



Relatório Técnico [rev.00]

Modelagem de Cascalho e Fluido de Perfuração

Peregrino C | Campo de Peregrino | Bacia de Campos

Preparado para: Equinor

Preparado por: Ana Carolina Boechat

André Santi

Henery Garção

Marcelo Cabral

13 de junho de 2016

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

© PROOCEANO 2018

The copyright in this document is vested in Prooceano. This document may only be reproduced in whole or in part, or stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means electronic, mechanical, photocopying or otherwise, with the prior permission of PROOCEANO.

Os direitos autorais deste documento são propriedade da PROOCEANO. Este documento somente poderá ser reproduzido inteiro ou em partes, ou armazenado, ou transmitido em qualquer forma, ou por quaisquer meios: eletrônico, mecânico, fotocópia ou qualquer outro modo, com a permissão prévia da PROOCEANO

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data: / /

Descrição:

Responsável:

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	11
1.1. Descrição da Atividade	11
2. Metodologia.....	15
2.1. Modelo de Dispersão	15
2.2. Estratégias de Modelagem	23
2.3. Forçantes	38
3. Resultados	50
3.1. Resultados Probabilísticos.....	50
3.2. Resultados Determinísticos	62
4. Considerações Finais.....	73
5. Bibliografia.....	75

Índice das imagens

Figura 1: Localização do Peregrino C, situado no Campo de Peregrino – Bacia de Campos (<i>Datum</i> WGS-84).	12
Figura 2: Representação esquemática das três fases descritas pelo efluente. Modificado de Brandsma & Smith (1999).....	15
Figura 3: Exemplo do comportamento das partículas na seção transversal vertical no campo próximo de uma pluma submersa calculada com o DREAM.....	17
Figura 4: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença do constituinte (d) a partir de n casos determinísticos (a, b e c).....	31
Figura 5: Ocorrências de classes de espessura acumulada obtidas a partir das 122 ²² combinações possíveis, para um único ponto de grade da simulação, para todo o ano de 2012.	32
Figura 6: Domínios das grades utilizadas na modelagem para a pilha de deposição (em verde); e para a pluma de sólidos em suspensão (em azul) (<i>Datum</i> WGS-84).....	37
Figura 7: Localização do ponto de grade do ROMS (em verde) mais próximo ao ponto de descarte (Peregrino C). O polígono em vermelho representa a área do Campo de Peregrino e as linhas em azul são referentes às isóbatas de 50, 200, 1.000 e 2.000 m. .	39
Figura 8: Histogramas direcionais de correntes superficiais para os meses de janeiro a junho para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.	40
Figura 9: Histogramas direcionais de correntes superficiais para os meses de julho a dezembro para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.	41
Figura 10: Séries temporais das componentes “u” e “v”, de correntes, para o ponto de grade mais próximo do local de descarte, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries.	43
Figura 11: Perfis médios de temperatura, salinidade e densidade para o ponto do ROMS mais próximo ao descarte.	44
Figura 12: Localização do ponto de grade do ERA5 (em verde) mais próximo ao ponto de descarte (Peregrino C). O polígono em vermelho representa a área do Campo de Peregrino e as linhas em azul são referentes às isóbatas de 50, 200, 1.000 e 2.000 m. .	46
Figura 13: Histogramas direcionais de ventos para os meses de janeiro a junho para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.	47

Figura 14: Histogramas direcionais de ventos para os meses de julho a dezembro para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.	48
Figura 15: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de <i>Short Case (Datum WGS-84)</i>	51
Figura 16: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os cenários determinísticos de <i>Short Case (Datum WGS-84)</i>	52
Figura 17: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de <i>Long Case (Datum WGS-84)</i>	53
Figura 18: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os cenários determinísticos de <i>Long Case (Datum WGS-84)</i>	54
Figura 19: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de <i>Worst Case (Datum WGS-84)</i>	55
Figura 20: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os cenários determinísticos de <i>Worst Case (Datum WGS-84)</i>	56
Figura 21: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (<i>Datum WGS-84</i>).	57
Figura 22: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (<i>Datum WGS-84</i>).	58
Figura 23: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 50 mm, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (<i>Datum WGS-84</i>).	58
Figura 24: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 100 mm, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (<i>Datum WGS-84</i>).	59
Figura 25: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 250 mm, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (<i>Datum WGS-84</i>).	59
Figura 26: Mapa de espessura máxima acumulada, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (<i>Datum WGS-84</i>).	60

Figura 27: Pilha resultante da integração dos piores casos de distância máxima, considerando o limiar de 1 mm (<i>Datum</i> WGS-84).....	63
Figura 28: Pilha resultante da integração dos piores casos de espessura máxima, considerando o limiar de 1 mm (<i>Datum</i> WGS-84).....	65
Figura 29: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água (painel superior) e perfil vertical em latitude da concentração máxima de sólidos (painel inferior), considerando todo o período de simulação, para o cenário determinístico de distância máxima (<i>Datum</i> WGS-84).....	67
Figura 30: Visão em planta da concentração máxima de sólidos na coluna d'água para determinados instantes após o início do descarte: 6h, 12h, 24h (1 dia) e 48h (2 dias), do caso determinístico de distância máxima (<i>Datum</i> WGS-84).	68
Figura 31: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água (painel superior) e perfil vertical em latitude da concentração máxima de sólidos (painel inferior), considerando todo o período de simulação, para o cenário determinístico de espessura máxima (<i>Datum</i> WGS-84).....	70
Figura 32: Visão em planta da concentração máxima de sólidos na coluna d'água para determinados instantes após o início do descarte: 6h, 12h, 24h (1 dia) e 48h (2 dias), do caso determinístico de espessura máxima (<i>Datum</i> WGS-84).....	71

Índice das tabelas

Tabela 1: Coordenada e profundidade aproximada do Peregrino C (<i>Datum</i> WGS-84).	12
Tabela 2: Características principais do projeto de perfuração do tipo <i>Short Case</i>	13
Tabela 3: Características principais do projeto de perfuração do tipo <i>Long Case</i>	13
Tabela 4: Características principais do projeto de perfuração do tipo <i>Worst Case</i>	14
Tabela 5: Densidades para o cascalho e fluido de perfuração e frações dos componentes sólidos e líquidos dos fluidos.	14
Tabela 6: Distribuição granulométrica para os descartes de cascalho e fluido aderido.	24
Tabela 7: Distribuição granulométrica para os descartes de fluido excedente.	24
Tabela 8: Velocidade e tempo de deposição estimados para todas as classes de cascalho. ...	26
Tabela 9: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido do tipo Spud Mud.	27
Tabela 10: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido do tipo KCL Top Hole.	27
Tabela 11: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido do tipo KCL 17,5.	27
Tabela 12: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido do tipo Hydroguard.	28
Tabela 13: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido do tipo Baradril-N.	28
Tabela 14: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente do tipo Spud Mud.	28
Tabela 15: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente do tipo KCL Top Hole.	29
Tabela 16: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente do tipo KCL 17,5.	29
Tabela 17: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente do tipo Hydroguard.	29

Tabela 18: Tempo de descarte total de material e tempos de simulação escolhidos para cada projeto de perfuração.....	30
Tabela 19: Passo de tempo e <i>output</i> utilizados nas simulações, distintos para os resultados de deposição e suspensão.	33
Tabela 20: Correspondentes categorias de impacto e espessuras (mm). Fonte: Adaptado de Nilssen <i>et al.</i> (2015).....	34
Tabela 21: Ocorrência mensal de direção das correntes para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.....	42
Tabela 22: Ocorrência mensal de intensidade das correntes para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.	42
Tabela 23: Ocorrência mensal de direção de ventos para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.....	49
Tabela 24: Ocorrência mensal de intensidade de ventos para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.....	49
Tabela 25: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25% e 50%, considerando classes de espessura entre 1 e 50 mm, para todos os cenários determinísticos de <i>Short Case</i>	52
Tabela 26: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura (1 mm, 10 mm, 25 mm e 50 mm), para todos os cenários determinísticos de <i>Short Case</i>	52
Tabela 27: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, para todos os cenários determinísticos de <i>Short Case</i>	53
Tabela 28: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25% e 50%, considerando classes de espessura entre 1 e 50 mm, para todos os cenários determinísticos de <i>Long Case</i>	54
Tabela 29: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura (1 mm, 10 mm, 25 mm e 50 mm), para todos os cenários determinísticos de <i>Long Case</i>	54
Tabela 30: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, para todos os cenários determinísticos de <i>Long Case</i>	55
Tabela 31: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25% e 50%, considerando classes de espessura entre 1 e 50 mm, para todos os cenários determinísticos de <i>Worst Case</i>	56

Tabela 32: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura (1 mm, 10 mm, 25 mm e 50 mm), para todos os cenários determinísticos de <i>Worst Case</i>	56
Tabela 33: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, para todos os cenários determinísticos de <i>Worst Case</i>	57
Tabela 34: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25% e 50%, 75% e 100%, considerando classes de espessura entre 1 e 500 mm, considerando todas as combinações possíveis dos 22 poços previstos.	60
Tabela 35: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura, considerando todas as combinações possíveis dos 22 poços previstos.	61
Tabela 36: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, considerando todas as combinações possíveis dos 22 poços previstos.	61
Tabela 37: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura, para o caso determinístico escolhido pelo critério da distância máxima.	64
Tabela 38: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, para o caso determinístico escolhido pelo critério da distância máxima.	64
Tabela 39: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura, para o caso determinístico escolhido pelo critério da espessura máxima.	65
Tabela 40: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, para o caso determinístico escolhido pelo critério da espessura máxima.	66
Tabela 41: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para a concentração de sólidos em suspensão, no cenário determinístico de distância máxima.	68
Tabela 42: Distâncias máximas alcançadas para algumas classes de concentração de sólidos em suspensão, no cenário determinístico de distância máxima.	69
Tabela 43: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para a concentração de sólidos em suspensão, no cenário determinístico de espessura máxima.	71
Tabela 44: Distâncias máximas alcançadas para algumas classes de concentração de sólidos em suspensão, no cenário determinístico de espessura máxima.	72

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): Todas

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: Henery Ferreira Garção

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 3790998

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

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): Todas

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 no Peregrino C, situado no Campo de Peregrino, na Bacia de Campos.

Este trabalho consiste primeiramente na descrição de todos os dados de entrada necessários às simulações de dispersão de cascalho e fluido de perfuração. Análises dos parâmetros meteorológicos capazes de afetar o comportamento do material descartado, como correntes, ventos, temperatura do mar e salinidade, são apresentados detalhadamente.

Por último, os resultados obtidos, os quais consistem nas pilhas de deposição no assoalho marinho e na concentração de sólidos em suspensão na coluna d'água, são expostos e discutidos.

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

1.1. Descrição da Atividade

Este estudo é referente ao projeto de perfuração de poços localizados próximos ao Peregrino C, no Campo de Peregrino. De acordo com informações da contratante, serão perfurados 22 poços ao longo de todo período de projeto, estimado com duração de 4 anos – previstos de ocorrerem entre 2020 e 2023. Todo o cascalho com fluido de perfuração resultantes deste processo será descartado no mesmo local, no Peregrino C (Figura 1 e Tabela 1).

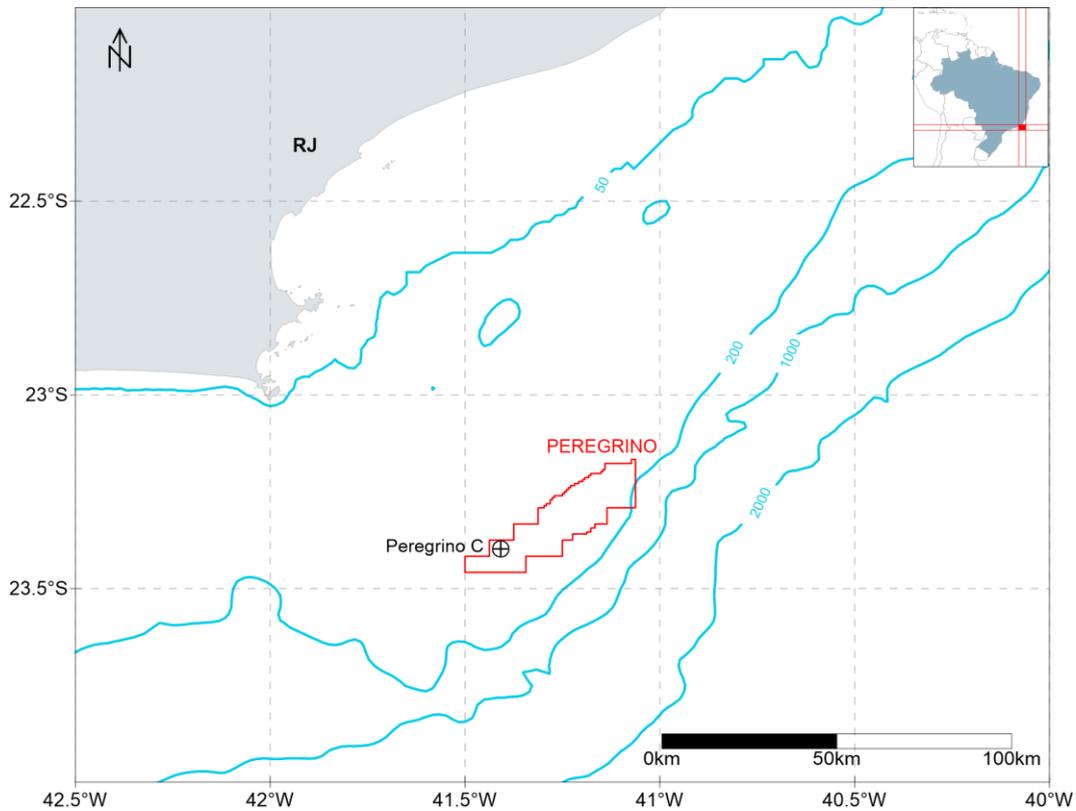


Figura 1: Localização do Peregrino C, situado no Campo de Peregrino – Bacia de Campos (*Datum* WGS-84).

Tabela 1: Coordenada e profundidade aproximada do Peregrino C (*Datum* WGS-84).

Poço	Coordenadas	Profundidade (m)
Peregrino C	23°23'53,436''S 41°24'31,617''O	120

Para compor todos os 22 descartes previstos foram utilizados 3 projetos de perfuração distintos, denominados de *Short Case*, *Long Case* e *Worst Case*, os quais irão se intercalar ao longo dos 4 anos de perfuração. São previstos 19 poços do tipo *Short Case*, 2 do tipo *Long Case* e 1 do tipo *Worst Case*, totalizando 22 poços. As informações a respeito de cada projeto de perfuração são apresentadas da Tabela 2 à Tabela 4. Em termos de volume e de tempo de descarte, o projeto *Worst Case* apresenta os maiores valores, enquanto o *Short Case*, os menores. Em todas as fases, o fluido de perfuração usado será de base água e o descarte ocorrerá em superfície.

Tabela 2: Características principais do projeto de perfuração do tipo *Short Case*.

Características	I	II	III	IV
Diâmetro da seção (pol.)	26	17,5	12,25	8,5
Diâmetro da seção com fator de alargamento (pol.)	26,78	18,03	12,62	8,76
Volume de cascalho descartado (m ³)	39,98	376,20	122,87	38,41
Volume de fluido aderido (m ³)	39,98	220,00	64,00	20,64
Tempo de descarte (h)	0,50	3,75	1,18	0,37
Vazão (m ³ /h)	159	159	159	159
Volume de fluido excedente (m ³)	79,49	1033,00	870,00	-
Tempo de descarte do fluido excedente (h)	0,50	6,50	5,47	-
Vazão do fluido excedente (m ³ /h)	159	159	159	-
Base do Fluido	água	água	água	água
Nome do Fluido	Spud Mud	KCL 17,5	Hydroguard	Baradril-N
Local de Descarte	superfície	superfície	superfície	superfície

 Tabela 3: Características principais do projeto de perfuração do tipo *Long Case*.

Características	I	II	III	IV	V
Diâmetro da seção (pol.)	26	22	17,5	12,25	8,5
Diâmetro da seção com fator de alargamento (pol.)	26,78	22,66	18,03	12,62	8,76
Volume de cascalho descartado (m ³)	39,98	145,97	418,19	187,81	26,26
Volume de fluido aderido (m ³)	39,98	79,00	224,00	99,00	14,11
Tempo de descarte (h)	0,50	1,41	4,04	1,80	0,25
Vazão (m ³ /h)	159	159	159	159	159
Volume de fluido excedente (m ³)	79,49	794,94	1112,91	953,93	-
Tempo de descarte do fluido excedente (h)	0,50	5,00	7,00	6,00	-
Vazão do fluido excedente (m ³ /h)	159	159	159	159	-
Base do Fluido	água	água	água	água	água
Nome do Fluido	Spud Mud	KCL Top Hole	KCL 17,5	Hydroguard	Baradril-N
Local de Descarte	superfície	superfície	superfície	superfície	superfície

Tabela 4: Características principais do projeto de perfuração do tipo *Worst Case*.

Características	I	II	III	IV	V
Diâmetro da seção (pol.)	26	22	17,5	12,25	8,5
Diâmetro da seção com fator de alargamento (pol.)	26,78	22,66	18,03	12,62	8,76
Volume de cascalho descartado (m ³)	39,98	247,19	550,89	280,50	35,23
Volume de fluido aderido (m ³)	39,98	127,14	283,35	138,17	18,93
Tempo de descarte (h)	0,50	2,35	5,25	2,63	0,34
Vazão (m ³ /h)	159	159	159	159	159
Volume de fluido excedente (m ³)	79,49	794,94	1589,88	1589,88	-
Tempo de descarte do fluido excedente (h)	0,50	5,00	10,00	10,00	-
Vazão do fluido excedente (m ³ /h)	159	159	159	-	-
Base do Fluido	água	água	água	água	água
Nome do Fluido	Spud Mud	KCL Top Hole	KCL 17,5	Hydroguard	Baradril-N
Local de Descarte	superfície	superfície	superfície	superfície	superfície

Para as simulações de dispersão do material, além das informações sobre o projeto do poço, são também necessárias as densidades de cascalho e fluido de perfuração, e no caso dos fluidos especificamente, qual a fração de seus componentes líquidos e sólidos (Tabela 5).

Tabela 5: Densidades para o cascalho e fluido de perfuração e frações dos componentes sólidos e líquidos dos fluidos.

Cascalho					
Densidade (kg/m ³)	2.600,00				
Fluido de Perfuração	Spud Mud	KCL Top Hole	KCL 17,5	Hydroguard	Baradril-N
Densidade (kg/m ³)	1.159,23	1.067,85	1.097,15	1.291,11	1.114,79
Fração dos sólidos no fluido	6,00%	5,46%	7,64%	12,54%	7,88%
Dens. dos sólidos no fluido (kg/m ³)	3.653,86	2.241,72	2.268,50	3.319,26	2.450,90
Fração dos líquidos no fluido	94,00%	94,54%	92,36%	87,46%	92,12%
Dens. dos líquidos no fluido (kg/m ³)	1.000,00	1.000,02	1.000,20	1.000,29	1.000,42

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 meteoceanográficos** 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.

