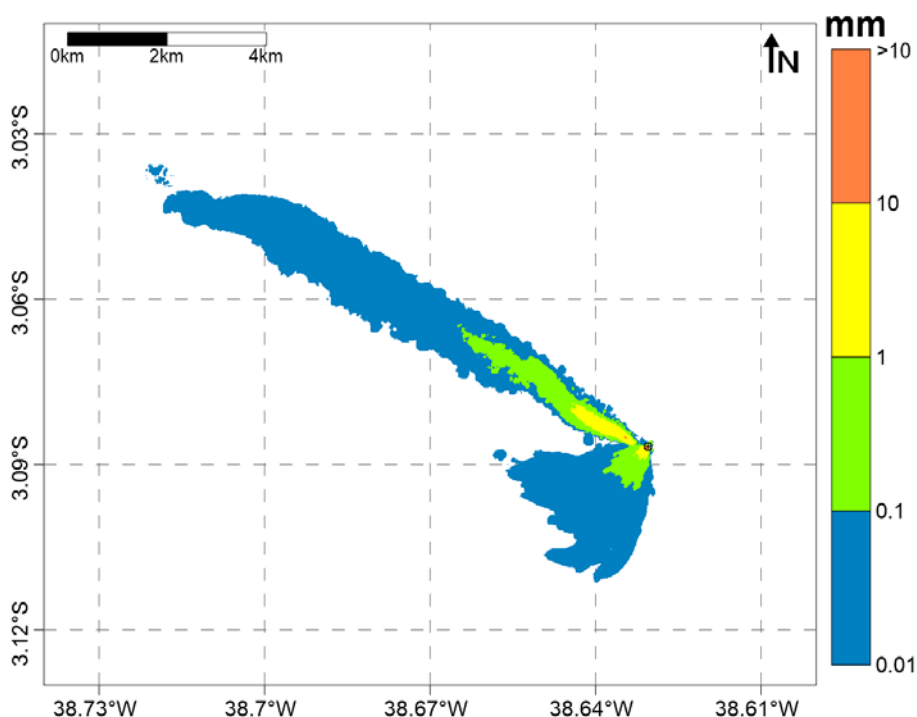


Figura 36: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de inverno, ponto 02. (Datum SIRGAS 2000).

A Tabela 45 apresenta as distâncias máximas da fonte alcançadas em função de cada classe de limiar adotado, para o cenário de inverno. Em comparação com o verão, foram observadas menores distâncias durante o presente cenário, alcançando até 11,54 km acima de 0,01 mm. Para o limiar de 1 mm, a distância obtida foi de 1,87 km. De maneira geral, o ponto 02 apresenta resultados mais distantes da fonte em relação ao ponto 01.

Tabela 45: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm). Cenário de inverno | Ponto 02.

Espessura	Distância Máxima da Fonte (km)
$\geq 0,01$	11,54
$\geq 0,1$	4,55
≥ 1	1,87
≥ 10	0,51

A Tabela 46 apresenta as espessuras máximas obtidas a determinadas distâncias da fonte. A 1 km do ponto de descarte, a máxima espessura observada foi de 3,18 mm.

Tabela 46: Espessuras máximas obtidas a 100, 500 e 1.000 m de distância da fonte. Cenário de inverno | Ponto 01.

Distância (m)	Espessura Máxima (mm)
100	11,60
500	12,30
1.000	3,18

3.2. Resultados Determinísticos

Dentre todos os resultados probabilísticos obtidos, foram selecionados aqueles que refletiram os piores cenários possíveis em relação à espessura máxima dos depósitos no fundo e à distância máxima da fonte dos depósitos no fundo, independente do cenário sazonal (verão e inverno). Dessa forma, para cada ponto simulado, serão apresentados dois casos determinísticos.

Os resultados do modo determinístico serão apresentados com enfoque nos impactos que o material descartado pode causar no fundo oceânico e na coluna d'água.

Os resultados obtidos para as pilhas de deposição serão apresentados da seguinte forma:

- » Integração das seções sem *riser*;
- » Integração das seções com *riser*;
- » Integração de todas as seções.

Para a apresentação destes resultados, foi escolhido o limiar de 0,01 mm, como justificado no item 2.2.5.1 (Limiar de Monitoramento – Pilhas de Deposição).

O impacto do material descartado na coluna d'água será apresentado através da concentração máxima de sólidos que permanece na água durante e após o descarte. Os resultados serão apresentados considerando todos os descartes realizados. O limiar monitorado foi de 5 ppm, como explicado no item 2.2.5.2 (Limiar de Monitoramento – Sólidos em Suspensão).

Com o objetivo de determinar a área de influência da pluma de sólidos em suspensão, foi extraída a concentração máxima que a pluma pode obter para cada ponto de grade, analisando todos os tempos de simulação. Ou seja, para cada passo de tempo da simulação, registrou-se o valor máximo de concentração em cada ponto de grade, e ao final de todo o período, extraiu-se a máxima de todas as máximas obtidas.

Apesar desta análise ser ideal para a obtenção da área potencialmente impactada pela atividade e para a obtenção de resultados como concentração e distância máxima alcançadas, esta não retrata o comportamento da pluma em determinado instante. Para tal, serão apresentados exemplos de mapas com a concentração de sólidos para alguns períodos após o início do descarte.

3.2.1 Ponto 01

A Tabela 47 apresenta os períodos de simulação selecionados para cada caso determinístico do ponto 01. Ambos os casos selecionados estão contidos dentro do período de inverno.

Tabela 47: Data inicial e final da simulação obtidas para os dois casos determinísticos selecionados para o ponto 01.

Cenário Determinístico	Início	Fim
Espessura Máxima	06-abr-2013	05-mai-2013
Distância Máxima	26-abr-2013	25-mai-2013

A Figura 37 e a Figura 38 apresentam as rosas de correntes limitadas a esses períodos (respectivamente espessura e distância máxima).

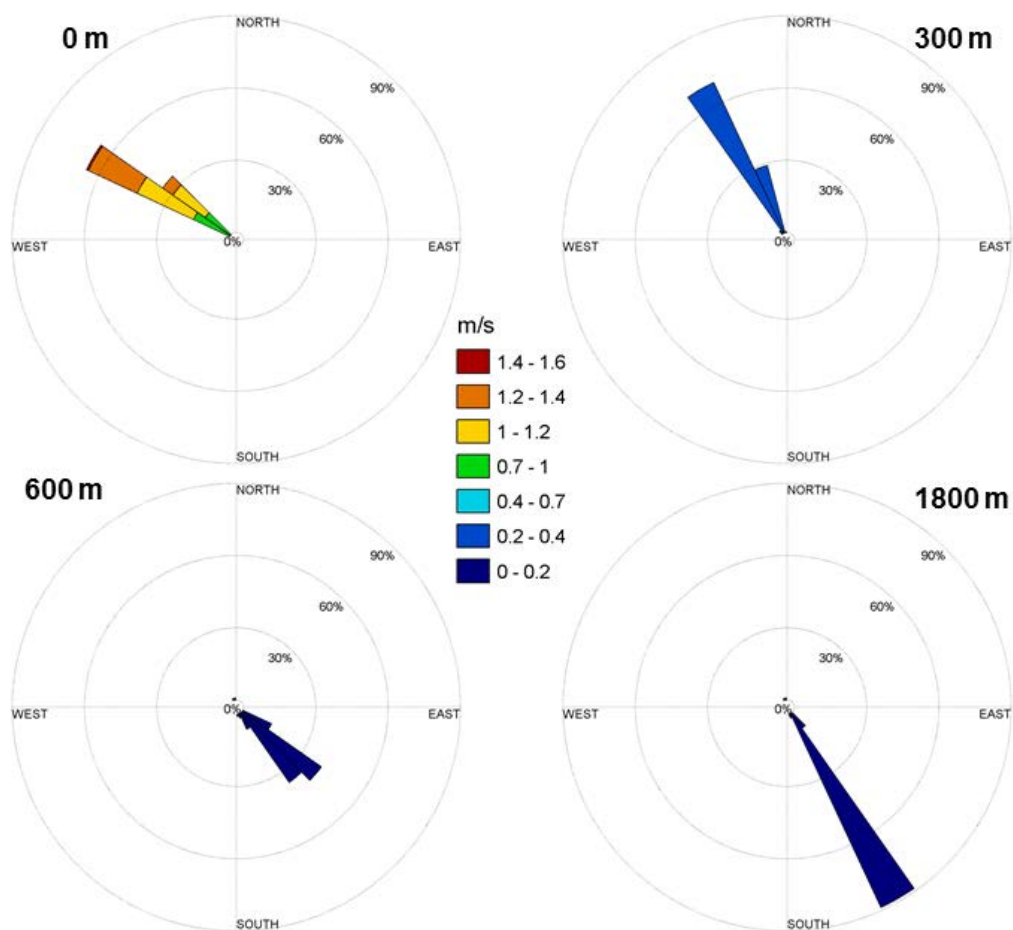


Figura 37: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 300, 600 e 1.800 metros, para o período representativo do cenário determinístico de espessura máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 01.

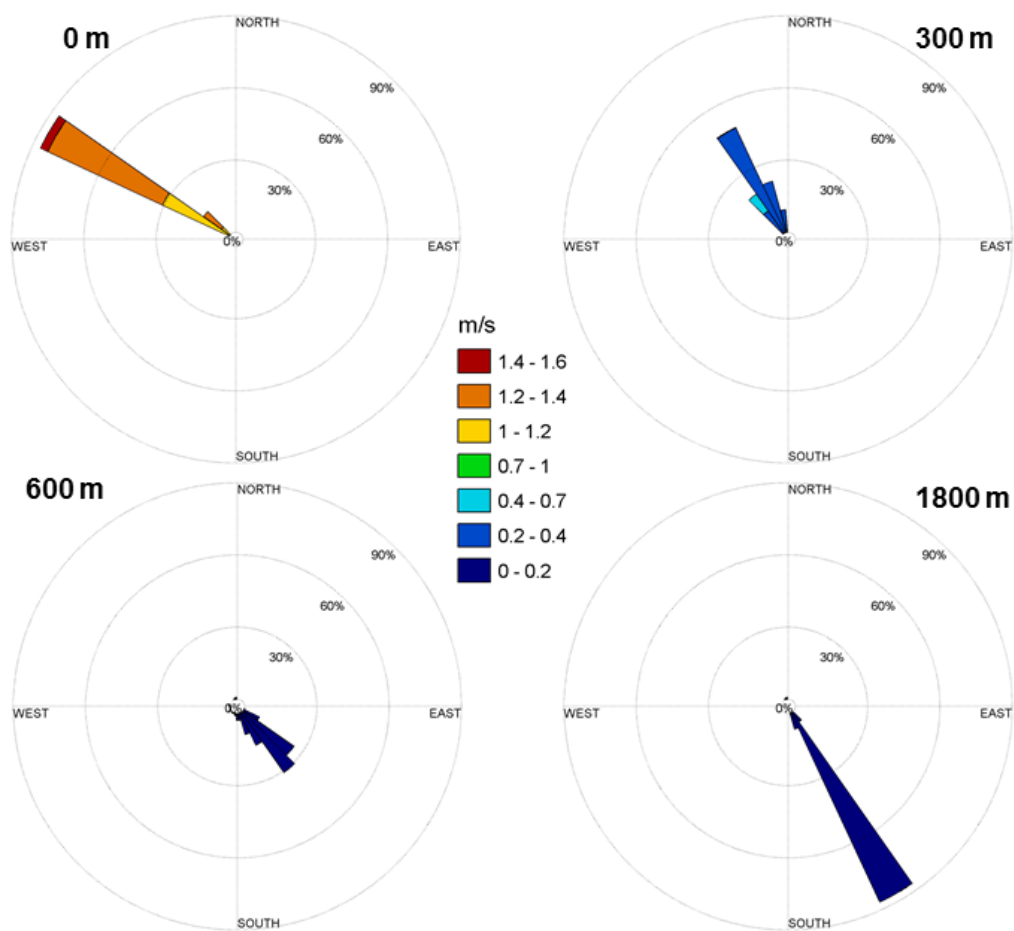


Figura 38: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 300, 600 e 1.800 metros, para o período representativo do cenário determinístico de distância máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 01.

A Tabela 48 apresenta os valores máximos de intensidade obtidos para ambos os cenários determinísticos.

Tabela 48: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários determinísticos de espessura máxima e distância máxima do ponto 01.

Profundidade (m)	Intensidade Máxima (m/s)	
	Det. Esp. Máx.	Det. Dist. Máx.
0	1,42	1,44
300	0,38	0,49
600	0,16	0,17
1.800	0,13	0,17

A seguir, os resultados obtidos para as pilhas de deposição e para as plumas de sólidos em suspensão serão apresentados para cada um desses cenários determinísticos.

3.2.1.1 Pilhas de Deposição

3.2.1.1.1 Espessura Máxima

A seguir, serão apresentados os resultados para o caso determinístico que obteve o maior valor de espessura. A integração das seções sem e com *riser* são apresentadas na Figura 39 e na Figura 40, respectivamente.

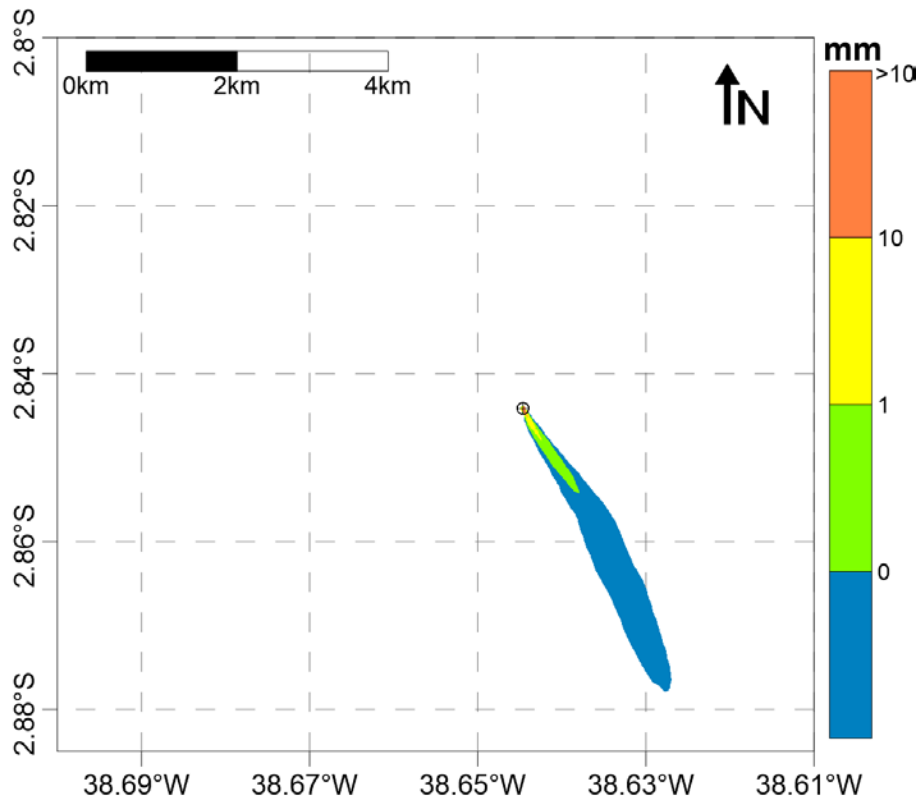


Figura 39: Pilha resultante da integração das seções sem *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

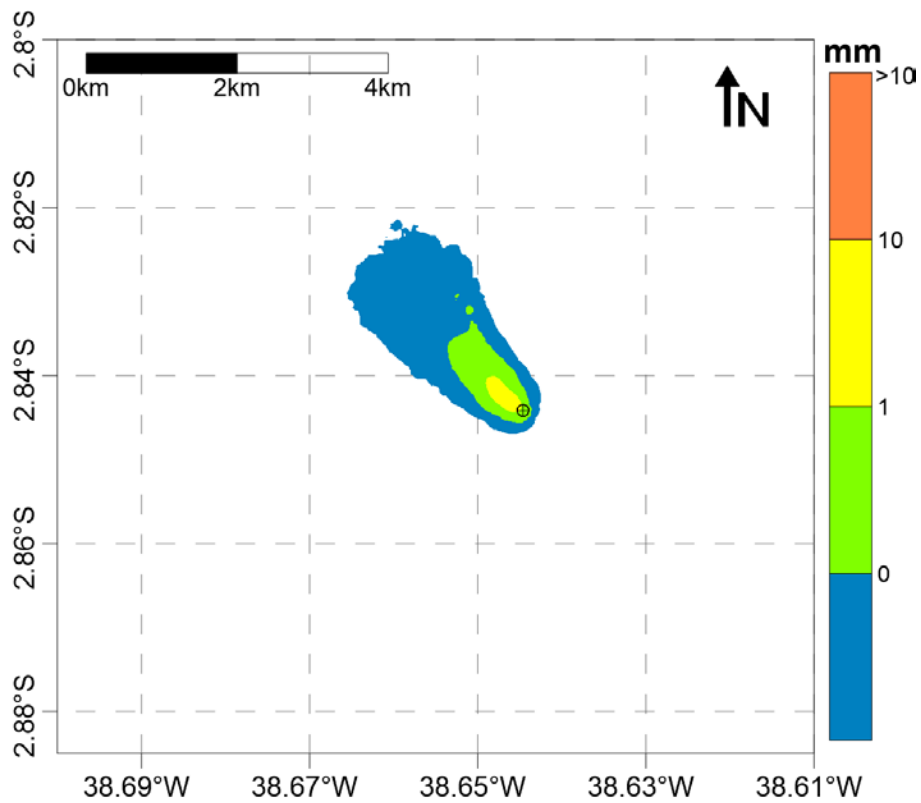


Figura 40: Pilha resultante da integração das seções com *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

A pilha resultante da integração de todos os descartes é apresentada na Figura 41.

