



Relatório Técnico [rev.03]

Modelagem de Cascalho e Fluido de Perfuração

BM-P-2 | Bacia de Pelotas

/PRO_ECY_1106

Preparado para: Ecology Brasil

Preparado por: Ana Boechat

Natalia Gomes

Bruna Cerrone

26 de abril de 2012

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 – Centro

CEP 20.0040-009 – Rio de Janeiro – RJ

Tel./Fax + 55 21 2532.5666

www.prooceano.com.br

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data: 19/04/2012

Descrição: Adequação à revisão da PETROBRAS

Responsável: Ana Boechat

Empresa: PROOCEANO

Revisão nº 02

Data: 25/04/2012

Descrição: Adequação à revisão da PETROBRAS

Responsável: Ana Boechat

Empresa: PROOCEANO

Revisão nº 03

Data: 26/04/2012

Descrição: Adequação à revisão da PETROBRAS

Responsável: Ana Boechat

Empresa: PROOCEANO

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. Introdução | 12 |
| 2. Descrição da atividade..... | 14 |
| 3. Características meteo-oceanográficas da região..... | 16 |
| 3.1. Vento | 16 |
| 3.2. Base Hidrodinâmica | 20 |
| 3.2.1. Descrição do Modelo | 20 |
| 3.2.2. Equações Governantes..... | 21 |
| 3.2.3. Corrente | 24 |
| 4. Metodologia..... | 30 |
| 4.1. Modelo de Transporte | 30 |
| 4.2. Distribuição granulométrica | 32 |
| 4.3. Descrição da grade | 33 |
| 4.4. Descrição do descarte..... | 35 |
| 5. Resultados | 37 |
| 5.1. Pilhas de deposição | 37 |
| 5.1.1. Verão..... | 37 |
| 5.1.1.1. Grade 1 | 37 |
| 5.1.1.2. Grade 2 | 46 |
| 5.1.2. Inverno | 53 |
| 5.1.2.1. Grade 1 | 53 |
| 5.1.2.2. Grade 2 | 62 |
| 5.1.3. Locação Guarani e Pampeano | 69 |
| 5.1.3.1. Verão..... | 69 |
| 5.1.3.2. Inverno | 70 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 5.2. Sólidos em suspensão | 70 |
| 5.2.1. Verão..... | 71 |
| 5.2.2. Inverno | 76 |
| 6. Considerações Finais..... | 84 |
| 7. Bibliografia..... | 86 |

Índice das imagens

| | |
|--|----|
| Figura 1: Localização dos poços Pampeano e Guarani inseridos no bloco BM-P-2. A área destacada representa a Bacia de Pelotas. | 13 |
| Figura 2: Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo ao poço Pampeano. | 17 |
| Figura 3: Rosa dos ventos para os meses de janeiro a junho. | 18 |
| Figura 4: Rosa dos ventos para os meses de julho a dezembro. | 19 |
| Figura 5: Seção meridional do HYCOM na longitude de 25° W, na porção leste do Atlântico Norte no dia 15 de janeiro de 2002. Área sombreada: densidade. Linhas finas: interfaces das camadas. Linha grossa: profundidade da camada de mistura. Fonte: HYCOM, 2012. | 21 |
| Figura 6: Seção meridional do HYCOM na longitude de 25° W, na porção leste do Atlântico Norte no dia 15 de julho de 2002. Área sombreada: densidade. Linhas finas: interfaces das camadas. Linha grossa: profundidade da camada de mistura. Fonte: HYCOM, 2012. | 21 |
| Figura 7: Localização do ponto de grade do HYCOM mais próximo ao poço Pampeano. | 24 |
| Figura 8: Evolução temporal da intensidade de correntes ponderada pela profundidade em cada perfil de corrente, para todo o período analisado (2005 a 2010). Destacado em vermelho o período mais frequente de verão e, em azul, o período mais frequente de inverno. | 26 |
| Figura 9: Rosa de correntes em seis níveis de profundidade – superfície, 100 m, 400 m, 700 m, 800 m e fundo – do cenário de verão. | 27 |
| Figura 10: Rosa de correntes em seis níveis de profundidade – superfície, 100 m, 400 m, 700 m, 800 m e fundo – do cenário de inverno. | 28 |
| Figura 11: Comparação entre as duas grades utilizadas no estudo. O quadrado branco indica a localização do poço. | 35 |
| Figura 12: Pilhas de deposição formadas nas seções 1 a 4 do descarte de cascalho e fluido aderido. Verão Grade 1. | 38 |
| Figura 13: Pilhas de deposição formadas nas seções 5 a 7 do descarte de cascalho e fluido aderido e na seção 2 do descarte de fluido excedente. Verão Grade 1. | 39 |

| | |
|--|----|
| Figura 14: Pilha resultante da integração das seções sem <i>riser</i> (painel superior) e com <i>riser</i> (painel inferior). Verão Grade 1. | 40 |
| Figura 15: Pilha resultante da integração dos descartes de todas as seções. Verão Grade 1. | 41 |
| Figura 16: Pilha de deposição formada no descarte de cascalho e fluido aderido (painel superior) e de fluido excedente (painel inferior), do poço investigativo. Verão Grade 1. | 42 |
| Figura 17: Pilha resultante da integração dos descartes do poço investigativo. Verão Grade 1. | 43 |
| Figura 18: Pilha resultante da integração de todos os descartes. Verão Grade 1..... | 44 |
| Figura 19: Pilhas de deposição formadas nas seções 1 a 4 do descarte de cascalho e fluido aderido. Verão Grade 2. | 46 |
| Figura 20: Pilhas de deposição formadas nas seções 5 a 7 do descarte de cascalho e fluido aderido e na seção 2 do descarte de fluido excedente. Verão Grade 2. | 47 |
| Figura 21: Pilha resultante da integração das seções sem <i>riser</i> (painel superior) e com <i>riser</i> (painel inferior). Verão Grade 2. | 48 |
| Figura 22: Pilha resultante da integração dos descartes de todas as seções. Verão Grade 2. | 49 |
| Figura 23: Pilha de deposição formada no descarte de cascalho e fluido aderido (painel superior) e de fluido excedente (painel inferior), do poço investigativo. Verão Grade 2. | 50 |
| Figura 24: Pilha resultante da integração dos descartes do poço investigativo. Verão Grade 2. | 51 |
| Figura 25: Pilha de deposição resultante da integração de todos os descartes. Verão Grade 2. | 51 |
| Figura 26: Pilhas de deposição formadas nas seções 1 a 4 do descarte de cascalho e fluido aderido. Inverno Grade 1. | 54 |
| Figura 27: Pilhas de deposição formadas nas seções 5 a 7 do descarte de cascalho e fluido aderido e na seção 2 do descarte de fluido excedente. Inverno Grade 1. | 55 |
| Figura 28: Pilha resultante da integração das seções sem <i>riser</i> (painel superior) e com <i>riser</i> (painel inferior). Inverno Grade 1. | 56 |
| Figura 29: Pilha resultante da integração dos descartes de todas as seções, Inverno Grade 1. | 57 |

| | |
|---|----|
| Figura 30: Pilha de deposição formada no poço investigativo de cascalho e fluido aderido (painel superior) e de fluido excedente (painel inferior). Inverno Grade 1. | 58 |
| Figura 31: Pilha de deposição resultante dos descartes do poço investigativo. Inverno Grade 1. | 59 |
| Figura 32: Pilha resultante da integração de todos os descartes. Inverno Grade 1. | 60 |
| Figura 33: Pilhas de deposição formadas nas seções 1 a 4 do descarte de cascalho e fluido aderido. Inverno Grade 2. | 62 |
| Figura 34: Pilhas de deposição formadas nas seções 5 a 6 do descarte de cascalho e fluido aderido e na seção 2 do descarte de fluido excedente. Inverno Grade 2. | 63 |
| Figura 35: Pilha resultante da integração das seções sem <i>riser</i> (painel superior) e com <i>riser</i> (painel inferior). Inverno Grade 2. | 64 |
| Figura 36: Pilha resultante da integração dos descartes de todas as seções. Inverno Grade 2. | 65 |
| Figura 37: Pilhas de deposição formadas no poço investigativo de descarte de cascalho e fluido aderido (painel superior) e de fluido excedente (painel inferior). Inverno Grade 2. | 66 |
| Figura 38: Pilha resultante da integração dos descartes do poço investigativo. Inverno Grade 2. | 67 |
| Figura 39: Pilha de deposição resultante da integração de todos os descartes. Inverno Grade 2. | 67 |
| Figura 40: Pilha de deposição resultante da integração de todos os descartes. Locação Pampeano e Guarani Verão Grade 1. | 69 |
| Figura 41: Pilha de deposição resultante da integração de todos os descartes. Locação Pampeano e Guarani Inverno Grade 1. | 70 |
| Figura 42: Visão em planta da concentração máxima de sólidos em suspensão na coluna d'água. Cenário de verão. | 71 |
| Figura 43: Visão vertical do primeiro corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de verão. | 72 |
| Figura 44: Visão vertical do segundo corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de verão. | 73 |

| | |
|--|----|
| Figura 45: Visão vertical do terceiro corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de verão. | 74 |
| Figura 46: Visão vertical do quarto corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de verão. | 75 |
| Figura 47: Visão em planta da concentração máxima de sólidos em suspensão na coluna d'água. Cenário de inverno. | 77 |
| Figura 48: Visão vertical do primeiro corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de inverno. | 78 |
| Figura 49: Visão vertical do segundo corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de inverno. | 79 |
| Figura 50: Visão vertical do terceiro corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de inverno. | 80 |
| Figura 51: Visão vertical do quarto corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de inverno. | 81 |
| Figura 52: Visão vertical do quinto corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de inverno. | 82 |

Índice das tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Características do descarte do poço investigativo..... | 14 |
| Tabela 2: Características dos descartes do projeto de poço..... | 15 |
| Tabela 3: Data inicial e final de cada período selecionado..... | 25 |
| Tabela 4: Intensidade de correntes, máxima e mínima, em 6 níveis de profundidade (superfície, 100 m, 400 m, 700 m, 800 m e fundo), encontrada em cada cenário. | 29 |
| Tabela 5: Distribuição granulométrica utilizada para o cascalho..... | 33 |
| Tabela 6: Distribuição granulométrica utilizada para os sólidos do fluido. | 33 |
| Tabela 7: Área formada e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição das sete seções previstas no projeto de poço e nas integrações. Verão Grade 1..... | 44 |
| Tabela 8: Área formada e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição do poço investigativo e na integração dos resultados. Verão Grade 1..... | 45 |
| Tabela 9: Área formada e maior distância da fonte alcançada pela pilha de integração de todos os resultados - projeto de poço e poço invetigativo. Verão Grade 1.. | 45 |
| Tabela 10: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração das seções previstas no projeto de poço. Verão Grade 1..... | 45 |
| Tabela 11: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração do poço investigativo. Verão Grade 1..... | 45 |
| Tabela 12: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração de todos os resultados – projeto de poço e poço investigativo. Verão Grade 1..... | 46 |
| Tabela 13: Espessura máxima formada nas pilhas de deposição das sete seções previstas no projeto de poço e nas integrações. Verão Grade 2. | 52 |
| Tabela 14: Espessura máxima formada nas pilhas de deposição do poço investigativo e na integração dos resultados. Verão Grade 2. | 52 |
| Tabela 15: Espessura máxima formada na pilha de integração de todos os resultados - projeto de poço e poço invetigativo. Verão Grade 2..... | 52 |
| Tabela 16: Área formada e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição das sete seções previstas no projeto de poço e as integrações. Inverno Grade 1. | 60 |

| | |
|--|----|
| Tabela 17: Área formada e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição do poço investigativo e na integração dos resultados. Inverno Grade 1. | 61 |
| Tabela 18: Área formada e maior distância da fonte alcançada pela pilha de integração de todos os resultados - projeto de poço e poço investigativo. Inverno Grade 1. | 61 |
| Tabela 19: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração das seções previstas no projeto de poço. Inverno Grade 1. | 61 |
| Tabela 20: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração do poço investigativo. Inverno Grade 1. | 61 |
| Tabela 21: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração de todos os resultados – projeto de poço e poço investigativo. Inverno Grade 1. | 62 |
| Tabela 22: Espessura máxima formada nas pilhas de deposição das sete seções previstas no projeto de poço e nas integrações. Inverno Grade 2. | 68 |
| Tabela 23: Espessura máxima formada nas pilhas de deposição do poço investigativo e na integração dos resultados. Inverno Grade 2. | 68 |
| Tabela 24: Espessura máxima formada na pilha de integração de todos os resultados - projeto de poço e poço investigativo. Inverno Grade 2. | 68 |
| Tabela 25: Distância da fonte aproximada para cada corte. Cenário de verão. | 76 |
| Tabela 26: Distância da fonte aproximada para cada corte. Cenário de inverno. | 83 |

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: Natalia Gomes dos Santos

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental:4896913

Responsável pela(s) Seção(ões): todas

Assinatura: _____

Nome: Bruna Nogueira Cerrone

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 768292

Responsável pela(s) Seção(ões): todas

Assinatura: _____

1. Introdução

Este relatório estuda, através da modelagem numérica, o possível destino físico do material a ser descartado durante uma atividade de perfuração no Bloco BM-P-2, Bacia de Pelotas. Esse material será composto pelo cascalho gerado e pelo fluido de perfuração utilizado durante a operação. De particular interesse é o destino do material lançado, observando a deposição e a dispersão do mesmo.

O trabalho é dividido em duas etapas: a primeira consiste na ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS da região, mais especificamente, os parâmetros capazes de afetar o comportamento do material descartado. A partir dos dados obtidos na primeira fase, a segunda etapa consiste na MODELAGEM NUMÉRICA DA DISPERSÃO DO MATERIAL.

O modelo de dispersão utilizado neste trabalho é conhecido como DREAM (*Dose-Related Exposure Assessment Model*), e foi desenvolvido para o cálculo do comportamento e do destino do material gerado pelo descarte de cascalho e fluido aderido no ambiente marinho.

As forçantes utilizadas no modelo numérico consistem nos dados de corrente oriundos de um modelo de circulação oceânica global denominado HYCOM (*Hybrid Coordinate Ocean Model*) e nos dados de vento provenientes da base de dados da Reanálise do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*).