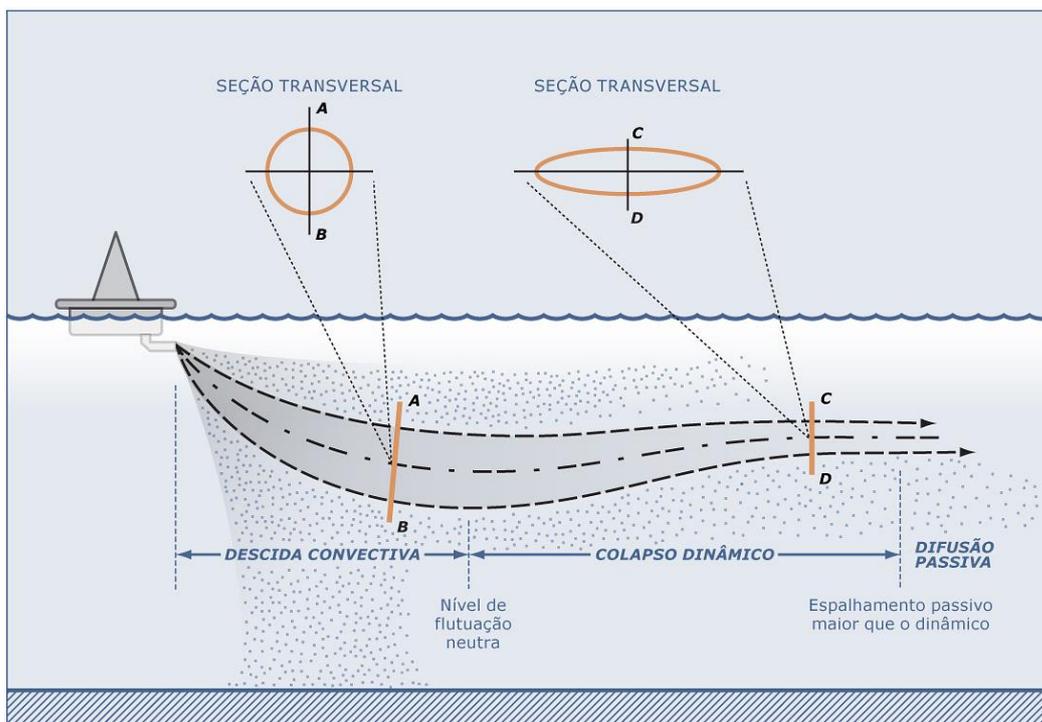


Figura 2: Representação esquemática das três fases descritas pelo efluente. Modificado de Brandsma & Smith (1999).

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/ParTrack**, desenvolvido pela SINTEF.

O **DREAM** (*Dose-Related Exposure Assessment Model*) é um modelo de partículas lagrangianas tridimensional desenvolvido para avaliação das consequências de descartes de diversos tipos de efluente no ambiente marinho, tanto na coluna d'água quanto no leito oceânico.

O modelo **ParTrack** é um submodelo do DREAM adequado para simulação de descartes de cascalho e fluidos de perfuração e avaliação dos efeitos desses descartes no leito oceânico.

DREAM/ParTrack possui um modelo de campo próximo com acoplamento dinâmico com um modelo tridimensional de partículas que permite a representação de substâncias na superfície da água, dissolvidas na coluna d'água, em gotículas ou partículas sólidas dispersas na coluna d'água.

As descargas de cascalho e fluido de perfuração têm densidades que são bastante mais altas do que a água do mar. Por isso, um modelo de campo próximo é incluído na modelagem para representação do movimento descendente da pluma. O domínio do modelo de campo próximo está limitado pela região onde a densidade da pluma se iguala com a densidade do ambiente. A partir desse ponto, os processos de transporte e mistura passam a ser governados por um modelo de campo afastado.

O modelo de campo próximo é governado pelas correntes oceânicas e pelas variações verticais de salinidade e temperatura (estratificação). A combinação desses fatores fará com que a pluma se estabiliza em uma determinada profundidade. As partículas minerais (casalhos, sólidos dos fluidos de perfuração) podem sair da pluma dependendo de suas velocidades de sedimentação e da taxa de entranhamento da água na pluma. Os detalhes mais específicos do modelo de campo próximo para ser encontrados em Johansen (2000, 2006).

A Figura 3 ilustra o comportamento das partículas na seção transversal vertical no campo próximo de uma pluma submersa calculada com o DREAM para um descarte a aproximadamente 5 m de profundidade.

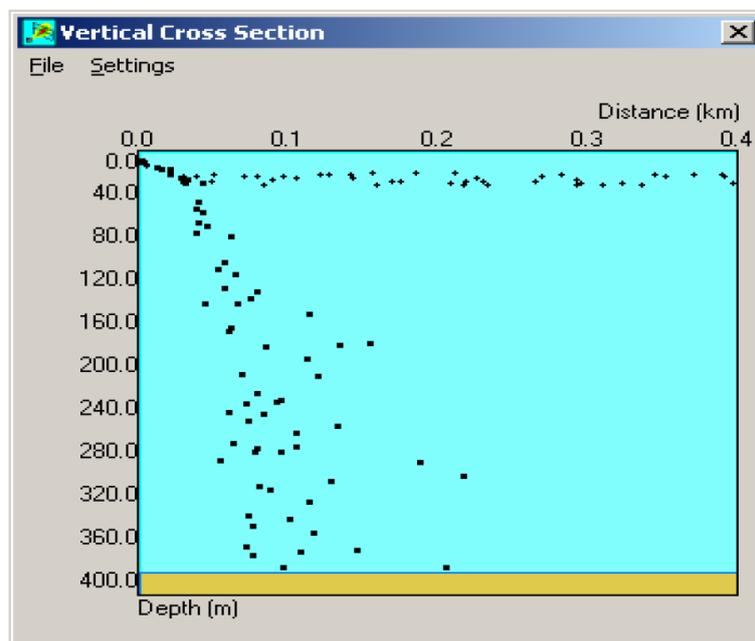


Figura 3: Exemplo do comportamento das partículas na seção transversal vertical no campo próximo de uma pluma submersa calculada com o DREAM.

Observa-se que a profundidade de aprisionamento da pluma é em torno de 20 m de profundidade. Nesta profundidade, a pluma submersa se separa em duas partes, uma parte se espalha horizontalmente na profundidade de aprisionamento. Esta parte consiste nos componentes que estão dissolvidos na pluma ou nas partículas sólidas que têm velocidades de sedimentação desprezíveis. A outra parte da descarga afunda mais rapidamente em direção ao fundo do oceano. Esta parte consiste dos materiais mais grosseiros, como por exemplo, cascalhos ou partículas sólidas de maiores dimensões.

No item a seguir são apresentadas as equações governantes no modelo.

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 fluatibilidade 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:

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

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; $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$ 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:

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

onde R é um número aleatório entre -1 e 1 e 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 formulação dos fluidos utilizados (BRANDSMA & SMITH, 1999). Na ausência de dados específicos para a locação dos poços, que só estarão disponíveis após a perfuração, recorreu-se a distribuições granulométricas amplamente utilizadas pela comunidade científica, 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), o que as confere um grande grau de confiabilidade, tendo sido empregadas inclusive 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).

A seguir, são especificadas as distribuições granulométricas utilizadas no estudo para o cascalho e sólidos do fluido aderido (Tabela 6) e para o fluido excedente (Tabela 7).

Tabela 6: Distribuição granulométrica para os descartes de cascalho e fluido aderido.

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 7: 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:

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

$$g' = g(\rho_{particula} - \rho_{agua}) / \rho_{agua} \quad (19)$$

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.

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.

As velocidades e tempos de deposição são apresentados na Tabela 8, para o cascalho de todas as seções, da Tabela 9 à Tabela 13, para os sólidos do fluido aderido, e da Tabela 14 à Tabela 17, para os sólidos do fluido excedente.

Tabela 8: Velocidade e tempo de deposição estimados para todas as classes de cascalho.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.600	2,65E-01	1,26E-01	<1
2	2.600	1,27E-01	2,63E-01	<1
3	2.600	6,03E-02	5,53E-01	<1
4	2.600	1,65E-02	2,02E+00	<1
5	2.600	4,84E-03	6,89E+00	<1
6	2.600	6,84E-04	4,87E+01	2,03
7	2.600	6,53E-05	5,10E+02	21,27
8	2.600	5,24E-06	6,37E+03	265,24

Tabela 9: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido do tipo Spud Mud.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.654	3,48E-01	9,58E-02	<1
2	3.654	1,75E-01	1,90E-01	<1
3	3.654	8,70E-02	3,83E-01	<1
4	3.654	2,61E-02	1,28E+00	<1
5	3.654	8,08E-03	4,13E+00	<1
6	3.654	1,14E-03	2,92E+01	1,22
7	3.654	1,09E-04	3,06E+02	12,74
8	3.654	8,74E-06	3,81E+03	158,90

Tabela 10: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido do tipo KCL Top Hole.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.242	2,31E-01	1,44E-01	<1
2	2.242	1,07E-01	3,11E-01	<1
3	2.242	4,99E-02	6,69E-01	<1
4	2.242	1,31E-02	2,55E+00	<1
5	2.242	3,74E-03	8,91E+00	<1
6	2.242	5,29E-04	6,31E+01	2,63
7	2.242	5,05E-05	6,61E+02	27,53
8	2.242	4,05E-06	8,24E+03	343,26

Tabela 11: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido do tipo KCL 17,5.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.268	2,34E-01	1,43E-01	<1
2	2.268	1,09E-01	3,07E-01	<1
3	2.268	5,06E-02	6,58E-01	<1
4	2.268	1,33E-02	2,51E+00	<1
5	2.268	3,82E-03	8,73E+00	<1
6	2.268	5,40E-04	6,17E+01	2,57
7	2.268	5,15E-05	6,47E+02	26,95
8	2.268	4,13E-06	8,07E+03	336,08

Tabela 12: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido do tipo Hydroguard.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.319	3,24E-01	1,03E-01	<1
2	3.319	1,61E-01	2,07E-01	<1
3	3.319	7,90E-02	4,22E-01	<1
4	3.319	2,31E-02	1,44E+00	<1
5	3.319	7,05E-03	4,73E+00	<1
6	3.319	9,96E-04	3,35E+01	1,39
7	3.319	9,51E-05	3,50E+02	14,60
8	3.319	7,63E-06	4,37E+03	182,11

Tabela 13: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido aderido do tipo Baradril-N.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.451	2,51E-01	1,33E-01	<1
2	2.451	1,19E-01	2,81E-01	<1
3	2.451	5,60E-02	5,95E-01	<1
4	2.451	1,51E-02	2,21E+00	<1
5	2.451	4,38E-03	7,61E+00	<1
6	2.451	6,19E-04	5,38E+01	2,24
7	2.451	5,91E-05	5,64E+02	23,49
8	2.451	4,74E-06	7,03E+03	292,95

Tabela 14: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente do tipo Spud Mud.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.654	4,58E-03	7,28E+00	<1
2	3.654	1,20E-03	2,78E+01	1,16
3	3.654	4,34E-04	7,67E+01	3,20
4	3.654	3,34E-04	9,97E+01	4,16
5	3.654	2,80E-04	1,19E+02	4,96
6	3.654	2,19E-04	1,53E+02	6,36
7	3.654	1,29E-04	2,59E+02	10,81
8	3.654	6,02E-05	5,54E+02	23,09
9	3.654	2,67E-05	1,25E+03	51,95

Tabela 15: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente do tipo KCL Top Hole.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.242	2,12E-03	1,57E+01	<1
2	2.242	5,55E-04	6,00E+01	2,50
3	2.242	2,01E-04	1,66E+02	6,91
4	2.242	1,55E-04	2,15E+02	8,98
5	2.242	1,30E-04	2,57E+02	10,71
6	2.242	1,01E-04	3,30E+02	13,73
7	2.242	5,95E-05	5,60E+02	23,34
8	2.242	2,78E-05	1,20E+03	49,88
9	2.242	1,24E-05	2,69E+03	112,22

Tabela 16: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente do tipo KCL 17,5.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.268	2,16E-03	1,54E+01	<1
2	2.268	5,67E-04	5,88E+01	2,45
3	2.268	2,05E-04	1,62E+02	6,76
4	2.268	1,58E-04	2,11E+02	8,79
5	2.268	1,32E-04	2,52E+02	10,48
6	2.268	1,03E-04	3,23E+02	13,44
7	2.268	6,08E-05	5,48E+02	22,85
8	2.268	2,84E-05	1,17E+03	48,83
9	2.268	1,26E-05	2,64E+03	109,87

Tabela 17: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido excedente do tipo Hydroguard.

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3.319	4,00E-03	8,34E+00	<1
2	3.319	1,05E-03	3,18E+01	1,33
3	3.319	3,79E-04	8,79E+01	3,66
4	3.319	2,92E-04	1,14E+02	4,76
5	3.319	2,45E-04	1,36E+02	5,68
6	3.319	1,91E-04	1,75E+02	7,28
7	3.319	1,12E-04	2,97E+02	12,38
8	3.319	5,25E-05	6,35E+02	26,46
9	3.319	2,33E-05	1,43E+03	59,53

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, para cada projeto de perfuração, o tempo total de descarte – soma dos tempos previstos para o descarte de todas as seções, assumindo descartes sequenciais, sem intervalos – será como o apresentado Tabela 18.

Pelos descartes ocorrerem de superfície e pelo fluido de perfuração ser de base água, o qual é composto majoritariamente por partículas finas, o tempo de deposição desses sólidos é longo, como previamente apresentado da Tabela 8 à Tabela 17. O impacto gerado por essa parcela mais fina de sólidos é maior na coluna d'água do que no assoalho marinho.

Visando associar a melhor representação do descarte a um custo computacional viável, estipulou-se um tempo de simulação de acordo com cada projeto de perfuração, como apresentado na Tabela 18. Para o projeto *Short Case*, foram simulados 3 dias, enquanto para o *Long Case* e o *Worst Case* foram simulados 4 dias. Estes períodos foram suficientes para monitorar o material descartado até os limiares de monitoramento, que serão definidos no item 2.2.5.

Tabela 18: Tempo de descarte total de material e tempos de simulação escolhidos para cada projeto de perfuração.

Projetos de Perfuração	Tempo de Descarte (h)	Tempo de Simulação (h)
<i>Short Case</i>	18,3	72
<i>Long Case</i>	26,5	96
<i>Worst Case</i>	36,6	96

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 um resultado probabilístico pode ser calculado (d) a partir de n casos determinísticos (a, b e c).

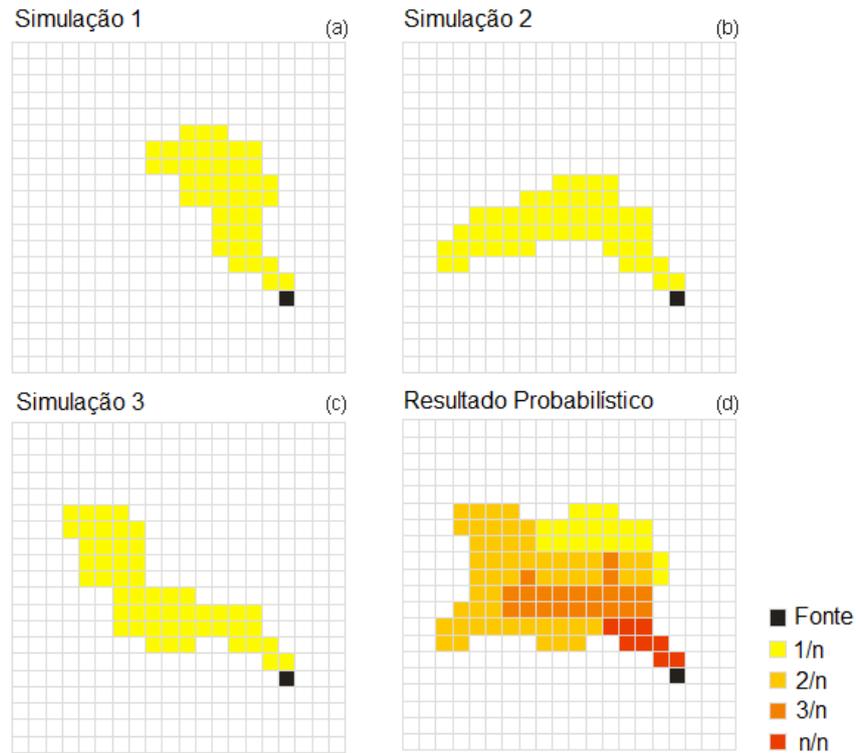


Figura 4: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença do constituinte (d) a partir de n casos determinísticos (a, b e c).

Mesmo com o advento dos modelos numéricos de simulação de cascalho e fluido de perfuração, 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/ParTRack 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. Esse tempo é variável e dependente da quantidade de cenários determinísticos simulados e do tempo de duração de cada descarte. A metodologia a ser empregada deve ser suficiente para captar a variabilidade ambiental e, ao mesmo tempo, ser viável – a preparação de um número muito alto de simulações determinísticas manualmente seria inviável.

Para este estudo especificamente – no qual 22 poços serão perfurados e o cascalho e fluido perfuração gerados por cada um serão descartados em um mesmo local ao longo de 4 anos – foi preciso elaborar uma nova metodologia para o cálculo da probabilidade de presença da pilha de deposição acumulada desta atividade. Para a obtenção de resultados probabilísticos

oriundos desta configuração de descarte, foi necessária a criação de um algoritmo que analisasse todas as combinações possíveis de sobreposição das pilhas de cascalho. Foram realizadas 122 simulações determinísticas distintas, ao longo de todo o ano de 2012, iniciando uma simulação a cada 3 dias, para cada projeto de perfuração, o que resultou em um total de 366 simulações. Estas informações são descritas com mais detalhes no item 2.3.1 – Correntes. O período de cada simulação variou entre 3 e 4 dias, seguindo o descrito na Tabela 18. Para esta metodologia específica não seria aplicável a divisão em cenários sazonais, recurso usualmente utilizado em estudos de licenciamento ambiental.

Todas essas simulações foram, então, combinadas tendo em vista a quantidade de repetições de cada projeto – 19 de *Short Case*, 2 de *Long Case* e 1 de *Worst Case* – e resultaram em 122^{22} combinações possíveis, para cada ponto de grade, das quais foram obtidas probabilidades finais de ocorrência de espessuras. Visto que a grade possui 1000x1000 pontos de grade, como será apresentado no item 2.2.6 (Descrição da Grade), o número de combinações possíveis foi de $122^{22} \times 10^6$.

Considera-se, portanto, as possíveis combinações de soma dos descartes de 22 poços descartados ao longo de 1 ano. É importante ressaltar que esta metodologia é conservadora, pois ela não considera a remobilização de sedimentos que ocorrerá no fundo marinho entre um descarte e outro.

A Figura 5 apresenta um exemplo do resultado obtido para um ponto de grade, considerando a soma do descarte de 22 poços e suas possíveis combinações, ao longo do ano de 2012.

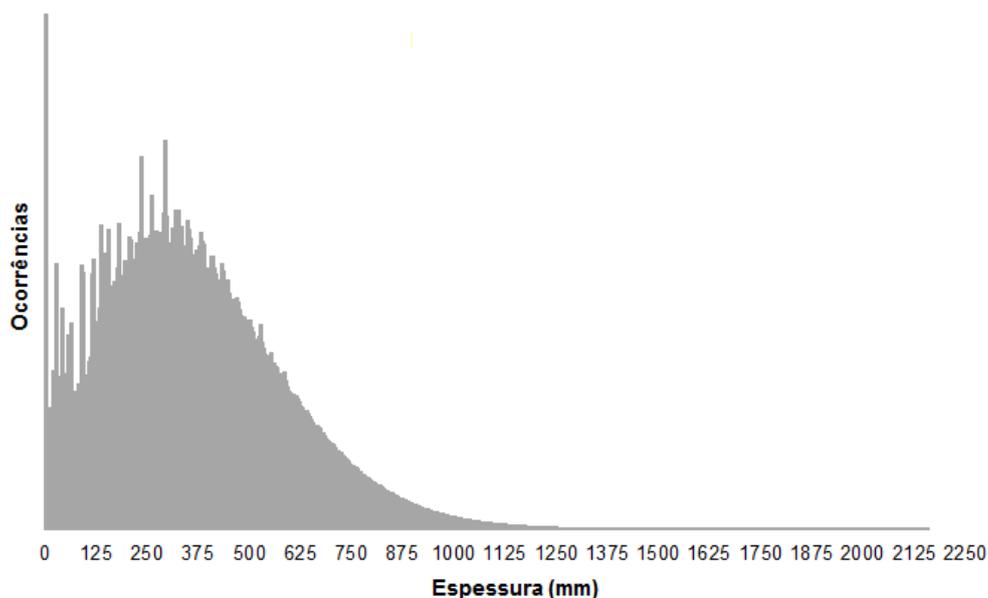


Figura 5: Ocorrências de classes de espessura acumulada obtidas a partir das 122^{22} combinações possíveis, para um único ponto de grade da simulação, para todo o ano de 2012.