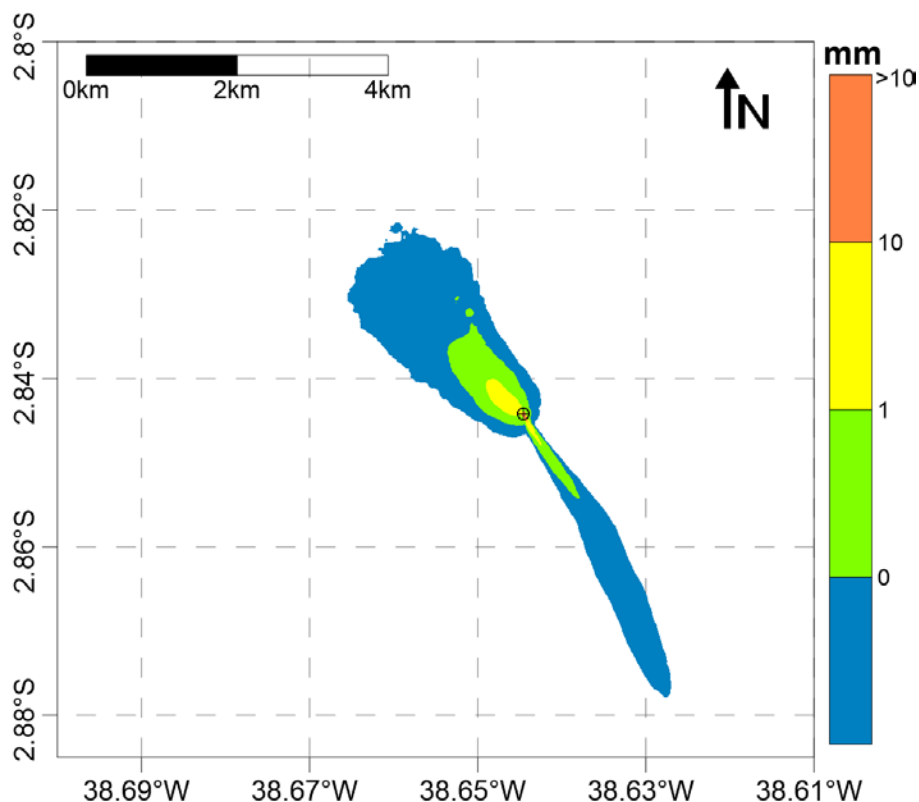


Figura 41: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima. (Datum SIRGAS 2000).

Um resumo dos resultados obtidos para este cenário é apresentado na Tabela 49.

Tabela 49: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima.

Descarte	Espessura Máxima (mm)	Área (km ²)	Distância máx. da fonte (km)
Integração - seções sem riser	3.045,31	1,48	4,19
Integração - seções com riser	3,41	3,66	3,02
Integração - todas as seções	3.045,87	5,12	4,19

Para este caso determinístico, o acúmulo do material no fundo ocorre para noroeste, de acordo com o regime de correntes predominante em superfície fundo, e para sudeste, seguindo as correntes de fundo (Figura 37). As seções sem riser são as responsáveis pelas maiores espessuras (3.045,31 mm) e distâncias (4,19 km), entretanto a maior área (3,66 km²) aparece nas seções com riser. O maior acúmulo de material (seções sem riser) é justificado pelo seu descarte ocorrer próximo ao fundo, o que faz com que os sólidos mais grossos se depositem rapidamente nas imediações do local de descarte.

A espessura máxima alcançada pela integração de todos os descartes foi de 3.045,87 mm, ocupando áreas de 5,12 km² e atingindo 4,19 km do ponto de descarte, acima de 0,01 mm. Acima de 1 mm, a área impactada reduz significativamente para 0,15 km².

Na Tabela 50, é apresentado um resumo da área encontrada acima de algumas espessuras determinadas na pilha de integração total.

Tabela 50: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima.

Espessura (mm)	Área (km²)
>= 0,01	5,12
>= 0,1	0,92
>= 1	0,15
>= 10	0,01

3.2.1.1.2 Distância Máxima

A seguir, serão apresentados os resultados para o caso determinístico que obteve a maior distância em relação à fonte. A integração das seções sem e com *riser* são apresentadas na Figura 42 e na Figura 43, respectivamente.

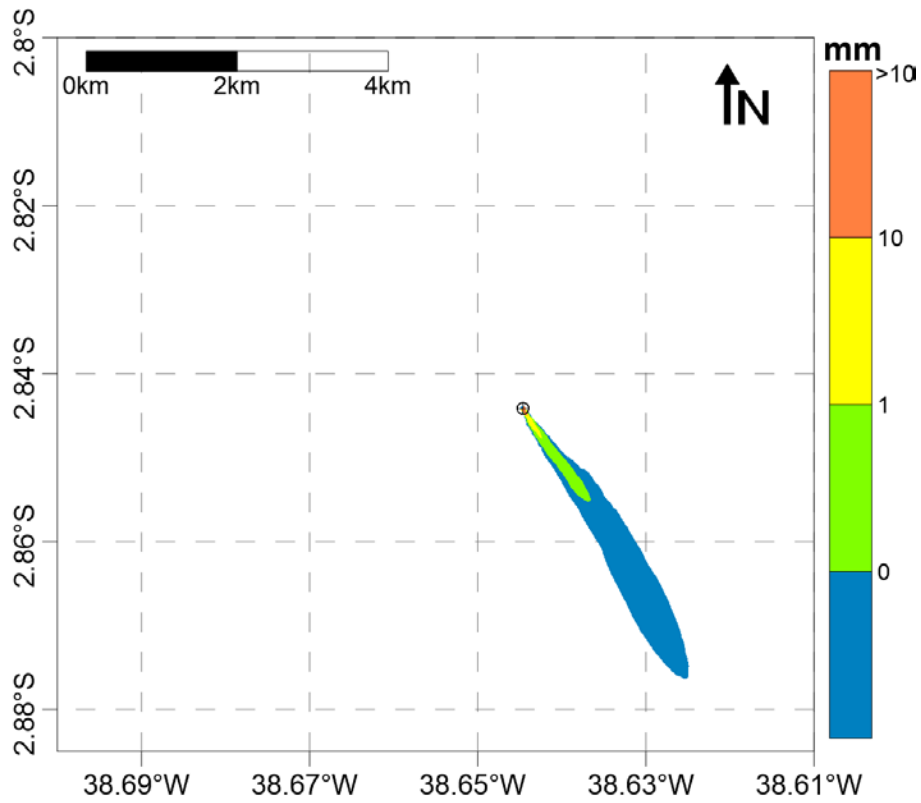


Figura 42: Pilha resultante da integração das seções sem *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
 Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

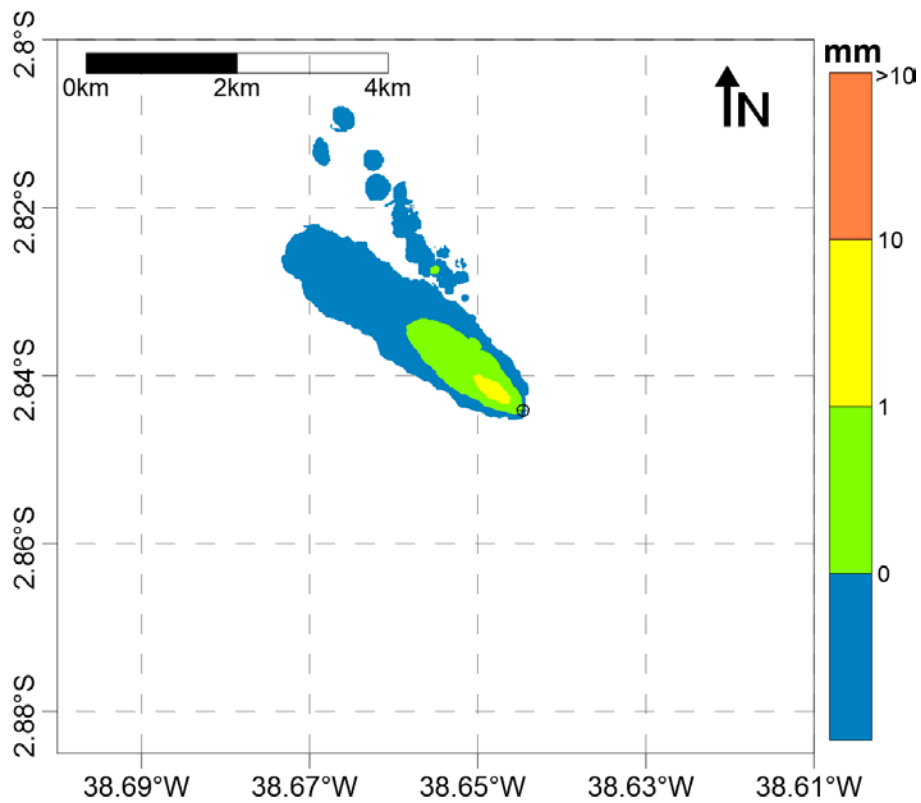


Figura 43: Pilha resultante da integração das seções com *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

A pilha resultante da integração de todos os descartes é apresentada na Figura 44.

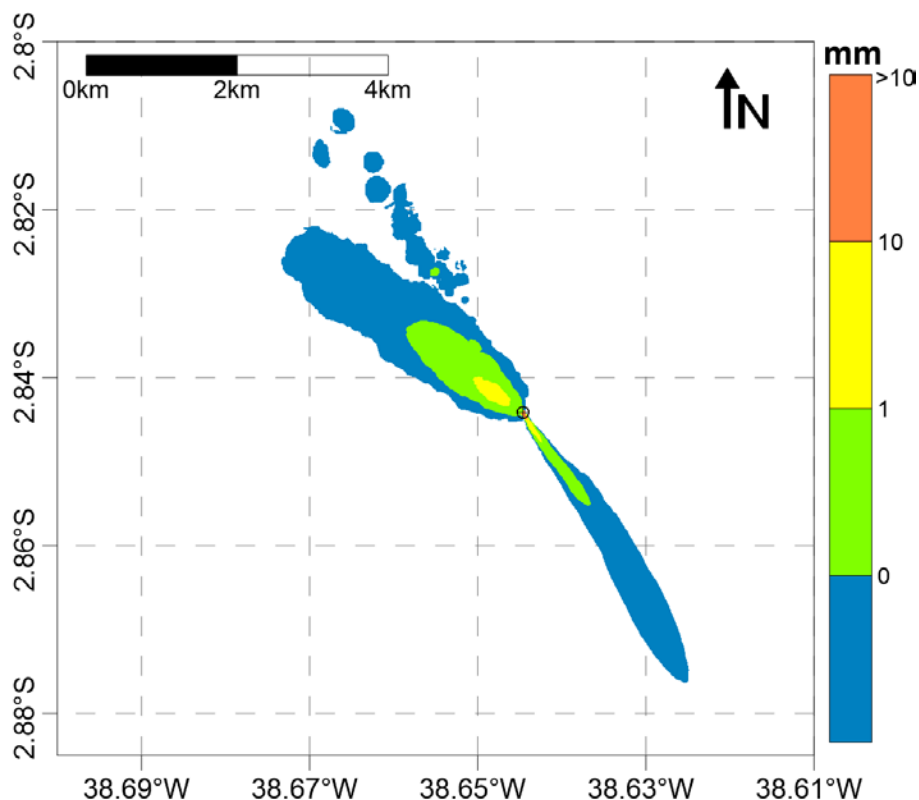


Figura 44: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

Um resumo dos resultados obtidos para este cenário é apresentado na Tabela 51.

Tabela 51: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima.

Descarte	Espessura Máxima (mm)	Área (km ²)	Distância máx. da fonte (km)
Integração - seções sem <i>riser</i>	2.978,66	1,51	4,17
Integração - seções com <i>riser</i>	2,16	4,29	4,71
Integração - todas as seções	2.978,66	5,79	4,71

Para este caso, também é observado o acúmulo total da pilha de deposição para noroeste e sudeste, estando de acordo com as correntes predominantes para a região (Figura 38). Novamente a espessura máxima (2.978,66 mm) é maior nas seções sem *riser* e a maior distância (4,71 km) e área (4,29 km) são maiores para as seções com *riser*.

A espessura máxima alcançada pela integração de todos os descartes foi de 2.978,66 mm, ocupando áreas de 5,79 km² e atingindo 4,71 km do ponto de descarte, acima de 0,01 mm. Acima de 1 mm, a área impactada reduz significativamente para 0,12 km².

Na Tabela 52, é apresentado um resumo da área encontrada acima de algumas espessuras determinadas na pilha de integração total.

Tabela 52: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima.

Espessura (mm)	Área (km²)
>= 0,01	5,79
>= 0,1	1,14
>= 1	0,12
>= 10	0,00

3.2.1.2 Sólidos em Suspensão

Para apresentação dos resultados de sólidos em suspensão foram selecionados os mesmos períodos selecionados para apresentação das pilhas de deposição (item 3.2.1.1). Esse critério levou em consideração os seguintes aspectos:

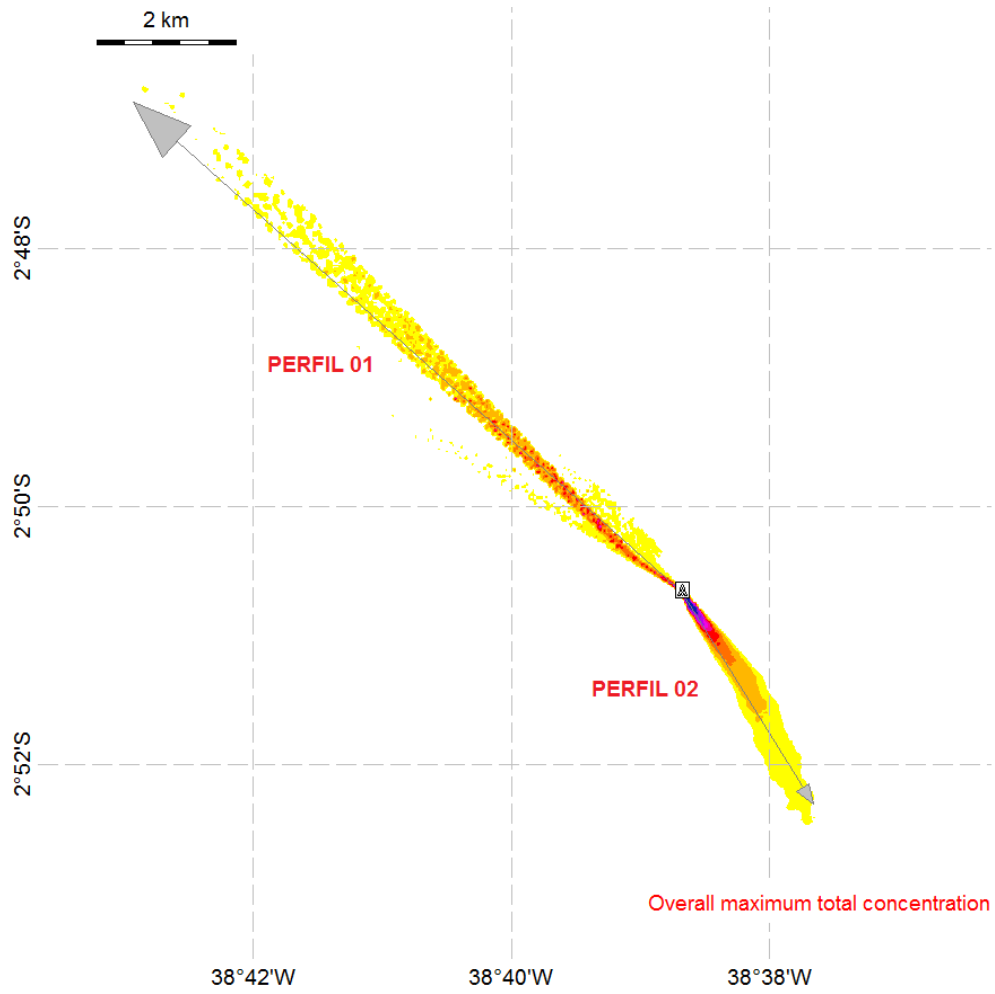
O cenário de espessura máxima de depósitos no fundo tende a ocorrer no período de correntes mais fracas, o que restringe a pluma de concentrações de sólidos em suspensão a menores distâncias em relação à fonte e resulta nas maiores concentrações de sólidos em suspensão.

O cenário de distância máxima de depósitos no fundo tende a ocorrer no período de correntes mais intensas, o que faz com que a pluma de concentrações de sólidos em suspensão atinja maiores distâncias em relação à fonte e apresente as menores concentrações.

3.2.1.2.1 Espessura Máxima

A Figura 45 e a Figura 46 apresentam a concentração máxima de sólidos em suspensão, considerando todo o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.