A escolha dos dados utilizados como forçantes no modelo de dispersão e do método adotado neste estudo procura atender aos requisitos da Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG/DILIC/IBAMA) para a modelagem de cascalho, conforme Termo de Referência nº 011/11. A operação de perfuração ocorrerá em dois poços, inseridos no bloco BM-P-2, Bacia de Pelotas. Os poços Pampeano e Guarani localizam-se nas coordenadas 32°38'27,47"S; 50°06'33,84"W e 32°52'16,92"S; 49°54'59,05"W (Datum SIRGAS 2000), respectivamente, em uma lâmina d'água de 1.120 m e 1.156 m (Figura 1).

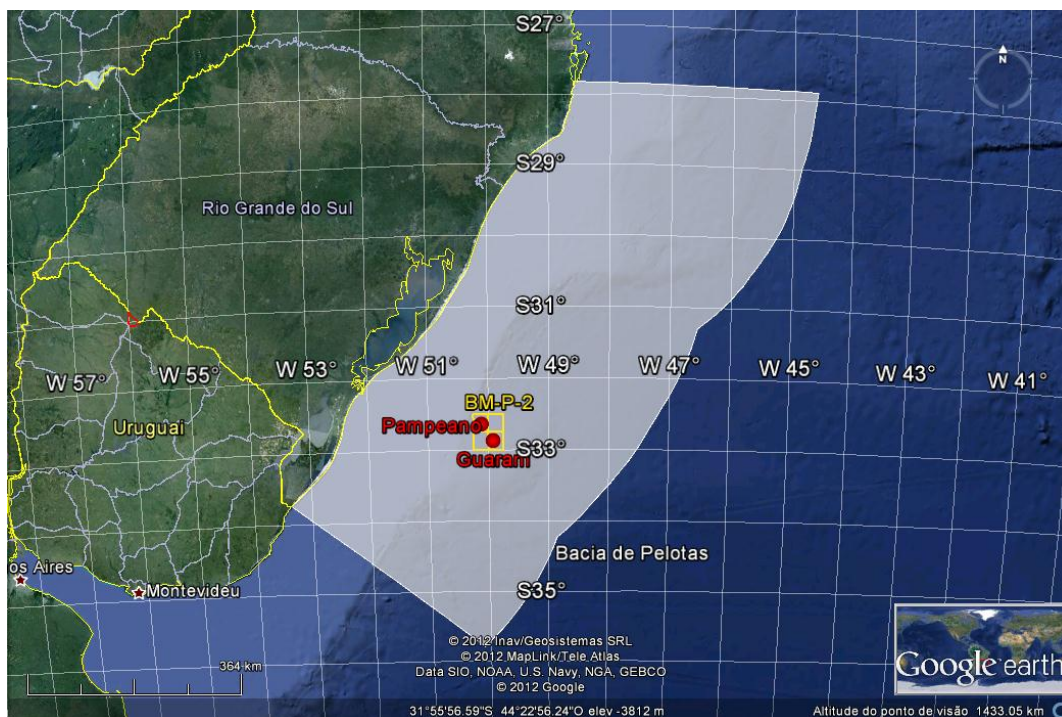


Figura 1: Localização dos poços Pampeano e Guarani inseridos no bloco BM-P-2. A área destacada representa a Baía de Pelotas.

Devido a curta distância entre os dois poços, de aproximadamente 30 km, as condições ambientais necessárias para forçar o modelo de dispersão não apresentam diferenças consideráveis de modo a influir nos resultados finais. Desta maneira, este estudo será realizado nas coordenadas do poço Pampeano, em função da sua maior proximidade em relação à costa e menor lâmina d'água, porém, utilizando as informações do projeto de perfuração do poço Guarani, em decorrência da maior quantidade de cascalho gerado e fluido utilizado.

Ao final do estudo, os resultados obtidos a partir dessa modelagem serão replicados para o poço Guarani.

2. Descrição da atividade

Está previsto que a perfuração do poço ocorrerá em sete seções. Na primeira etapa, que consiste das duas primeiras seções, o descarte ocorrerá próximo ao fundo, sem o retorno do cascalho à superfície. Nesta etapa o fluido utilizado será de base água, que será descartado juntamente com o cascalho.

Na segunda etapa, a partir da fase III, o *riser* será instalado e o descarte ocorrerá próximo à superfície. Nessas seções, o fluido utilizado poderá ser de base sintética ou aquosa.

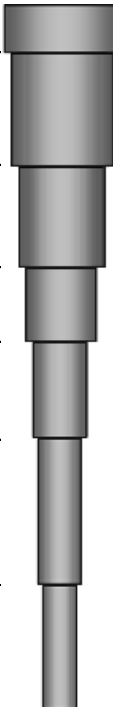
A perfuração de um poço investigativo poderá ser realizada em um momento anterior à atividade de perfuração de cada locação. Na mesma abordagem, será modelado o poço investigativo que apresenta a maior quantidade de cascalho e fluido, na locação do poço Pampeano, e posteriormente replicado para a locação Guarani.

As características do poço investigativo e do projeto de poço são apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1: Características do descarte do poço investigativo.

| Parâmetros | Unidade | Valores |
|----------------------------------|-------------------|------------------|
| Diâmetro | pol | 8 1/2" |
| Extensão da fase | m | 618 |
| Observação | - | sem <i>riser</i> |
| Cascalho e fluido aderido | | |
| Vol. cascalho | m ³ | 25,00 |
| Vol. fluido aderido | m ³ | 380,00 |
| Tempo de descarte | h | 59,00 |
| Vazão | m ³ /h | 6,86 |
| Base do fluido | - | água |
| Nome do fluido | - | Convencional |
| Fluido excedente | | |
| Volume | m ³ | 254,00 |
| Tempo de descarte | h | 3,20 |
| Base do fluido | - | água |
| Nome do fluido | - | STA |

Tabela 2: Características dos descartes do projeto de poço.

| Projeto de poço | Seção | Diâmetro | Extensão da fase (m) | Vol. cascalho (m³) | Vol. fluido aderido (m³) | Tempo de descarte (h) | Vazão (m³/h) | Vol. Fluido excedente (m³) | Tempo de descarte do fluido excedente (h) | Base do fluido | Nome do fluido | Observação |
|--|-------|----------|----------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|----------------------------|---|----------------|---------------------------------------|------------|
|  | I | 42" | 82 | 87,97 | 459,00 | 9,20 | 59,45 | - | - | água | Convencional | sem riser |
| | II | 28" | 846 | 406,89 | 962,00 | 22,00 | 62,22 | 641,00 | 8,06 | água | Convencional STA (fluido excedente) | sem riser |
| | III | 22" | 700 | 204,42 | 74,76 | 25,00 | 11,17 | - | - | sintética | BR-MUL | com riser |
| | IV | 20" | 550 | 122,97 | 44,97 | 19,00 | 8,84 | - | - | sintética | BR-MUL | com riser |
| | V | 17 1/2" | 650 | 128,55 | 47,01 | 24,00 | 7,31 | - | - | sintética | BR-MUL | com riser |
| | VI | 14 3/4" | 2000 | 228,15 | 83,43 | 379,00 | 0,82 | - | - | sintética | BR-MUL | com riser |
| | VII | 8 3/4" | 1216 | 55,64 | 20,35 | 308,00 | 0,25 | - | - | sintética | BR-MUL | com riser |

3. Características meteo-oceanográficas da região

Para a caracterização oceanográfica foram utilizados dados de duas fontes distintas, a saber:

- » Dados de corrente do HYCOM *Consortium*, disponíveis em: <http://www.hycom.org/dataserver/>. Acessado em Fevereiro de 2012.
- » Dados de vento das Reanálises do NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research), disponíveis em: <http://www.cdc.noaa.gov/data/reanalysis/reanalysis.shtml>. Acessado em Março de 2012.

3.1. Vento

Os dados de vento utilizados como forçantes do modelo são provenientes das Reanálises do NCEP – *National Centers for Environmental Prediction*. A base de dados conhecida como “Reanálises do NCEP” foi originada a partir de uma cooperação entre o NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) e o NCAR (*National Center for Atmospheric Research*), com intuito de produzir inicialmente uma rede de 40 anos de dados meteorológicos globais com base nas análises dos campos atmosféricos (KALNAY *et al.*, 1996). Posteriormente, esse projeto foi ampliado para uma janela de tempo de 50 anos (KISTLER *et al.*, 2001), e atualmente, estão disponíveis mais de 60 anos (1948-atual) de dados. A resolução espacial na área em questão é de aproximadamente 1/8°.

Para este estudo, foram tratados 6 anos de dados (2005 a 2010) com uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia), a fim de coincidir com a disponibilidade de dados de corrente do HYCOM, para comparação. Como a análise dos dados de vento e corrente é feita para um mesmo período, os dados de vento acabam sendo limitados para o período disponível de dados do HYCOM.

A seguir (Figura 3 e Figura 4), são apresentadas as rosas dos ventos elaboradas para o período analisado, no ponto mais próximo ao poço Pampeano (Figura 2).

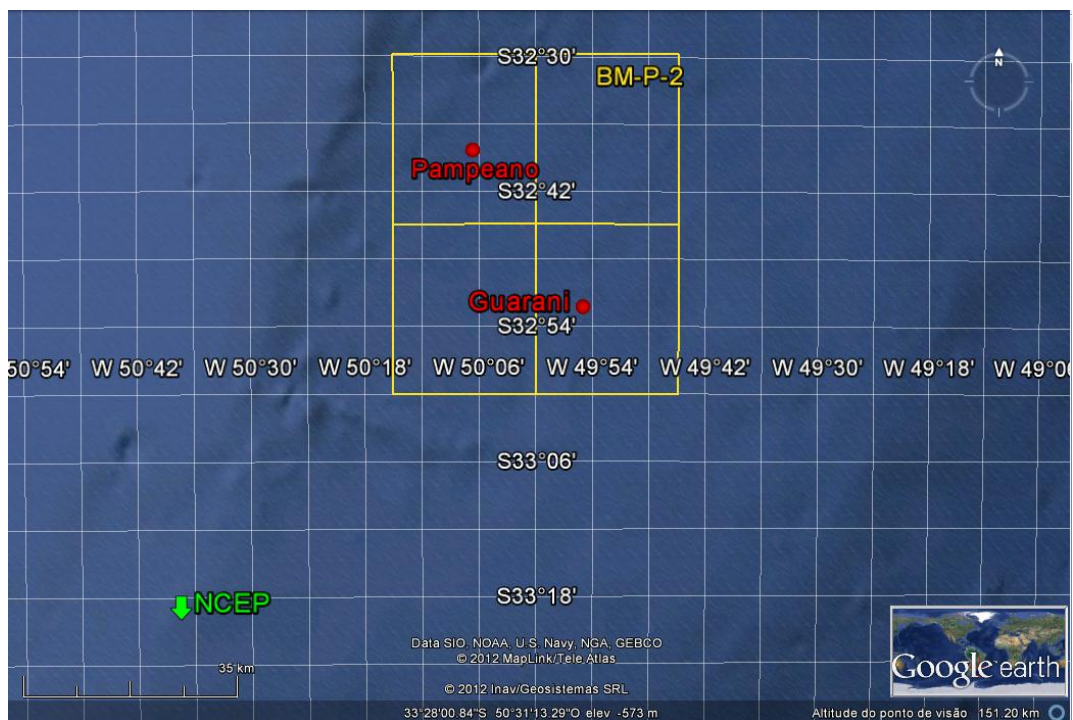


Figura 2: Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo ao poço Pampeano.

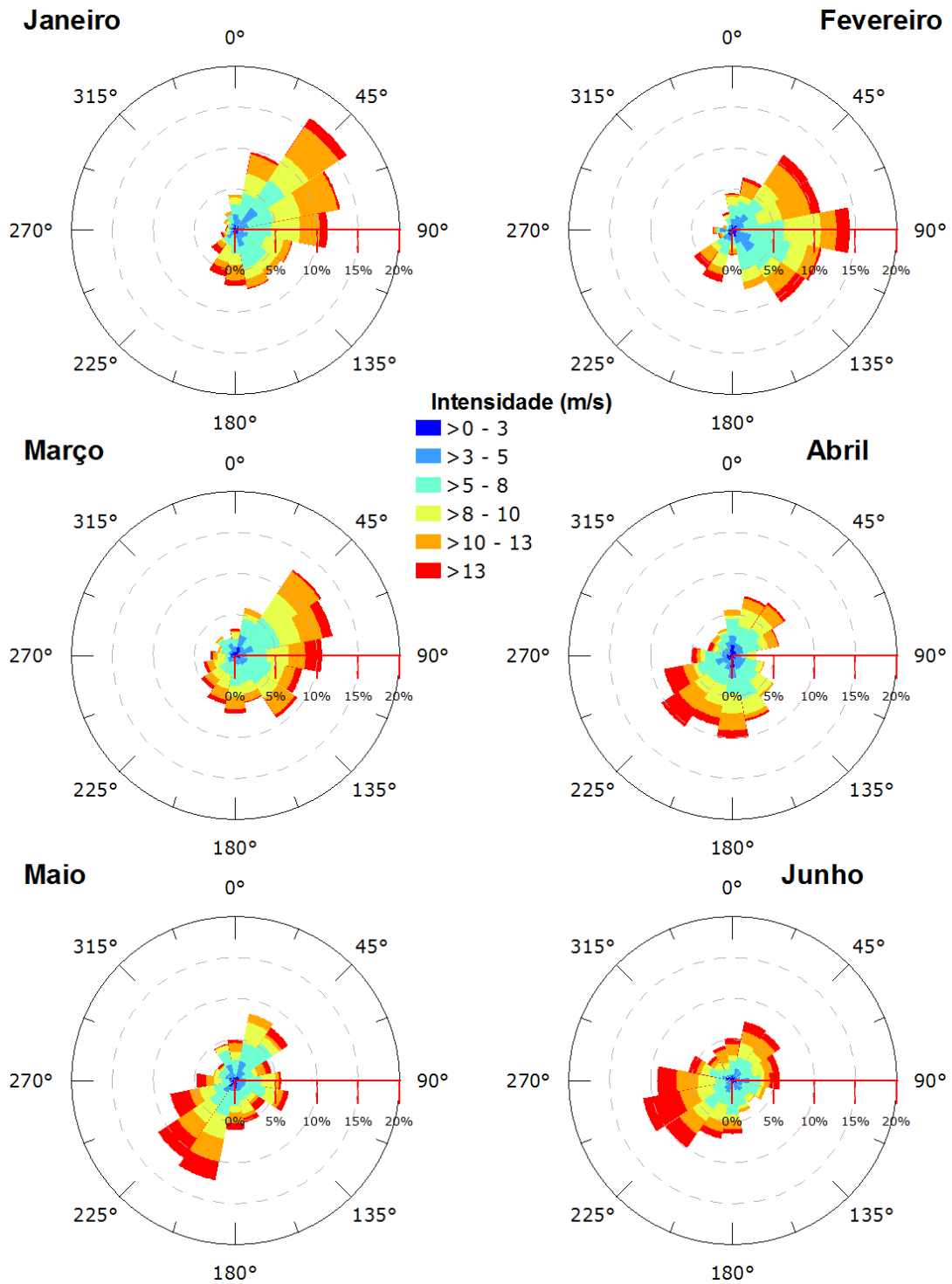


Figura 3: Rosa dos ventos para os meses de janeiro a junho.