Para o cálculo da espessura máxima, foi feita uma varredura nos maiores valores de espessura obtidos para cada ponto de grade, resultantes das somas das espessuras dos 22 poços a serem descartados. Novamente, foi levado em consideração o número de ocorrência de cada projeto: 19 de *Short Case*, 2 de *Long Case* e 1 de *Worst Case*.

O maior impacto causado pelo descarte de cascalho e fluido de perfuração é o acúmulo de sólidos no fundo oceânico. Os sólidos em suspensão na coluna d'água configuram um impacto efêmero, sendo rapidamente dispersado no ambiente após o término do descarte. Além disso, 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 (*output* – Tabela 19).

Dessa forma, levando em conta a importância dos resultados a serem apresentados e a viabilidade do estudo, 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 19: Passo de tempo e *output* utilizados nas simulações, distintos para os resultados de deposição e suspensão.

Resultados	Passo de Tempo	Output
Pilhas de Deposição	2 min	1 h
Sólidos em Suspensão	5 min	10 min

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, serão escolhidos dois casos distintos, quais sejam: aquele em que foi obtido o valor máximo de espessura no fundo, e o que obteve a maior distância da fonte. 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.

Especificamente para o Campo de Peregrino, há também o estudo de Nilssen *et al.* (2015), desenvolvido a partir dos resultados do projeto PEMCA (*Peregrino Environmental Monitoring and Calcareous Algae*). Este estudo, entre outras análises, apresentou resultados sobre o impacto do soterramento de rodolitos (algas calcáreas) no Campo de Peregrino. As faixas de espessura dos sedimentos associadas com cada categoria de impacto, obtidas em Nilssen *et al.* (2015) são apresentadas na Tabela 20. Nota-se que não ocorre impacto em espessuras inferiores a 10,7 mm e o impacto só é severo acima de 13,5 mm.

Tabela 20: Correspondentes categorias de impacto e espessuras (mm). Fonte: Adaptado de Nilssen *et al.* (2015).

Categorias de Impacto para Algas Calcáreas	Espessura de Sedimentos (mm)
Sem impacto	0-10,7
Impacto Baixo	10,7-12,3
Impacto Médio	12,3-13,5
Impacto Severo	>13,5

Baseado nas referências bibliográficas apresentadas acima, optou-se por utilizar como limiar de monitoramento das pilhas de deposição deste estudo o valor de **1 mm**, sendo este conservador quando comparado aos resultados de Nilssen *et al.* (2015), específico para o Campo de Peregrino.

2.2.5.2 Sólidos em Suspensão

Embora sedimentos, e seus efeitos na transparência da água e na turbidez, sejam componentes inerentes de sistemas aquáticos, é conhecido através da literatura científica que há um aumento do risco de sobrevivência e bem-estar de organismos aquáticos quando níveis de concentração de sólidos ultrapassam os níveis de *background*. A perspectiva sobre os efeitos potenciais dos sedimentos nos sistemas aquáticos pode ser obtida em literaturas mundiais, como por exemplo, Birtwell (1999).

Em estuários e áreas costeiras, a concentração natural de partículas na água do mar – MPS (Material Particulado em Suspensão) - pode passar de 400 ppm. Em oceano aberto, as concentrações típicas são mais baixas, geralmente < 20 mg/l. Particularmente em sistemas aquáticos com concentrações naturais relativamente baixas de sedimentos em suspensão (< 10 mg/l), um aumento nas concentrações de MPS podem levar a mudanças ecológicas.

Buscando mapear os impactos potenciais de uma perspectiva mais conservadora, o limiar de 5 ppm para concentração de sólidos em suspensão foi utilizado nesse trabalho, baseado em padrões internacionais, como Smit *et al.*, (2006) que revisou diversos estudos conduzidos para identificar o efeito do descarte de cascalho em organismos nectônicos.

De acordo com esses estudos, o limiar mais baixo no qual organismos estão sujeitos à mudanças significativas, em descartes com fluido de base aquosa, foi de 10 mg/l (~10ppm). Embora esse limiar leve em conta resultados de descartes de fluidos de base aquosa, é importante notar que essa abordagem é viável, uma vez que esses fluidos são compostos também por sólidos e são os que permanecem por mais tempo em suspensão no ambiente. Além disso, para impactos relacionados ao aumento de partículas na coluna d'água, o DREAM opera com o CENO (Concentração de Efeito Não Observado) de 10 ppm para cascalho. Estes limites de efeitos são globais e foram derivados de curvas DSE (Distribuição de Sensibilidade de Espécies – do inglês SSD) (SMIT *et al.*, 2006). Para tal, os limites de efeito incluem todos os tipos de organismos aquáticos incluindo microalgas, organismos filtradores e copépodes.

Valores de limiares em torno de 10 ppm para MPS em corpos d'água são muito comuns em regulamentações ambientais internacionais. Geralmente, os impactos ambientais devem ser julgados considerando o aumento de sedimentos em suspensão relacionados aos níveis de *background*. Como exemplo, o Conselho Canadense de Ministros Ambientais e Recursos (CCREM) forneceram diretrizes para sólidos totais em suspensão (BIRTWELL, 1999). Recomenda-se que os sólidos em suspensão não ultrapassem mais do que 10 mg/l (~10 ppm) do nível de *background*, quando este é menor que 100 mg/l. Sólidos em suspensão não devem exceder 10% das concentrações de background quando estas são maiores que 100 mg/l.

Uma vez que não há medidas *in situ* de sólidos em suspensão para definir os níveis de *background*, foi escolhido um limiar de monitoramento mais conservador, 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 comparados a outros tipos de fluidos.

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: 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 6. A grade indicada em verde é referente às pilhas de deposição e a grade indicada em azul está relacionada às plumas de sólidos em suspensão.

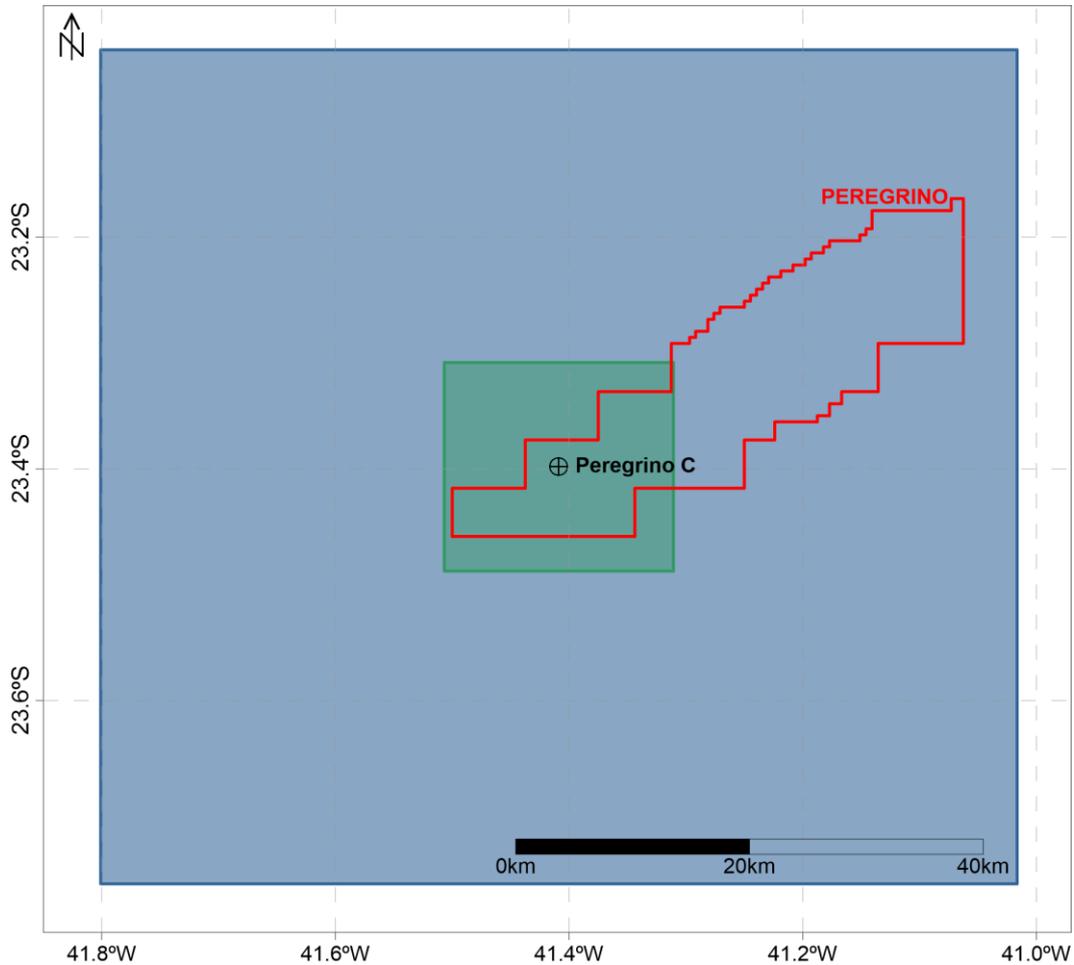


Figura 6: Domínios das grades utilizadas na modelagem para a pilha de deposição (em verde); e para a pluma de sólidos em suspensão (em azul) (*Datum* WGS-84).

A grade utilizada para a deposição da modelagem apresenta espaçamento de 20 m nas direções zonal e meridional e 10 m em cada nível de profundidade. Os seus limites são: ao sul, 23°29'S; ao norte, 23°18'S; a oeste, 41°30'W; e a leste, 41°19'W; obtendo assim uma matriz com 1000x1000 células em superfície (limite permitido pelo modelo) e 12 células verticais.

Já a grade para os sólidos em suspensão foi construída com um espaçamento de 80 m nas direções zonal e meridional e 10 m na direção vertical. Esta grade apresenta 1000x1000 células em superfície e 12 células verticais, com seus limites compreendidos entre: 23°46'S e 23°02'S, em latitude, e 41°48'W; e 41°01'W, em longitude. Para fins de modelagem, foi considerada uma profundidade uniforme de 120 m em todo o domínio da grade, que corresponde à profundidade da lâmina d'água local informada pela EQUINOR.

2.3. Forçantes

Visto a configuração específica de descarte deste projeto – material resultante de 22 poços sendo descartado ao longo de 4 anos – e a metodologia proposta (item 2.2.4.1 – Simulações Probabilísticas), não seria aplicável a separação em cenários sazonais que usualmente é realizada em estudos de licenciamento ambiental. Dessa forma, todas as análises a seguir descritas são realizadas em caráter mensal.

2.3.1 Correntes

Como forçante hidrodinâmica foram utilizados os resultados do modelo hidrodinâmico ROMS, o mesmo utilizado no estudo de modelagem de dispersão de óleo. Entretanto, visto a metodologia utilizada no presente estudo (item 2.2.4.1 – Simulações Probabilísticas), os dados hidrodinâmicos foram limitados ao ano de 2012, sendo que um ano de dados é suficiente para a caracterização deste tipo de estudo, já que toda a variabilidade sazonal daquele ano foi representada. A localização do ponto de grade mais próximo ao ponto de descarte é apresentada na Figura 7.

A seguir, na Figura 8 e na Figura 9, são apresentadas as rosas de correntes mensais em superfície, de janeiro a dezembro de 2012, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade (Tabela 21 e Tabela 22).

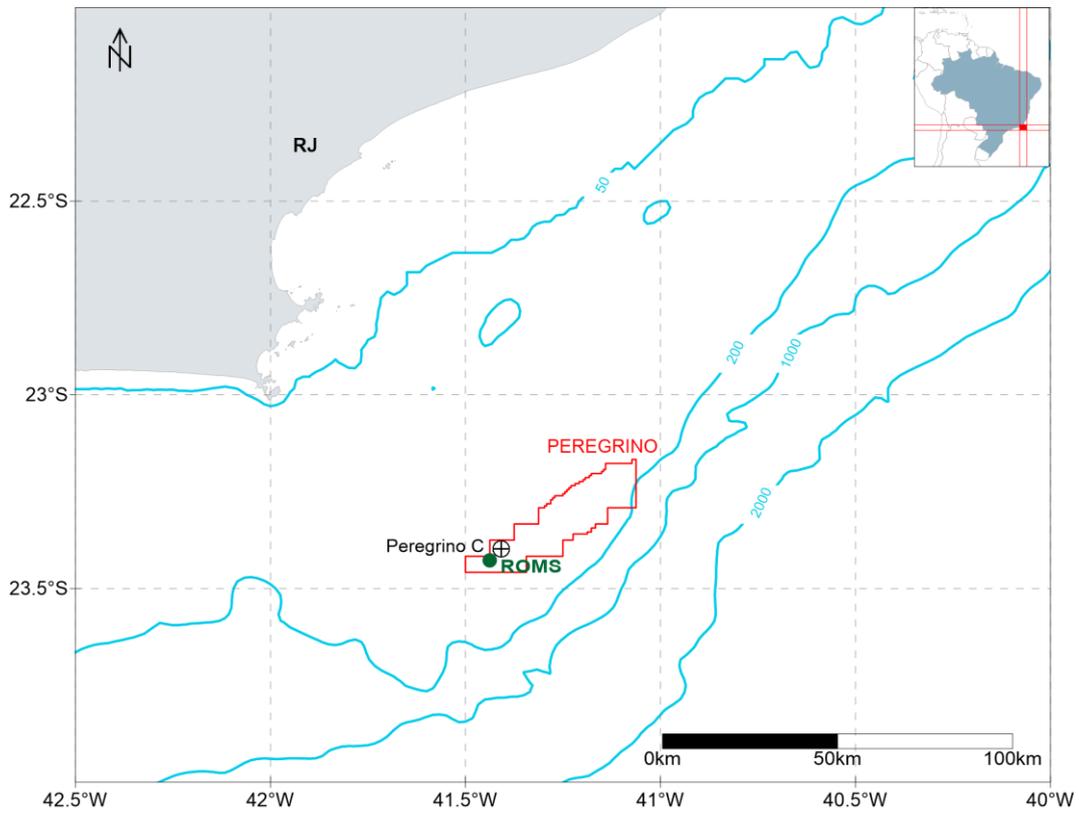


Figura 7: Localização do ponto de grade do ROMS (em verde) mais próximo ao ponto de descarte (Peregrino C). O polígono em vermelho representa a área do Campo de Peregrino e as linhas em azul são referentes às isóbatas de 50, 200, 1.000 e 2.000 m.

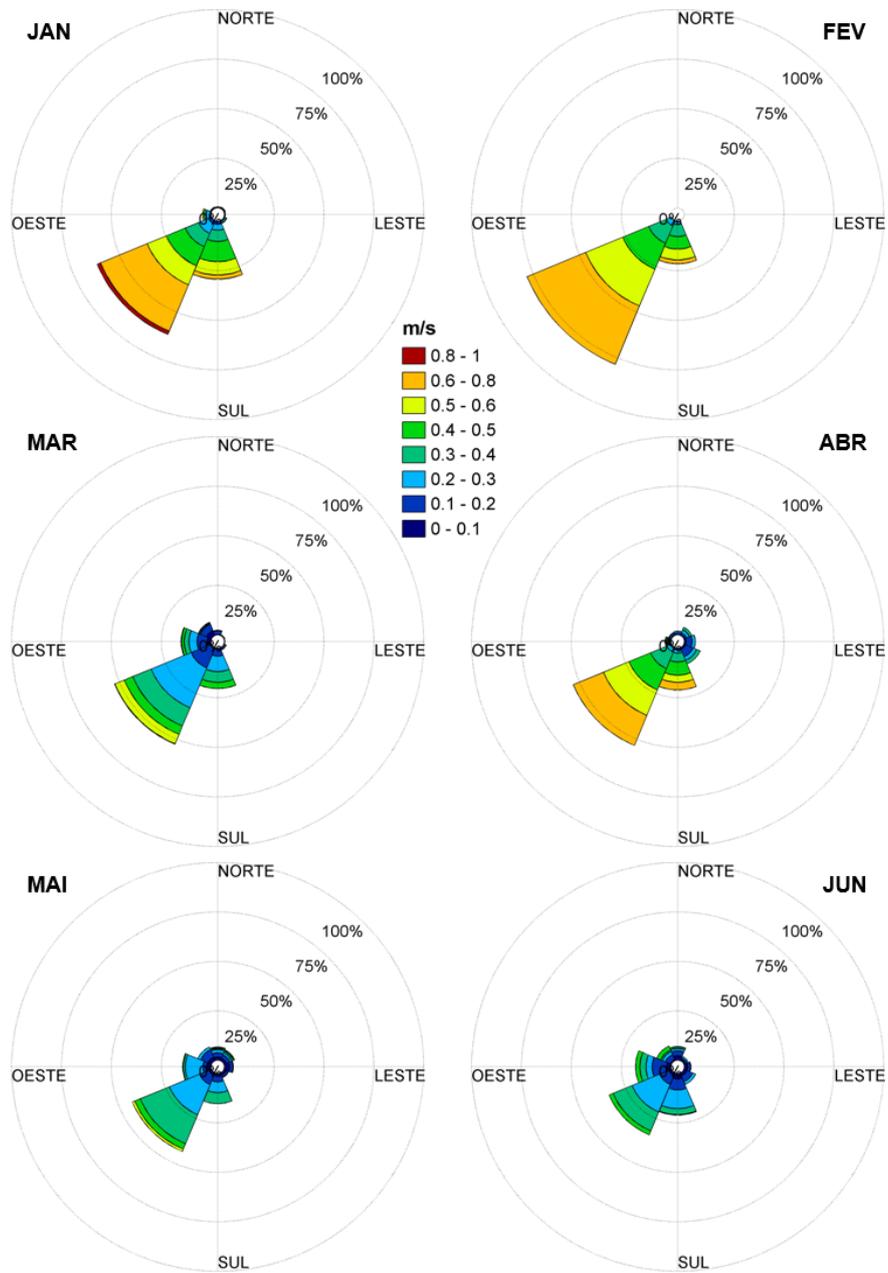


Figura 8: Histogramas direcionais de correntes superficiais para os meses de janeiro a junho para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.