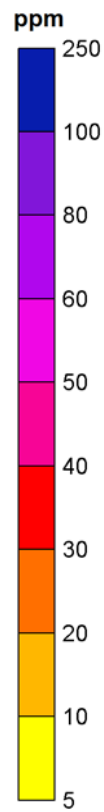


Figura 45: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta. Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

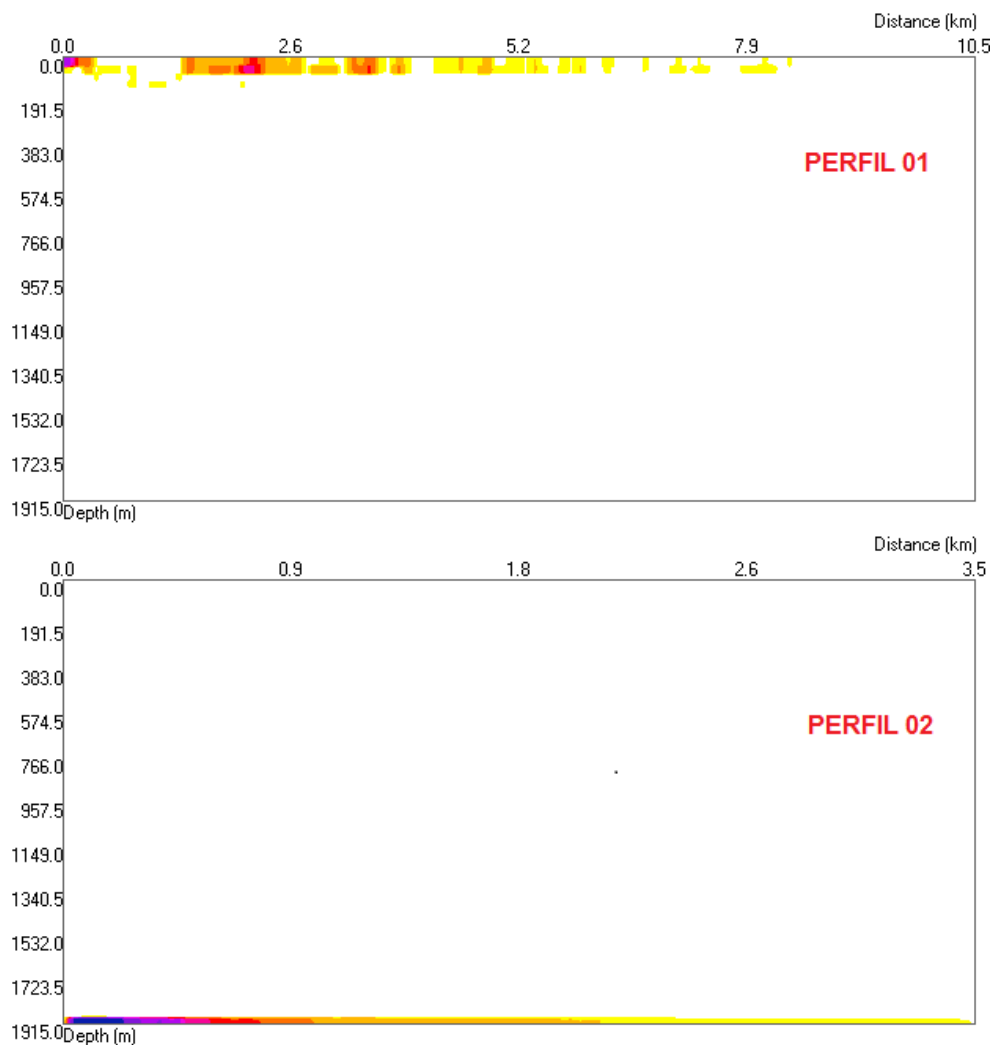
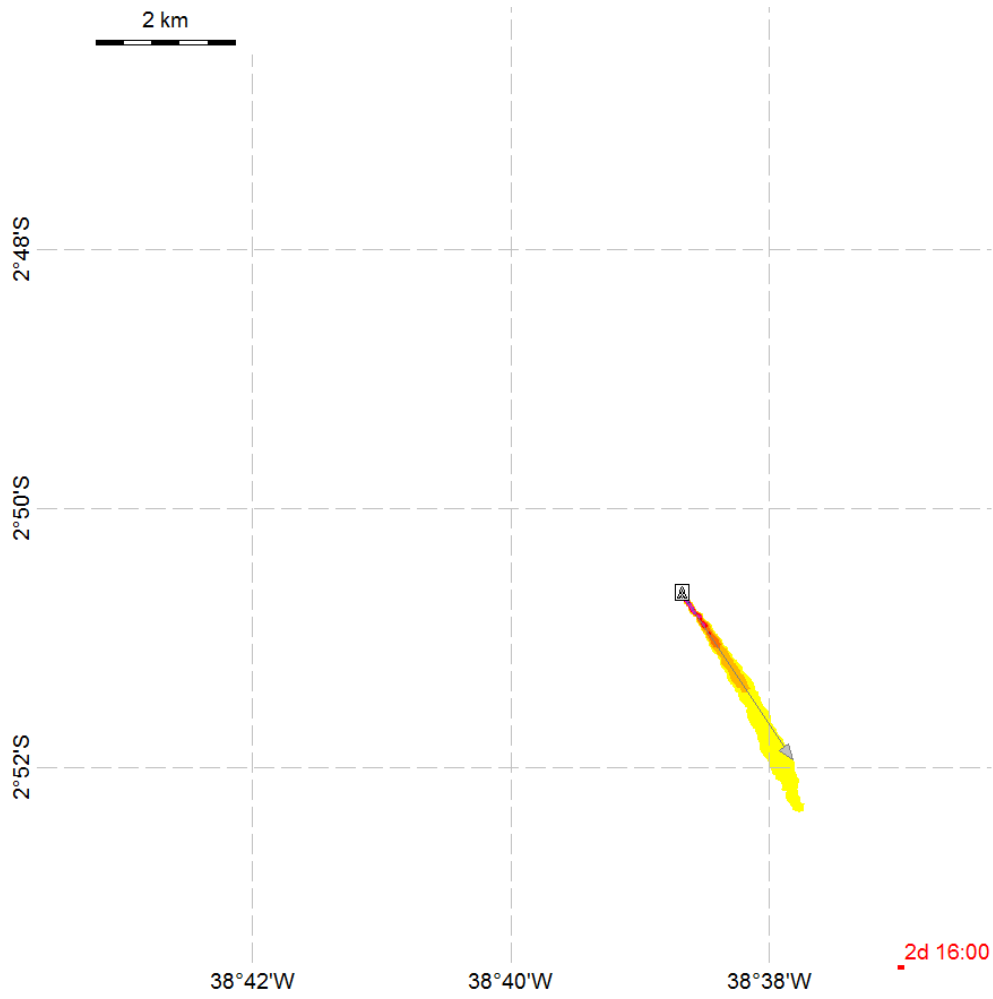


Figura 46: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão para o Perfil 01 com orientação SE-NW (painel superior) e para o Perfil 02 com orientação NW-SE (painel inferior). Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

Na Figura 47 e na Figura 48, são apresentados exemplos da dispersão de sólidos na coluna d'água após 64 h (2 dias e 16 h) e 616 h (25 dia e 16 h) do início do descarte.



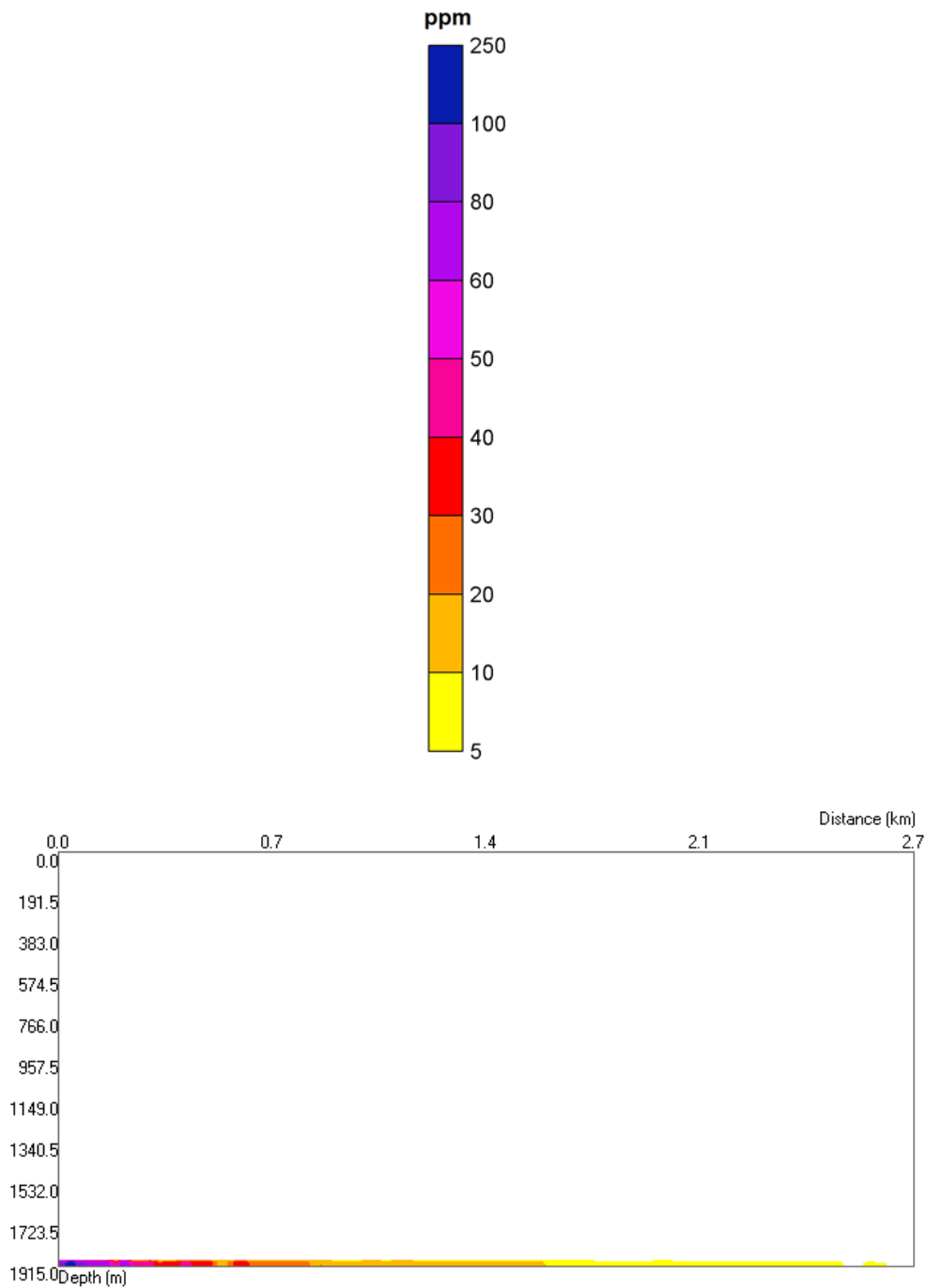
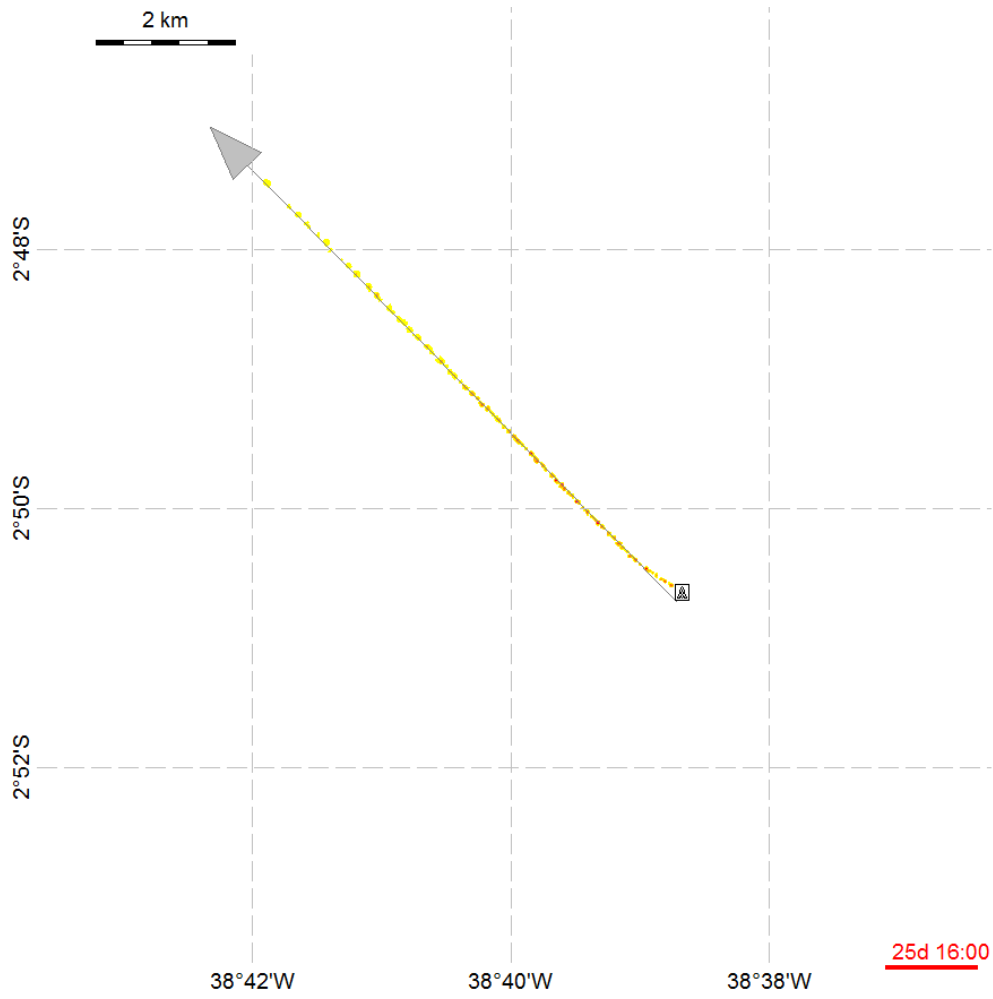


Figura 47: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 16 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação NW-SE (painel inferior). Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).



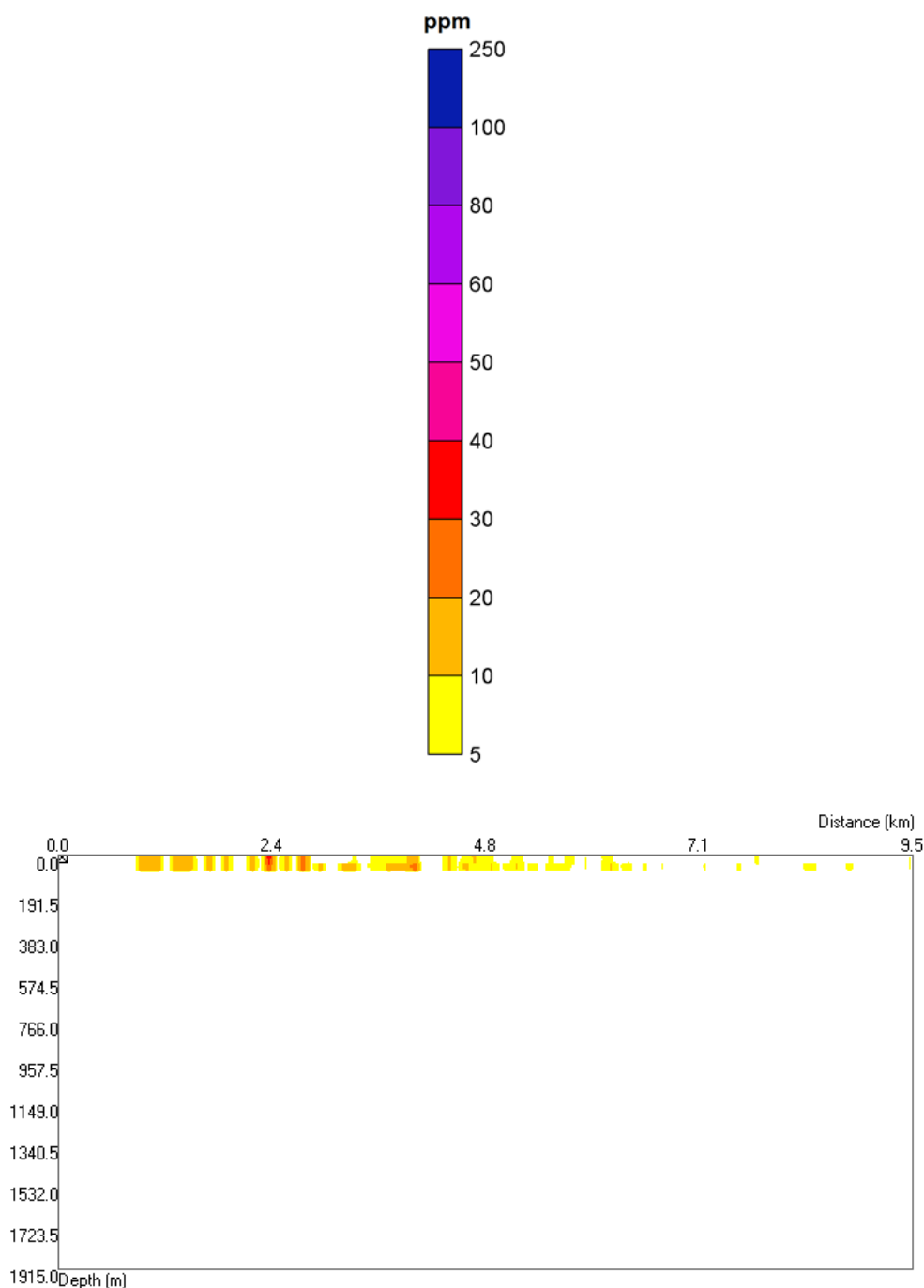


Figura 48: Concentração de sólidos na coluna d'água após 25 dias e 16 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação SE-NW (painel inferior). Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

A seguir, na Tabela 53, são apresentados os valores máximos de concentração de sólidos em suspensão, distância da fonte e tempo de permanência obtidos.

Tabela 53: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima.

Parâmetros	Valores
Concentração Máxima (ppm)	162.54
Distância Máxima da Fonte (km)	10.81
Tempo de Permanência (h) ¹	< 2

Os resultados obtidos mostram que os descartes das seções sem *riser* são os principais responsáveis pelas elevadas concentrações de sólidos em suspensão, sendo estas limitadas ao fundo, na direção sudeste.

Os sólidos descartados em superfície são mais finos (fluido aderido de base aquosa), fazendo com que a sua deposição seja lenta e, conseqüentemente, o material alcance longas distâncias, como pode ser observado nos tempos de deposição estimados no item 2.2.2 (Velocidade e Tempo de Queda dos Sólidos).

A concentração máxima observada foi de 162,54 ppm e a pluma alcançou até 10,81 km do ponto de descarte. Após 2 h do término do descarte, já não são mais observadas concentrações acima do limiar monitorado.

A Tabela 54 apresenta as distâncias máximas alcançadas acima de algumas classes de concentração.

Tabela 54: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Ponto 01 | Caso determinístico – espessura máxima.