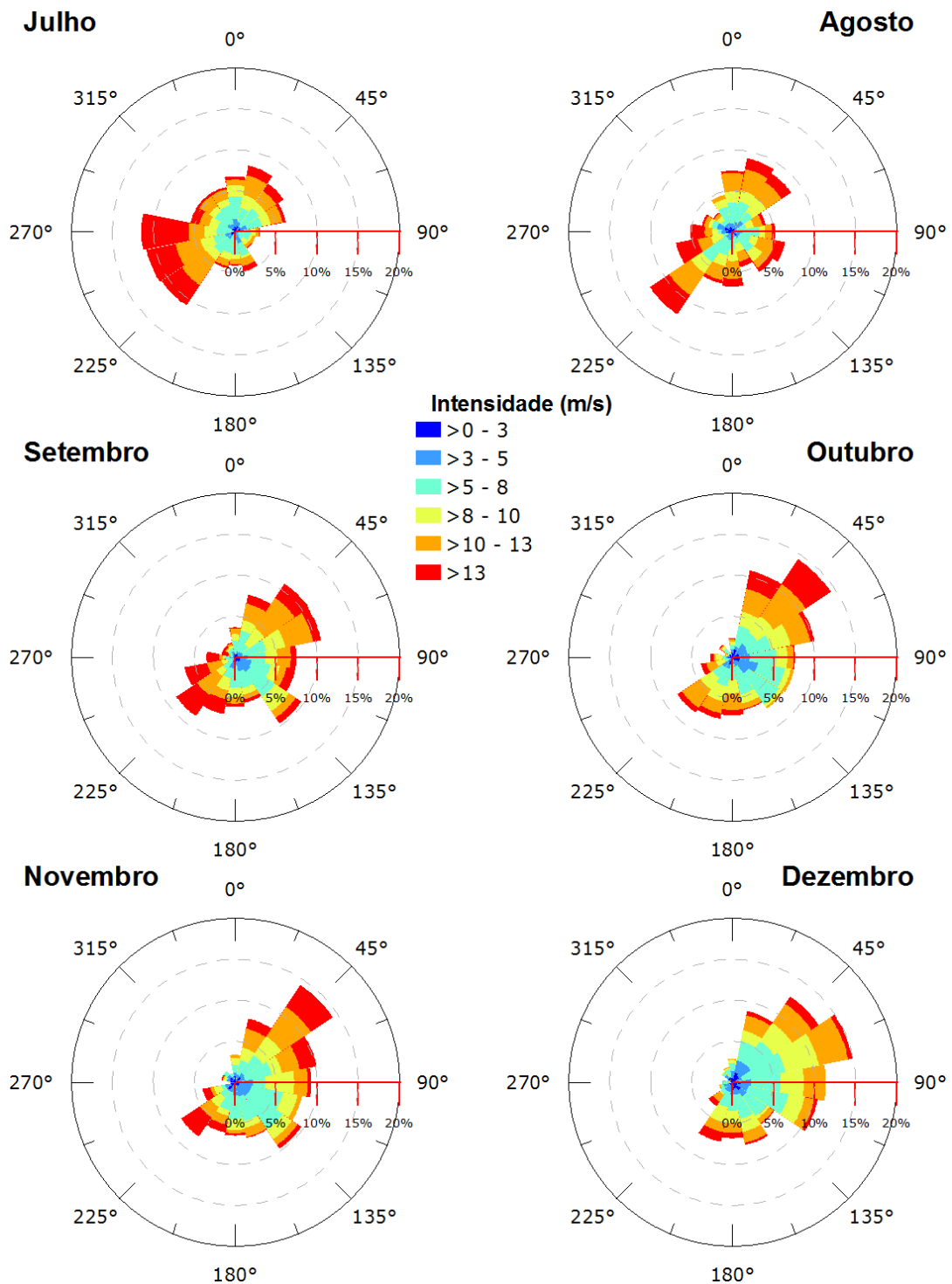


Figura 4: Rosa dos ventos para os meses de julho a dezembro.

Após a observação da rosa dos ventos, que trazem informações sobre as frequências de ocorrência conjunta de direção e intensidade dos ventos na região, são identificados dois cenários ambientais a serem utilizados no estudo.

O primeiro, denominado período de **verão**, compreende os meses de **outubro a março** é caracterizado pela maior frequência e incidência de ventos do primeiro quadrante, com predominância de ventos de nordeste e leste-nordeste. No segundo período, entre os meses de **abril e setembro**, denominado período de **inverno**, existe a predominância de ventos de sul, do segundo e terceiro quadrante.

3.2. Base Hidrodinâmica

3.2.1. Descrição do Modelo

O HYCOM é um modelo de circulação oceânica global, que utiliza discretização horizontal em diferenças finitas (GABIOUX, 2008), e tem como principal característica a utilização de um sistema de coordenadas verticais híbridas. Isto é, utiliza o sistema de coordenadas isopicnais para as áreas de oceano aberto e estratificado, coordenadas z (cartesianas) para a camada de mistura e regiões pouco estratificadas, e coordenadas sigma para regiões com menores profundidades e topografia de fundo variável (zonas costeiras). Utilizando esses três sistemas de coordenadas, o modelo pode conservar as características das massas d'água por longos períodos de tempo em regiões oceânicas (coordenada isopicnal), obter alta resolução na camada de mistura ou em regiões com pouca estratificação (coordenada z), e resolver melhor a topografia de fundo em áreas costeiras ou sobre a plataforma continental (coordenada sigma). Desta forma, o HYCOM é basicamente um modelo em camadas isopicnais, que pode realizar uma transição suave para os sistemas de coordenadas z e sigma próximo aos contornos superiores e inferiores, ou quando a resolução vertical é inadequada (GABIOUX, 2008). Assim, o HYCOM combina as vantagens dos diferentes sistemas de coordenadas, simulando de forma otimizada as características da circulação oceânica e costeira, sendo atribuída ao usuário a determinação das zonas de transição entre os sistemas de coordenadas (CHASSIGNET *et al.*, 2003). A Figura 5 e a Figura 6 ilustram a estrutura híbrida do modelo.

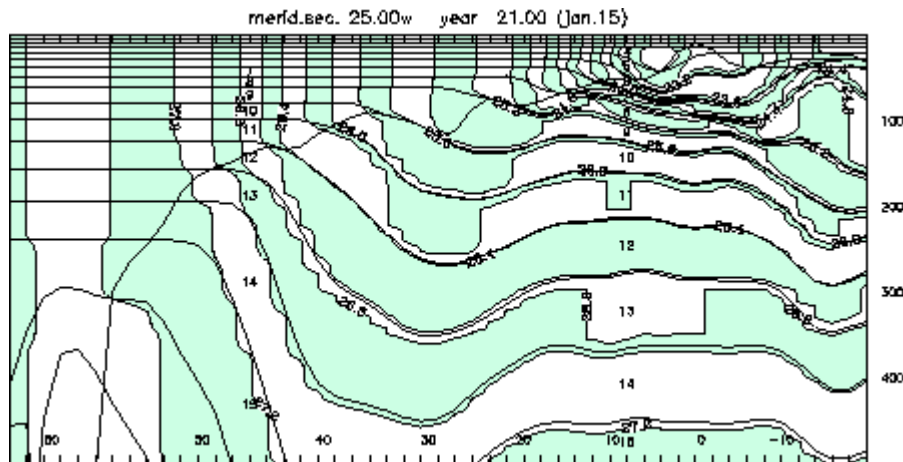


Figura 5: Seção meridional do HYCOM na longitude de 25° W, na porção leste do Atlântico Norte no dia 15 de janeiro de 2002. Área sombreada: densidade. Linhas finas: interfaces das camadas. Linha grossa: profundidade da camada de mistura. Fonte: HYCOM, 2012.

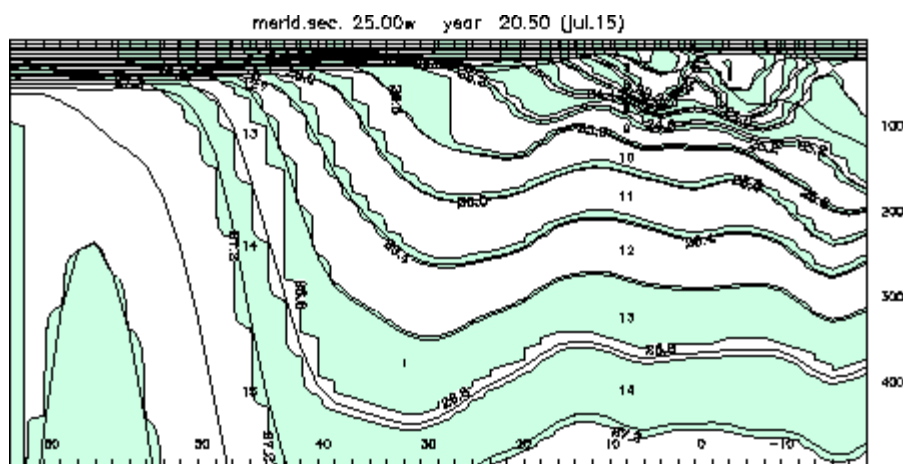


Figura 6: Seção meridional do HYCOM na longitude de 25° W, na porção leste do Atlântico Norte no dia 15 de julho de 2002. Área sombreada: densidade. Linhas finas: interfaces das camadas. Linha grossa: profundidade da camada de mistura. Fonte: HYCOM, 2012.

3.2.2. Equações Governantes

O HYCOM é um modelo de equações primitivas contendo 5 equações prognósticas – duas para as componentes horizontais de velocidade, uma equação de continuidade de massa ou tendência de espessura da camada, e duas equações para o par de variáveis termodinâmicas, como temperatura e salinidade ou densidade e salinidade. As equações do modelo podem ser

descritas em coordenadas (x,y,s) , onde s é a coordenada vertical não especificada, na forma de (BLECK, 2002):

$$\begin{aligned} \frac{\Delta v}{\Delta t_s} + \nabla_s \frac{v^2}{2} + (\zeta + f)k \times v + \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right) \frac{\partial v}{\partial p} + \nabla_s M - p \nabla_s \alpha \\ = -g \frac{\partial \tau}{\partial p} + \left(\frac{\partial p}{\partial s} \right)^{-1} \nabla_s \cdot \left(v \frac{\partial p}{\partial s} \nabla_s v \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \left(\frac{\partial p}{\partial s} \right) + \nabla_s \cdot \left(v \frac{\partial p}{\partial s} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \left(\frac{\partial p}{\partial s} \theta \right) + \nabla_s \cdot \left(v \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right) = \nabla_s \cdot \left(v \frac{\partial p}{\partial s} \nabla_s \theta \right) + H_\theta \quad (3)$$

Onde $v=(u, v)$ é o vetor velocidade horizontal, p é a pressão, θ representa as variáveis termodinâmicas, α é o volume específico potencial, ζ é a vorticidade relativa, M é o potencial de Montgomery, f é o parâmetro de Coriolis, k é o vetor vertical unitário, ν é o coeficiente variável de viscosidade/difusividade, τ é o vetor de estresse de cisalhamento induzido pelo vento ou pelo fundo e H_θ representa o somatório dos termos fonte diabáticos, incluindo a mistura diapical, que atua em θ . Os subscritos indicam quais variáveis permanecem constantes durante a diferenciação parcial (BLECK, 2002).

Após integração vertical sobre uma camada coordenada, limitada pelas duas superfícies S_{sup} e S_{inf} (superfície, fundo do mar e todos os limites de camadas são superfícies S), a equação de continuidade (II-2) se torna equação prognóstica para o peso da camada por unidade de área, $\Delta p = p_{inf} - p_{sup}$ (BLECK, 2002):

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \Delta p + \nabla_s \cdot (v \Delta p) + \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right)_{inf} - \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right)_{sup} = 0 \quad (4)$$

O termo $\left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right)$ representa o fluxo vertical de massa por uma superfície S.

A multiplicação de (1) por $(\partial p / \partial s)$ e integração no intervalo (S_{sup}, S_{inf}) , seguida pela divisão por $(\Delta p / \Delta s)$, modifica o termo de estresse de cisalhamento nesta equação para (BLECK, 2002):

$$\frac{g}{\Delta p} (\tau_{sup} - \tau_{inf}) \quad (5)$$

Enquanto o termo de mistura lateral de momentum é integrado para:

$$(\Delta p)^{-1} \nabla_s \cdot (v \Delta p \nabla_s v) \quad (6)$$

Estresses induzidos pelo vento e pelo fundo são admitidos como linearmente variáveis sobre determinado intervalo de profundidade, geralmente da ordem de 10 m (BLECK, 2002).

A equação (II-4) expressa em camadas integradas é da forma de:

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \theta \Delta p + \nabla_s \cdot (v \theta \Delta p) + \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right)_{inf} - \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right)_{sup} = \nabla_s \cdot (v \Delta p \nabla_s \theta) + H_\theta \quad (7)$$

O sistema de equações prognósticas é complementado por equações diagnósticas, que incluem:

- » A equação hidrostática: $\partial M / \partial \alpha = p$;
- » Uma equação de estado relacionando salinidade, temperatura e pressão à α^{-1} , e
- » Uma equação descrevendo o fluxo vertical de massa sobre uma superfície S: $\dot{s} \partial p / \partial s$

Esta última equação controla o espaçamento e o movimento das interfaces de camadas, sendo a essência da modelagem com coordenadas híbridas (BLECK, 2002).

3.2.3. Corrente

Para esta caracterização foram utilizados dados disponíveis do HYCOM Consortium, acessados em Março de 2012. Os resultados do *hindcast*¹ que contempla a região do poço encontram-se disponíveis para utilização na página <http://www.hycom.org/dataserver>. Por serem resultados de modelo disponibilizados na página do projeto, não se têm informações a respeito das constantes utilizadas para a rodada desses dados, apenas das variáveis utilizadas nas equações que governam o modelo. Essas informações estão disponíveis em Bleck *et al.* (2002).