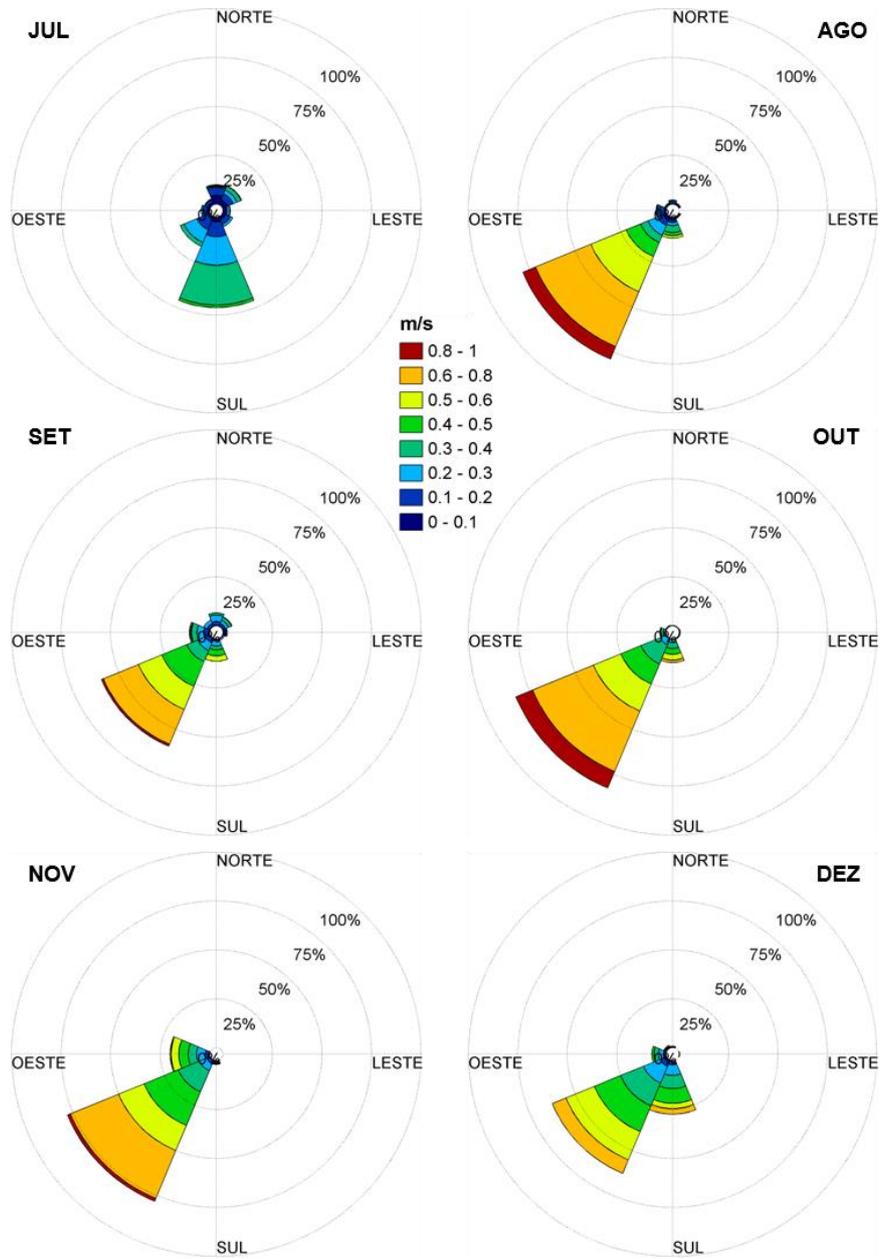


Figura 9: Histogramas direcionais de correntes superficiais para os meses de julho a dezembro para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.

Tabela 21: Ocorrência mensal de direção das correntes para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.

Direção	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	0,27	-	1,34	1,11	4,03	3,89	4,30	1,08	3,33	-	-	0,81
NNE	0,27	-	0,27	2,50	3,49	1,67	8,87	0,27	5,00	0,27	-	-
NE	0,27	-	0,27	1,67	3,23	0,83	5,38	0,81	1,94	-	-	-
ENE	0,54	-	-	1,39	3,49	1,94	1,88	-	0,56	0,27	-	0,27
E	0,27	-	-	2,78	1,34	1,67	1,61	-	1,11	0,27	-	-
ESE	0,27	-	0,54	3,61	0,81	1,94	1,88	0,27	1,39	-	-	-
SE	0,27	-	0,54	4,72	1,34	2,78	3,23	0,54	-	0,54	-	-
SSE	2,96	-	1,34	3,89	3,23	5,83	7,26	0,81	0,83	-	-	0,27
S	10,22	2,59	6,18	3,06	6,99	11,67	28,49	5,65	4,17	2,15	0,28	8,33
SSO	54,30	70,98	34,68	46,39	13,71	16,94	17,47	19,09	38,61	44,89	16,11	42,74
SO	21,24	26,44	22,58	18,89	26,34	17,78	8,33	61,02	22,78	42,74	49,17	33,06
OSO	5,11	-	15,05	6,11	13,98	11,11	4,84	5,11	8,89	5,91	26,11	6,99
O	2,96	-	7,26	1,67	6,99	8,89	1,88	2,96	4,44	1,08	7,50	5,38
ONO	0,54	-	3,23	0,56	5,11	5,83	1,61	0,54	3,61	1,08	0,83	1,34
NO	0,27	-	3,49	0,83	3,76	4,44	1,34	0,81	1,11	0,54	-	0,54
NNO	0,27	-	3,23	0,83	2,15	2,78	1,61	1,08	2,22	0,27	-	0,27

Tabela 22: Ocorrência mensal de intensidade das correntes para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.

Mês	Intensidade (m/s)					
	0-0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8	> 0,8
Janeiro	-	5,65	26,61	38,44	27,42	1,88
Fevereiro	-	0,29	19,83	45,98	33,91	-
Março	6,45	25,54	52,96	14,78	0,27	-
Abril	3,06	11,94	27,78	36,94	20,28	-
Mai	13,71	20,70	59,41	6,18	-	-
Junho	13,33	28,33	51,11	7,22	-	-
Julho	16,67	27,69	53,49	2,15	-	-
Agosto	5,65	9,41	17,20	30,38	30,38	6,99
Setembro	2,78	11,39	31,94	33,06	19,72	1,11
Outubro	0,54	1,88	21,24	32,53	34,68	9,14
Novembro	-	4,17	25,28	41,67	27,22	1,67
Dezembro	2,15	6,18	39,52	41,67	10,48	-

As correntes superficiais na região do Peregrino C se comportaram com fluxo preferencial para sul e sudoeste ao longo de todo o ano de 2012. Correntes de sudoeste tiveram maior

ocorrência entre os meses de agosto e abril. As intensidades predominantes foram entre 0,2 e 0,8 m/s.

Para avaliar a variabilidade ambiental dos dados, foi empregada a metodologia proposta por Elliot (2004), a qual sugere o número adequado de simulações baseado na análise do número de zeros-ascendentes (*zero-up-crossing*), que consiste na identificação do número de vezes em que as componentes zonal (u) e meridional (v) trocam de sinal.

Dessa forma, com objetivo de avaliar a variabilidade das escalas temporais transientes presentes nos dados, foi realizada uma análise de zeros ascendentes (*zero-up-crossing*) do ponto do ROMS mais próximo ao Peregrino C (Figura 10). O maior valor foi obtido para a componente zonal, com 91 zeros ascendentes presentes em 1 ano (365 dias), o que resulta em uma mudança de sinal da componente a cada 4 dias. Para o presente estudo, o intervalo considerado entre o início de cada simulação determinística foi de 3 dias, sendo suficiente para representar a variabilidade da região. Ou seja, a cada 3 dias foi iniciada uma nova simulação com duração variável entre 3 e 4 dias, de acordo com o tipo de projeto de perfuração (Tabela 18), totalizando 122 simulações por projeto.

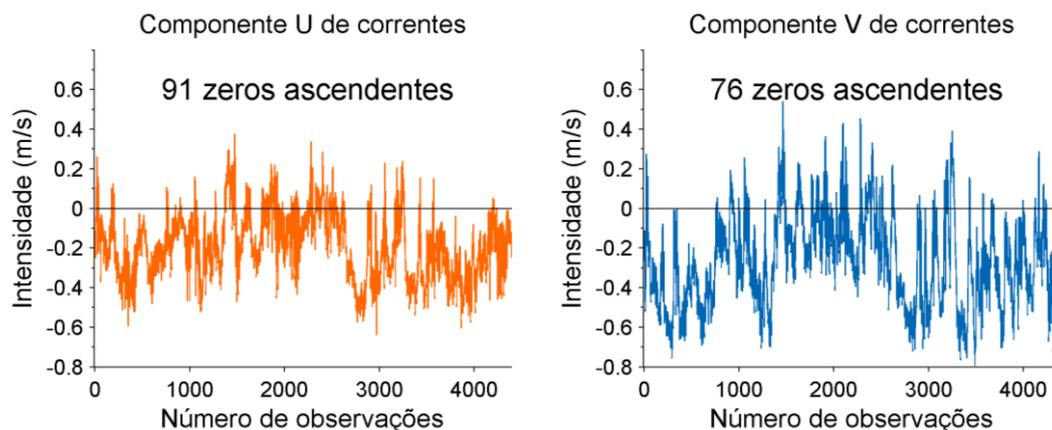


Figura 10: Séries temporais das componentes “u” e “v”, de correntes, para o ponto de grade mais próximo do local de descarte, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries.

2.3.2 Temperatura e Salinidade do Mar

Para definir os perfis de temperatura e salinidade a serem incorporados na modelagem, foram utilizados novamente os dados do modelo hidrodinâmico ROMS. A localização do ponto de grade mais próximo ao ponto de descarte foi apresentada na Figura 7.

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, foram calculados perfis médios mensais para o ano de 2012, como apresentado na Figura 11.

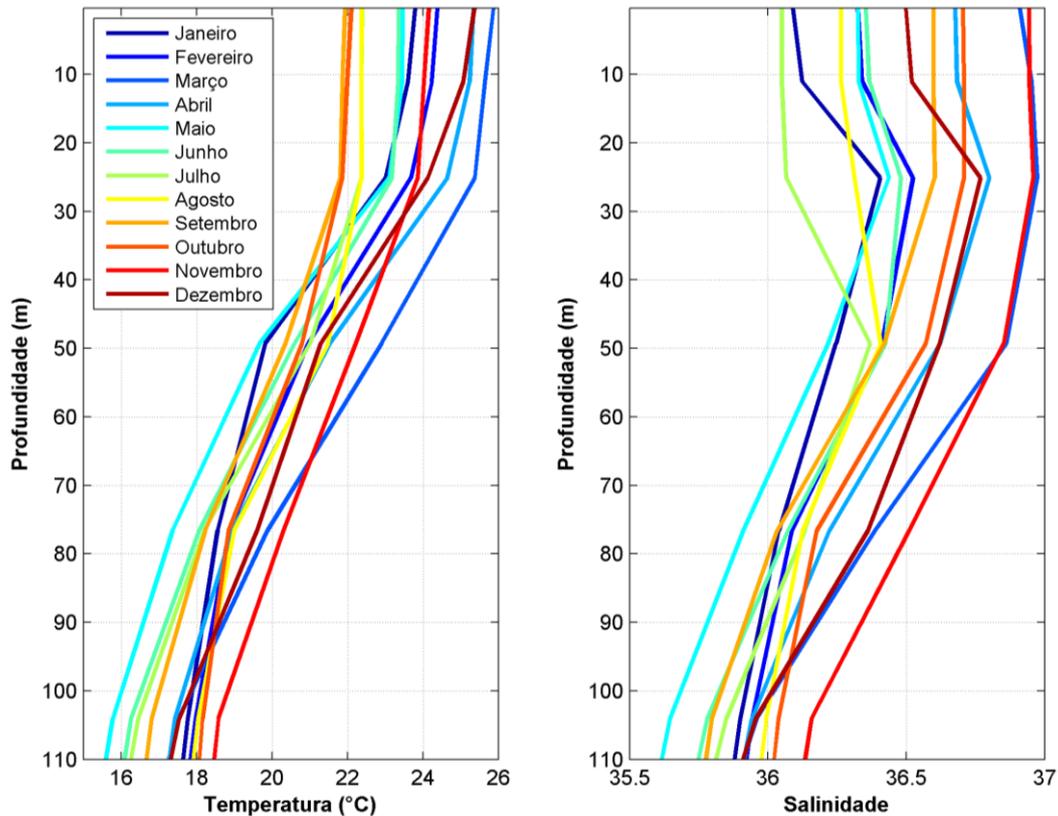


Figura 11: Perfis médios de temperatura, salinidade e densidade para o ponto do ROMS mais próximo ao descarte.

2.3.3 Ventos

Os dados de vento utilizados como forçante no modelo são provenientes do ERA5, a última geração da Reanálise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) e a primeira produzida como serviço operacional, com resolução temporal horária e espacial de 31 km em 137 níveis atmosféricos, desde a superfície até 0.01 hPa (HENNERMANN, 2017).

As Reanálises climáticas do ECMWF começaram com o FGGE, produzida na década de 1980, seguida pelo ERA-15, ERA-40 e mais recentemente pelo ERA-Interim. O ERA5 é uma reanálise que cobre dados de 1950 até o presente e atualmente e apresenta dados disponibilizados para uso público para o período de 2010 a 2016.

Em relação ao seu antecessor ERA-Interim, as principais melhorias apresentadas no ERA-5 são (HENNERMANN, 2017):

- » Resolução espacial e temporal muito maior;
- » Informações sobre a variação de qualidade em relação ao espaço e ao tempo;
- » Troposfera otimizada;
- » Melhor representação de ciclones tropicais;
- » Melhor equilíbrio global de precipitação e evaporação;
- » Maior precipitação sobre a terra nos trópicos profundos;
- » Melhor umidade do solo;
- » Temperatura mais consistente da superfície do mar e gelo marinho.

O ERA5 combina grandes quantidades de observações históricas em estimativas globais utilizando sistemas avançados de modelagem e assimilação de dados. O ERA5 foi produzido usando a assimilação de dados 4DVar em CY41R2 do IFS (*Integrated Forecast System*) do ECMWF. As observações utilizadas na assimilação de dados do ERA-5 incluem dados de satélite e dados *in situ*. Entre os dados de satélite, estão dados de diferentes sensores de uma gama de satélites que inclui AQUA, ERS-2, ENVISAT, JASON-1, JASON-2, entre muitos outros. As observações *in situ* são provenientes do WMO *Information System* (WIS) e incluem dados de estação de terra, boias de deriva, dados de navios, radiossondas, radares, entre outros.

A Figura 13 e a Figura 14 apresentam as rosas dos ventos mensais elaboradas para o mesmo período dos dados hidrodinâmicos – ano de 2012 –, para o ponto de grade do ERA5 mais próximo ao Peregrino C (Figura 12). As tabelas de ocorrência de direção e intensidade são apresentadas na Tabela 23 e na Tabela 24. A maior ocorrência observada na região, para o período de dados disponíveis, foi de ventos de noroeste, com intensidades variando entre 4 e 10 m/s.

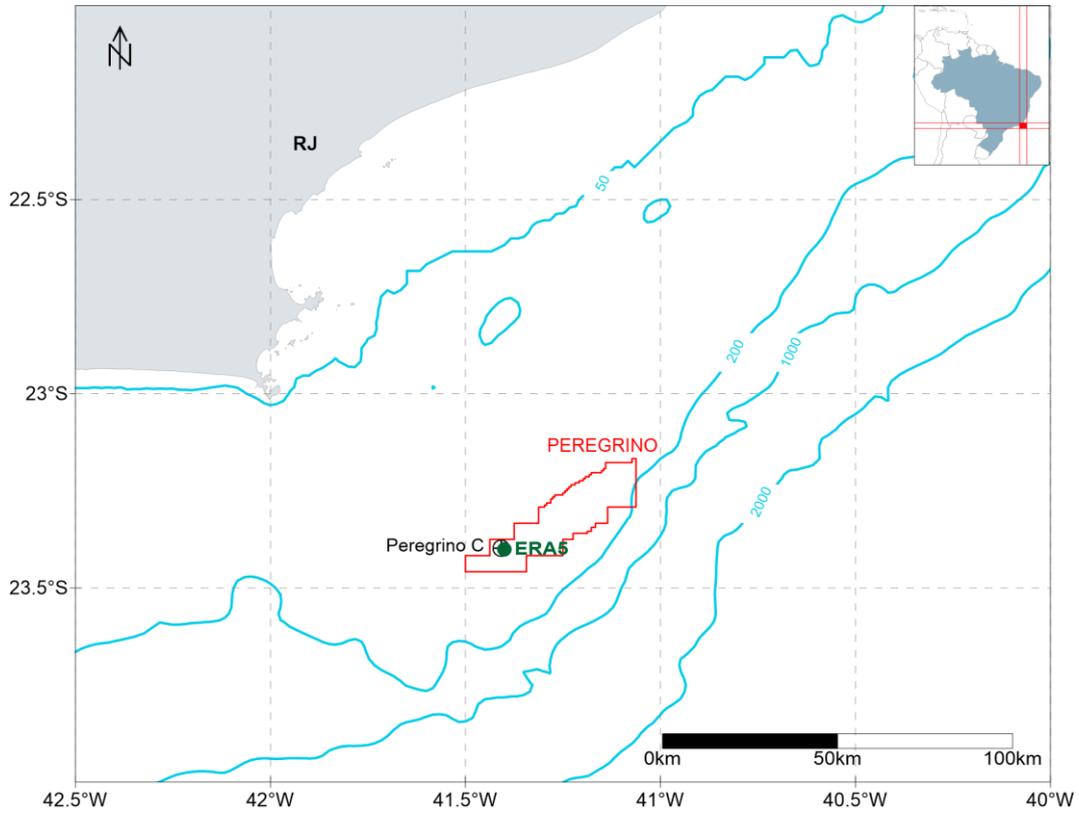


Figura 12: Localização do ponto de grade do ERA5 (em verde) mais próximo ao ponto de descarte (Peregrino C). O polígono em vermelho representa a área do Campo de Peregrino e as linhas em azul são referentes às isóbatas de 50, 200, 1.000 e 2.000 m.

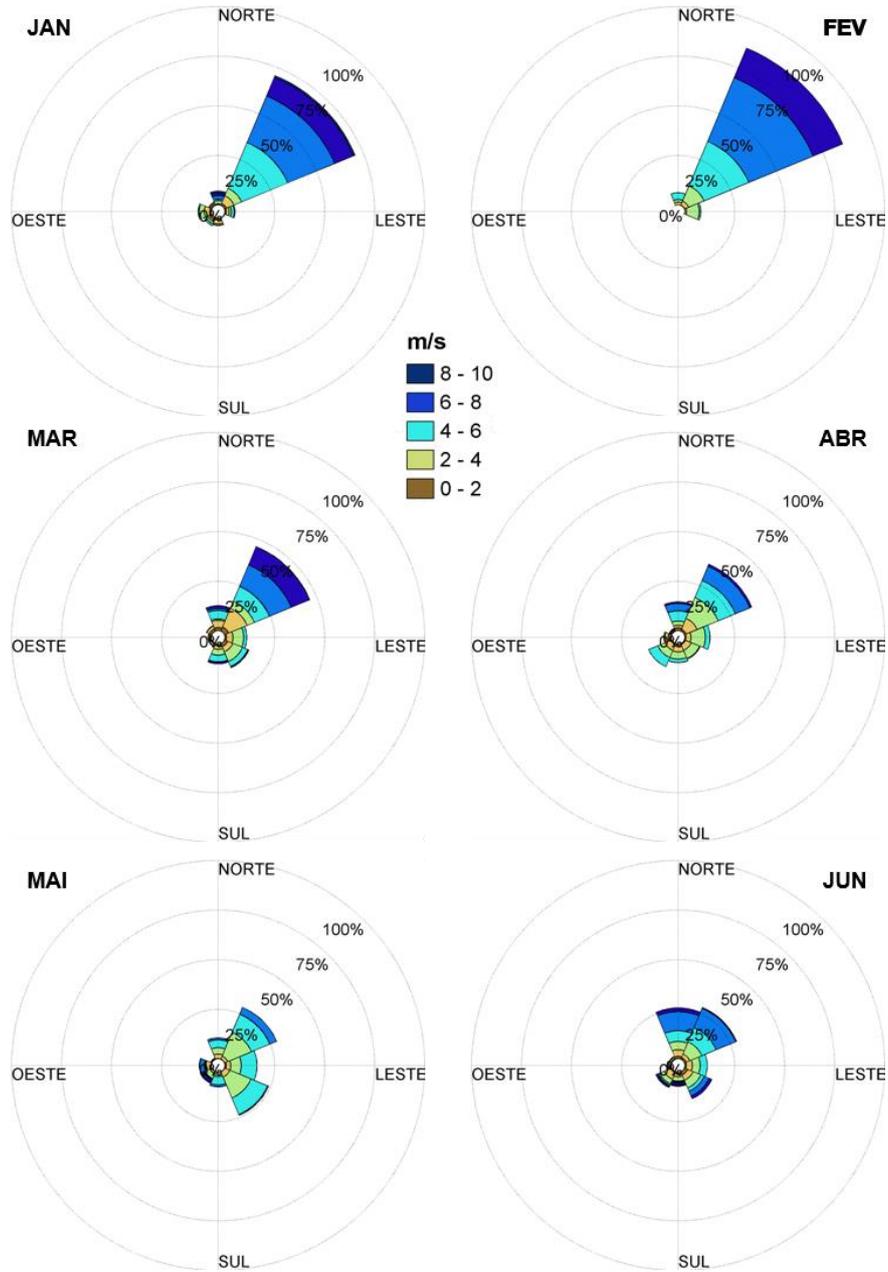


Figura 13: Histogramas direcionais de ventos para os meses de janeiro a junho para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.