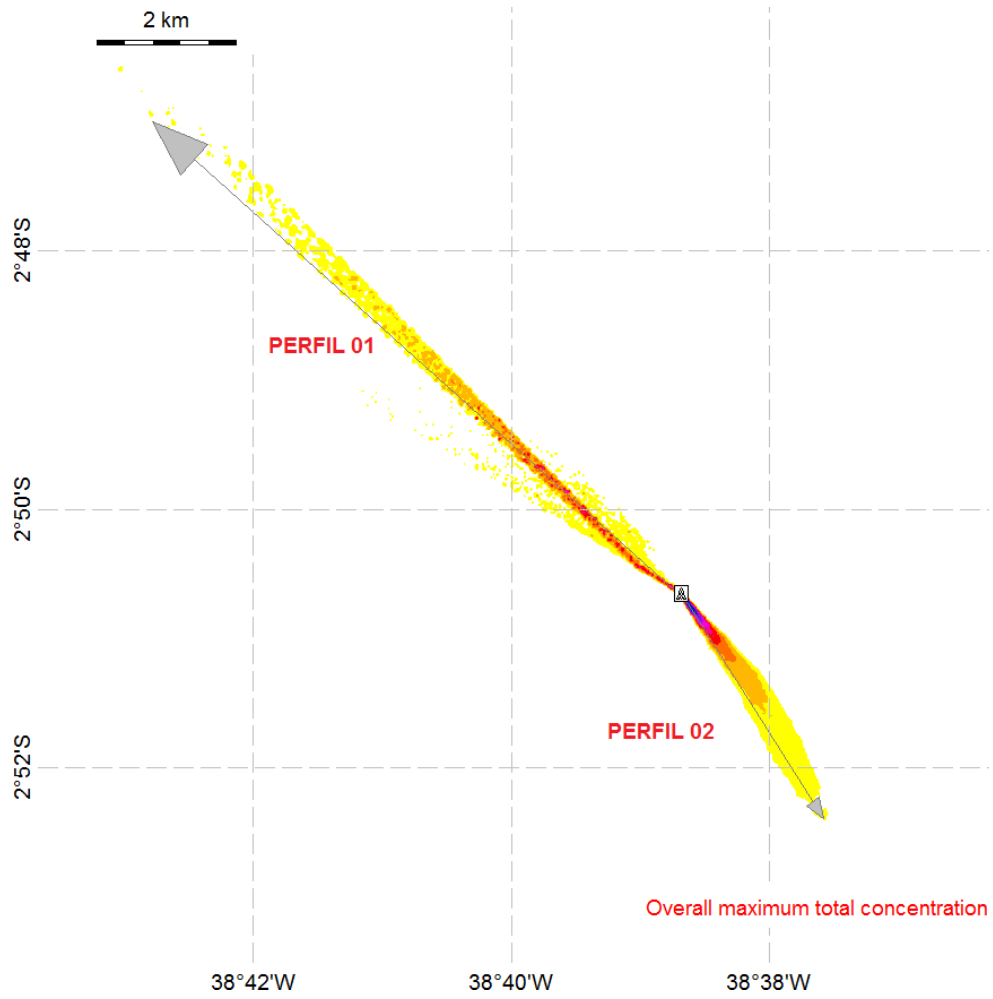
Concentração (ppm)	Distância (km)
>= 5	10,8
>= 10	7,6
>= 20	4,7
>= 30	4,3
>= 40	4,3
>= 50	2,7
>= 60	0,6
>= 80	0,5

3.2.1.2.2 Distância Máxima

¹ Período ao qual o ambiente está sujeito a concentrações acima do limiar monitorado, após o término do descarte.

A Figura 49 e a Figura 50 apresentam a concentração máxima de sólidos em suspensão, considerando todo o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.



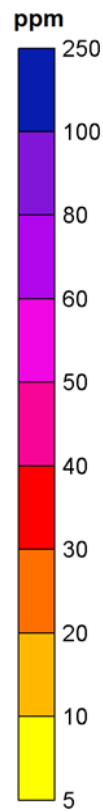
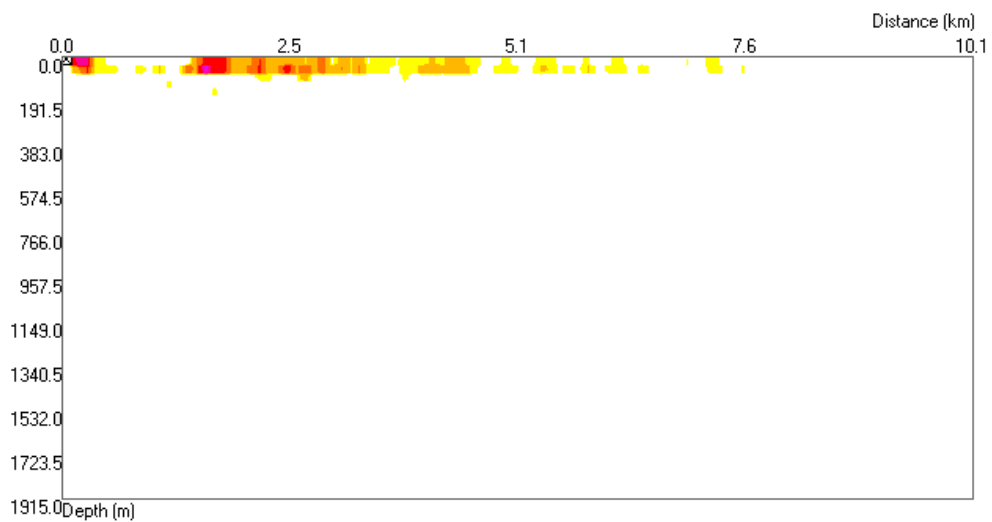


Figura 49: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta. Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima. (Datum SIRGAS 2000).



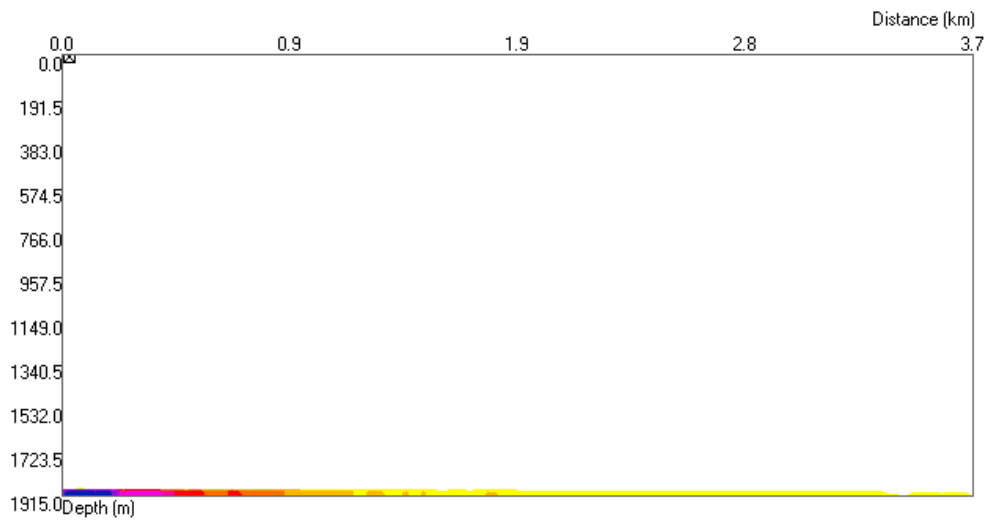
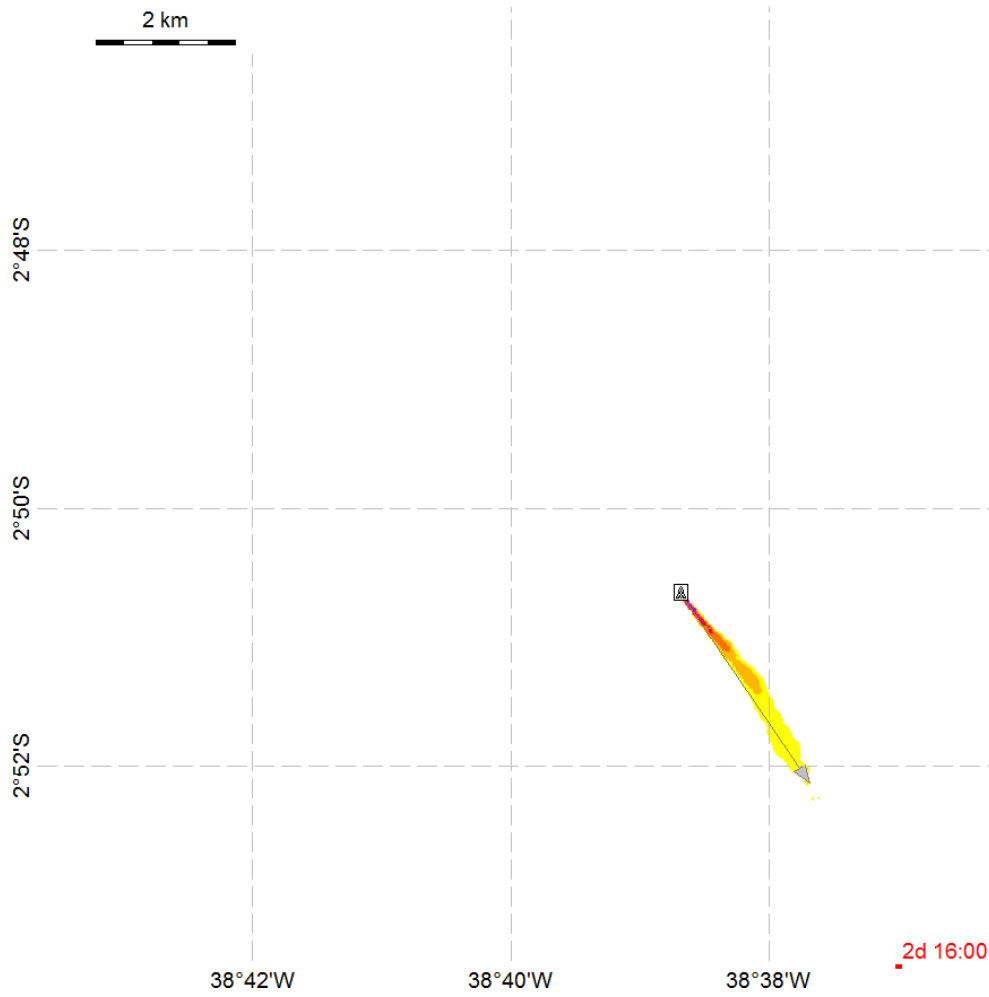


Figura 50: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão para o Perfil 01 com orientação SE-NW (painel superior) e para o Perfil 02 com orientação NW-SE (painel inferior). Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

Na Figura 51 e na Figura 52, são apresentados exemplos da dispersão de sólidos na coluna d'água após 64 h (2 dias e 16 h) e 608 h (25 dia e 08 h) do início do descarte.



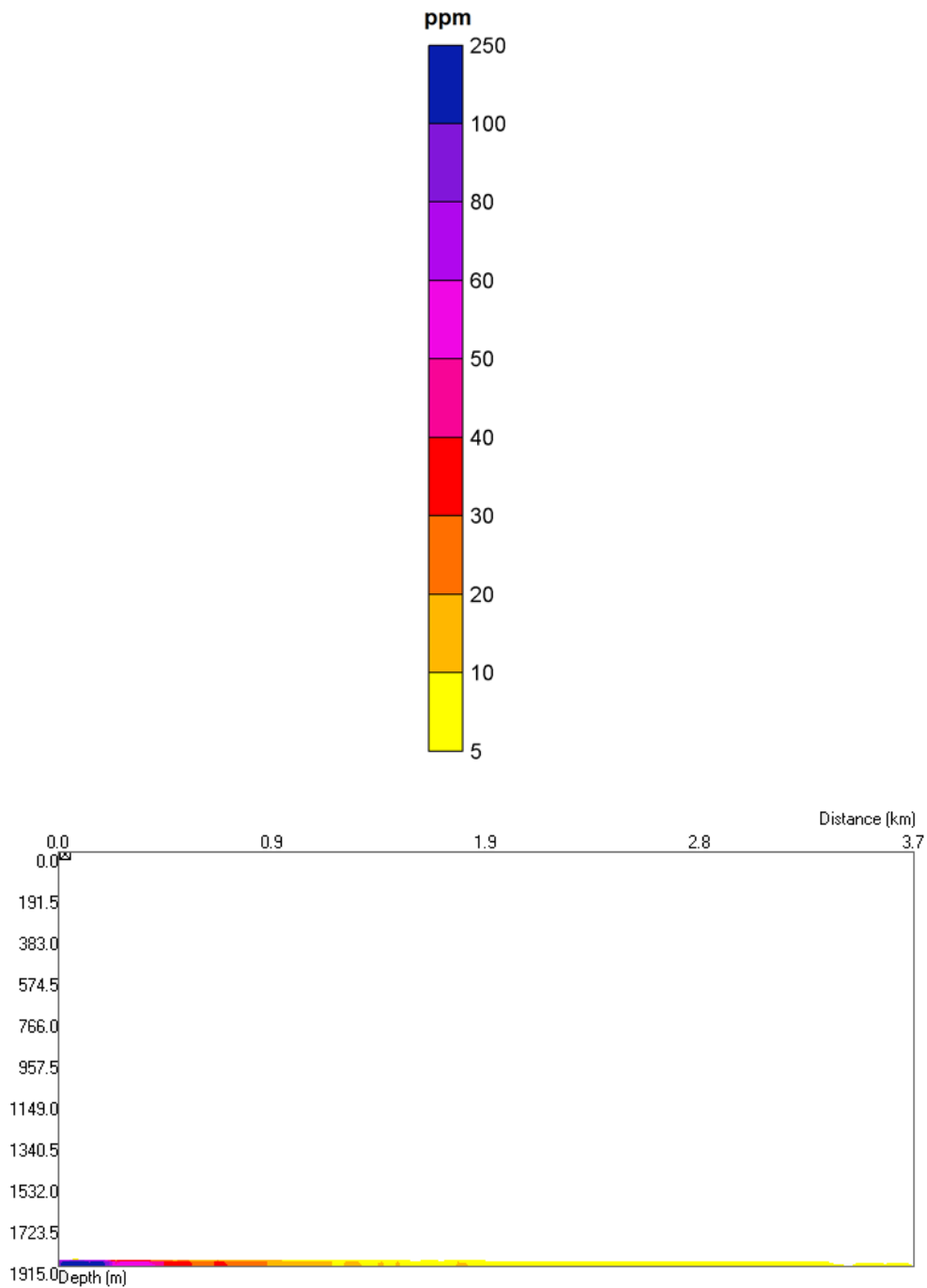
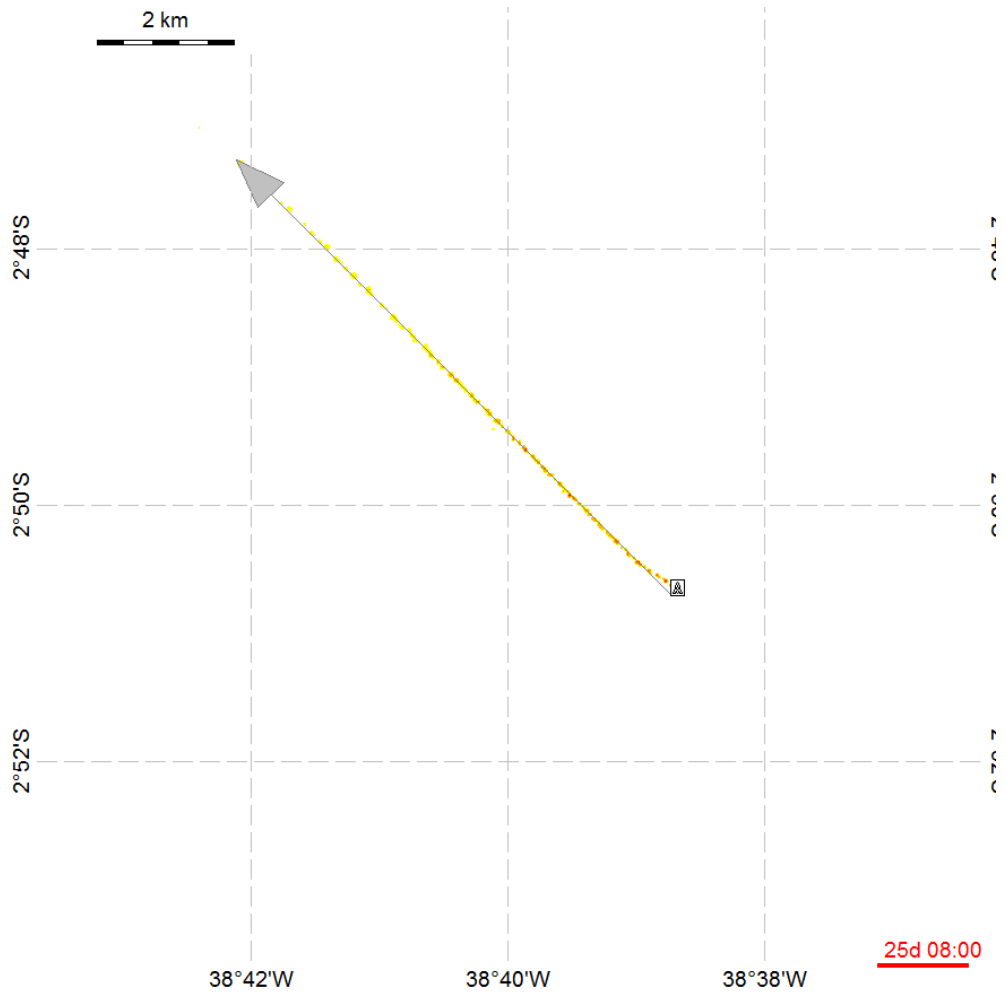


Figura 51: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 16 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação NW-SE (painel inferior). Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).