Os dados usados possuem uma resolução espacial de 1/12° e uma série temporal diária. Os resultados obtidos pelo HYCOM se ajustam às principais características regionais descritas na literatura, o que valida a sua utilização neste estudo.

Na Figura 7, é apresentada a posição do ponto de grade do HYCOM mais próximo ao poço Pampeano.

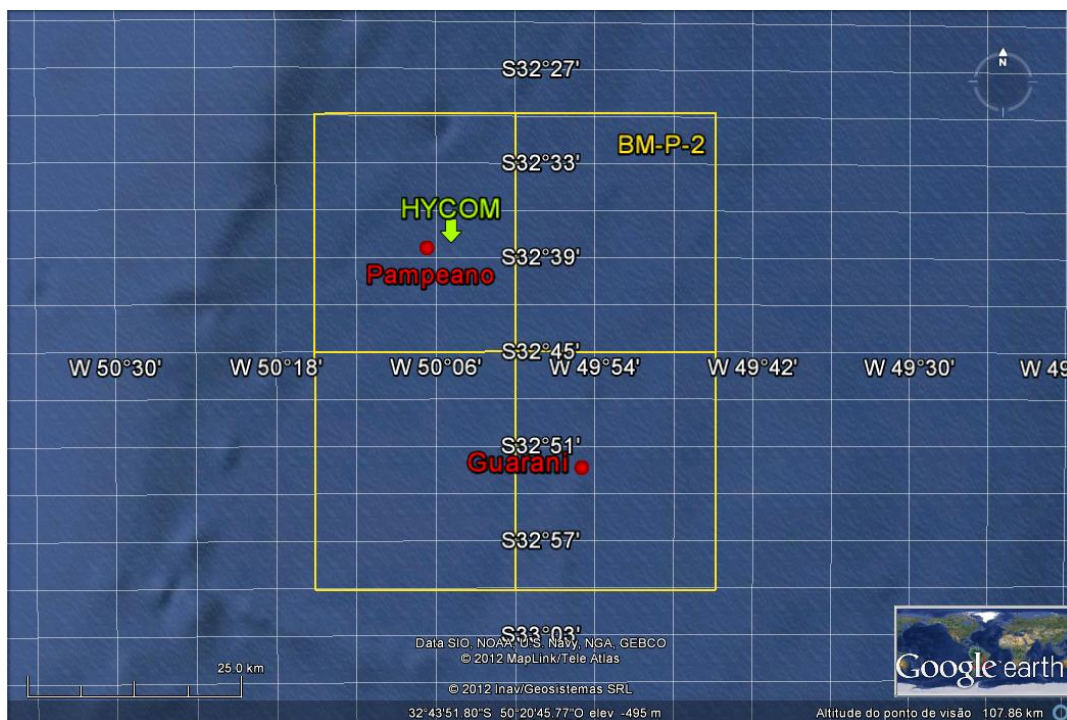


Figura 7: Localização do ponto de grade do HYCOM mais próximo ao poço Pampeano.

¹ O termo "*hindcast*" é usado para descrever previsões numéricas realizadas para tempos pretéritos. É uma tentativa de reconstituição das condições ambientais em um determinado período.

O modelo de transporte utilizado admite a variação temporal dos dados meteo-oceanográficos utilizados como forçantes da modelagem. Por conta disso, se torna necessária a especificação de uma data inicial e final para a simulação de cada cenário sazonal. Com o objetivo de selecionar esses períodos, foi proposta a análise especificada a seguir.

Para a determinação do período representativo de cada cenário sazonal, calculou-se a média ponderada pela profundidade de cada perfil de corrente da série temporal de 6 anos (2005 a 2010) do HYCOM e computou-se a média dos valores ponderados para cada 36 dias (tempo total de descarte do material). Assim, o período mais frequente, em ambos os cenários, foi selecionado (Tabela 3).

Tabela 3: Data inicial e final de cada período selecionado.

| Cenário | Início | Fim |
|----------------|---------------|------------|
| Verão | 03/01/2005 | 09/02/2005 |
| Inverno | 05/04/2005 | 12/05/2005 |

A Figura 8 apresenta a evolução temporal da intensidade ponderada pela profundidade de cada perfil de corrente, para todo o período analisado. O período de verão está destacado em vermelho, e o de inverno em azul.

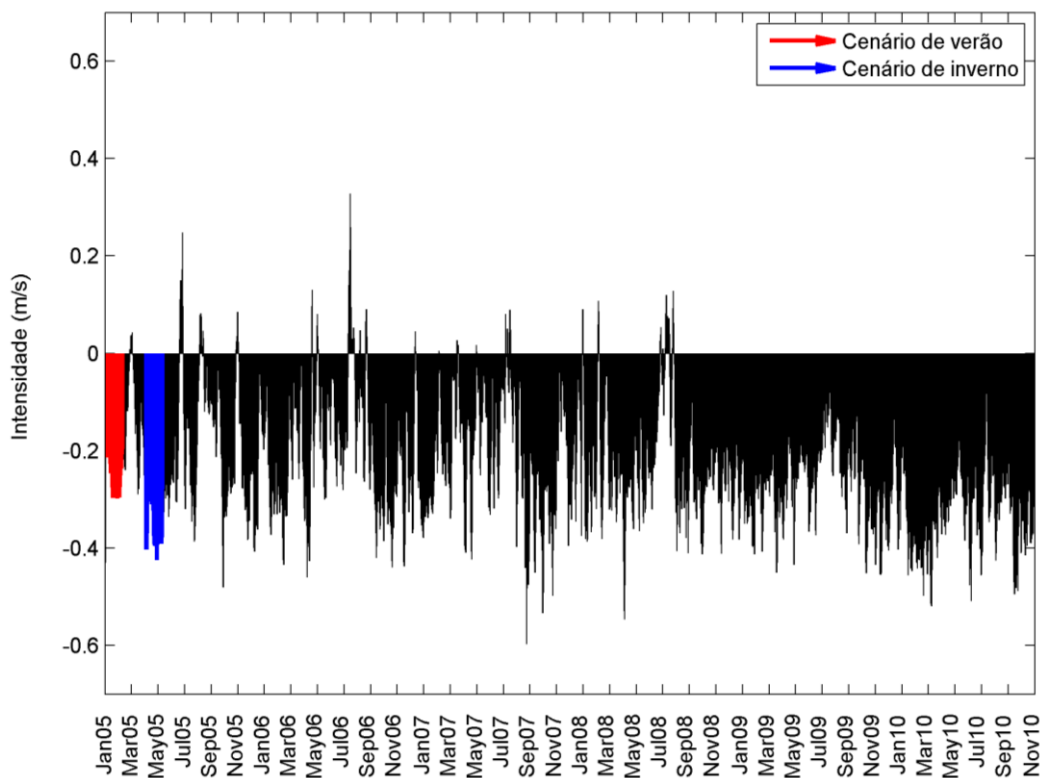


Figura 8: Evolução temporal da intensidade de correntes ponderada pela profundidade em cada perfil de corrente, para todo o período analisado (2005 a 2010). Destacado em vermelho o período mais frequente de verão e, em azul, o período mais frequente de inverno.

A seguir, na Figura 9 e Figura 10, são apresentadas as rosas de corrente dos cenários de verão e inverno, respectivamente, para as seguintes profundidades: superfície, 100 m, 400 m, 700 m, 800 m e fundo.

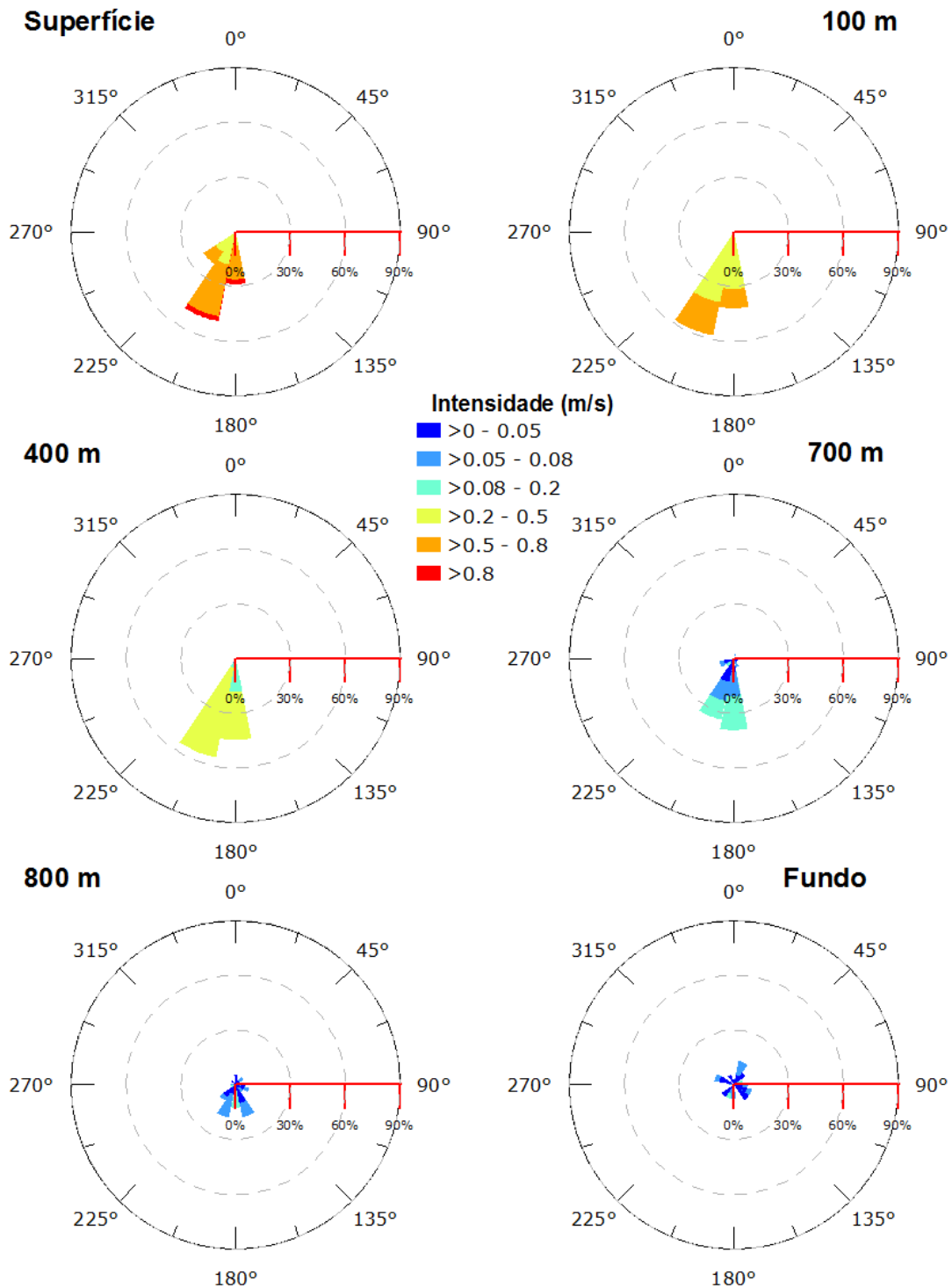


Figura 9: Rosa de correntes em seis níveis de profundidade – superfície, 100 m, 400 m, 700 m, 800 m e fundo – do cenário de verão.

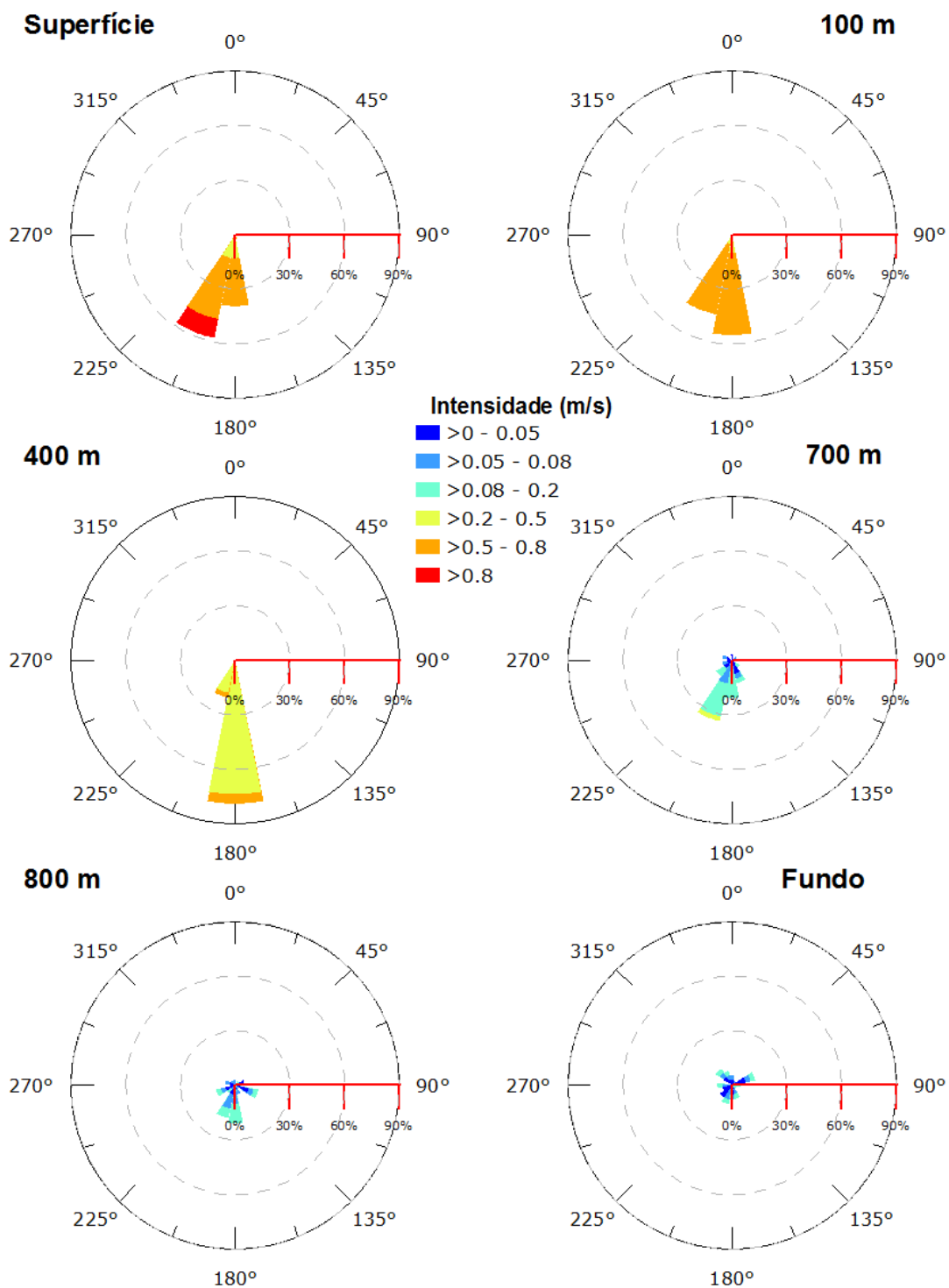


Figura 10: Rosa de correntes em seis níveis de profundidade – superfície, 100 m, 400 m, 700 m, 800 m e fundo – do cenário de inverno.