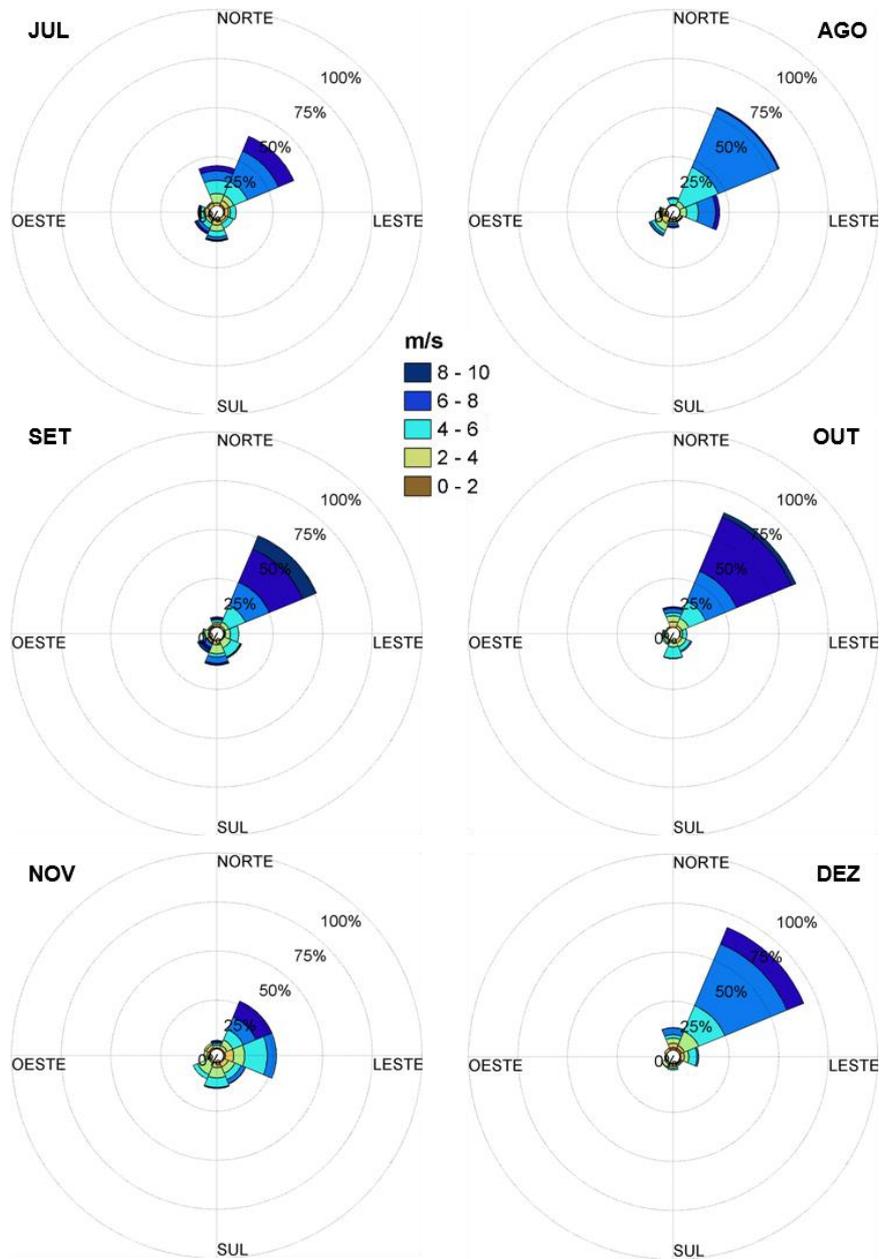


Figura 14: Histogramas direcionais de ventos para os meses de julho a dezembro para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.

Tabela 23: Ocorrência mensal de direção de ventos para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.

Direção	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	1,34	1,44	5,38	6,25	3,49	5,56	7,26	1,34	2,36	4,70	1,81	2,55
NNE	27,69	28,45	25,40	18,19	14,65	32,78	33,06	7,26	18,33	18,82	7,36	35,35
NE	42,47	54,60	21,51	19,31	10,89	10,00	16,26	27,55	30,97	38,98	15,97	33,33
ENE	7,93	13,51	7,53	11,53	12,50	7,92	2,28	34,01	6,53	12,77	11,39	10,89
E	2,55	2,01	6,72	5,28	6,85	4,72	4,17	7,93	3,33	1,34	14,31	5,38
ESE	0,67	-	4,84	4,58	13,31	8,19	2,82	1,21	4,58	1,61	8,89	1,61
SE	-	-	5,51	3,61	9,41	7,50	2,28	0,81	6,39	3,23	7,64	1,08
SSE	0,81	-	10,22	3,89	11,02	5,28	4,44	1,08	5,00	7,66	6,81	1,88
S	1,61	-	3,36	5,14	2,69	3,19	5,91	1,88	6,11	4,30	6,53	1,48
SSO	2,82	-	1,88	6,94	1,34	3,19	4,70	5,11	5,69	0,94	5,28	1,34
SO	2,69	-	0,94	5,97	3,36	6,25	5,24	6,32	3,33	1,21	5,56	1,61
OSO	2,15	-	0,13	4,03	7,26	2,08	5,38	2,69	1,67	1,61	2,22	0,67
O	3,63	-	1,21	1,94	1,08	0,56	2,55	1,61	2,92	1,08	1,94	0,27
ONO	2,15	-	1,08	0,83	0,13	0,83	0,81	0,40	0,42	0,67	0,56	0,67
NO	0,81	-	2,28	0,83	0,27	0,97	0,94	0,27	1,39	0,40	2,08	0,67
NNO	0,67	-	2,02	1,67	1,75	0,97	1,88	0,54	0,97	0,67	1,67	1,21

Tabela 24: Ocorrência mensal de intensidade de ventos para o ponto de grade mais próximo do local de descarte.

Mês	Intensidade (m/s)					
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
Janeiro	5,78	12,77	11,16	29,17	27,69	13,44
Fevereiro	0,14	4,45	15,95	28,59	34,77	16,09
Março	10,08	24,60	18,95	20,30	13,44	12,63
Abril	7,36	21,11	33,61	24,44	11,53	1,94
Mai	2,02	14,25	36,56	35,75	9,27	2,15
Junho	7,22	17,78	24,44	19,72	24,03	6,81
Julho	3,90	13,71	15,32	27,42	25,54	14,11
Agosto	0,94	7,66	11,16	30,78	45,03	4,44
Setembro	3,19	7,08	16,67	22,36	19,58	31,11
Outubro	0,13	9,41	14,38	22,72	20,03	33,33
Novembro	4,31	14,31	27,64	28,89	15,14	9,72
Dezembro	4,84	9,68	16,26	21,51	38,44	9,27

3. Resultados

A seguir, serão apresentados os resultados probabilísticos e determinísticos das simulações de dispersão de cascalho e fluidos de perfuração, obtidos durante todo o ano de 2012.

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. As concentrações de sólidos em suspensão na coluna d'água serão apresentadas para os casos determinísticos selecionados.

Para a escolha dos cenários determinísticos, foram considerados dois critérios: **espessura máxima dos depósitos no fundo** e **distância máxima da fonte dos depósitos no fundo**.

3.1. Resultados Probabilísticos

Como já apresentado no item 2.2.4 (Características das Simulações), foi necessária a elaboração de uma metodologia que representasse a probabilidade da presença de sólidos no assoalho marinho, levando em consideração a soma do descarte de 22 poços. Desse total, 19 são do tipo *Short Case*, 2 do tipo *Long Case* e 1 do tipo *Worst Case*, que serão perfurados ao longo de 4 anos de projeto (2020 a 2023).

Ao longo de todo o ano de 2012, foram realizadas 122 simulações para cada projeto de perfuração, com início a cada 3 dias (totalizando 366 simulações). Com esses resultados, o algoritmo criado foi empregado de modo a retratar todas as possíveis combinações, das quais foram obtidas probabilidades finais de ocorrência de espessuras.

Primeiramente, serão apresentados os resultados probabilísticos individuais obtidos para cada um dos 3 projetos de perfuração, sem considerar sua integração. Em seguida, será apresentado o resultado final, obtido das combinações possíveis da soma dos 22 poços.

Para o resultado probabilístico de espessura máxima, resultante das somas dos descartes, foi feita uma varredura em cada ponto de grade de simulação e extraído o pior valor possível da soma dos 19 piores casos de *Short Case*, dos 2 piores de *Long Case* e do pior de *Worst Case*. Nos dois primeiros (*Short Case* e *Long Case*), em que o número de ocorrência é maior do que 1, foi feita uma avaliação em ordem decrescente dos piores valores.

3.1.1 Pilhas Individuais por Projeto

3.1.1.1 Short Case

As probabilidades de presença para espessuras acima de 1 mm e a espessura máxima resultante, considerando todas as 122 simulações determinísticas realizadas de *Short Case*, são apresentadas na Figura 15 e na Figura 16, respectivamente. A espessura máxima observada foi de 550,2 mm.

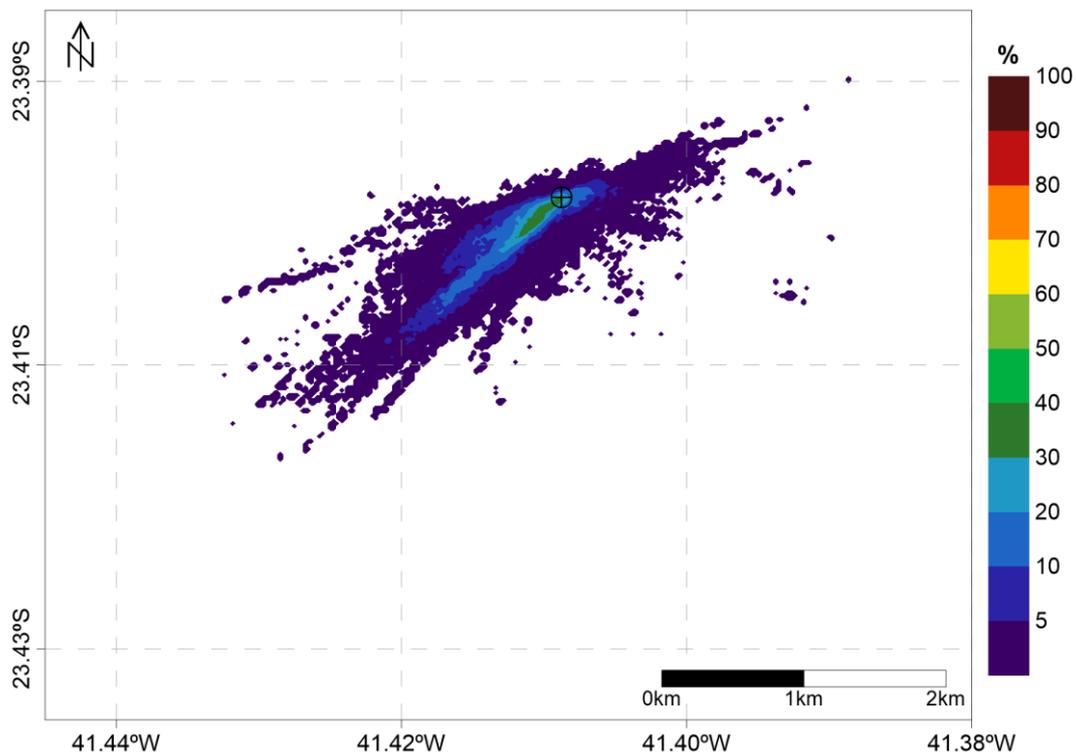


Figura 15: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de *Short Case* (Datum WGS-84).

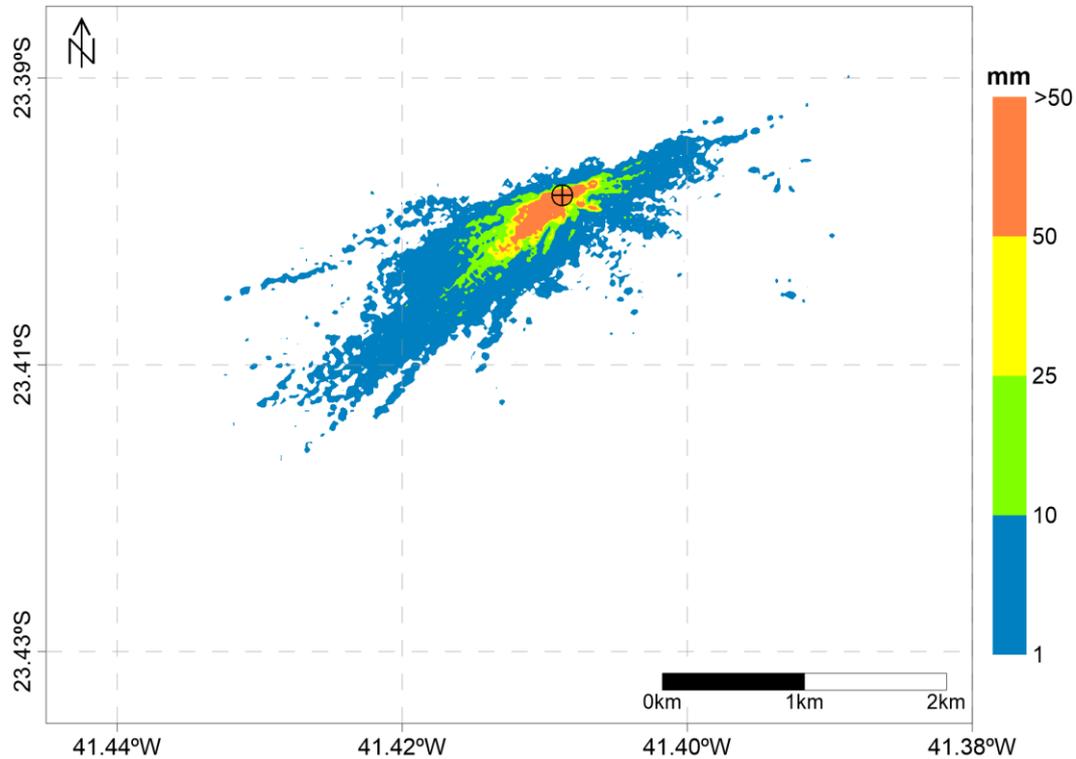


Figura 16: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os cenários determinísticos de *Short Case* (*Datum* WGS-84).

Da Tabela 25 à Tabela 27 são apresentados os principais resultados obtidos de *Short Case*.

Tabela 25: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25% e 50%, considerando classes de espessura entre 1 e 50 mm, para todos os cenários determinísticos de *Short Case*.

Probabilidade	Área (km ²)			
	Limiar de 1 mm	Limiar de 10 mm	Limiar de 25 mm	Limiar de 50 mm
> 0%	2,23	0,38	0,18	0,11
>= 25%	0,04	0,01	0	0
>= 50%	0	0	0	0

Tabela 26: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura (1 mm, 10 mm, 25 mm e 50 mm), para todos os cenários determinísticos de *Short Case*.

Espessura	Distância Máxima da Fonte (km)
>= 1	2,94
>= 10	1,43
>= 25	0,73
>= 50	0,65

Tabela 27: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, para todos os cenários determinísticos de *Short Case*.

Distância da Fonte	Espessura Máxima (mm)
100 m	321,95
250 m	196,69
500 m	106,53
750 m	22,93
1 km	13,86
1,5 km	6,22
2 km	4,87
3 km	0,73

3.1.1.2 Long Case

As probabilidades de presença para espessuras acima de 1 mm e a espessura máxima resultante, considerando todas as 122 simulações determinísticas realizadas de *Long Case*, são apresentadas na Figura 17 e na Figura 18, respectivamente. A espessura máxima observada foi de 626,0 mm.

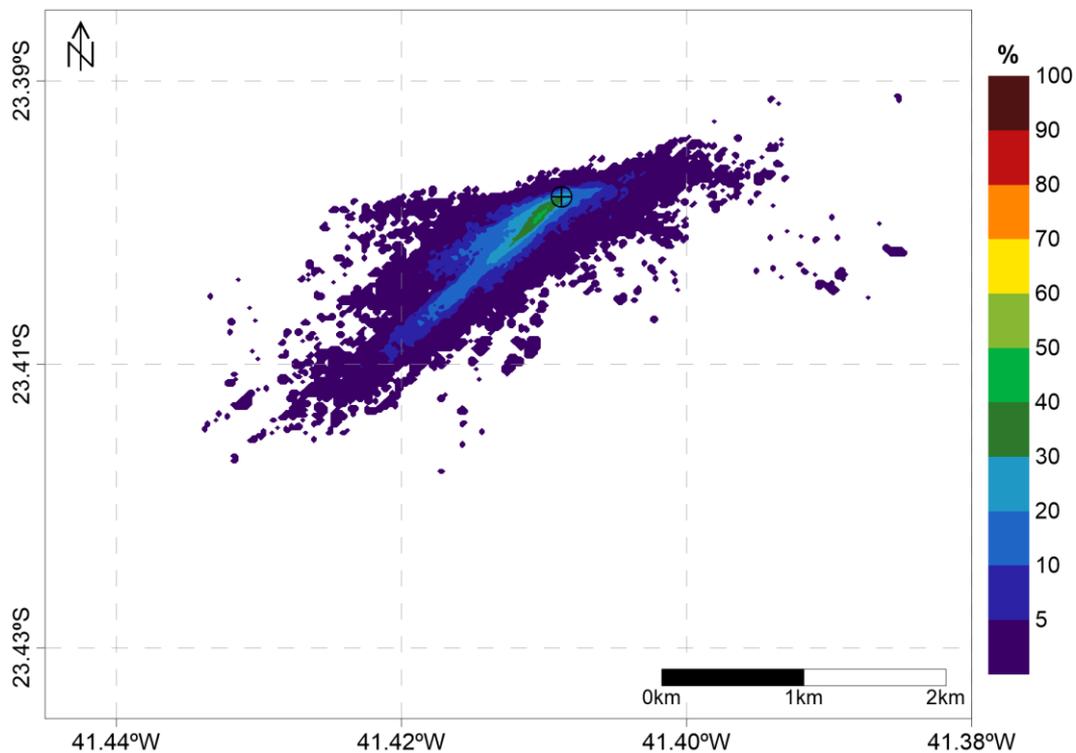


Figura 17: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de *Long Case* (Datum WGS-84).

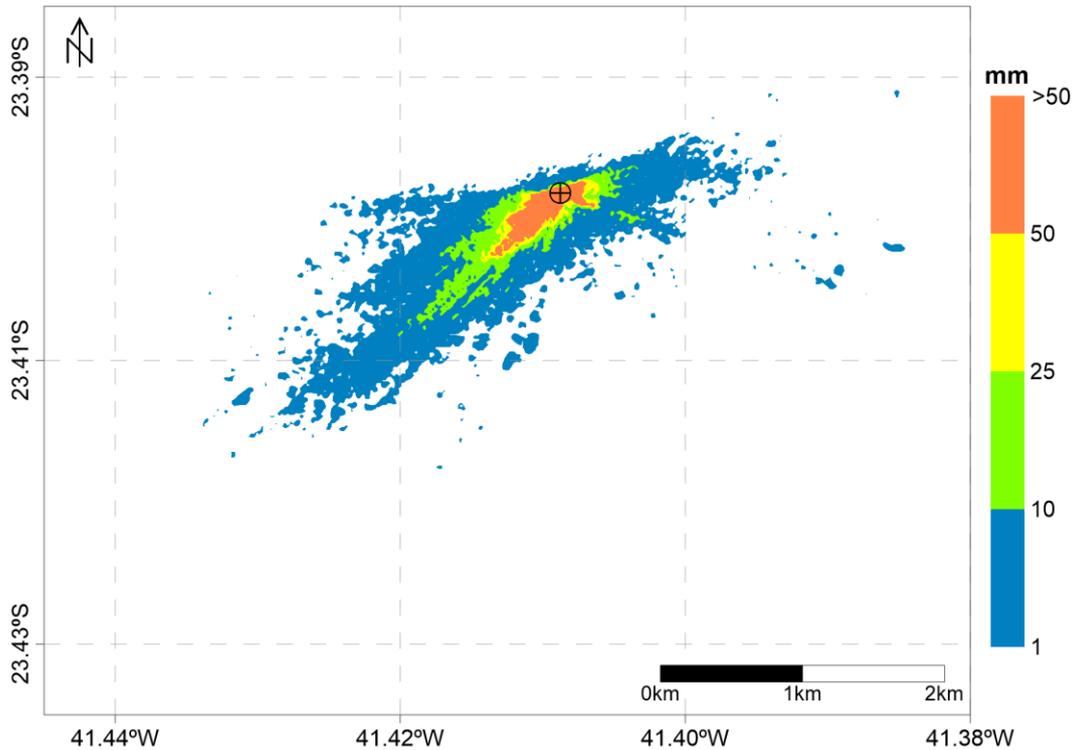


Figura 18: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os cenários determinísticos de *Long Case* (Datum WGS-84).