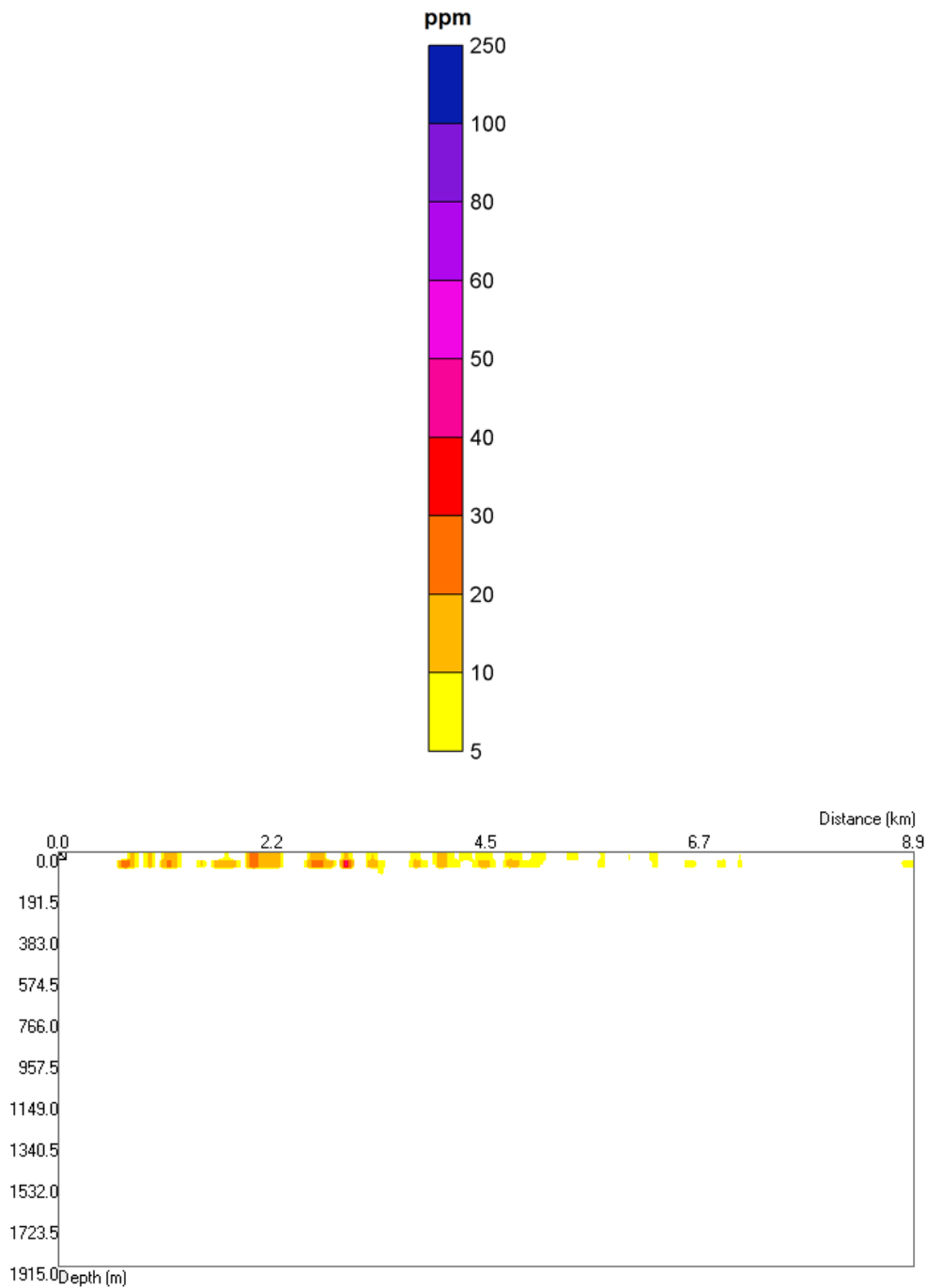


Figura 52: Concentração de sólidos na coluna d'água após 25 dias e 08 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação SE-NW (painel inferior). Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

A seguir, na Tabela 55, são apresentados os valores máximos de concentração de sólidos em suspensão, distância da fonte e tempo de permanência obtidos.

Tabela 55: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima.

Parâmetros	Valores
Concentração Máxima (ppm)	169,8
Distância Máxima da Fonte (km)	11,7
Tempo de Permanência (h) ²	< 2

Assim como os resultados obtidos para o caso determinístico de espessura máxima, os descartes das seções sem *riser* são os principais responsáveis pelas elevadas concentrações de sólidos em suspensão.

Nas seções onde o *riser* está presente observam-se concentrações em superfície que se estendem por distância maiores que o caso *sem riser*, devido à base aquosa do fluido de perfuração.

A concentração máxima observada foi de 169,8 ppm e a pluma alcançou até 11,7 km do ponto de descarte. Em comparação com o outro caso determinístico escolhido, este caso obteve maiores concentrações e maior alcance em relação à fonte. Entretanto os resultados obtidos apresentam pouca diferença entre os cenários determinísticos.

Após 2 h do término do descarte, já não são mais observadas concentrações acima do limiar monitorado.

A Tabela 56 apresenta as distâncias máximas alcançadas acima de algumas classes de concentração.

Tabela 56: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Ponto 01 | Caso determinístico – distância máxima.

Concentração (ppm)	Distância (km)
>= 5	11,7
>= 10	7,1
>= 20	4,5
>= 30	3,9
>= 40	3,9
>= 50	3,9
>= 60	2,2
>= 80	0,5

² Período ao qual o ambiente está sujeito a concentrações acima do limiar monitorado, após o término do descarte.

3.2.2 Ponto 02

A Tabela 57 apresenta os períodos de simulação selecionados para cada caso determinístico do ponto 02. O caso de espessura máxima está contido dentro do período de inverno, enquanto o cenário de distância máxima está dentro do verão.

Tabela 57: Data inicial e final da simulação obtidas para os dois casos determinísticos selecionados para o ponto 02.

Cenário Determinístico	Início	Fim
Espessura Máxima	06-abr-2013	05-mai-2013
Distância Máxima	05-fev-2013	06-mar-2013

A Figura 24 e a Figura 25 apresentam as rosas de correntes limitadas a esses períodos (respectivamente espessura e distância máxima).

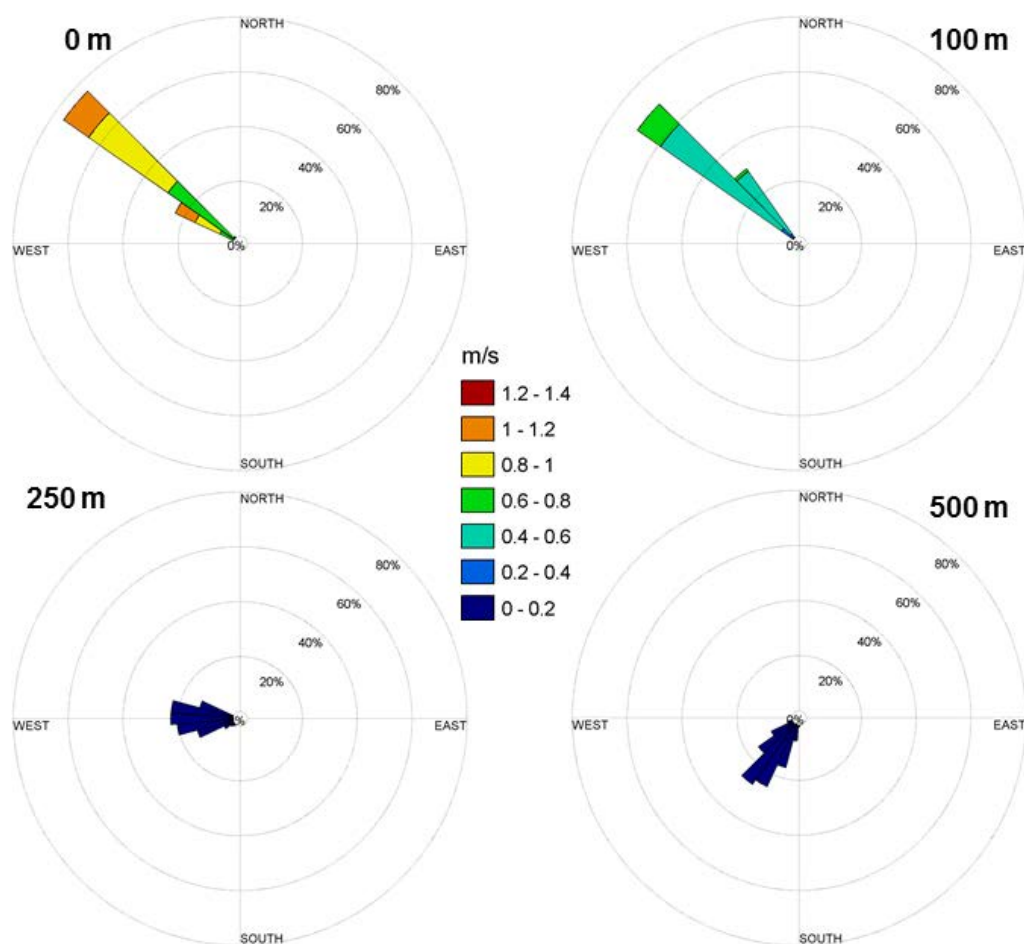


Figura 53: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 100, 250 e 500 metros, para o período representativo do cenário determinístico de espessura máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 02.

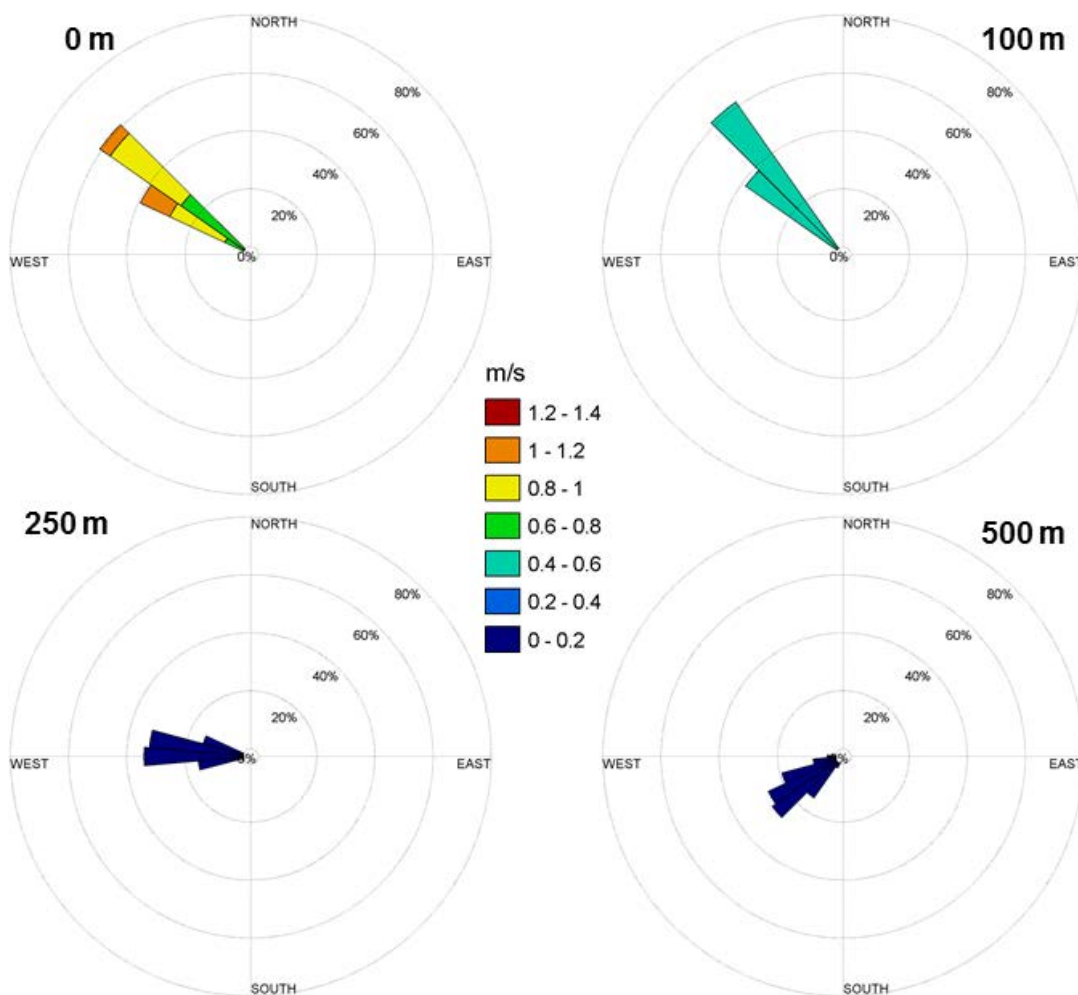


Figura 54: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 100, 250 e 500 metros, para o período representativo do cenário determinístico de distância máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao ponto 02.

A Tabela 48 apresenta os valores máximos de intensidade obtidos para ambos os cenários determinísticos.

Tabela 58: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários determinísticos de espessura máxima e distância máxima do ponto 02.

Profundidade (m)	Intensidade Máxima (m/s)	
	Det. Esp. Máx.	Det. Dist. Máx.
0	1,18	1,15
100	0,69	0,60
500	0,10	0,10
1.000	0,10	0,10

A seguir, os resultados obtidos para as pilhas de deposição e para as plumas de sólidos em suspensão serão apresentados para cada um desses cenários determinísticos.

3.2.2.1 Pilhas de Deposição

3.2.2.1.1 Espessura Máxima

A seguir, serão apresentados os resultados para o caso determinístico que obteve o maior valor de espessura. A integração das seções sem e com *riser* são apresentadas na Figura 55 e na Figura 56, respectivamente.

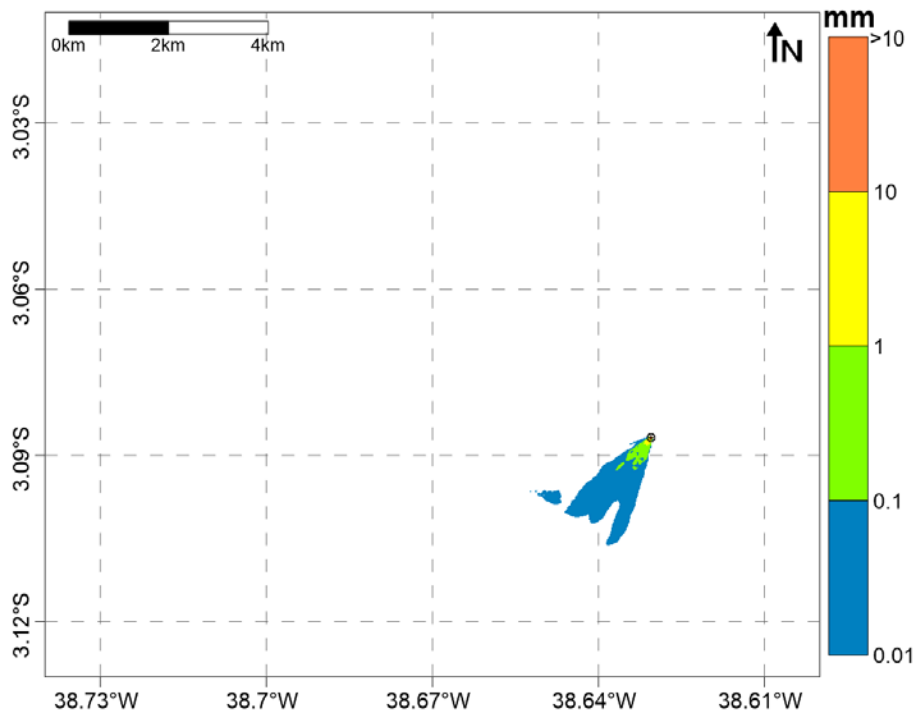


Figura 55: Pilha resultante da integração das seções sem *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

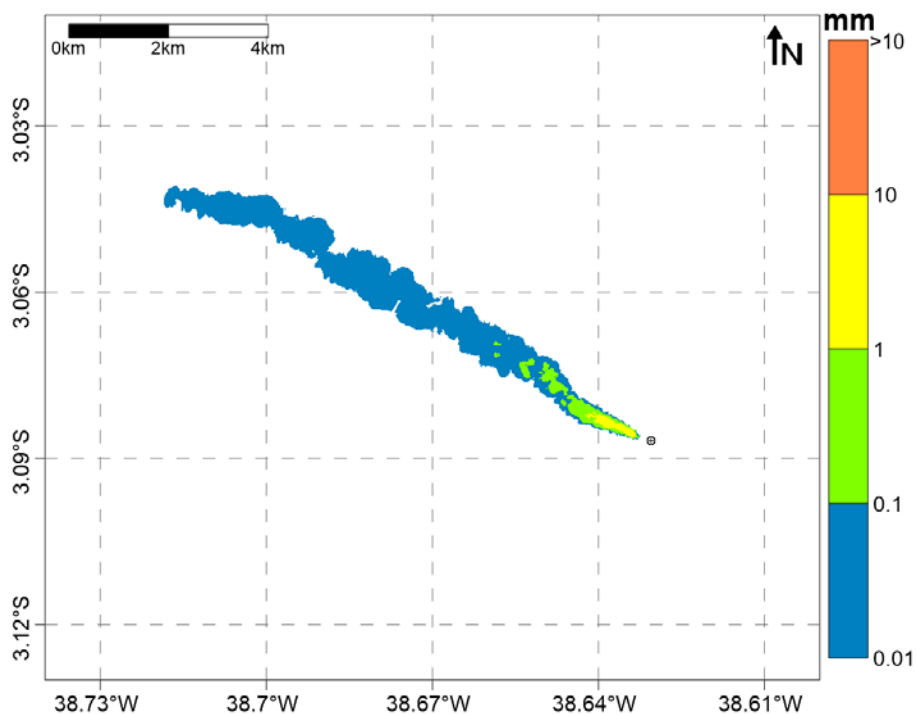


Figura 56: Pilha resultante da integração das seções com *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

A pilha resultante da integração de todos os descartes é apresentada na Figura 57.