A Tabela 4 apresenta a intensidade de corrente máxima e mínima, em 6 níveis de profundidade (superfície, 100 m, 400 m, 700 m, 800 m e fundo), encontrada em cada cenário.

Tabela 4: Intensidade de correntes, máxima e mínima, em 6 níveis de profundidade (superfície, 100 m, 400 m, 700 m, 800 m e fundo), encontrada em cada cenário.

| Profundidade | Verão | | Inverno | |
|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | Int. Min. (m/s) | Int. Max (m/s) | Int. Min. (m/s) | Int. Max (m/s) |
| Superfície | 0,212 | 0,839 | 0,271 | 0,977 |
| 100 m | 0,247 | 0,657 | 0,342 | 0,787 |
| 400 m | 0,058 | 0,380 | 0,223 | 0,528 |
| 700 m | 0,011 | 0,176 | 0,031 | 0,207 |
| 800 m | 0,007 | 0,137 | 0,008 | 0,148 |
| Fundo | 0,001 | 0,086 | 0,009 | 0,113 |

As correntes do cenário de verão apresentam um sentido predominante para sudoeste da superfície a 600 m de profundidade, a partir de 700 m, a corrente passa a ter componentes também para oeste e norte. Mais de 60% dos dados em superfície apresentam intensidade superior a 0,5 m/s. De 800 m ao fundo, o sentido das correntes varia muito, não sendo registrado mais de 30% do fluxo para um sentido específico. A maior intensidade encontrada é de 0,84 m/s, em superfície e a menor de 0,001 m/s no fundo.

Da mesma forma, o cenário de inverno apresenta sentido preferencial para sudoeste até 600 m de profundidade, possuindo maiores variações na direção da corrente a partir de 700 m. A maior intensidade também é registrada em superfície, com 0,98 m/se a menor no fundo, 0,009 m/s. De maneira geral, as correntes para o cenário de inverno mostraram-se mais intensas que as apresentadas para o verão.

4. Metodologia

4.1. Modelo de Transporte

O modelo computacional utilizado neste trabalho é conhecido pelo nome DREAM (*Dose-Related Exposure Assessment Model*), e foi desenvolvido pela SINTEF, com o objetivo de calcular o comportamento e o destino do material gerado pelo descarte de cascalho e fluido aderido no ambiente marinho, tanto na coluna d'água quanto no leito oceânico.

O modelo calcula o destino físico-químico dos compostos presentes no efluente em três dimensões espaciais e no tempo. Os processos físico-químicos que regem o modelo são calculados separadamente para cada componente do efluente.

O DREAM possui um conceito baseado em uma aproximação Lagrangeana, de modo que partículas são geradas no ponto de descarte, as quais são transportadas pelas correntes e turbulência do mar.

Diferentes propriedades, como a massa de diferentes compostos, densidades e velocidades de queda, são associadas a cada partícula específica. As partículas do modelo podem ainda representar vários estados diferentes, tais como bolhas de gás, gotículas, matéria tanto dissolvida como particulada. Para as descargas de cascalho e fluido aderido, as partículas sólidas, a matéria orgânica, os metais associados a partículas e matéria dissolvida, serão de particular interesse para a modelagem numérica.

A seguir, são apresentados, de forma resumida, os cálculos do modelo para as pilhas de deposição, segundo Rye *et al.* (2008).

Uma descrição mais real do comportamento do descarte de cascalho tem sido realizada a partir da adição de módulos no sistema do modelo. Esses incluem uma pluma de campo próximo, velocidades de deposição de partículas no fundo, e distribuições de tamanhos específicos para cada grupo de partículas.

O cascalho e fluido aderido, provenientes do descarte, possuem densidades que são significativamente maiores que a do ambiente. Uma pluma de campo próximo é, portanto, incluída de forma a influenciar a descida da pluma de descarte. Essa descida cessará quando a densidade da pluma descendente se igualar à densidade do meio. O caminho da pluma é governado pelas velocidades e direções das correntes oceânicas e também pela variação vertical da temperatura e salinidade. A combinação desses fatores faz com que a pluma se nivele a certa profundidade específica ou que ela desça até o fundo oceânico e ali se nivele.

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.

As velocidades de deposição das partículas podem ser divididas em dois regimes: o regime de Stokes e o regime do arrasto constante. As velocidades de deposição dentro do regime de Stokes para partículas de menor tamanho são dadas pela seguinte equação:

$$W_1 = \frac{d^2 g'}{18\nu} \quad (1)$$

$$g(\rho_{partícula} - \rho_{água}) / \rho_{água} \quad (2)$$

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 (2); 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 regime de arrasto constante, com fricção dominante, para partículas maiores. Uma expressão geral para essa velocidade de afundamento pode ser derivada a partir do balanço entre as forças de flutuação e de arrasto que atuam na partícula (HU & KINTNER, 1955), calculada da seguinte forma:

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

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 ($Re < 1$):

$$W_1 = \frac{d^2 g'}{18\nu} \quad (4)$$

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

$$W_2 = K\sqrt{4dg'} \quad (5)$$

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:

$$W = \frac{1}{\left(\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}\right)} \quad (6)$$

A constante empírica K é escolhida de forma que a correspondência seja alcançada entre a velocidade de deposição dominada pela fricção e as Equações (4) e (5) acima. Essa equação leva em consideração as partículas como não esféricas e, portanto, com velocidades de deposição menores que as partículas esféricas.

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

4.2. Distribuição granulométrica

Em casos onde a distribuição granulométrica do cascalho ou dos sólidos do fluido é desconhecida para a área de estudo, utiliza-se uma distribuição genérica. Nesse caso, para o cascalho utilizou-se a distribuição encontrada por Saga (1994), medidas durante uma perfuração no Mar de Barents (Tabela 5), e para os sólidos do fluido, a distribuição indicada em Brandsma & Smith (1999) (Tabela 6).

Tabela 5: Distribuição granulométrica utilizada para o cascalho.

| Densidade (kg/m ³) | fração | diâmetro (µm) |
|--------------------------------|--------|---------------|
| 2.600 | 10% | 5 - 10 |
| 2.600 | 10% | 10 - 20 |
| 2.600 | 10% | 20 - 30 |
| 2.600 | 10% | 30 - 45 |
| 2.600 | 10% | 45 - 60 |
| 2.600 | 10% | 60 - 100 |
| 2.600 | 10% | 100 - 400 |
| 2.600 | 10% | 400 - 1000 |
| 2.600 | 10% | 1000 - 4000 |
| 2.600 | 10% | 4000 - 7000 |

Tabela 6: Distribuição granulométrica utilizada para os sólidos do fluido.

| Densidade (kg/m ³) | fração | diâmetro (µm) |
|--------------------------------|--------|---------------|
| 1.068 | 7,0% | 1 - 750 |
| 1.068 | 8,0% | 750 - 1030 |
| 1.068 | 5,0% | 1030 - 1460 |
| 1.068 | 10,0% | 1460 - 1930 |
| 1.068 | 13,3% | 1930 - 2240 |
| 1.068 | 13,3% | 2240 - 2380 |
| 1.068 | 19,2% | 2380 - 2610 |
| 1.068 | 19,2% | 2610 - 2880 |
| 1.068 | 4,0% | 2880 - 4930 |
| 1.068 | 1,0% | 4930 - 8170 |

4.3. 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 grande distância sofrendo influência das forçantes locais e cobrindo uma área maior quando depositado.

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 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.

É proposto como solução, neste trabalho, o uso de duas grades diferentes. A primeira (**grade 1**), voltada para a estimativa da área total de deposição, possui um espaçamento de 16 m nas direções zonal e meridional. Os limites da grade são: ao sul, 32°43'S; ao norte, 32°35'S; a oeste, 50°12'W; e a leste, 50°02'W (Datum SIRGAS 2000). Obtendo assim uma matriz com 975 por 864 células, totalizando 842.300 elementos de grade.

A segunda (**grade 2**), também regular, projetada para a região de maior acúmulo de sedimentos, possui uma resolução espacial de 6 m. A grade possui os seguintes limites: ao sul, 32°38'56"S; ao norte, 32°38'05"S; a oeste, 50°06'58"W; e a leste, 50°06'12"W (Datum SIRGAS 2000). Assim, obteve-se uma matriz de 200 por 265 células, totalizando 53.000 elementos de grade.

Para fins de modelagem, utilizou-se uma batimetria constante de 1.120 m (profundidade aproximada do local onde será perfurado o poço), em todo o domínio de ambas as grades.

A comparação das duas grades projetadas pode ser observada na Figura 11.

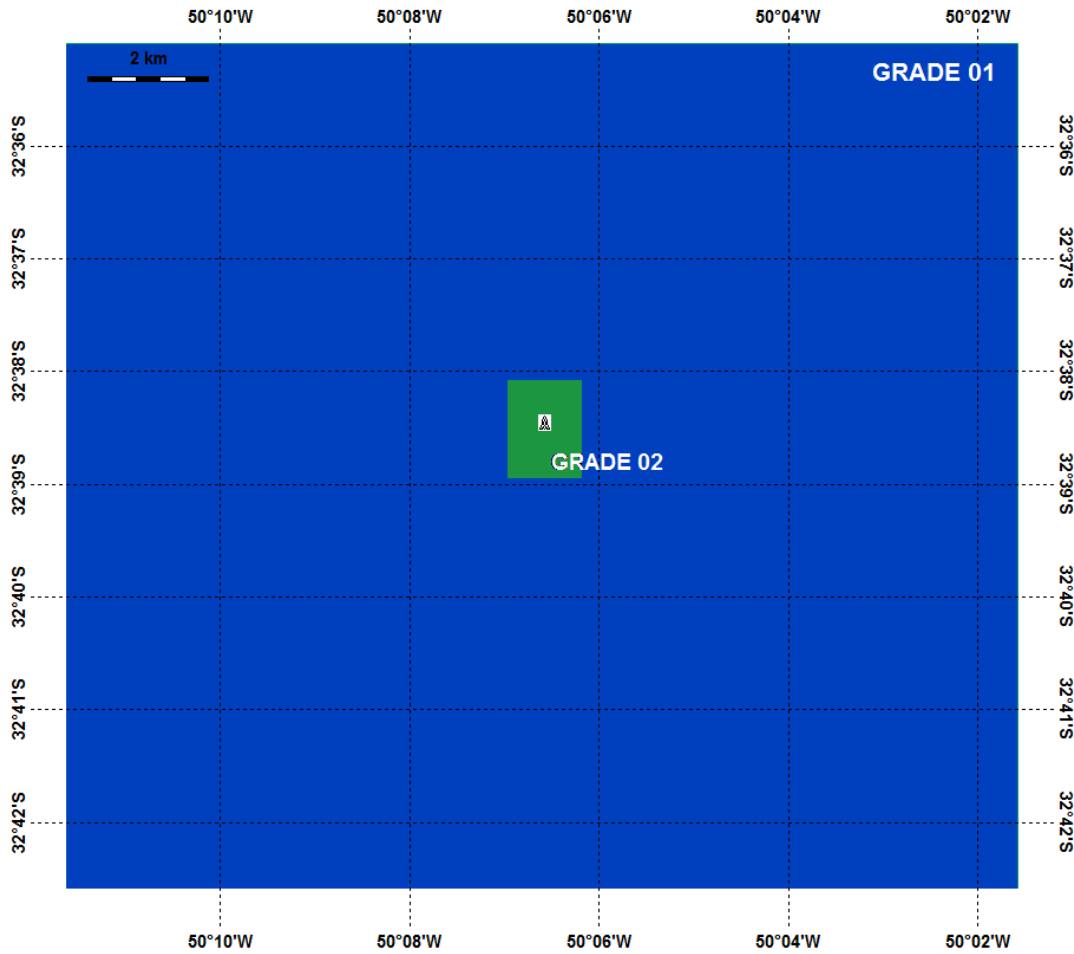


Figura 11: Comparação entre as duas grades utilizadas no estudo. O quadrado branco indica a localização do poço.

4.4. Descrição do descarte

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 do cascalho;
- » densidade e massa dos componentes sólidos do fluido aderido;
- » massa total de fluido aderido.

5. Resultados

A seguir, serão apresentadas as pilhas de deposição do material gerado pela atividade de perfuração no assoalho marinho e as concentrações máximas dos sólidos em suspensão na coluna d'água, resultantes das simulações realizadas.

5.1. Pilhas de deposição

As pilhas de deposição serão apresentadas por seção e integradas, visando considerar o efeito da operação. Os resultados serão apresentados da seguinte forma:

- » pilhas individuais referente à cada seção;
- » integração das seções que usam fluido de base água (sem *riser*);
- » integração das seções que usam fluido de base sintética (com *riser*);
- » integração de todas as seções do projeto de poço;
- » resultados do poço investigativo;
- » integração das seções do projeto de poço com o poço investigativo.

Como descrito no Item 2 deste relatório, os resultados apresentados para a locação Guarani serão replicados dos obtidos na locação Pampeano, e serão expostos apenas a integração das pilhas de deposição para os dois poços juntos.

Para melhor comparar as grades apresentadas, todos os resultados das pilhas de deposição formadas serão descritos ao final de cada cenário, ou seja, depois de terem sido apresentadas as grades 1 e 2.

5.1.1. Verão

5.1.1.1. Grade 1

As pilhas formadas nos descartes de cascalho e fluido aderido das sete seções e no de fluido excedente da seção 2 são apresentadas na Figura 12 e Figura 13.