Da Tabela 28 à Tabela 30 são apresentados os principais resultados obtidos de *Long Case*.

Tabela 28: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25% e 50%, considerando classes de espessura entre 1 e 50 mm, para todos os cenários determinísticos de *Long Case*.

Probabilidade	Área (km ²)			
	Limiar de 1 mm	Limiar de 10 mm	Limiar de 25 mm	Limiar de 50 mm
> 0%	2,61	0,49	0,21	0,13
>= 25%	0,05	0,02	0,003	0,0004
>= 50%	0	0	0	0

Tabela 29: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura (1 mm, 10 mm, 25 mm e 50 mm), para todos os cenários determinísticos de *Long Case*.

Espessura	Distância Máxima da Fonte (km)
>= 1	3,14
>= 10	1,60
>= 25	0,90
>= 50	0,76

Tabela 30: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, para todos os cenários determinísticos de *Long Case*.

Distância da Fonte	Espessura Máxima (mm)
100 m	354,86
250 m	202,97
500 m	78,38
750 m	38,24
1 km	17,34
1,5 km	10,20
2 km	5,87
3 km	0,77

3.1.1.3 Worst Case

As probabilidades de presença para espessuras acima de 1 mm e a espessura máxima resultante, considerando todas as 122 simulações determinísticas realizadas de *Worst Case*, são apresentadas na Figura 19 e na Figura 20, respectivamente. A espessura máxima observada foi de 847,6 mm.

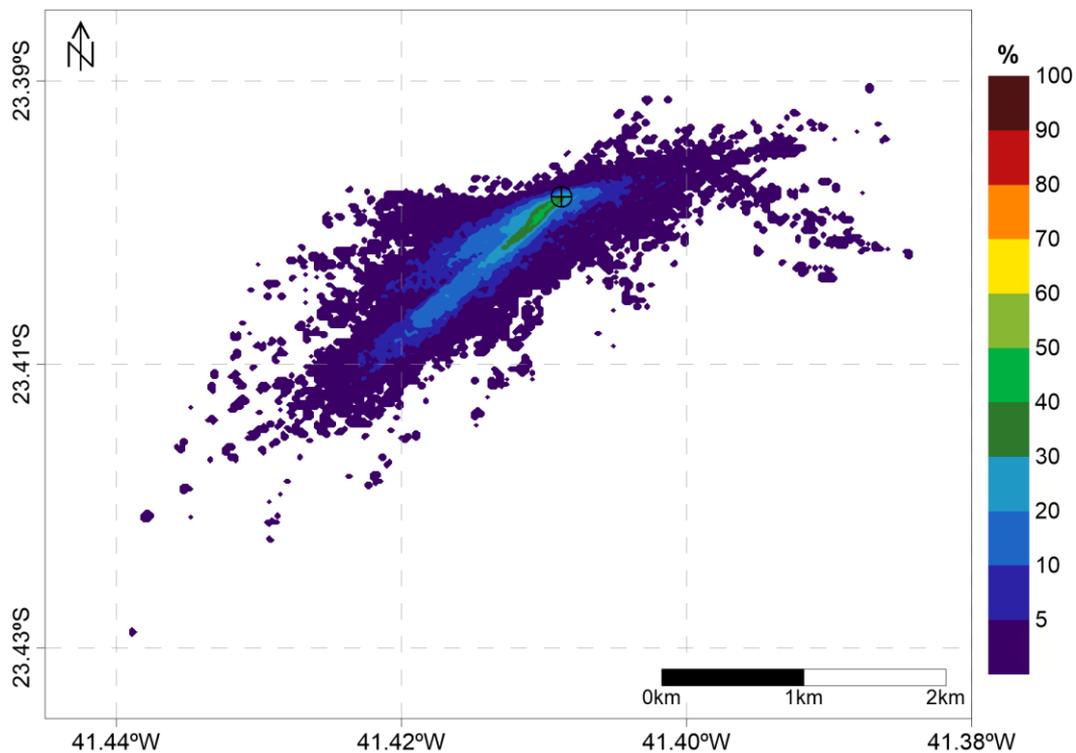


Figura 19: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de *Worst Case* (*Datum* WGS-84).

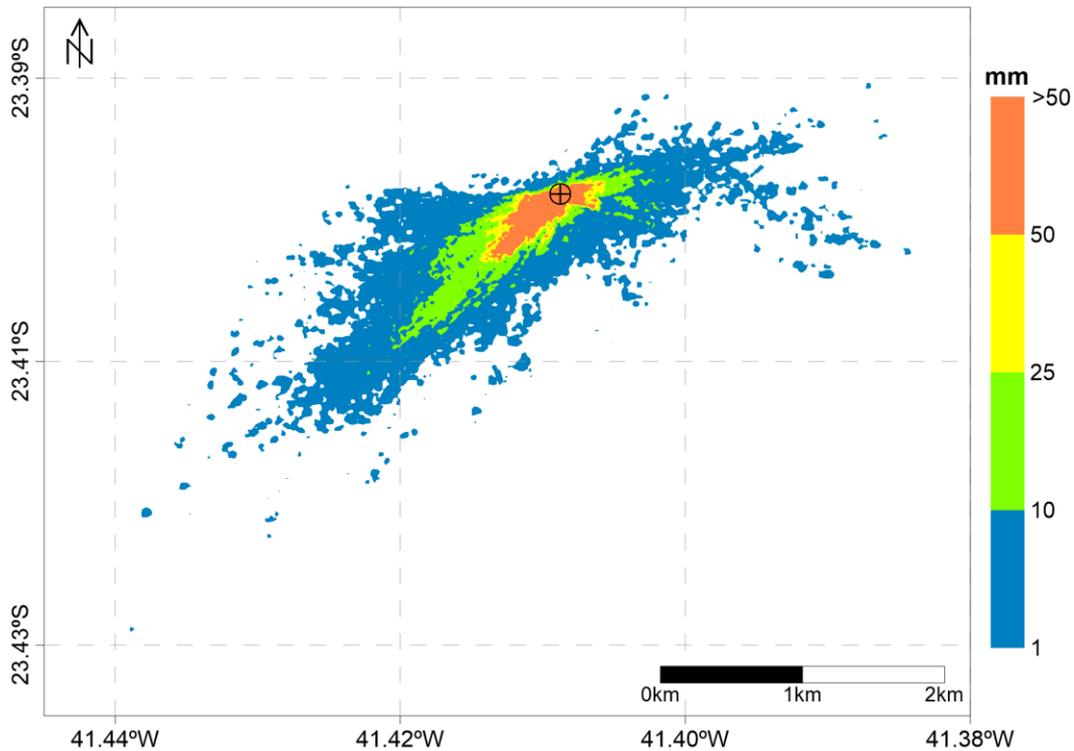


Figura 20: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os cenários determinísticos de *Worst Case* (*Datum* WGS-84).

Da Tabela 31 à Tabela 33 são apresentados os principais resultados obtidos de *Worst Case*.

Tabela 31: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25% e 50%, considerando classes de espessura entre 1 e 50 mm, para todos os cenários determinísticos de *Worst Case*.

Probabilidade	Área (km ²)			
	Limiar de 1 mm	Limiar de 10 mm	Limiar de 25 mm	Limiar de 50 mm
> 0%	3,40	0,67	0,26	0,16
>= 25%	0,07	0,03	0,006	0,002
>= 50%	0	0	0	0

Tabela 32: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura (1 mm, 10 mm, 25 mm e 50 mm), para todos os cenários determinísticos de *Worst Case*.

Espessura	Distância Máxima da Fonte (km)
>= 1	4,61
>= 10	2,00
>= 25	1,13
>= 50	0,73

Tabela 33: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, para todos os cenários determinísticos de *Worst Case*.

Distância da Fonte	Espessura Máxima (mm)
100 m	520,92
250 m	253,18
500 m	160,60
750 m	39,48
1 km	19,42
1,5 km	21,14
2 km	10,74
3 km	0,80

3.1.2 Integração dos 22 Poços

Da Figura 21 à Figura 25 são apresentados os mapas de probabilidade obtidos para espessuras superiores a 1, 10, 50, 100 e 250 mm, resultantes das possíveis combinações de integração dos 19 poços do tipo *Short Case*, 2 do tipo *Long Case* e 1 do tipo *Worst Case*. O mapa de espessura máxima obtido é apresentado na Figura 26. A espessura máxima observada foi de 5.777,3 mm.

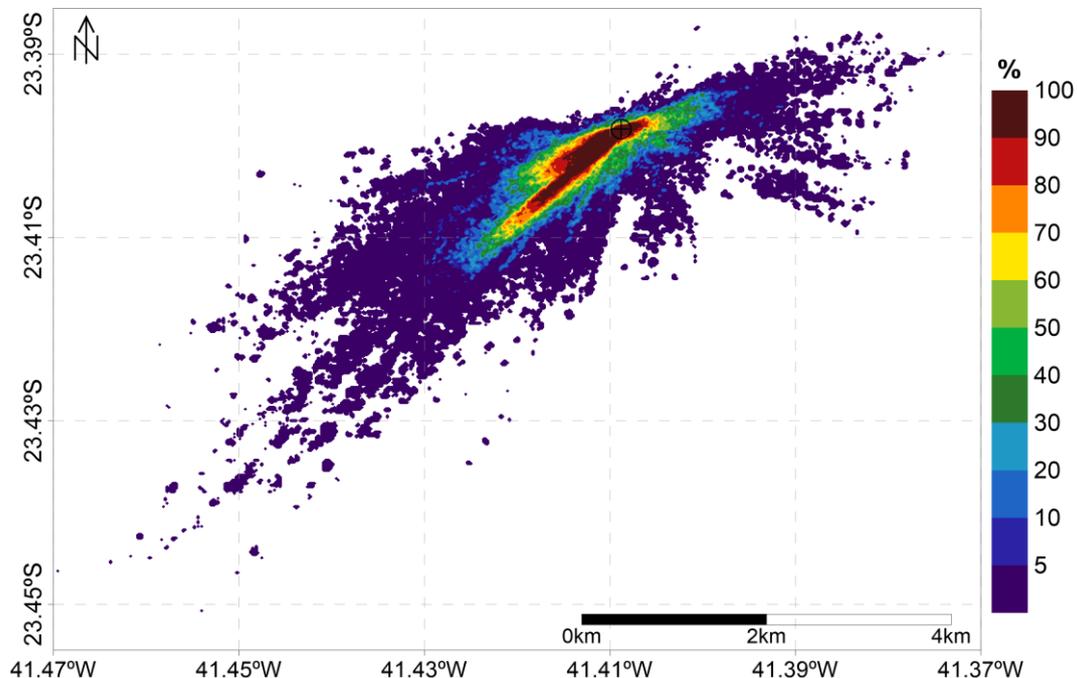


Figura 21: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (*Datum WGS-84*).

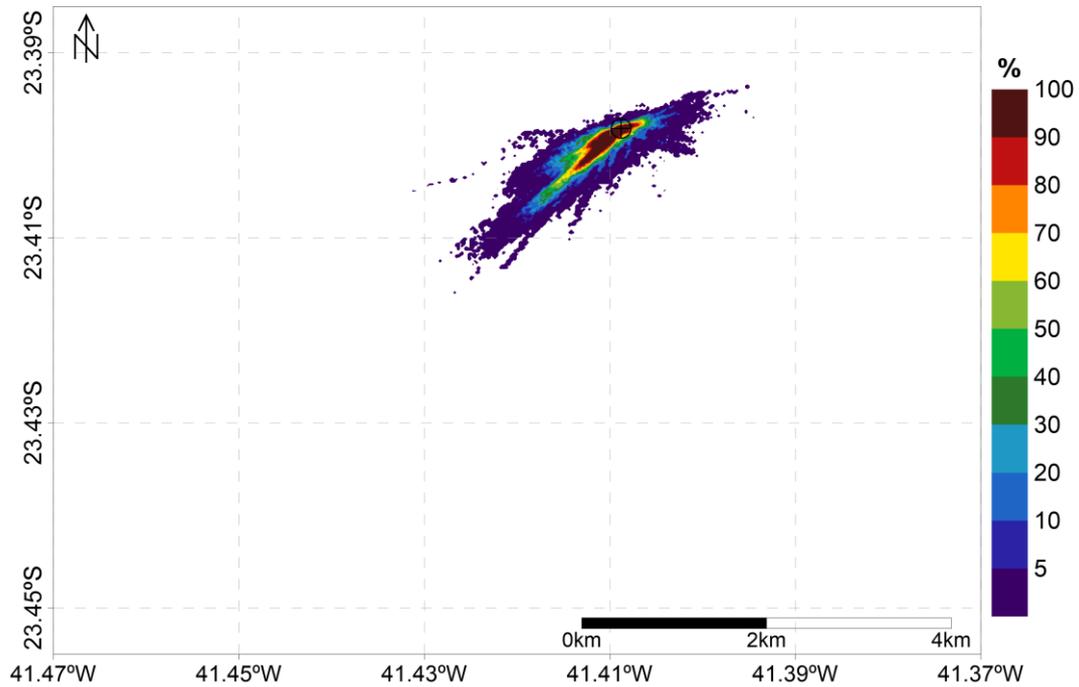


Figura 22: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (*Datum WGS-84*).

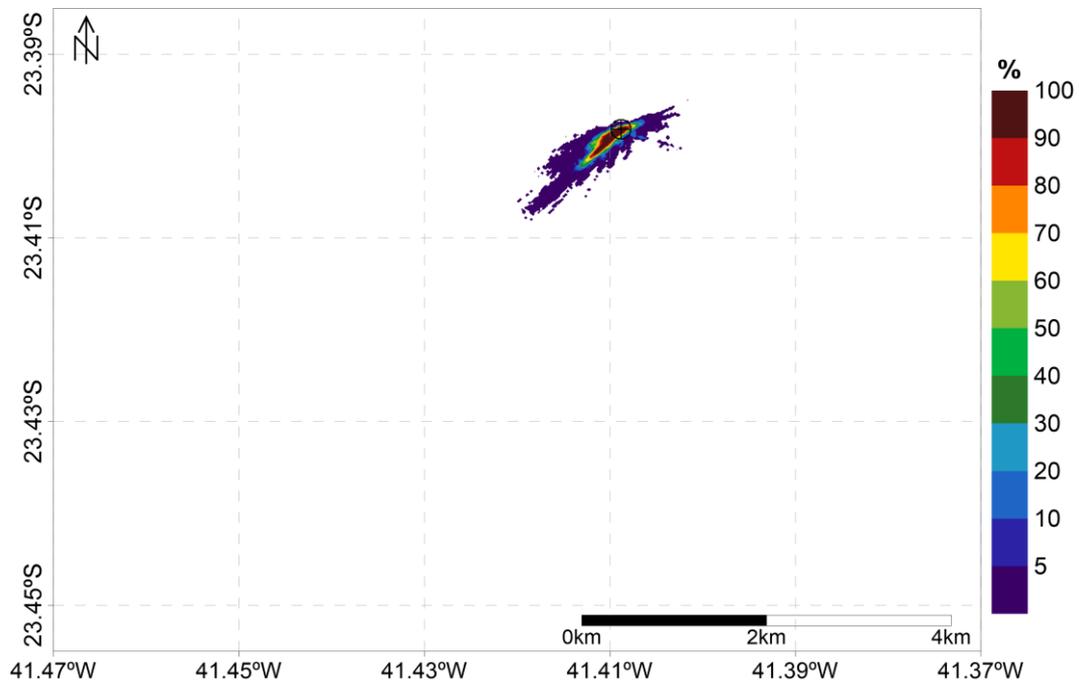


Figura 23: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 50 mm, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (*Datum WGS-84*).

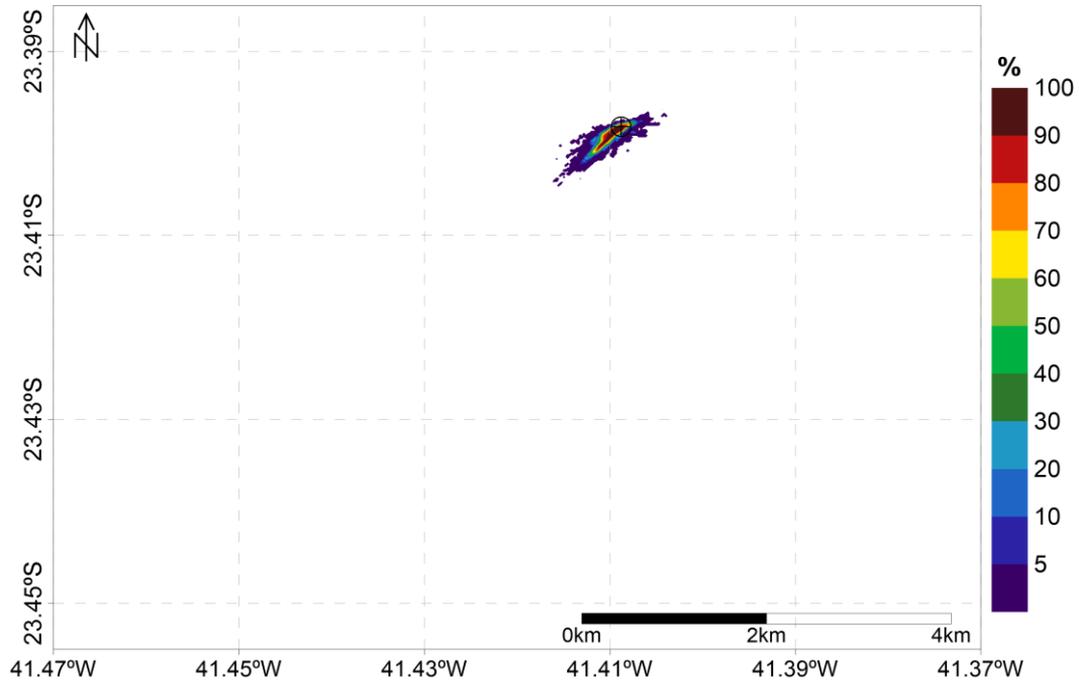


Figura 24: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 100 mm, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (*Datum WGS-84*).