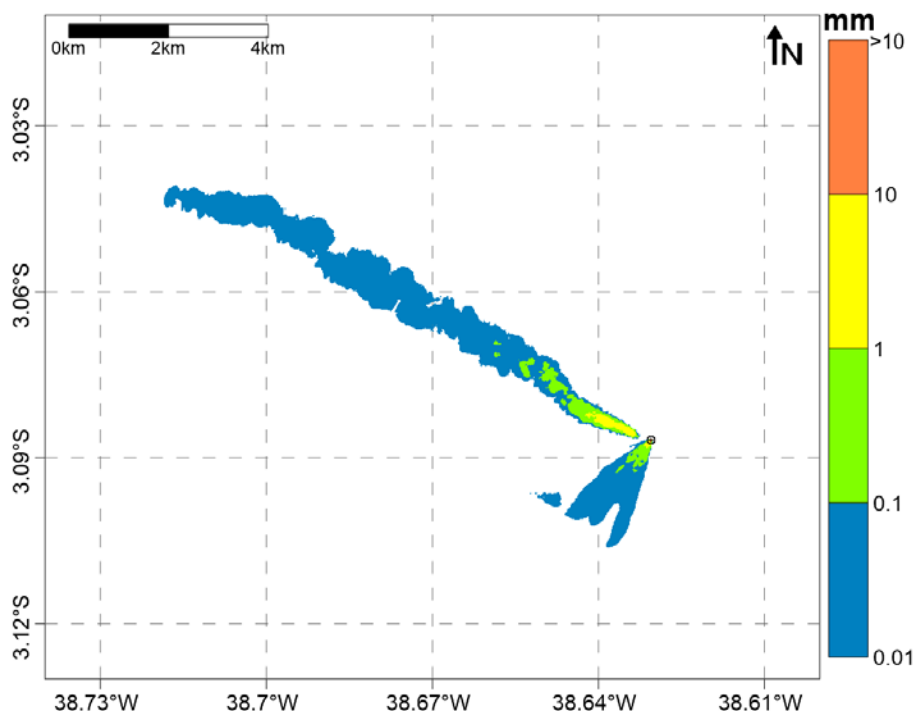


Figura 57: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

Um resumo dos resultados obtidos para este cenário é apresentado na Tabela 59.

Tabela 59: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima.

Descarte	Espessura Máxima (mm)	Área (km ²)	Distância máx. da fonte (km)
Integração - seções sem <i>riser</i>	3.246,70	1,68	2,68
Integração - seções com <i>riser</i>	7,82	6,59	10,92
Integração - todas as seções	3.246,70	8,26	10,92

Assim como visto no caso probabilístico, o material descartado no fundo é transportado na direção sudoeste, apresentando a maior espessura (3.246,70 mm). Já o descarte realizado em

superfície (utilização do riser), apresenta a maior área (6,59 km²) e distância relativa à fonte (10,92 km), sendo este arrastado pelas correntes de noroeste.

A espessura máxima alcançada pela integração de todos os descartes foi de 3.246,70 mm, ocupando áreas de 8,26 km² e atingindo 10,92 km do ponto de descarte, acima de 0,01 mm. Acima de 1 mm, a área impactada reduz significativamente para 0,16 km².

Na Tabela 60, é apresentado um resumo da área encontrada acima de algumas espessuras determinadas na pilha de integração total.

Tabela 60: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima.

Espessura (mm)	Área (km²)
>= 0,01	8,26
>= 0,1	0,83
>= 1	0,16
>= 10	0,00

3.2.2.1.2 Distância Máxima

A seguir, serão apresentados os resultados para o caso determinístico que obteve a maior distância em relação à fonte. A integração das seções sem e com *riser* são apresentadas na Figura 58 e na Figura 59, respectivamente.

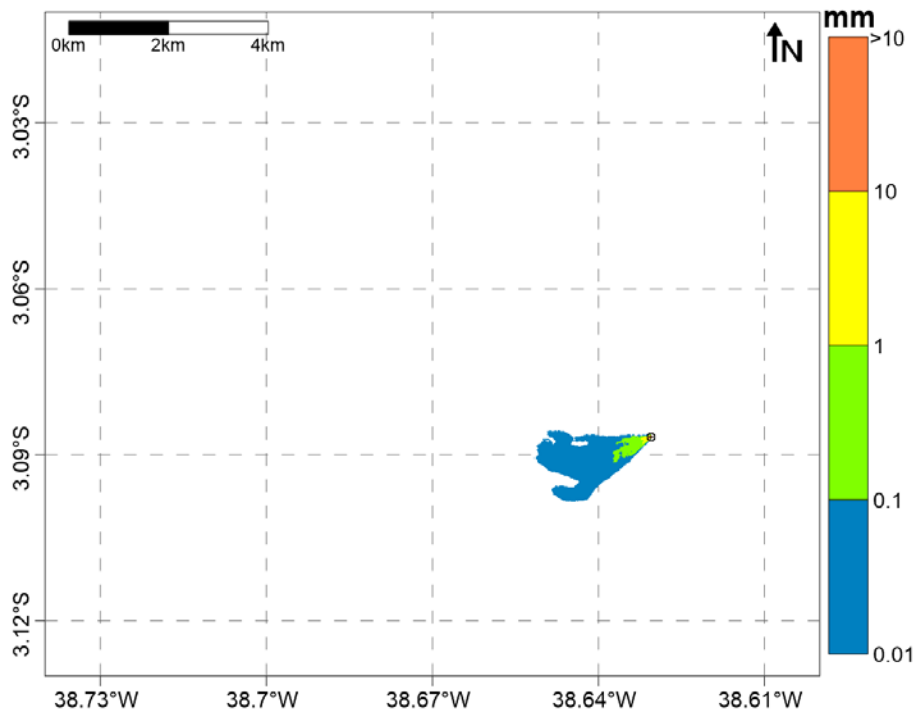


Figura 58: Pilha resultante da integração das seções sem *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

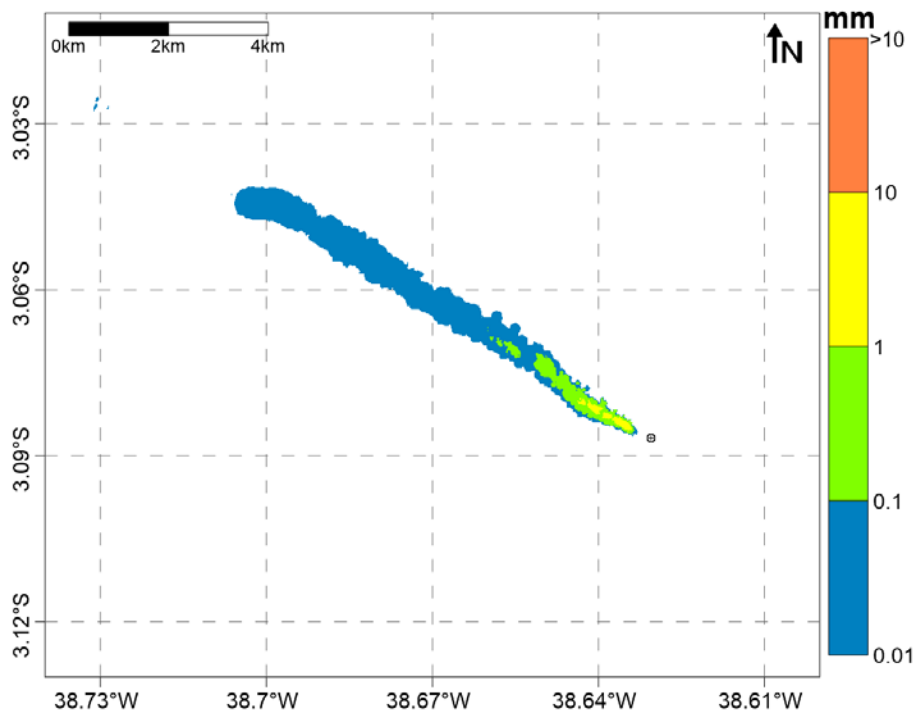


Figura 59: Pilha resultante da integração das seções com *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

A pilha resultante da integração de todos os descartes é apresentada na Figura 60.

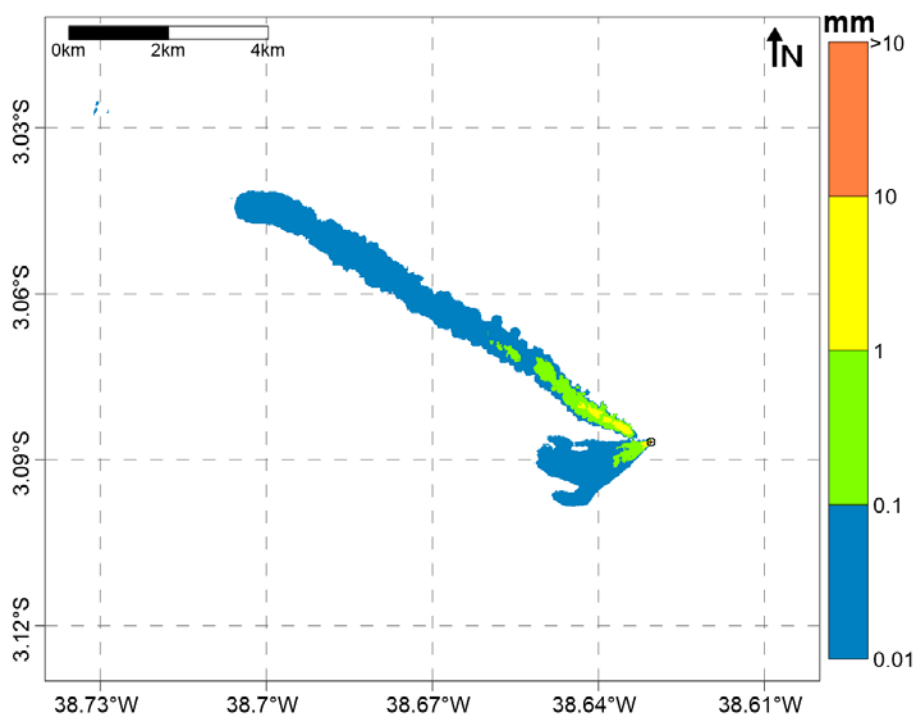


Figura 60: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm.
Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima. (Datum SIRGAS 2000).

Um resumo dos resultados obtidos para este cenário é apresentado na Tabela 61.

Tabela 61: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima.

Descarte	Espessura Máxima (mm)	Área (km ²)	Distância máx. da fonte (km)
Integração - seções sem riser	3.095,06	1,83	2,41
Integração - seções com riser	7,10	5,40	13,04
Integração - todas as seções	3.095,06	7,23	13,04

Neste caso, o acúmulo da pilha de deposição ocorre na direção noroeste para o descarte realizado em superfície, e para sudoeste para o descarte realizado no fundo, sem o riser, estando de acordo com as correntes predominantes para a região (Figura 54). A espessura máxima (3.095,06 mm) é maior nas seções sem riser, entretanto, a distância máxima (13,04 km) e área (5,40 km²) são maiores para as seções com riser.

A espessura máxima alcançada pela integração de todos os descartes foi de 3.095,06 mm, ocupando áreas de 7,23 km² e atingindo 13,04 km do ponto de descarte, acima de 0,01 mm. Acima de 1 mm, a área impactada reduz significativamente para 0,15 km².

Na Tabela 62, é apresentado um resumo da área encontrada acima de algumas espessuras determinadas na pilha de integração total.

Tabela 62: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima.

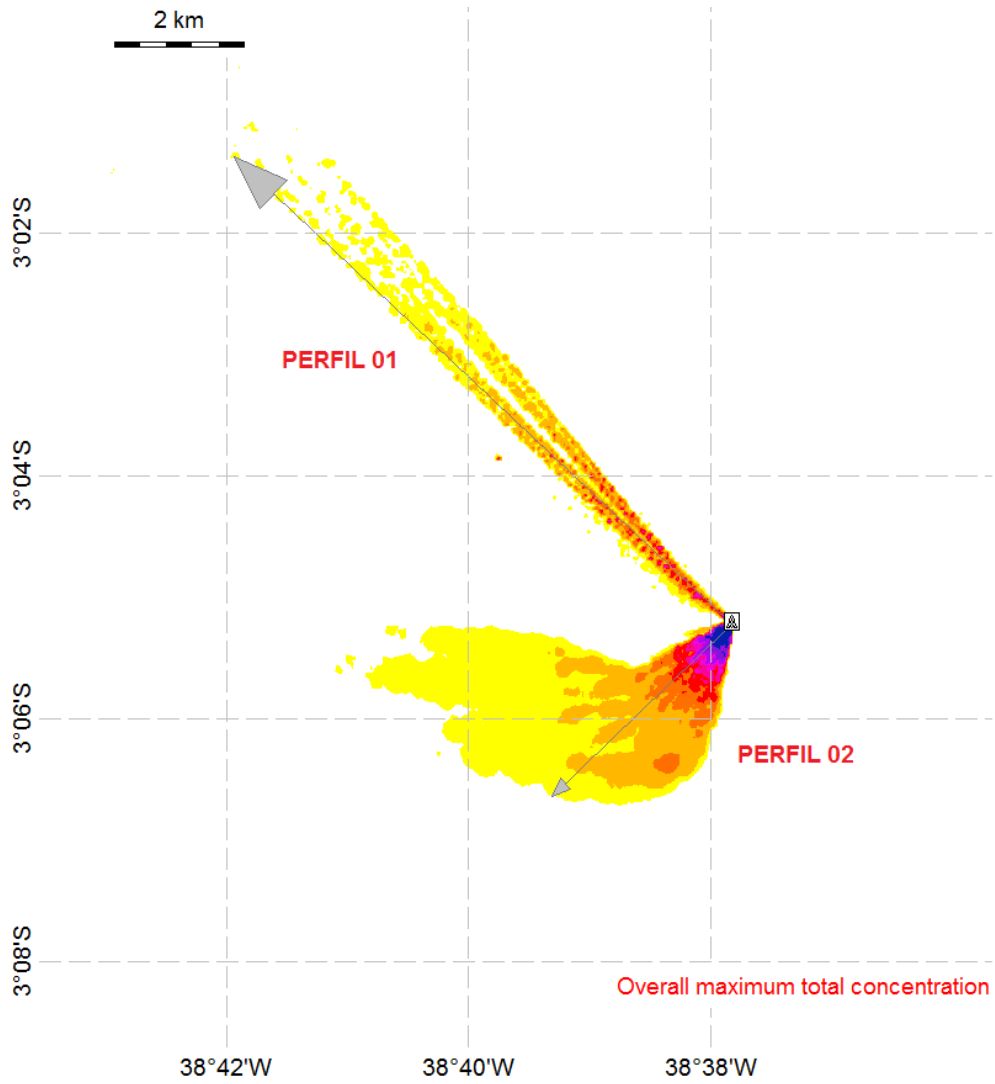
Espessura (mm)	Área (km²)
>= 0,01	7,23
>= 0,1	0,99
>= 1	0,15
>= 10	0,00

3.2.2.2 Sólidos em Suspensão

3.2.2.2.1 Espessura Máxima

A Figura 61 e a Figura 62 apresentam a concentração máxima de sólidos em suspensão, considerando todo o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.



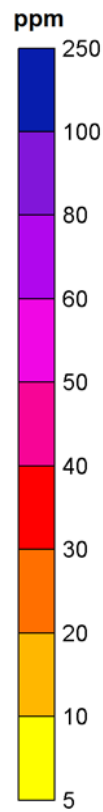
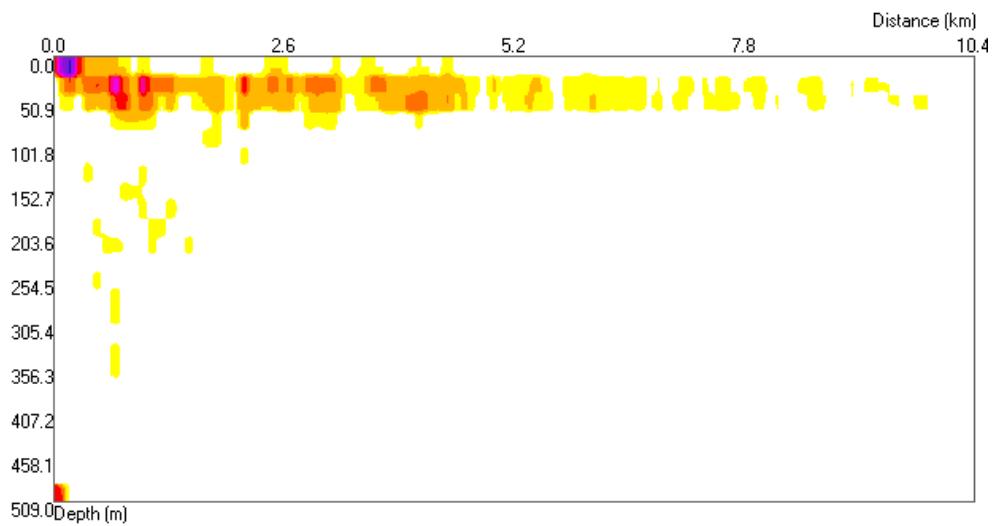


Figura 61: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta. Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima. (Datum SIRGAS 2000).



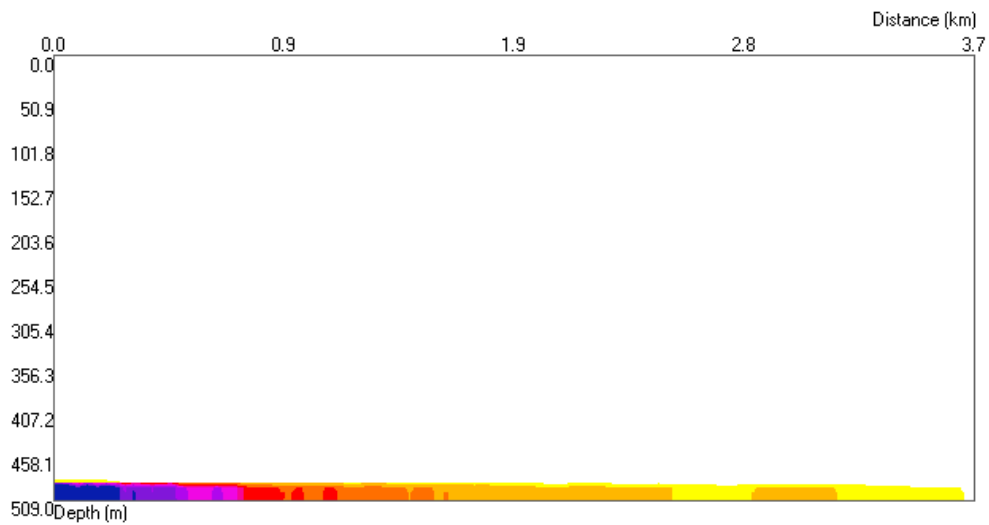


Figura 62: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão para o Perfil 01 com orientação SE-NW (painel superior) e para o Perfil 02 com orientação NE-SW (painel inferior). Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

Na Figura 63 e na Figura 64, são apresentados exemplos da dispersão de sólidos na coluna d'água após 52 h (2 dias e 04 h) e 610 h (25 dias e 10 h) do início do descarte.