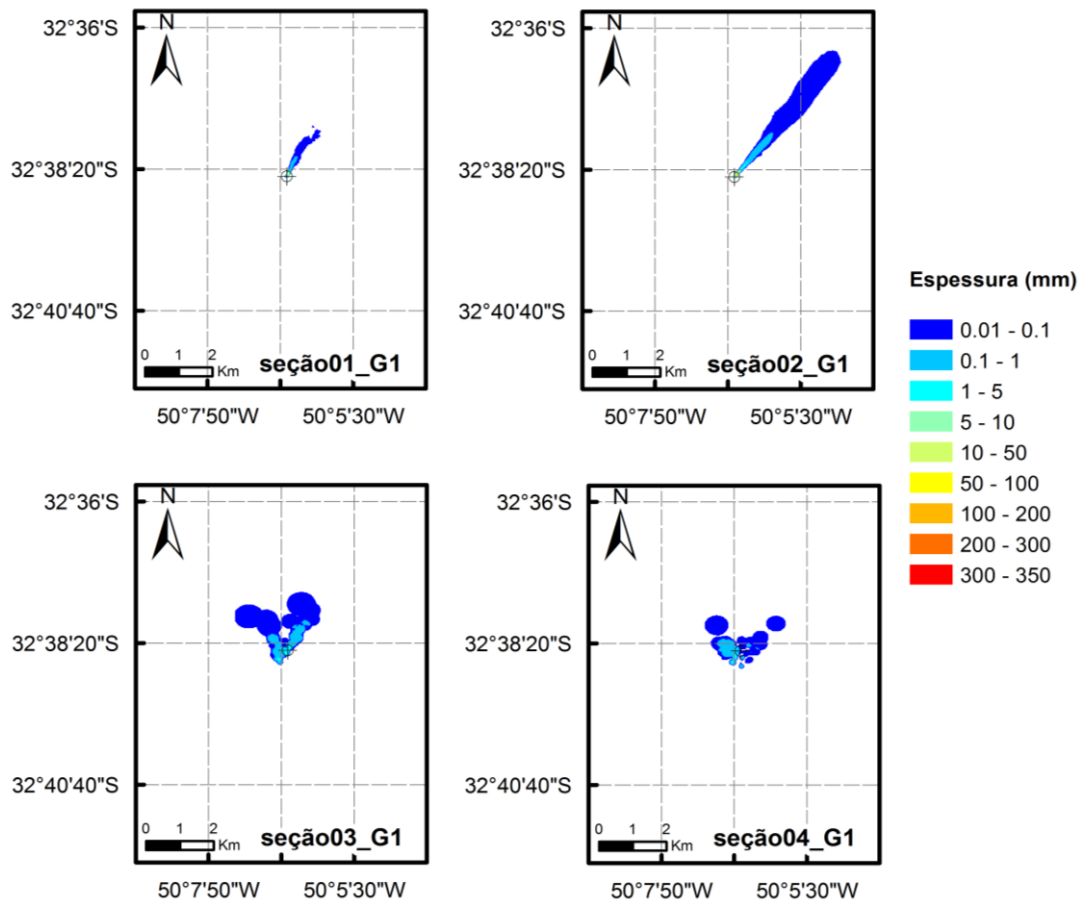


Figura 12: Pilhas de deposição formadas nas seções 1 a 4 do descarte de cascalho e fluido aderido.
 Verão | Grade 1.

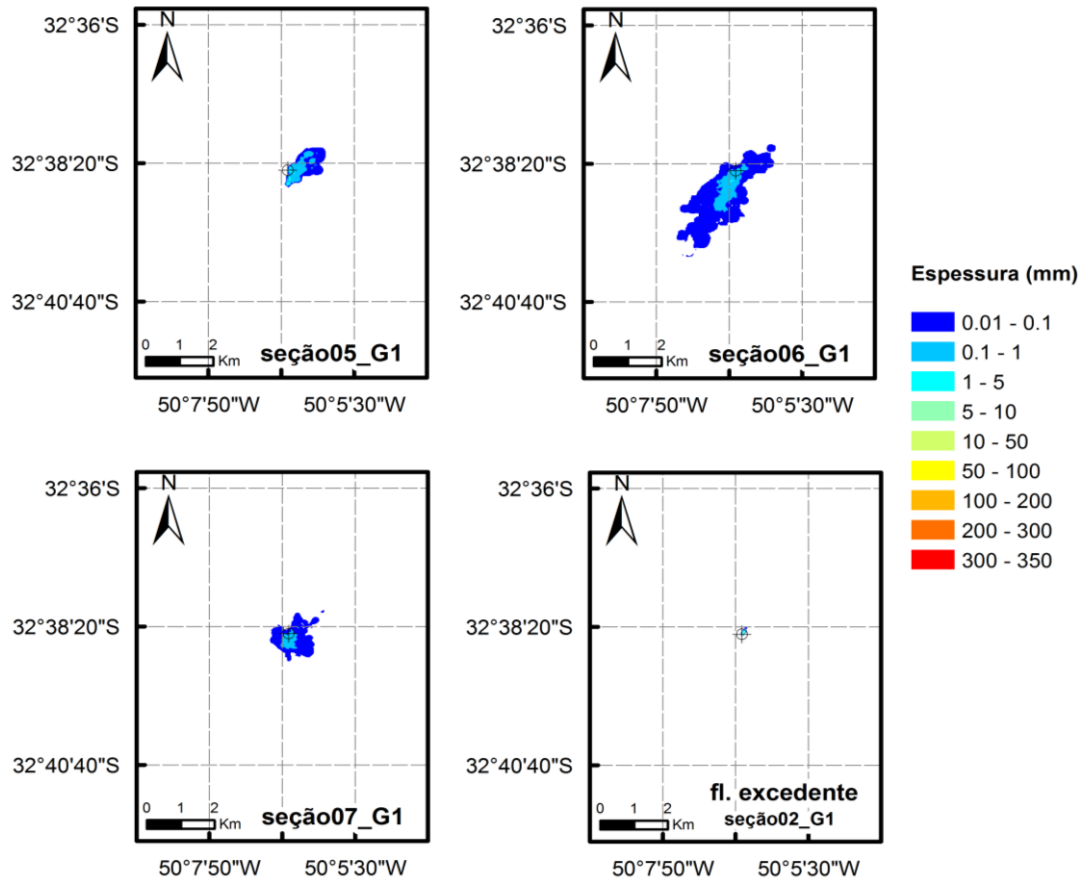


Figura 13: Pilhas de deposição formadas nas seções 5 a 7 do descarte de cascalho e fluido aderido e na seção 2 do descarte de fluido excedente. Verão | Grade 1.

A Figura 14 apresenta a integração das seções sem e com riser, painel superior e inferior, respectivamente.

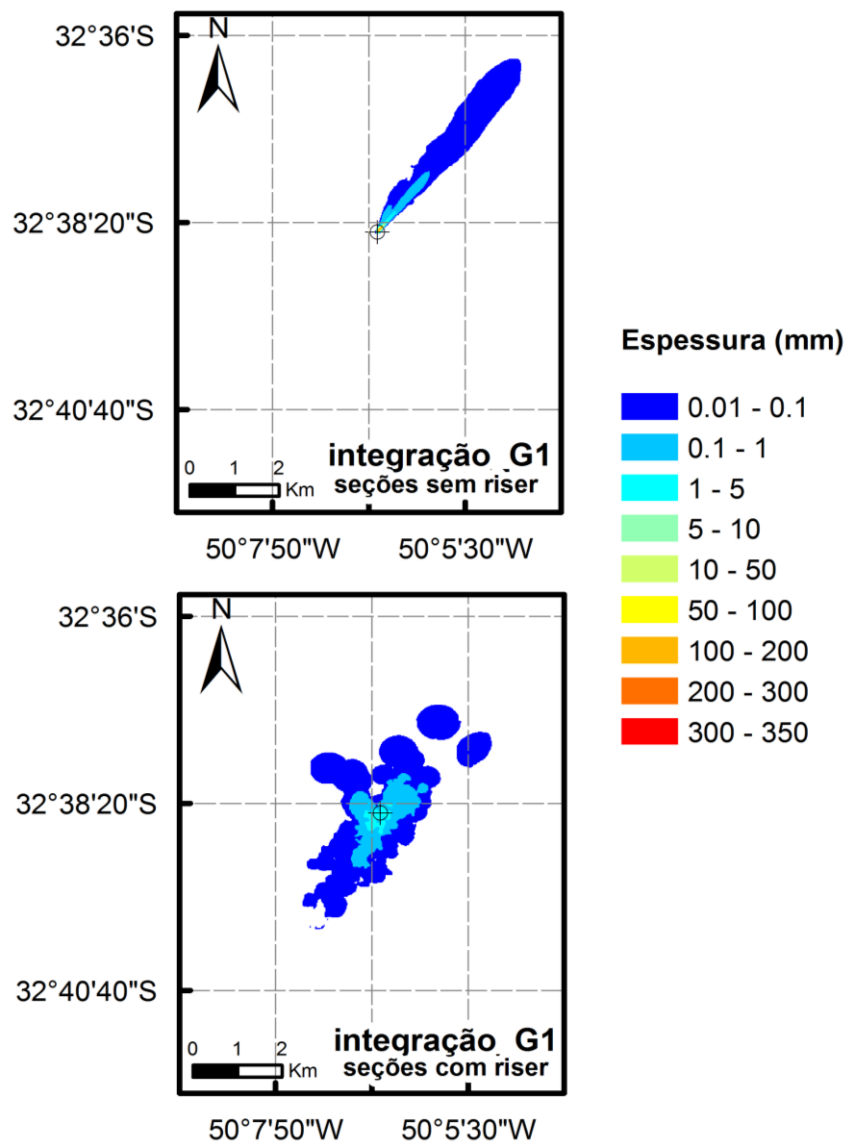


Figura 14: Pilha resultante da integração das seções sem *riser* (painel superior) e com *riser* (painel inferior). Verão | Grade 1.

A integração dos descartes de todas as seções é apresentada na Figura 18.

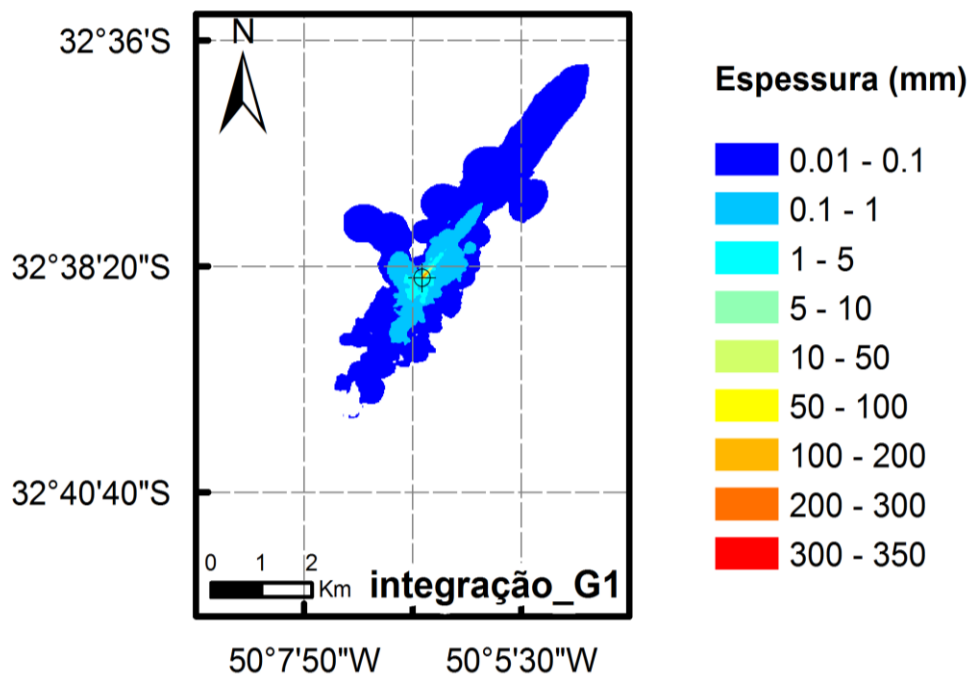


Figura 15: Pilha resultante da integração dos descartes de todas as seções. Verão | Grade 1.

As pilhas de deposição formadas no poço investigativo são apresentadas na Figura 16.

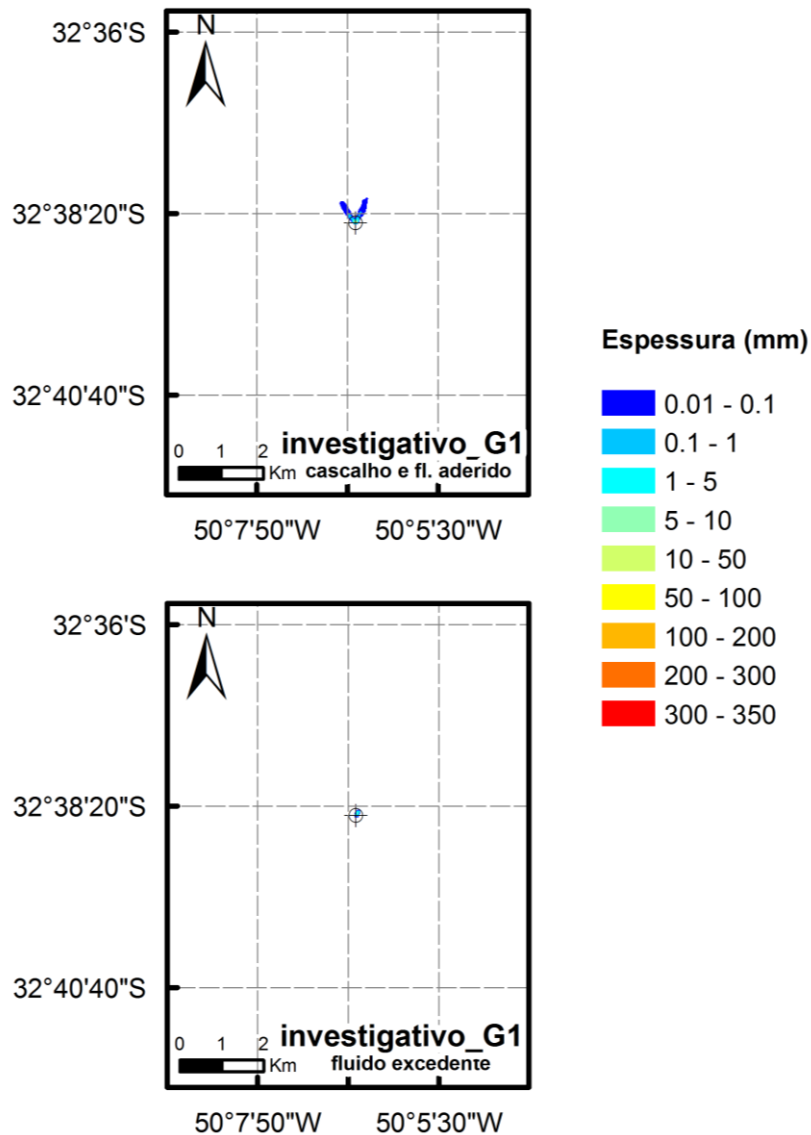


Figura 16: Pilha de deposição formada no descarte de cascalho e fluido aderido (painel superior) e de fluido excedente (painel inferior), do poço investigativo. Verão | Grade 1.