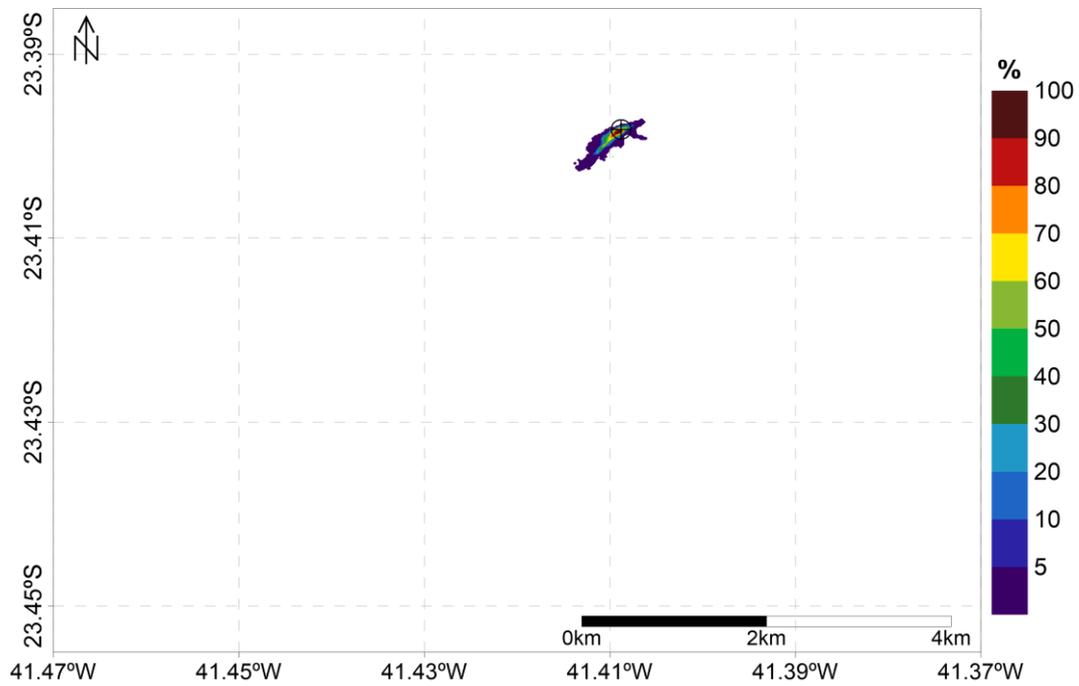


Figura 25: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 250 mm, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (*Datum WGS-84*).

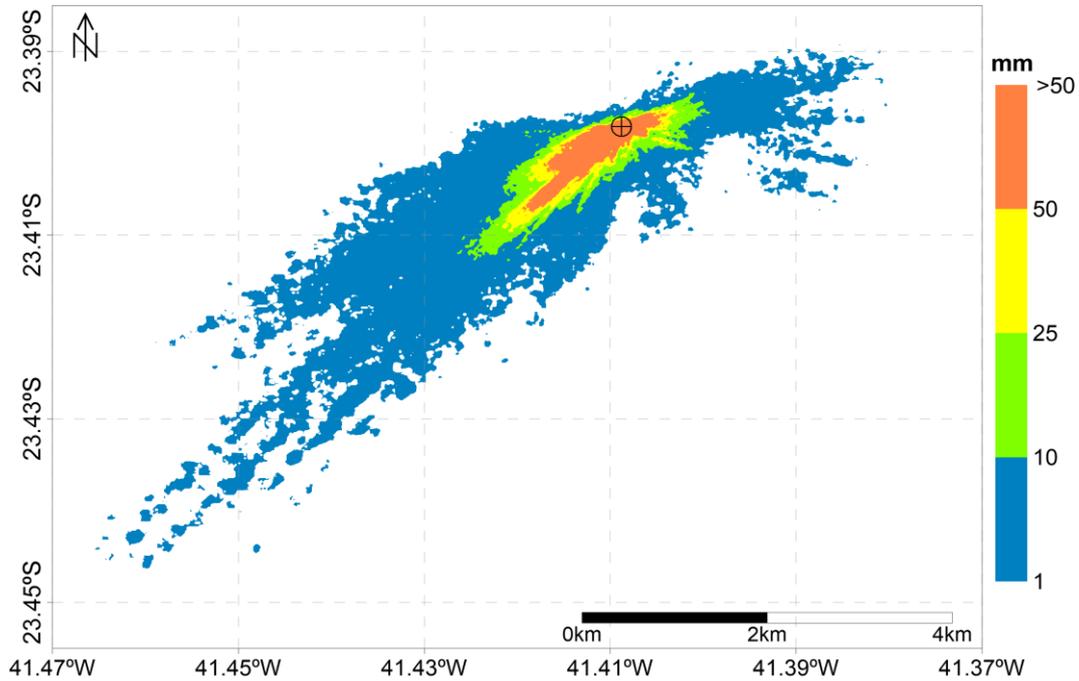


Figura 26: Mapa de espessura máxima acumulada, considerando todas as combinações possíveis dos descartes dos 22 poços previstos (*Datum* WGS-84).

Da Tabela 34 à Tabela 36 são apresentados os principais resultados obtidos para o probabilístico da integração das possíveis combinações dos 22 poços previstos de serem descartados neste projeto.

Tabela 34: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25% e 50%, 75% e 100%, considerando classes de espessura entre 1 e 500 mm, considerando todas as combinações possíveis dos 22 poços previstos.

Probabilidade	Área (km ²)					
	Limiar de 1 mm	Limiar de 10 mm	Limiar de 50 mm	Limiar de 100 mm	Limiar de 250 mm	Limiar de 500 mm
> 0%	10,26	3,63	1,07	0,65	0,28	0,17
>= 25%	1,41	0,34	0,11	0,07	0,03	0,01
>= 50%	0,80	0,20	0,08	0,05	0,02	0,005
>= 75%	0,44	0,12	0,05	0,03	0,007	0,002
= 100%	0	0	0	0	0	0

Tabela 35: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura, considerando todas as combinações possíveis dos 22 poços previstos.

Espessura (mm)	Distância Máxima da Fonte (km)
>= 1	8,78
>= 10	2,37
>= 25	1,95
>= 50	1,54
>= 100	1,06
>= 250	0,71
>= 500	0,55

Tabela 36: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, considerando todas as combinações possíveis dos 22 poços previstos.

Distância da Fonte	Espessura Máxima (mm)
100 m	3.495,67
250 m	1.602,25
500 m	612,66
750 m	163,62
1 km	108,60
1,5 km	57,77
2 km	21,74
3 km	3,88

3.1.3 Resumo dos Resultados Probabilísticos

A deposição de sólidos no assoalho marinho ocorreu preferencialmente para sudoeste, com uma menor contribuição em nordeste, seguindo a dinâmica de correntes da região (Figura 8 e Figura 9).

O projeto de perfuração mais impactante ao meio foi o *Worst Case*, o qual possui maior volumetria de cascalho e fluido de perfuração e maior tempo de descarte. Entretanto, o projeto que mais contribui para o descarte é o *Short Case*, pois este se repete 19 vezes, seguida pelo *Long Case*, que se repete 2 vezes e pelo *Worst Case*, que se repete somente 1 vez.

Analisando o projeto *Worst Case* separadamente, espessuras acima de 1 mm foram observadas até 4,6 km de distância da fonte, ocupando uma área de 3,4 km², e espessura máxima observada de 847,6 mm. Para o *Short Case*, a distância máxima em que são encontradas espessuras acima de 1 mm foi de 2,9 km, e área ocupada de 2,2 km², com espessura máxima obtida de 550,2 mm.

Para a probabilidade de ocorrência calculada com base em todas as possíveis combinações de sobreposição de espessuras resultantes dos descartes dos 22 poços, a distância máxima obtida para espessuras acima de 1 mm foi de 8,8 km, ocupando uma área de 10,26 km², e espessura máxima possível de 5.777,3 mm. A 500 m de Peregrino C, a espessura máxima encontrada foi de 612,7 mm e, a 3 km de Peregrino C, esse valor reduziu significativamente para 3,88 mm. A área possivelmente impactada reduz para 0,8 km² para probabilidades acima de 50%, considerando o limiar de monitoramento de 1 mm; e para 0,2 km² para probabilidades acima de 50% e espessuras acima de 10 mm. Portanto, valores elevados de espessura e de distância da fonte estão associados a baixas probabilidades de ocorrência.

A metodologia empregada neste estudo foi conservadora, visto que não é considerada a remobilização de sedimentos que ocorre entre o descarte de um poço e outro.

3.2. Resultados Determinísticos

Dentre todos os resultados determinísticos simulados, foram selecionados os 22 piores resultados de distância máxima da fonte com espessuras acima de 1 mm e os 22 piores resultados de espessura máxima. Desses 22, 19 são de *Short Case*, 2 de *Long Case* e 1 de *Worst Case*. Esses resultados determinísticos de espessura foram, então, somados para gerar exemplos de pilhas de deposição integradas.

Para a concentração de sólidos em suspensão, por se tratar de um impacto efêmero, logo dispersado na coluna d'água após o término do descarte, foram selecionados os dois cenários mais impactantes, levando em consideração novamente os critérios de distância e espessura máxima. Como não é possível haver sobreposição de descartes de poços distintos em um mesmo período, não foi considerada a soma dos resultados destes poços, ao contrário do realizado para o cálculo de espessura. O cenário determinístico mais impactante ao meio foi obtido dentre as simulações de *Worst Case*, projeto com maior volumetria e com maior período de descarte.

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.

Cabe ressaltar que, apesar desta análise ser ideal para a obtenção da área potencialmente impactada pela atividade, e de resultados como concentração e distâncias máximas 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.

As simulações realizadas não consideraram intervalos entre o descarte de uma seção e outra, o que torna o resultado obtido mais conservador, pois leva em consideração alguma possível sobreposição de plumas em uma mesma simulação.

3.2.1 Pilhas de Deposição

3.2.1.1 Distância Máxima

A integração das pilhas de deposição que obtiveram os maiores valores de distância máxima é apresentada na Figura 27.

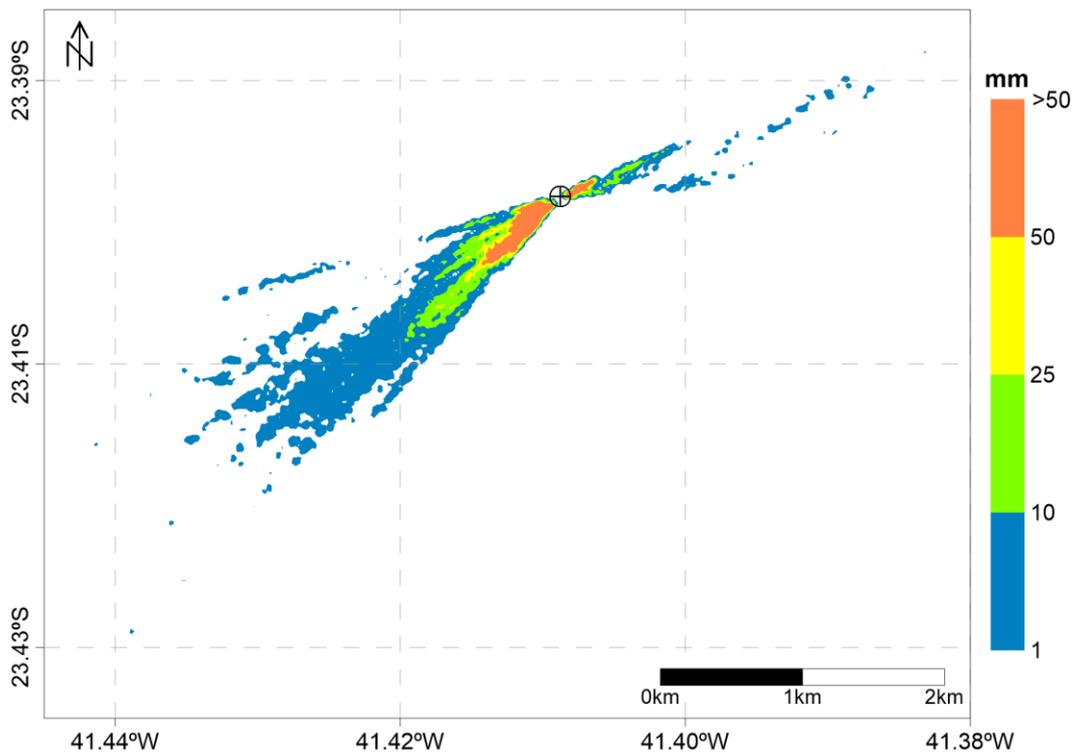


Figura 27: Pilha resultante da integração dos piores casos de distância máxima, considerando o limiar de 1 mm (*Datum* WGS-84).

A espessura máxima obtida neste cenário determinístico foi de 699,2 mm, ocupando uma área de 1,5 km² e atingindo uma distância máxima de 4,6 km. Na Tabela 37 e na Tabela 38 são apresentados os principais resultados obtidos para este cenário determinístico.

Tabela 37: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura, para o caso determinístico escolhido pelo critério da distância máxima.

Espessura (mm)	Distância Máxima da Fonte (km)
>= 1	4,61
>= 10	1,68
>= 25	1,40
>= 50	0,76
>= 100	0,68
>= 250	0,45
>= 500	0,41

Tabela 38: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, para o caso determinístico escolhido pelo critério da distância máxima.

Distância da Fonte	Espessura Máxima (mm)
100 m	169,28
250 m	612,82
500 m	228,69
750 m	62,13
1 km	23,60
1,5 km	13,81
2 km	6,74
3 km	1,49

3.2.1.2 Espessura Máxima

A integração das pilhas de deposição que obtiveram os maiores valores de espessura máxima é apresentada na Figura 28.

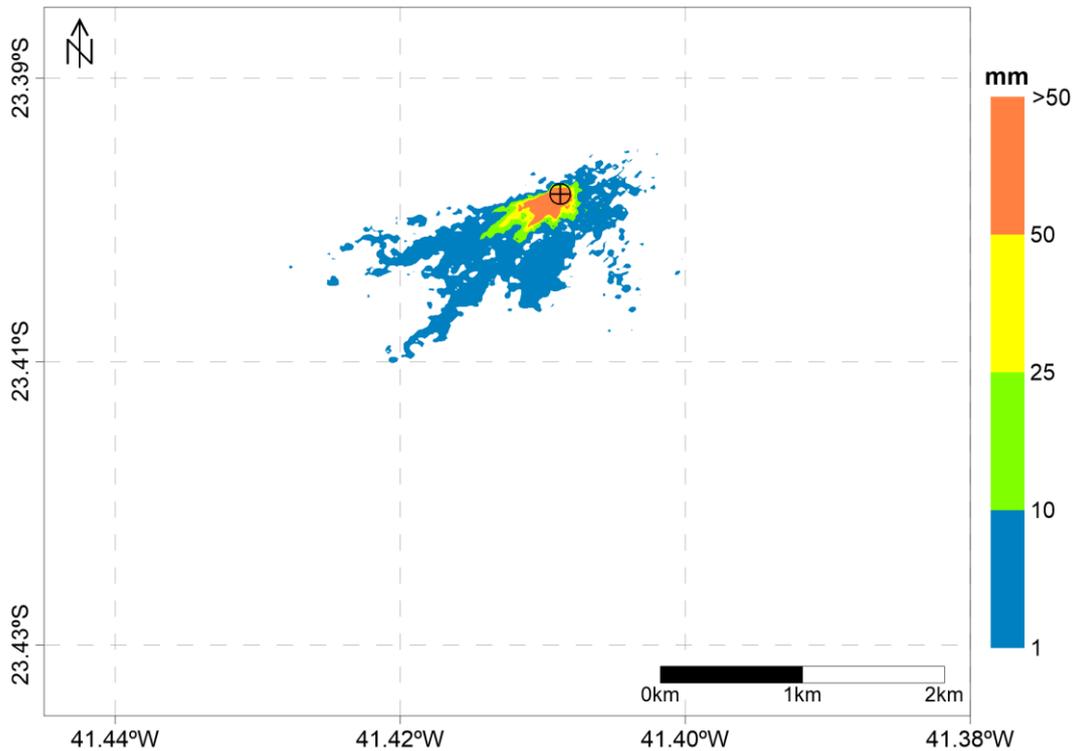


Figura 28: Pilha resultante da integração dos piores casos de espessura máxima, considerando o limiar de 1 mm (*Datum* WGS-84).

A espessura máxima obtida neste cenário determinístico foi de 3.079,4 mm, ocupando uma área de 1,1 km² e atingindo uma distância máxima de 2,0 km. Na Tabela 39 e na Tabela 40 são apresentados os principais resultados obtidos para este cenário determinístico.

Tabela 39: Distâncias máximas alcançadas para distintas classes de espessura, para o caso determinístico escolhido pelo critério da espessura máxima.

Espessura (mm)	Distância Máxima da Fonte (km)
>= 1	2,01
>= 10	0,67
>= 25	0,50
>= 50	0,34
>= 100	0,24
>= 250	0,16
>= 500	0,12

Tabela 40: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 3 km de distância da fonte, para o caso determinístico escolhido pelo critério da espessura máxima.

Distância da Fonte	Espessura Máxima (mm)
100 m	1.140,29
250 m	109,66
500 m	35,04
750 m	6,66
1 km	6,63
1,5 km	1,50
2 km	0,98
3 km	0,18

3.2.2 Sólidos em Suspensão

3.2.2.1 Distância Máxima

A Figura 29 apresenta a concentração máxima de sólidos em suspensão na coluna d'água, com visão em planta e seu respectivo perfil em latitude.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo e em profundidade 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. Na Figura 30, são apresentados exemplos da dispersão de sólidos na coluna d'água, para determinados instantes após o início do descarte (6h, 12h, 24h e 48h). Visto que o descarte ocorre durante as 36 primeiras horas de simulação, em 48 h, o descarte já foi finalizado e a pluma sofre influência apenas das forçantes ambientais.

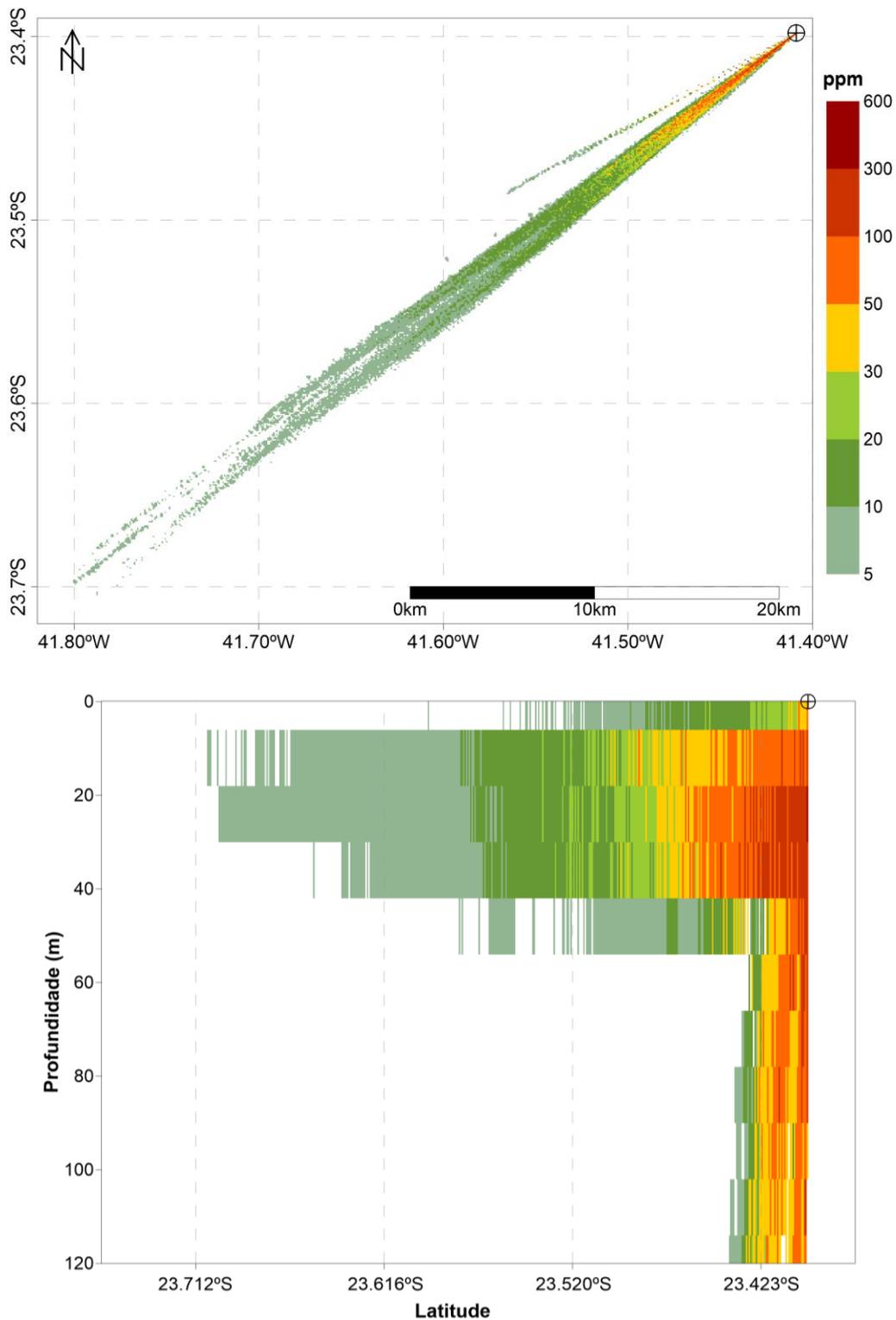


Figura 29: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água (painel superior) e perfil vertical em latitude da concentração máxima de sólidos (painel inferior), considerando todo o período de simulação, para o cenário determinístico de distância máxima (*Datum* WGS-84).