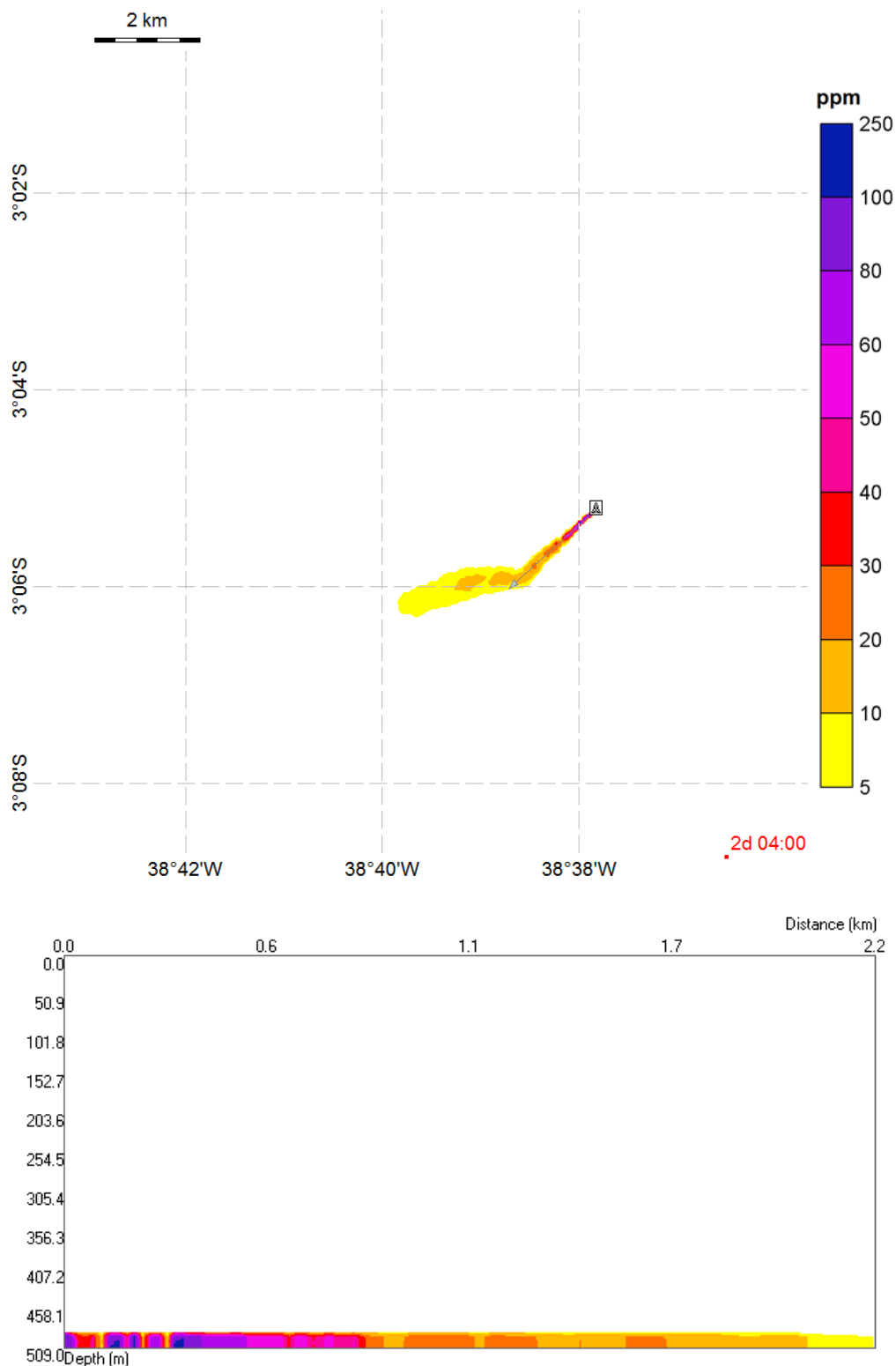


Figura 63: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 4 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação NE-SW (painel inferior). Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima. (Datum SIRGAS 2000).

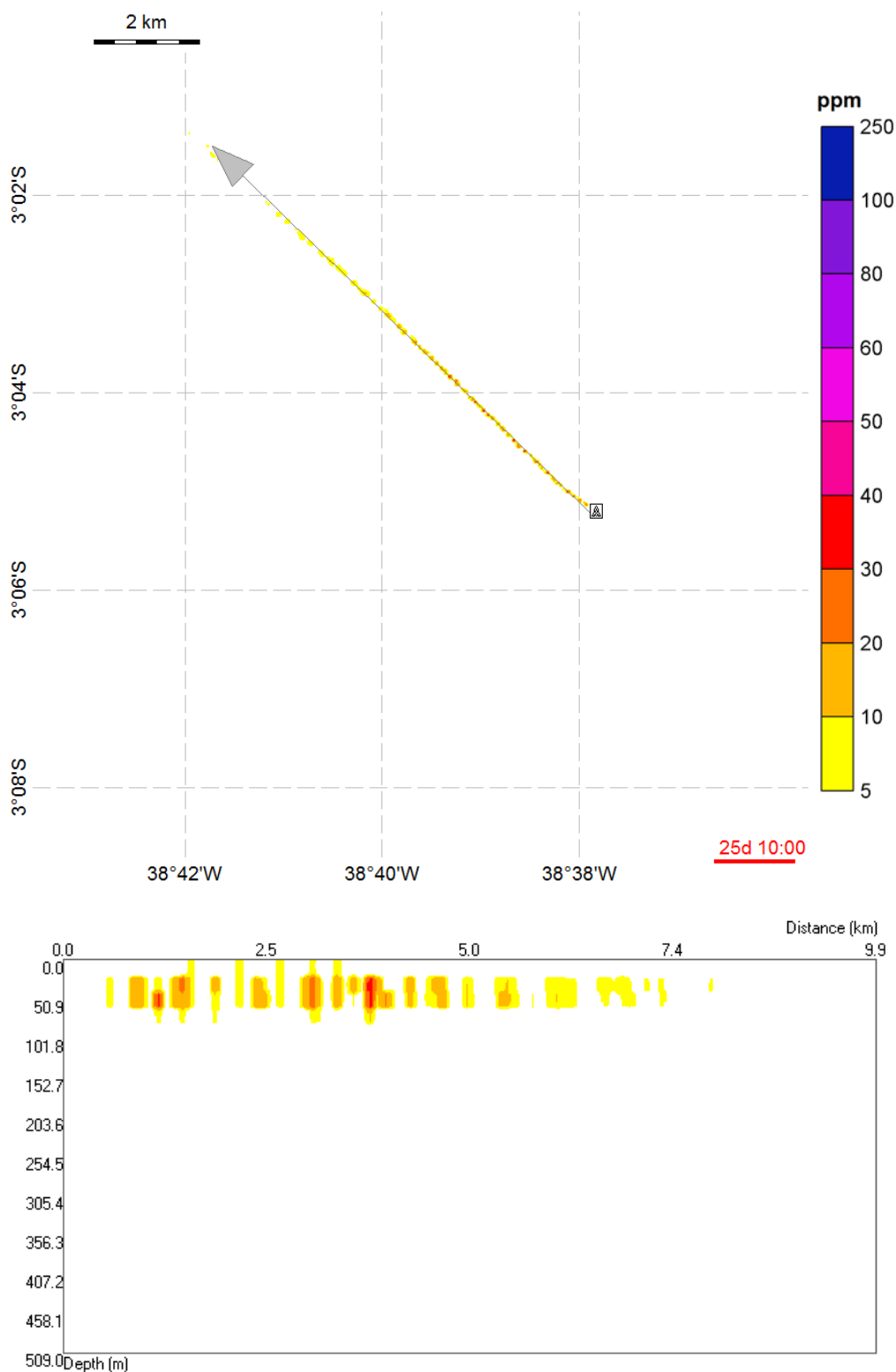


Figura 64: Concentração de sólidos na coluna d'água após 25 dias e 10 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação SE-NW (painel inferior). Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima. (Datum SIRGAS 2000).

A seguir, na Tabela 63, são apresentados os valores máximos de concentração de sólidos em suspensão, distância da fonte e tempo de permanência obtidos.

Tabela 63: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima.

Parâmetros	Valores
Concentração Máxima (ppm)	214,0
Distância Máxima da Fonte (km)	11,7
Tempo de Permanência (h) ³	< 4

Os resultados obtidos mostram que os descartes das seções sem *riser* são os principais responsáveis pelas elevadas concentrações de sólidos em suspensão. O ponto em questão (Sanderstead East) possui uma profundidade menor que ponto 01 (Pecem Crest), portanto apresentando correntes mais intensas nas seções onde o descarte é feito sem *riser*. Com isso a área atingida ao longo dessas seções é mais extensa.

Já o descarte realizado ao longo das seções com *riser* apresentou o mesmo padrão noroeste observado no ponto anterior. Além disso, a distância máxima em relação a fonte foi superior que nas seções de descarte de fundo.

A concentração máxima observada foi de 214,0 ppm e a pluma alcançou até 11,7 km do ponto de descarte. Após 4 h do término do descarte, já não são mais observadas concentrações acima do limiar monitorado.

A Tabela 64 apresenta as distâncias máximas alcançadas acima de algumas classes de concentração.

Tabela 64: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Ponto 02 | Caso determinístico – espessura máxima.

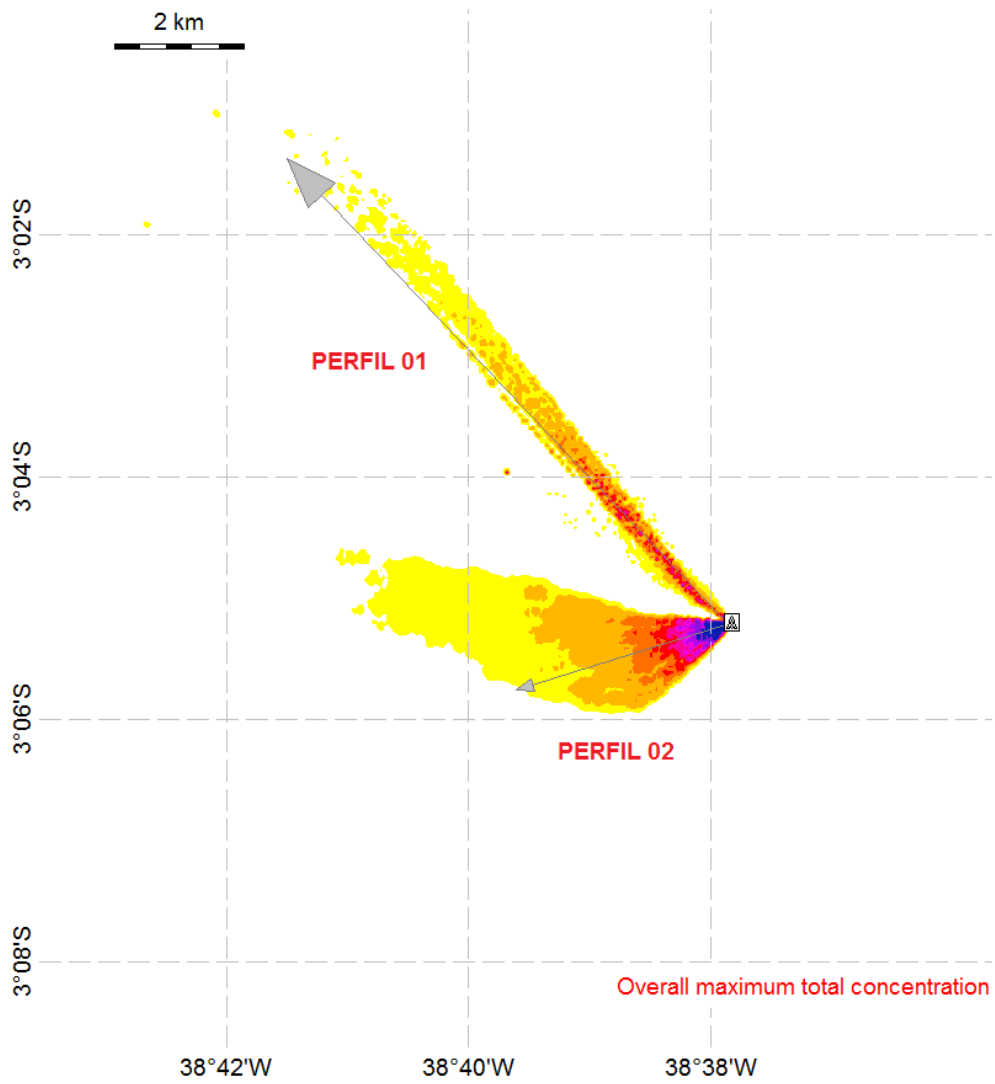
Concentração (ppm)	Distância (km)
>= 5	11,7
>= 10	7,0
>= 20	5,3
>= 30	4,3
>= 40	4,3
>= 50	4,3
>= 60	2,4
>= 80	0,7

³ Período ao qual o ambiente está sujeito a concentrações acima do limiar monitorado, após o término do descarte.

3.2.2.2.2 Distância Máxima

A Figura 65 apresenta a concentração máxima de sólidos em suspensão, considerando todo o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.



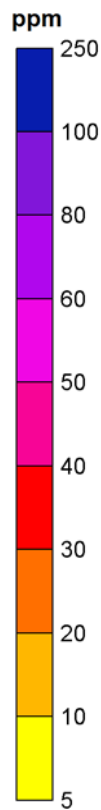
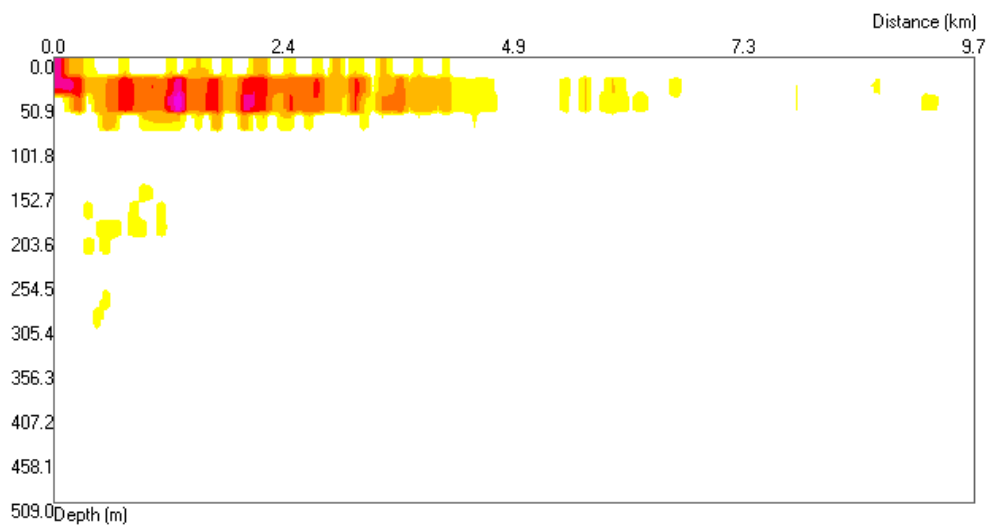


Figura 65: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão em planta. Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima.
(Datum SIRGAS 2000).



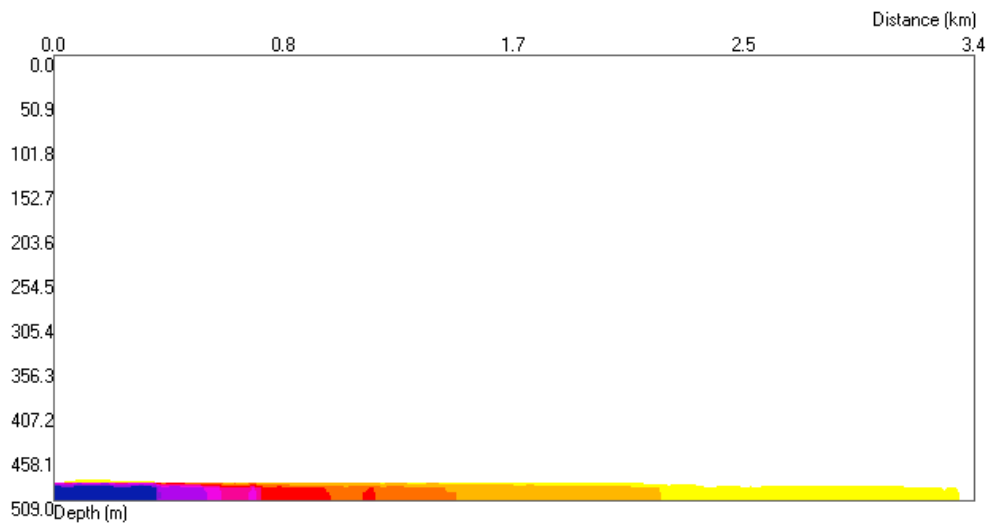


Figura 66: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes: visão para o Perfil 01 com orientação SE-NW (painel superior) e para o Perfil 02 com orientação NE-SW (painel inferior). Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

Na Figura 67 e na Figura 68, são apresentados exemplos da dispersão de sólidos na coluna d'água após 58 h (2 dias e 10 h) e 602 h (25 dias e 02 h) do início do descarte.