A integração das pilhas formadas no poço investigativo é apresentada na Figura 17.

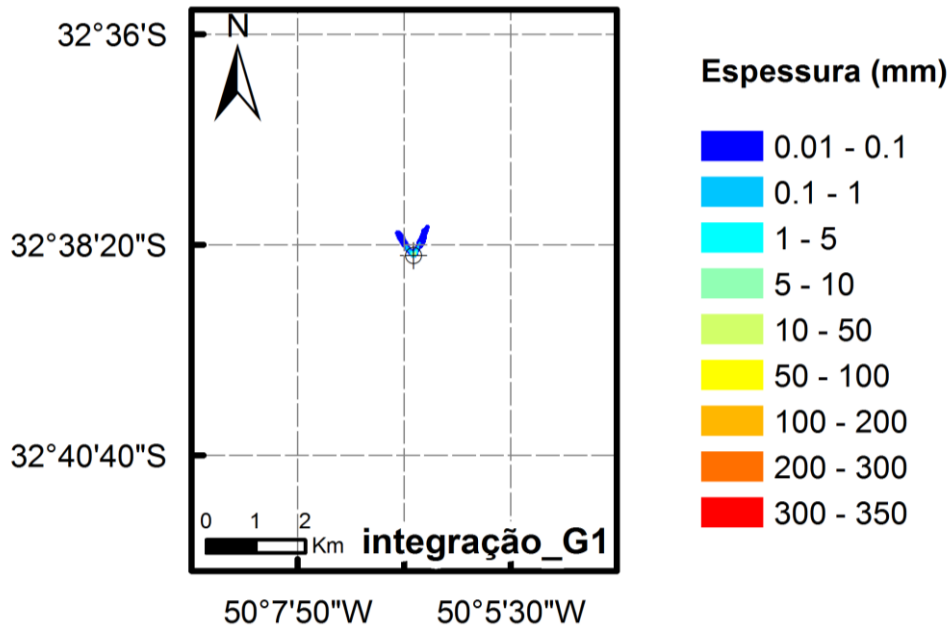


Figura 17: Pilha resultante da integração dos descartes do poço investigativo. Verão | Grade 1.

A integração de todos os descartes, as sete seções do poço Guarani e o poço investigativo, é apresentada na Figura 18.

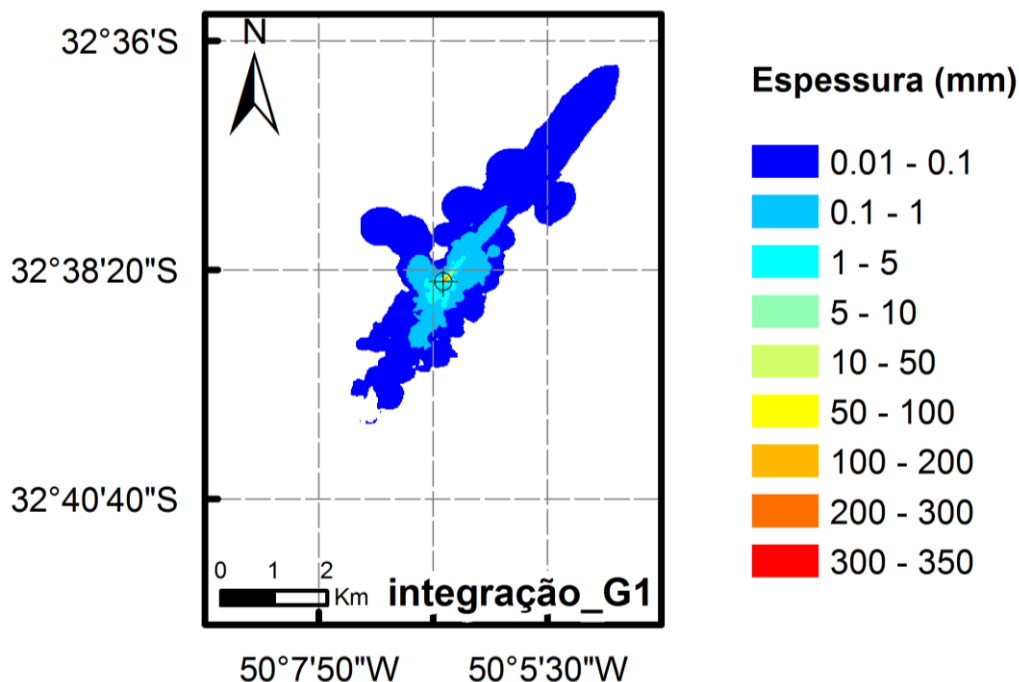


Figura 18: Pilha resultante da integração de todos os descartes. Verão | Grade 1.

Todas as áreas formadas e as maiores distâncias da fonte alcançadas pelas pilhas de deposição apresentadas acima são exibidas na Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 7: Área formada e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição das sete seções previstas no projeto de poço e nas integrações. Verão | Grade 1.

| Descarte | Área (m ²) | Distância (km) |
|------------------------------------|------------------------|----------------|
| seção 1 | 300.032 | 1,7 |
| seção 2 | 2.047.232 | 4,7 |
| seção 2 - fluido excedente | 23.296 | 1,6 |
| seção 3 | 2.180.352 | 1,8 |
| seção 4 | 1.378.304 | 1,4 |
| seção 5 | 735.232 | 1,1 |
| seção 6 | 3.064.832 | 2,9 |
| seção 7 | 1.002.496 | 1,1 |
| INTEGRAÇÃO seções sem riser | 2.506.752 | 4,8 |
| INTEGRAÇÃO seções com riser | 6.468.864 | 2,9 |
| INTEGRAÇÃO | 8.366.080 | 4,9 |

Tabela 8: Área formada e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição do poço investigativo e na integração dos resultados. Verão | Grade 1.

| Descarte | Área (m²) | Distância (km) |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| poço investigativo | 139.264 | 0,7 |
| poço investigativo - fluido excedente | 15.872 | 0,2 |
| INTEGRAÇÃO | 145.152 | 0,8 |

Tabela 9: Área formada e maior distância da fonte alcançada pela pilha de integração de todos os resultados - projeto de poço e poço investigativo. Verão | Grade 1..

| Descarte | Área (m²) | Distância (km) |
|--|-----------------------------|-----------------------|
| INTEGRAÇÃO - projeto de poço + poço investigativo | 8.367.104 | 4,9 |

Na Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12 são apresentados os resumos da área encontrada acima de cada espessura determinada na pilha de integração de todas as seções e do poço investigativo, respectivamente.

Tabela 10: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração das seções previstas no projeto de poço. Verão | Grade 1.

| Espessura (mm) | Área (m²) |
|-----------------------|-----------------------------|
| >=0,01 | 8.366.080 |
| >=0,1 | 1.621.504 |
| >=1 | 235.776 |
| >=10 | 14.848 |
| >=100 | 4.864 |
| >=200 | 1.024 |

Tabela 11: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração do poço investigativo. Verão | Grade 1.

| Espessura (mm) | Área (m²) |
|-----------------------|-----------------------------|
| >=0,01 | 145.152 |
| >=0,1 | 35.328 |
| >=1 | 13.056 |
| >=10 | 3.072 |
| >=100 | - |
| >=200 | - |

Tabela 12: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração de todos os resultados – projeto de poço e poço investigativo. Verão | Grade 1.

| Espessura (mm) | Área (m ²) |
|----------------|------------------------|
| >=0,01 | 8.367.104 |
| >=0,1 | 1.628.160 |
| >=1 | 238.848 |
| >=10 | 16.384 |
| >=100 | 5.120 |
| >=200 | 1.536 |

5.1.1.2. Grade 2

As pilhas formadas nos descartes de cascalho e fluido aderido das sete seções e no de fluido excedente da seção 2 são apresentadas na Figura 19 e Figura 20.

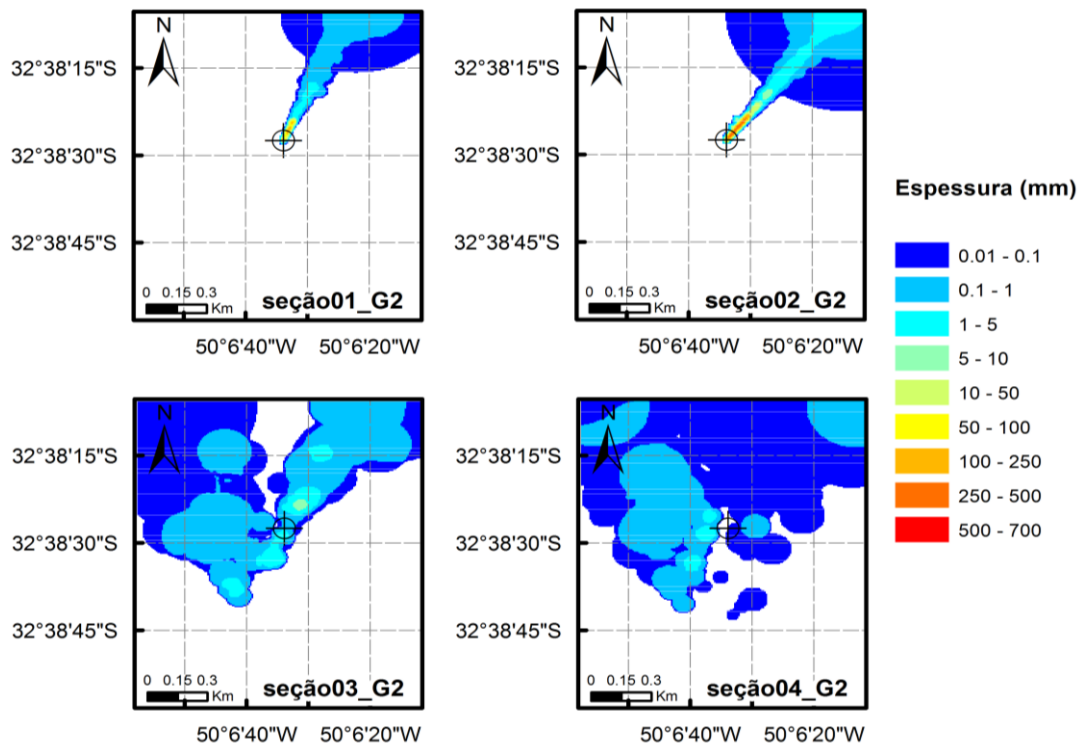


Figura 19: Pilhas de deposição formadas nas seções 1 a 4 do descarte de cascalho e fluido aderido. Verão | Grade 2.

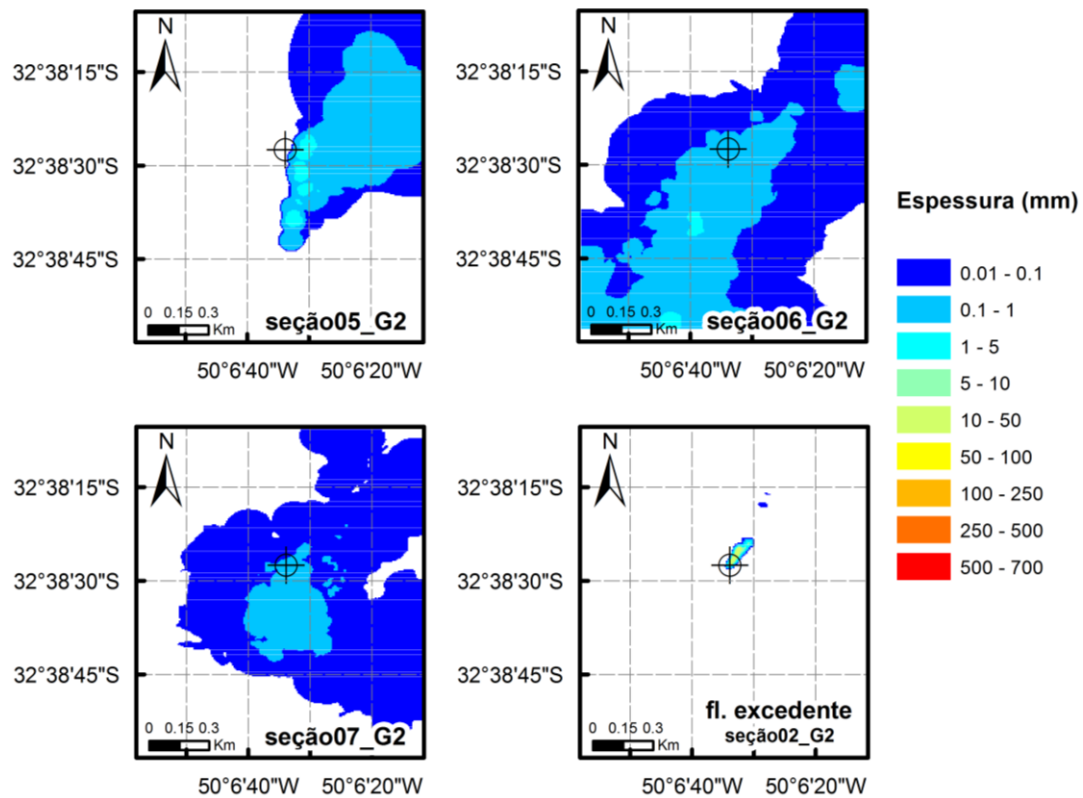


Figura 20: Pilhas de deposição formadas nas seções 5 a 7 do descarte de cascalho e fluido aderido e na seção 2 do descarte de fluido excedente. Verão | Grade 2.

A Figura 21 apresenta a integração das seções sem e com *riser*, painel superior e inferior, respectivamente.