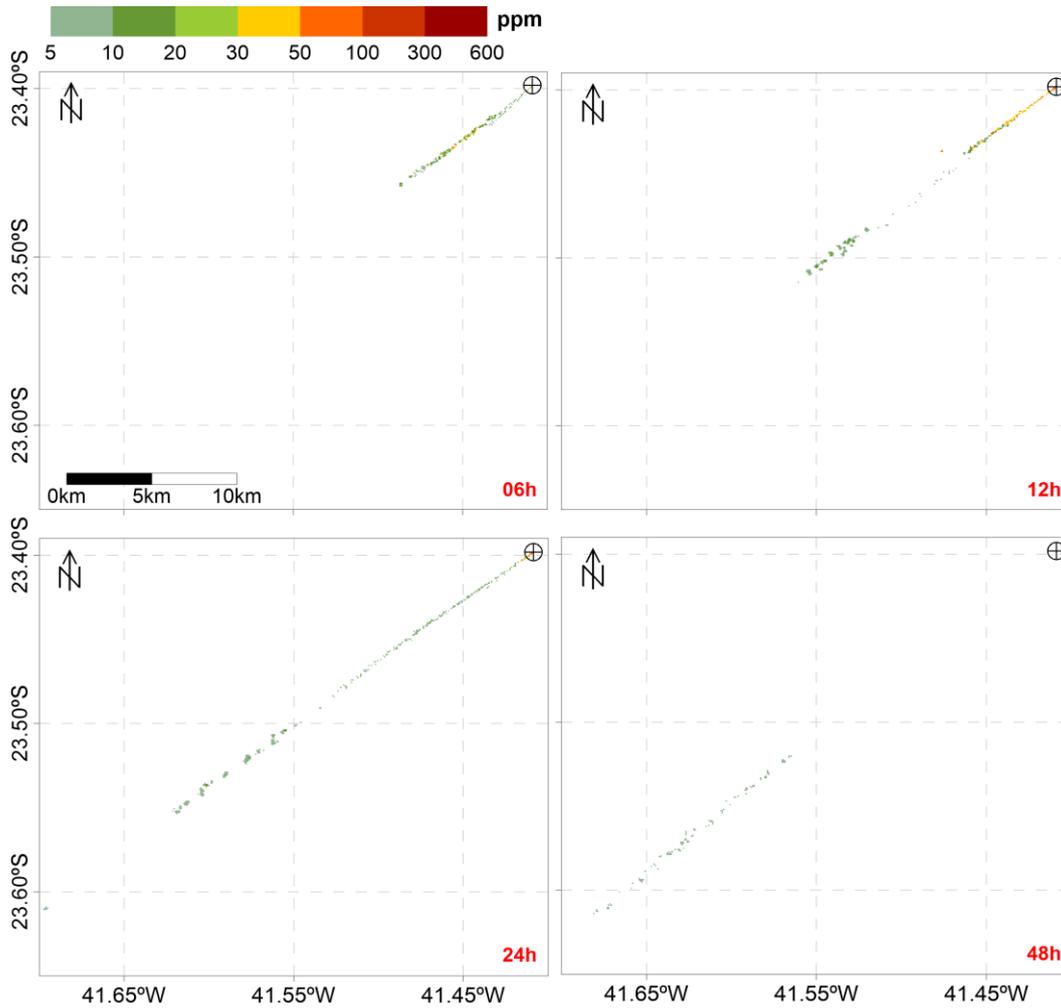


Figura 30: Visão em planta da concentração máxima de sólidos na coluna d'água para determinados instantes após o início do descarte: 6h, 12h, 24h (1 dia) e 48h (2 dias), do caso determinístico de distância máxima (*Datum* WGS-84).

A seguir, na Tabela 41, são apresentados os valores máximos de concentração de sólidos em suspensão, distância da fonte e tempo de permanência obtidos. O tempo de permanência é o período no qual o efluente permanece no meio com concentrações acima de 5 ppm (limiar de monitoramento), após o término do descarte. A Tabela 42 apresenta as distâncias máximas alcançadas para algumas classes de concentração.

Tabela 41: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para a concentração de sólidos em suspensão, no cenário determinístico de distância máxima.

Parâmetros	Valores
Concentração Máxima (ppm)	310,06
Distância Máxima da Fonte (km)	51,93
Tempo de Permanência (h)	22

Tabela 42: Distâncias máximas alcançadas para algumas classes de concentração de sólidos em suspensão, no cenário determinístico de distância máxima.

Concentração (ppm)	Distância (km)
>= 5	51,93
>= 10	30,45
>= 20	23,84
>= 50	15,13
>= 100	7,54
>= 300	0,05

3.2.2.2 Espessura Máxima

A Figura 31 apresenta a concentração máxima de sólidos em suspensão na coluna d'água, com visão em planta e seu respectivo perfil em latitude.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo e em profundidade 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. Na Figura 32, são apresentados exemplos da dispersão de sólidos na coluna d'água, para determinados instantes após o início do descarte (6h, 12h, 24h e 48h). Visto que o descarte ocorre durante as 36 primeiras horas de simulação, em 48 h, o descarte já foi finalizado e a pluma sofre influência apenas das forçantes ambientais.

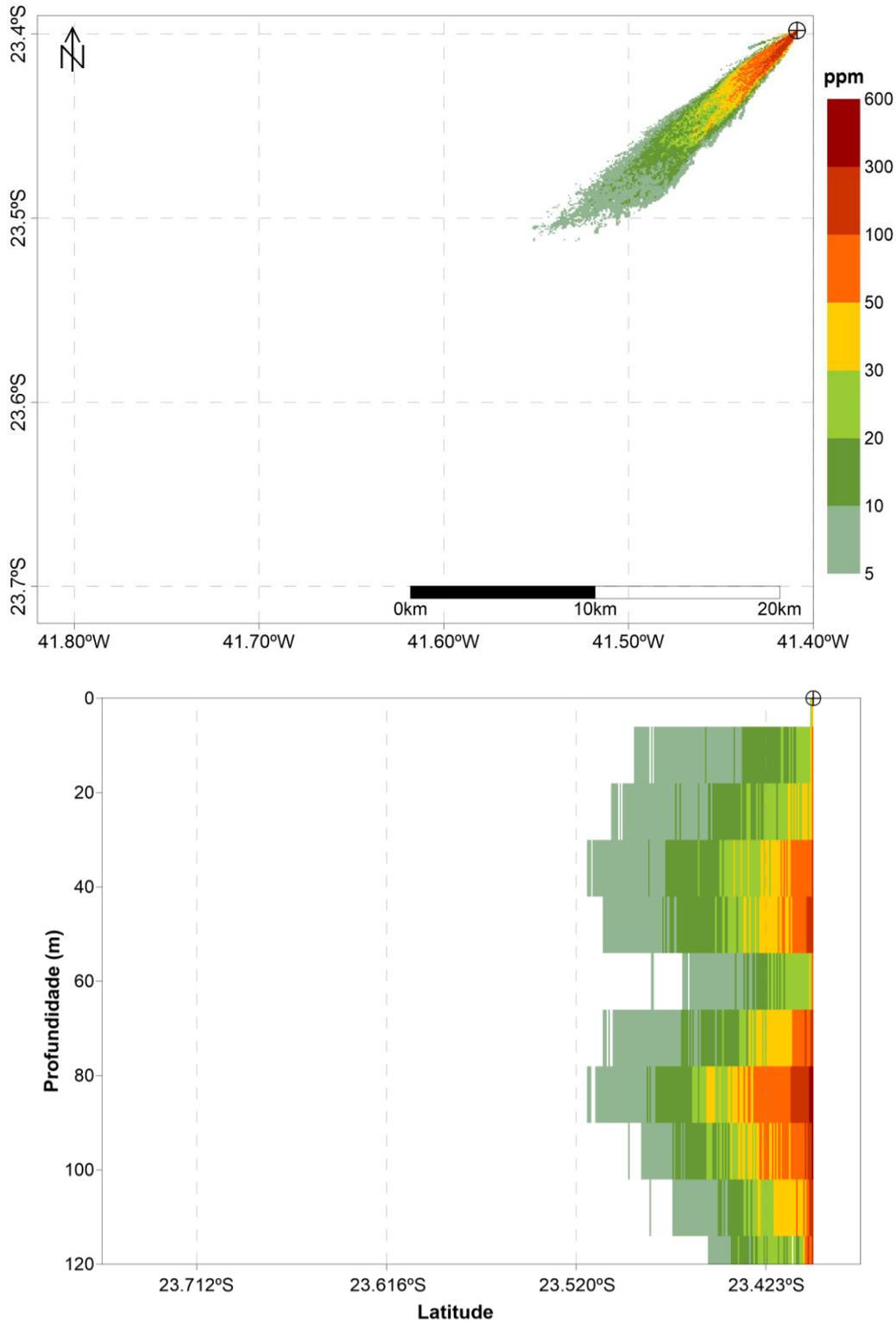


Figura 31: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água (painel superior) e perfil vertical em latitude da concentração máxima de sólidos (painel inferior), considerando todo o período de simulação, para o cenário determinístico de espessura máxima (*Datum* WGS-84).

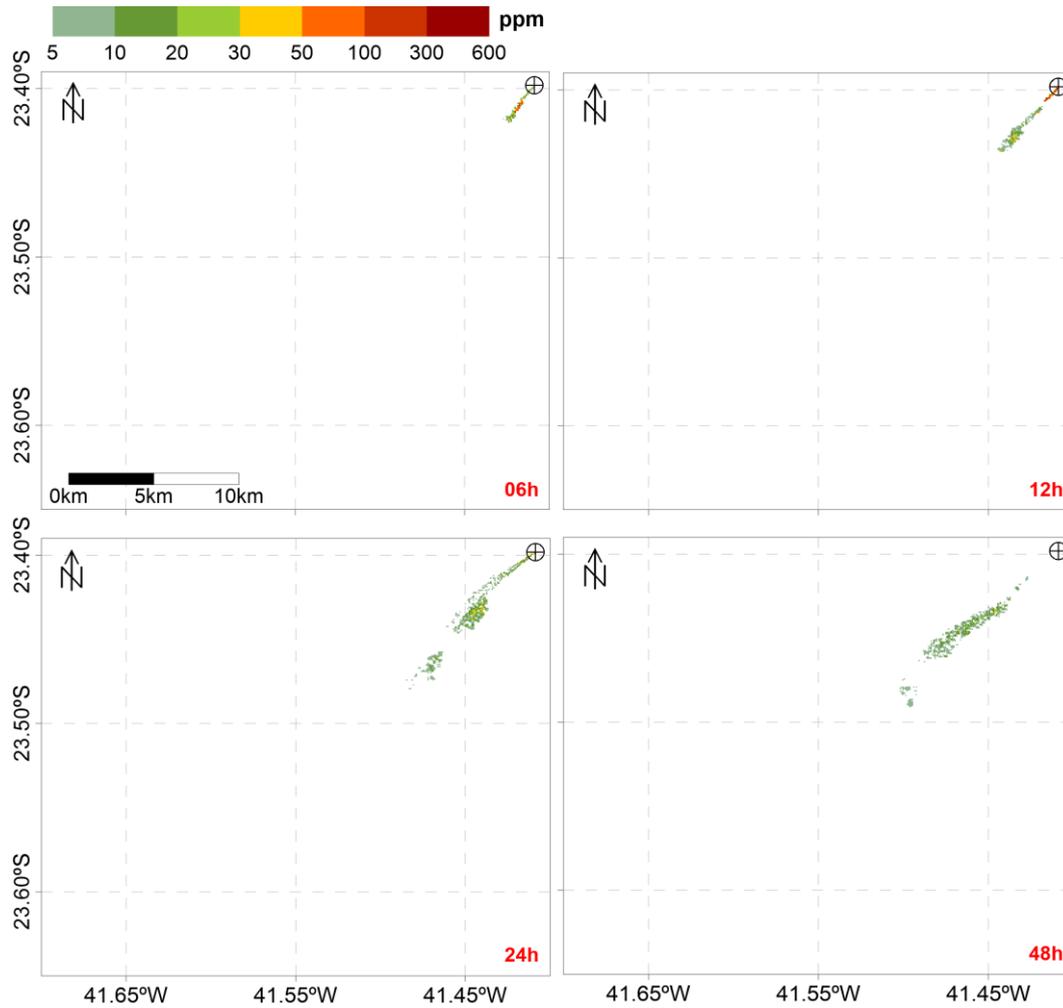


Figura 32: Visão em planta da concentração máxima de sólidos na coluna d'água para determinados instantes após o início do descarte: 6h, 12h, 24h (1 dia) e 48h (2 dias), do caso determinístico de espessura máxima (*Datum* WGS-84).

A seguir, na Tabela 43, são apresentados os valores máximos de concentração de sólidos em suspensão, distância da fonte e tempo de permanência obtidos. O tempo de permanência é o período no qual o efluente permanece no meio com concentrações acima de 5 ppm (limiar de monitoramento), após o término do descarte. A Tabela 44 apresenta as distâncias máximas alcançadas para algumas classes de concentração.

Tabela 43: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para a concentração de sólidos em suspensão, no cenário determinístico de espessura máxima.

Parâmetros	Valores
Concentração Máxima (ppm)	579,34
Distância Máxima da Fonte (km)	19,29
Tempo de Permanência (h)	36

Tabela 44: Distâncias máximas alcançadas para algumas classes de concentração de sólidos em suspensão, no cenário determinístico de espessura máxima.

Concentração (ppm)	Distância (km)
>= 5	19,29
>= 10	15,56
>= 20	10,98
>= 50	7,73
>= 100	4,04
>= 300	0,50

3.2.3 Resumo dos Resultados Determinísticos

As pilhas de deposição obtidas nos cenários determinísticos escolhidos retrataram uma distância máxima da fonte de 4,6 km, espessura máxima de 3.079,4 mm e área máxima de 1,5 km². Estes resultados comprovam a baixa probabilidade de ocorrência de eventos ainda mais extremos, como os reportados nos resultados probabilísticos.

Para os resultados de sólidos em suspensão, ambas as simulações apresentaram dispersão para sudoeste. O maior valor de concentração observado foi de 579,3 ppm – cenário de espessura máxima – e a distância máxima da fonte alcançada foi de 51,9 km – cenário de distância máxima. O maior tempo de permanência da pluma no ambiente foi de 36 h após o término do descarte, fato observado no cenário de espessura máxima.

Esses resultados retratam que quando há ocorrência de maiores intensidades de correntes, ou seja, que promovem maior dispersão dos sólidos no meio, o impacto é maior em termos de distância da fonte alcançada. Por outro lado, quando há correntes mais fracas atuantes, o impacto é superior nas proximidades do descarte, visto que serão formadas espessuras mais altas no assoalho marinho e haverá maiores concentrações de sólidos em suspensão.

4. Considerações Finais

Simulações numéricas foram realizadas para determinar o comportamento físico do material a ser descartado durante a atividade de perfuração pela Equinor no Campo de Peregrino, Bacia de Campos. Para tal, foram utilizadas informações de 3 projetos de perfuração previstos para serem descartados no Peregrino C. Os descartes desses projetos, denominados de *Short Case*, *Long Case* e *Worst Case*, irão se intercalar ao longo de 4 anos, previstos de ocorrerem entre 2020 e 2023.

Para a obtenção dos resultados probabilísticos oriundos desta configuração de descarte, foi necessária a criação de um algoritmo que analisasse todas as combinações possíveis de sobreposição das pilhas de cascalho. Foram realizadas 122 simulações determinísticas distintas, ao longo de todo o ano de 2012, para cada projeto de perfuração. Essas simulações foram combinadas tendo em vista a quantidade de repetições de cada projeto (19 de *Short Case*, 2 de *Long Case* e 1 de *Worst Case*), sendo obtidas as probabilidades finais de ocorrência de espessuras.

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.

Para as simulações, foi necessária a criação de duas grades distintas, uma que abrangesse toda a área impactada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 1 mm, e outra, com domínio maior e menor refinamento, para a apresentação dos resultados dos sólidos em suspensão, considerando o limiar de 5 ppm.

De modo geral, os sólidos apresentaram dispersão preferencial para sudoeste, com menor ocorrência para nordeste. O projeto de perfuração mais impactante ao meio foi o *Worst Case*, porém, o projeto que mais contribui em termos de descarte é o *Short Case*, o qual se repete 19 vezes.

A distância máxima possível com espessuras superiores a 1 mm, de acordo com o resultado probabilístico da integração dos 22 poços, foi de 8,8 km, ocupando uma área de 10,26 km² e espessura máxima de 5.777,3 mm. Entretanto, estes valores estão atrelados à baixas probabilidades. Para probabilidades acima de 50% e espessuras superiores a 1 mm, a área reduz significativamente para 0,8 km². Para esta mesma classe de probabilidade, mas espessuras superiores a 10 mm, a área foi de 0,2 km².

Para os resultados determinísticos de espessura, a distância máxima obtida foi de 4,6 km, a espessura máxima de 3.079,4 mm e área máxima de 1,5 km². Estes resultados comprovam a

baixa probabilidade de ocorrência dos valores máximos retratados pelos resultados probabilísticos.

Os resultados determinísticos de sólidos em suspensão, os quais representam impactos efêmeros no meio, representaram plumas para sudoeste. O máximo valor de concentração observado foi de 579,3 ppm, a distância máxima alcançada foi de 51,93 km e o tempo máximo de permanência foi de 36 h, após o término do descarte.

Os resultados, de maneira geral, revelaram que quando há correntes mais intensas, o impacto é maior em termos da distância alcançada, porém, quando há correntes mais fracas, o maior impacto ocorre nas proximidades do descarte.

O descarte de fluido de perfuração de base aquosa em superfície facilita a dispersão do material no meio, por este fluido possuir densidades próximas a da água do mar.

A metodologia empregada neste estudo foi conservadora, pois não foi considerada a remobilização de sedimentos que ocorre entre o descarte de um poço e outro. Além de não considerar pausas entre os descartes das seções, o que pode possibilitar a sobreposição de plumas de sólidos em suspensão. Entretanto, essas aproximações foram necessárias para viabilizar o estudo computacionalmente.

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.
- BIRTWELL, I.A., 1999. *Effects of sediments on fish and their Habitat*. Fisheries and Oceans Canada. Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 99/139.
- 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.
- HENNERMANN, K. ERA5 Data Documentation. Disponível em: <https://software.ecmwf.int/wiki/display/CKB/ERA5+data+documentation> Acessado em 20/09/2017.
- 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. (2000): "DeepBlow – a Lagrangian Plume Model for Deep Water Blowouts". *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 6, No. 2, pp 103 – 111.
- JOHANSEN, Ø.; DURGUT, I. Implementation of the near-field module in the ERMS model. In: ERMS Report, v.77, n.23. 2006.
- 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.; 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.; AYOUN-ZOUAIN, R. N. MAPEM – Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima, Águas Profundas, Publicação CECO-IG-UFRGS, Porto Alegre. 2004.