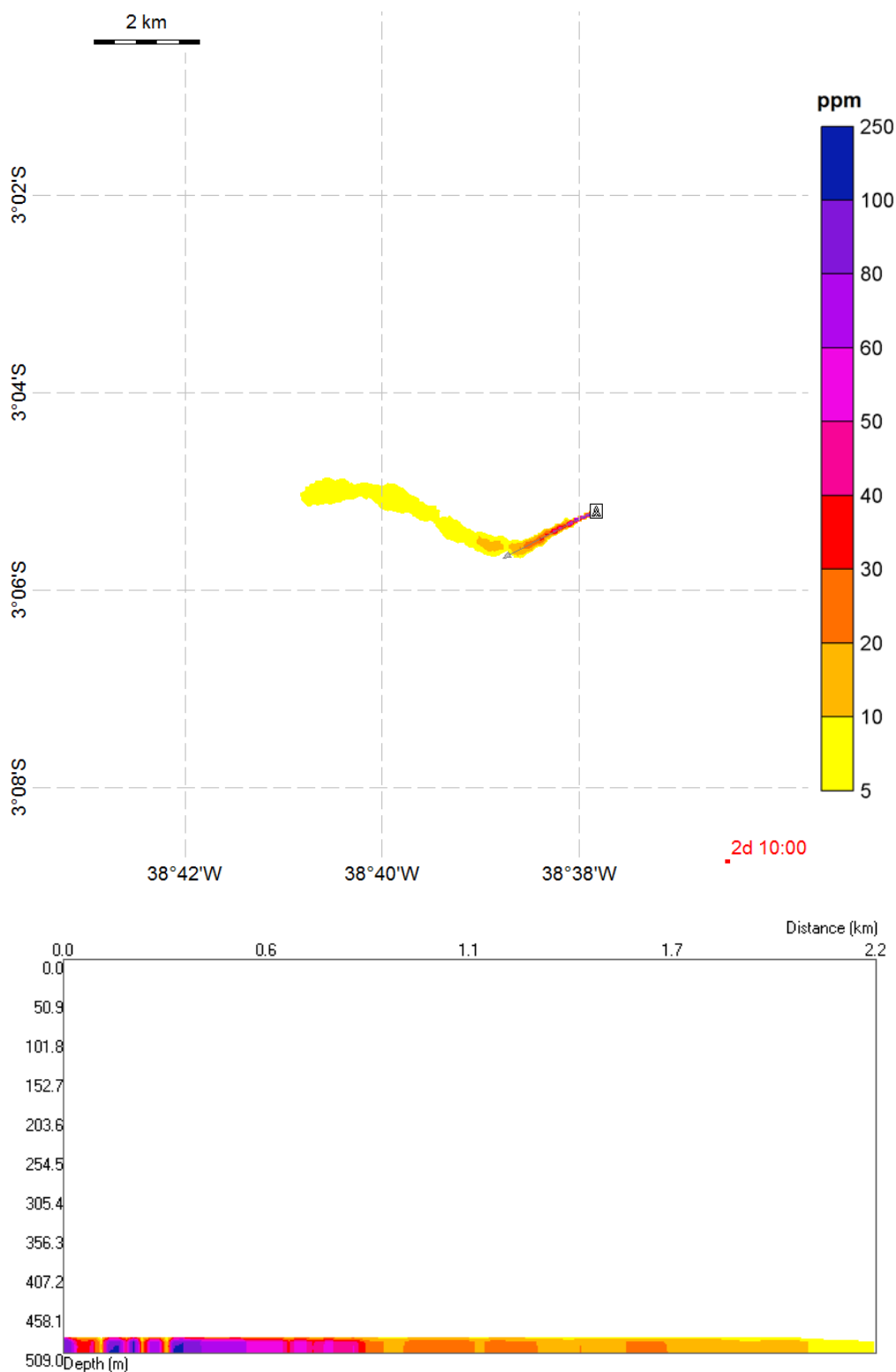


Figura 67: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 10 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação NE-SW (painel inferior). Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

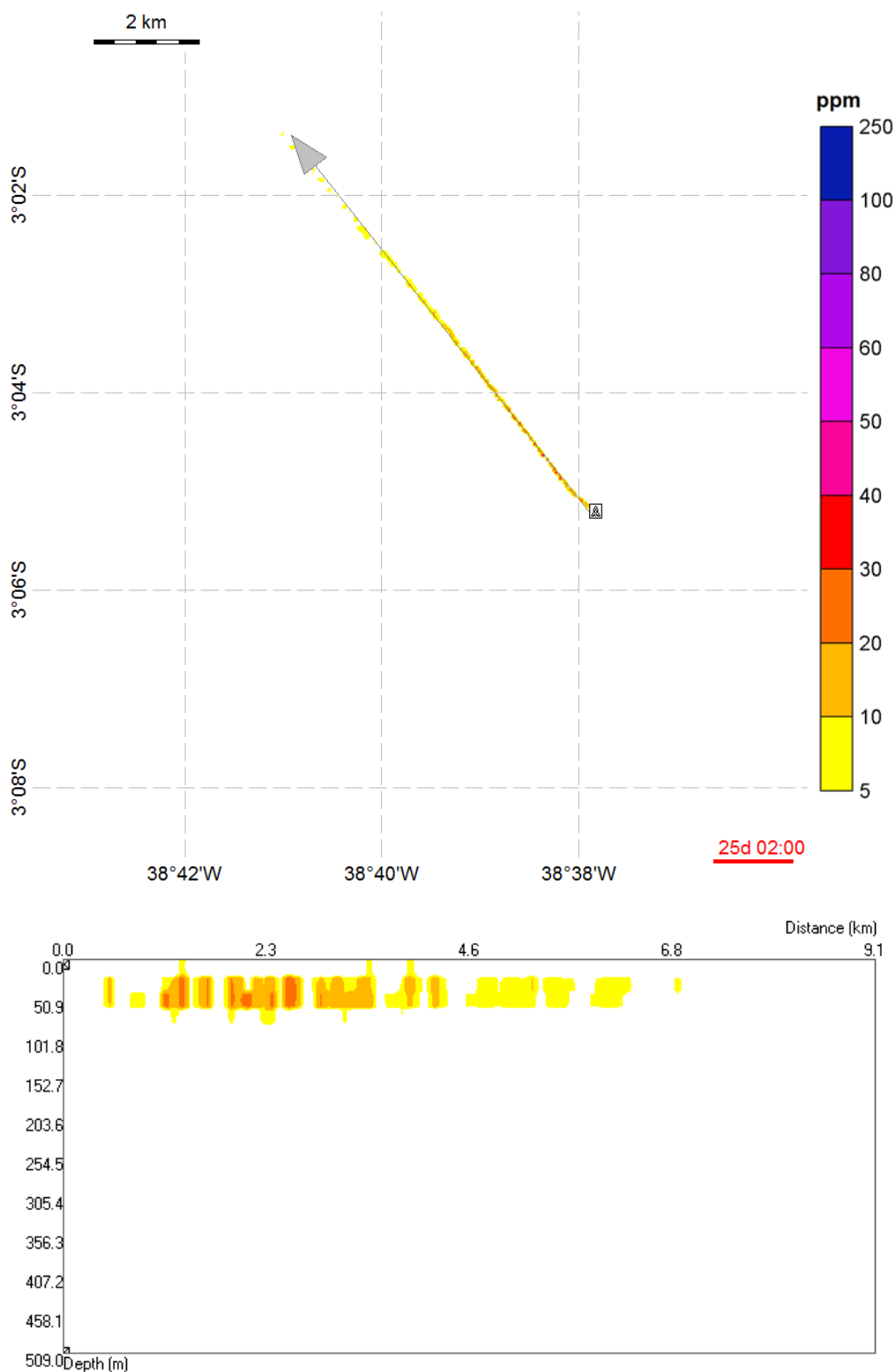


Figura 68: Concentração de sólidos na coluna d'água após 25 dias e 2 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil com orientação SE-NW (painel inferior). Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

A seguir, na Tabela 65, são apresentados os valores máximos de concentração de sólidos em suspensão, distância da fonte e tempo de permanência obtidos.

Tabela 65: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima.

Parâmetros	Valores
Concentração Máxima (ppm)	176,4
Distância Máxima da Fonte (km)	12,6
Tempo de Permanência (h) ⁴	< 4

A pluma formada pelo descarte das seções sem *riser*, resultou em concentrações de fundo no arco compreendido entre as direções oeste e sudoeste. Novamente observa-se que os descartes realizados em superfície (utilização de *riser*) resultou em sólidos em suspensão em distâncias maiores devido à natureza menos densa do material (fluido de base aquosa).

A concentração máxima observada foi de 176,4 ppm e a pluma alcançou 12,6 km do ponto de descarte. Em comparação com o outro caso determinístico escolhido, este caso obteve menores concentrações e maior alcance em relação à fonte.

Após 4 h do término do descarte, já não são mais observadas concentrações acima do limiar monitorado.

A Tabela 66 apresenta as distâncias máximas alcançadas acima de algumas classes de concentração.

Tabela 66: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Ponto 02 | Caso determinístico – distância máxima.

Concentração (ppm)	Distância (km)
>= 5	12,6
>= 10	7,2
>= 20	5,2
>= 30	4,1
>= 40	4,1
>= 50	4,1
>= 60	1,4
>= 80	0,6

⁴ Período ao qual o ambiente está sujeito a concentrações acima do limiar monitorado, após o término do descarte.

4. Conclusão

Simulações numéricas foram realizadas para determinar o comportamento físico do material a ser descartado durante a atividade de perfuração nos Blocos CE-M-665 e CE-M-717, na Bacia do Ceará. Para tal, foram selecionados dois pontos para as simulações, o ponto 01, nomeado Pecem Crest, localizado próximo ao extremo N do Bloco CE-M-717 e o ponto 02, chamado Sanderstead East, localizado ao S do Bloco CE-M-717. Os resultados foram analisados de modo a identificar os potenciais impactos da atividade no assoalho oceânico e na coluna d'água.

O projeto de poço analisado prevê a perfuração do poço em seis seções, com previsão de descarte de fluido excedente entre as seções III e VI. Nas duas primeiras seções, o descarte ocorrerá próximo ao fundo, e o fluido de perfuração utilizado será de base água. Das seções III a VI, o descarte ocorrerá próximo à superfície, com a utilização, novamente, de um fluido de base aquosa.

As simulações foram realizadas a partir do modelo numérico DREAM (*Dose-related Risk and Exposure Assessment Model*), desenvolvido pela SINTEF para estimar o comportamento e o destino de diversos tipos de efluente (incluindo cascalhos e fluidos de perfuração) no ambiente marinho.

Foram realizadas simulações probabilísticas e determinísticas para a obtenção dos resultados. Para os resultados probabilísticos, foi considerado um ano de dados de correntes gerados pelo modelo hidrodinâmico ROMS e, para este período, foi feita a separação em verão (outubro a março) e inverno (abril a setembro). No total, foram utilizadas 62 simulações determinísticas distintas para o cálculo da probabilidade, para cada ponto de descarte.

Dentre todos os resultados probabilísticos obtidos, foram selecionados aqueles em que foram obtidos maiores valores de espessura e distância da fonte dos depósitos no fundo, independente do cenário sazonal. Para estes dois casos determinísticos foram também apresentadas as concentrações dos sólidos em suspensão.

Para as simulações, foi necessária a criação de duas grades distintas para cada ponto, uma que abrangesse toda a área impactada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm, e outra, com domínio maior e menor refinamento, para a apresentação dos resultados dos sólidos em suspensão, para o limiar de 5 ppm.

Em relação aos resultados probabilísticos do ponto 01, foram observadas maiores probabilidades de presença de sólidos acumulados no fundo a noroeste e a sudeste, tanto no verão como no inverno, estando de acordo com o que foi apresentado para as correntes. O

cenário de inverno foi o que alcançou a maior distância do ponto 01 (4,74 km) e também o mais restritivo em termos de espessura máxima obtida (2.152,7 mm).

Considerando o limiar de 0,01 mm, é prevista, para o verão, uma área de 4,62 km² com probabilidade de ocorrência acima de 50%, essa área é de 4,29 km² quando é analisado o cenário de inverno. Acima de 1 mm, esses valores passam a ser de 0,07 km² e 0,10 km², respectivamente.

Para o ponto 02, mais raso, o padrão de espalhamento observado foi noroeste e sudoeste. O inverno foi o cenário que obteve o maior valor de espessura (2.264,3 mm), mas a maior distância do ponto de descarte (13,03 km) foi observada no verão.

Para o verão, é prevista uma área de 6,44 km² com probabilidade de ocorrência acima de 50%, para 0,01 mm de espessura. Essa área é de 6,29 km² para o cenário de inverno. Esses valores passam a 0,13 km² e 0,14 km², respectivamente, acima de 1 mm.

Pela análise dos casos determinísticos selecionados nota-se que as seções descartadas do fundo são as que mais contribuem para os resultados de sólidos em suspensão acima de 5 ppm.

Analisando os resultados dos sólidos em suspensão obtidos para os dois casos determinísticos do ponto 01, nota-se que, seguindo a tendência das correntes, há predominância de concentrações acima de 5 ppm para noroeste e sudeste. A concentração máxima obtida foi de 169,8 ppm e a distância máxima foi de 11,7 km.

Para o ponto 02, o acúmulo preferencial de material ocorreu noroeste e sudoeste, também de acordo com as correntes apresentadas. A concentração máxima obtida foi de 214,0 ppm e a distância máxima foi de 12,6 km.

Após 2 h do término dos descartes, já não são mais observadas concentrações acima do limiar monitorado no ponto 01 e 4 horas para o ponto 02, o que indica que as concentrações são rapidamente dispersadas no ambiente.

A partir da análise de todos os resultados apresentados, conclui-se que os resultados probabilísticos gerados deram maior robustez à previsão, ao delimitar as áreas com maior probabilidade de serem impactadas. A simples escolha de cenários extremos para estimativa da área impactada é válida, mas limita a análise dos resultados a situações específicas com baixa probabilidade de ocorrência, tornando imperativo o emprego de interpretações dos resultados bem conservadoras.

5. Bibliografia

- BELLCHAMBERS, L.M. & A.M.M. RICHARDSON, 1995. The effect of substrate disturbance and burial depth on the venerid clam, *Katelysis scalarina* (Lamarck, 1818). *J. Shellfish Res.* 14, 41-44.
- BRANDSMA, M.; SMITH, J. 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model - Report and User Guide. In: Relatório EPR.29PR.99. Production Operations Division. Exxon Production Research Company. Houston, Texas.
- BRANDSMA, M.G. 1993. Computer Simulations of Oily Cuttings Discharges in the North Sea. Volume 1 & 2 Project Report, Final Report Dated Juna 1993.
- CHANDRASEKARA, W.U. & C.L.J FRID, 1998. A laboratory assessment of the survival and vertical movement of two gastropod species, *Hydrobia ulvae* (Pennant) and *Littorina littorea* Linnaeus), after burial in sediment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 221: 1991-207.
- DAMES; MOORE. Drilling Fluid Dispersion and Biological Effects Study for the Lower Cook Inlet C.O.S.T. Well. In: Report prepared for Atlantic Richfield Company, Volume 102, Record 946 of USEPA Rulemaking Record for the Offshore Effluent Limitations Guidelines, 1978.
- HOLTHAUS, K.I.E., J.E. TAMIS, M.G.D. SMIT, R.G. JAK, 2003. SSD approach applied to three types of Sediment Disturbances related to Drilling Discharges. TNO Report DRAFT November 2003.
- JOHANSEN, Ø.; DURGUT, I. Implementation of the near-field module in the ERMS model. In: ERMS Report, v.77, n.23. 2006.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R. The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society.* v. 77, p. 437-470. 1996.
- KISTLER, R.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J. The NCEP-NCAR 50 Year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 82, pp. 247-267. 2001.
- KJEILEN-EILERTSEN, G.; TRANNUM, H.; JAK, R. G.; SMIT, M. G. D.; NEFF, J.; DURELL, G. Literature report on burial: derivation of PNEC as componente in the MEMW model tool. In: ERMS Report no. 9B. 2004.
- KOH, R. C. Y.; CHANG, Y. 1973. Mathematical Model for Barge Ocean Disposal of Wastes. In: Relatório EPA-6602-73-029, U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, Oregon.

- KRANZ, P.M. The anastrophic burial of bivalves and its paleoecological significance. *Journal of Geology*, v. 82, p. 237-265. 1974.
- MAURER, D.; KECK, R.T.; TINSMAN, J.C.; LEATHEM, W.A. Vertical migration and mortality of benthos in dredged material. Part I: Mollusca. *Mar. Environ. Res.*, v. 4, p. 299-319. 1980.
- MAURER, D.; KECK, R.T.; TINSMAN, J.C.; LEATHEM, W.A. Vertical migration and mortality of benthos in dredged material: Part II: Crustacea. *Mar. Environ. Res.*, v. 5, p. 301-317. 1981.
- O'REILLY, J.E., SAUER, T.C., AYERS, R.C. JR., BRANDSMA, M.G., MEEK, R. 1989. Field Verification of the OOC Mud Discharge Model. In: *Drilling Fluids*. F.R. Engelhart, J.P. Ray, A.H. Gillam, Eds., Elsevier Applied Science. Nova Iorque. Pp 647-665.
- REED, M.; HETLAND, B. DREAM: a Dose-Related Exposure Assessment Model Technical Description of Physical-Chemical Fate Components. In: *SPE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENT IN OIL AND GAS EXPLORATION AND PRODUCTION*. Kuala Lumpur, Malaysia. 2002.
- RYE, H.; REED, M.; DURGUT, I.; DITLEVSEN, M.K. Documentation report for the revised DREAM model. In: *ERMS Report nº.18*. 2006.
- RYE, H.; REED, M.; FROST, T.; SMIT, M.; DURGUT, I.; JOHANSEN, O.; DITLEVSEN, M. Development of a numerical model for calculating exposure to toxic and nontoxic stressors in the water column and sediment from drilling discharges. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 4, n. 2, pp. 194-203. 2008.
- SMIT, M. G. D.; HOLTHAUS, K. I. E.; KAAG, N. B. H. M.; JAK, R. G. The derivation of a PNEC-water for weighting agents in drilling mud. *EMRS Report no. 6*. 2006.
- TOLDO, E. E. JR.; AYOUP-ZOUAIN, R. N. *MAPEM – Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima, Águas Profundas*, Publicação CECO-IG-UFRGS, Porto Alegre. 2004.