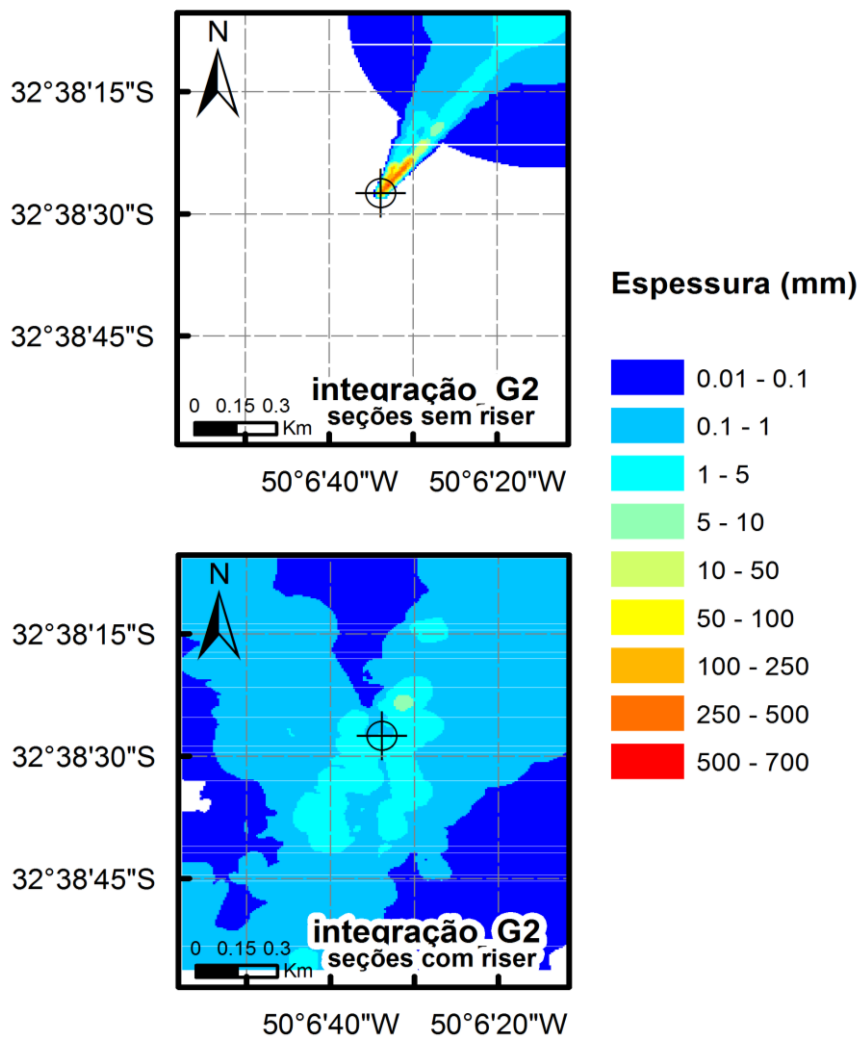


Figura 21: Pilha resultante da integração das seções sem *riser* (painel superior) e com *riser* (painel inferior). Verão | Grade 2.

A integração dos descartes de todas as seções é apresentada na Figura 22.

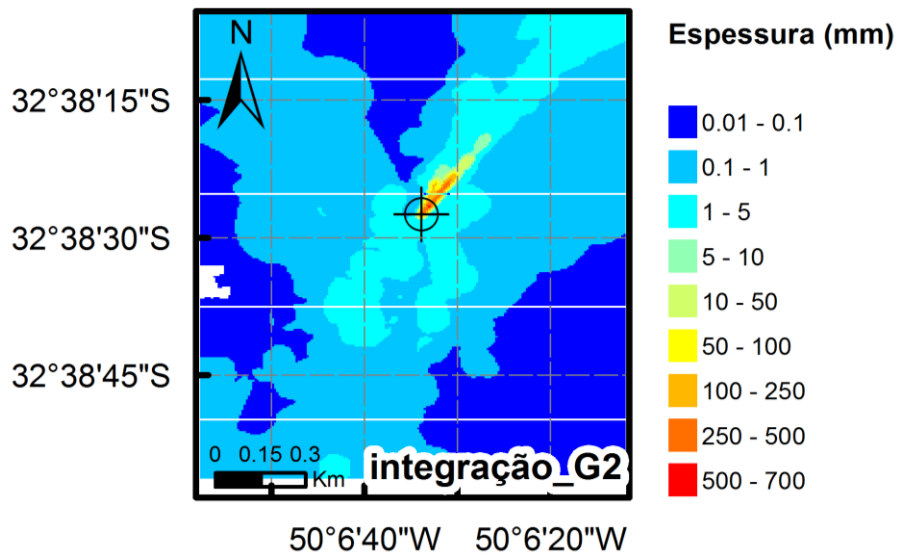


Figura 22: Pilha resultante da integração dos descartes de todas as seções. Verão | Grade 2.

As pilhas de deposição de cascalho e fluido aderido e de fluido excedente formadas no poço investigativo podem ser observadas na Figura 23.

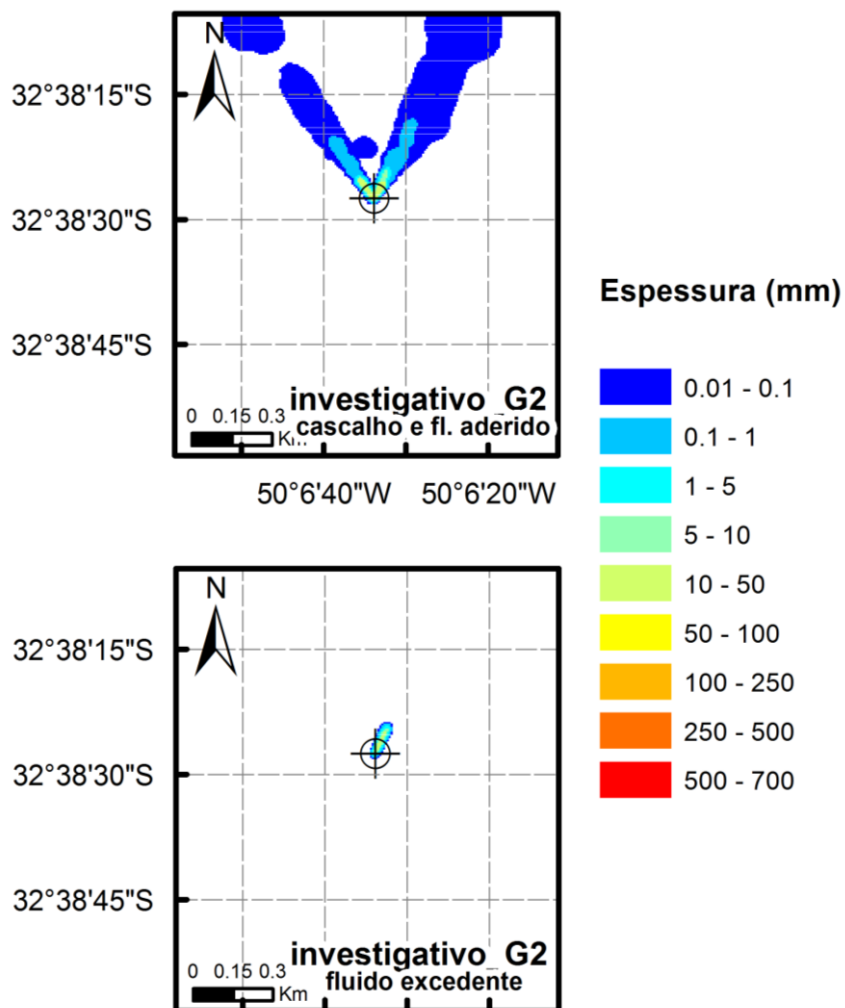


Figura 23: Pilha de deposição formada no descarte de cascalho e fluido aderido (painel superior) e de fluido excedente (painel inferior), do poço investigativo. Verão | Grade 2.

A integração das pilhas de deposição formadas no poço investigativo é apresentada na Figura 24.

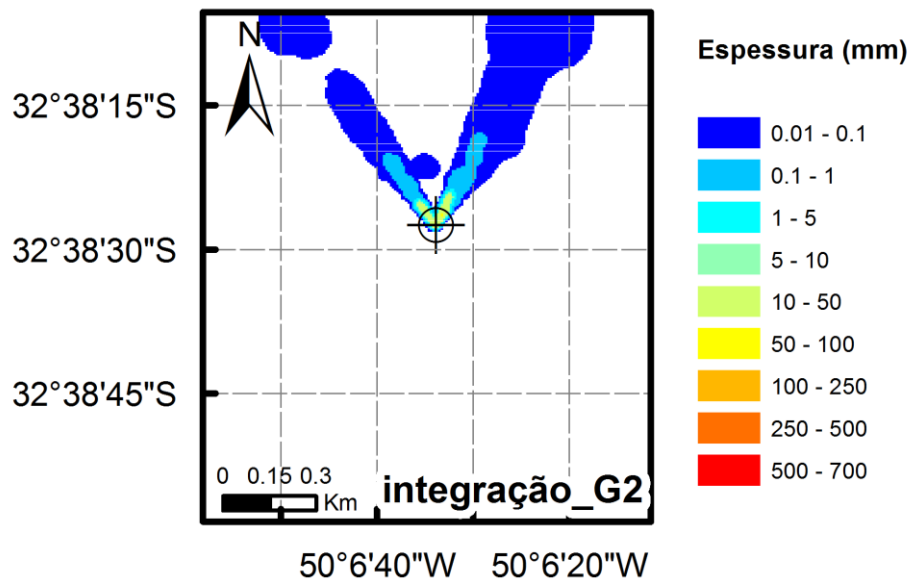


Figura 24: Pilha resultante da integração dos descartes do poço investigativo. Verão | Grade 2.

A integração de todos os descartes, as sete seções e o poço investigativo, é apresentada na Figura 25.

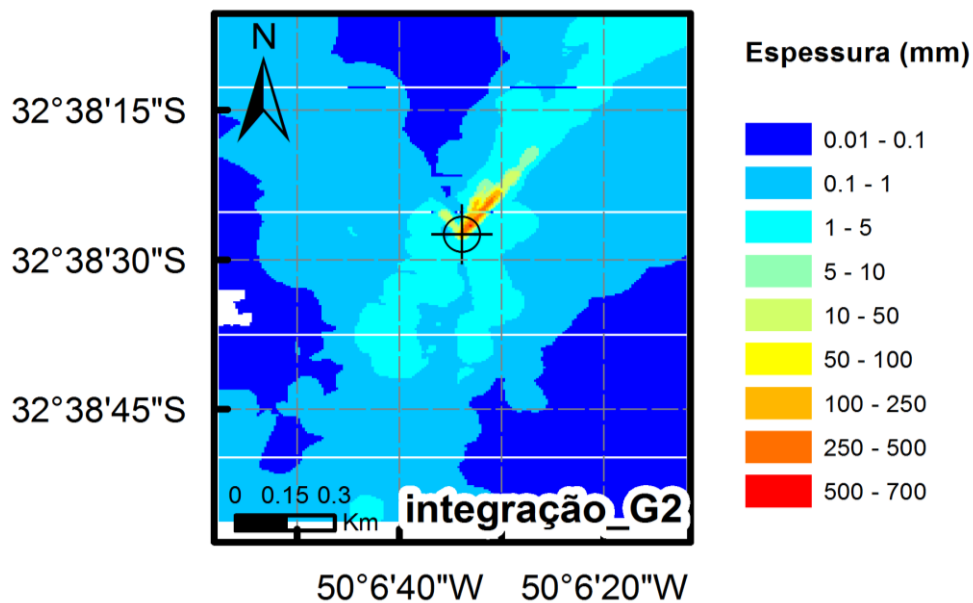


Figura 25: Pilha de deposição resultante da integração de todos os descartes. Verão | Grade 2.

Um resumo da espessura máxima formada nas pilhas de deposição apresentadas acima é encontrado na Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15.

Tabela 13: Espessura máxima formada nas pilhas de deposição das sete seções previstas no projeto de poço e nas integrações. Verão | Grade 2.

| Descarte | Espessura máxima (mm) |
|------------------------------------|------------------------------|
| seção 1 | 149,01 |
| seção 2 | 466,45 |
| seção 2 - fluido excedente | 35,11 |
| seção 3 | 7,33 |
| seção 4 | 1,76 |
| seção 5 | 1,70 |
| seção 6 | 1,25 |
| seção 7 | 0,37 |
| INTEGRAÇÃO seções sem riser | 512,34 |
| INTEGRAÇÃO seções com riser | 7,47 |
| INTEGRAÇÃO | 514,65 |

Tabela 14: Espessura máxima formada nas pilhas de deposição do poço investigativo e na integração dos resultados. Verão | Grade 2.

| Descarte | Espessura máxima (mm) |
|---------------------------------------|------------------------------|
| poço investigativo | 37,85 |
| poço investigativo - fluido excedente | 19,46 |
| INTEGRAÇÃO | 51,05 |

Tabela 15: Espessura máxima formada na pilha de integração de todos os resultados - projeto de poço e poço investigativo. Verão | Grade 2.

| Descarte | Espessura máxima (mm) |
|--|------------------------------|
| INTEGRAÇÃO - projeto de poço + poço investigativo | 533,75 |

As seções 1 e 2, sem *riser*, apresentaram uma deposição preferencial para nordeste, de acordo com o sentido da corrente no momento do descarte simulado. Considerando a integração das pilhas de deposição das seções 3, 4, 5, 6 e 7, com *riser*, nota-se uma orientação para sudoeste, com variações para nordeste e noroeste. A maior variação de direção das pilhas de deposição das seções com *riser* pode ser explicada pela maior influência das variações de intensidade e direção das correntes ao longo da coluna d'água.

A seção 6 contribuiu com a maior área de deposição (3.064.832 m²). O poço investigativo contribuiu com uma área de 145.152 m². A integração de todas as seções e do poço investigativo, no verão, mostrou uma área máxima de deposição de 8.367.104 m².

A seção 2 foi a que contribuiu com maior a espessura (466,45 mm). O poço investigativo contribuiu com uma espessura de 51,05 mm. A integração de todas as seções e do poço investigativo, no verão, mostrou uma espessura máxima de 533,75 mm.

A seção 2 foi a que maior distância da fonte (4,7 km), devido ao maior volume de cascalho e fluido aderido descartado, e ao fato do fluido aderido ser de base aquosa, o que contribui para uma maior dispersão do material quando comparado com fluido de base não-aquosa. A distância máxima da fonte, obtida pela integração de todas as seções e do poço investigativo no cenário de verão, foi de 4,9 km.

5.1.2. Inverno

5.1.2.1. Grade 1

As pilhas formadas nos descartes de cascalho e fluido aderido das sete seções e no de fluido excedente da seção 2 são apresentadas na Figura 26 e na Figura 27.

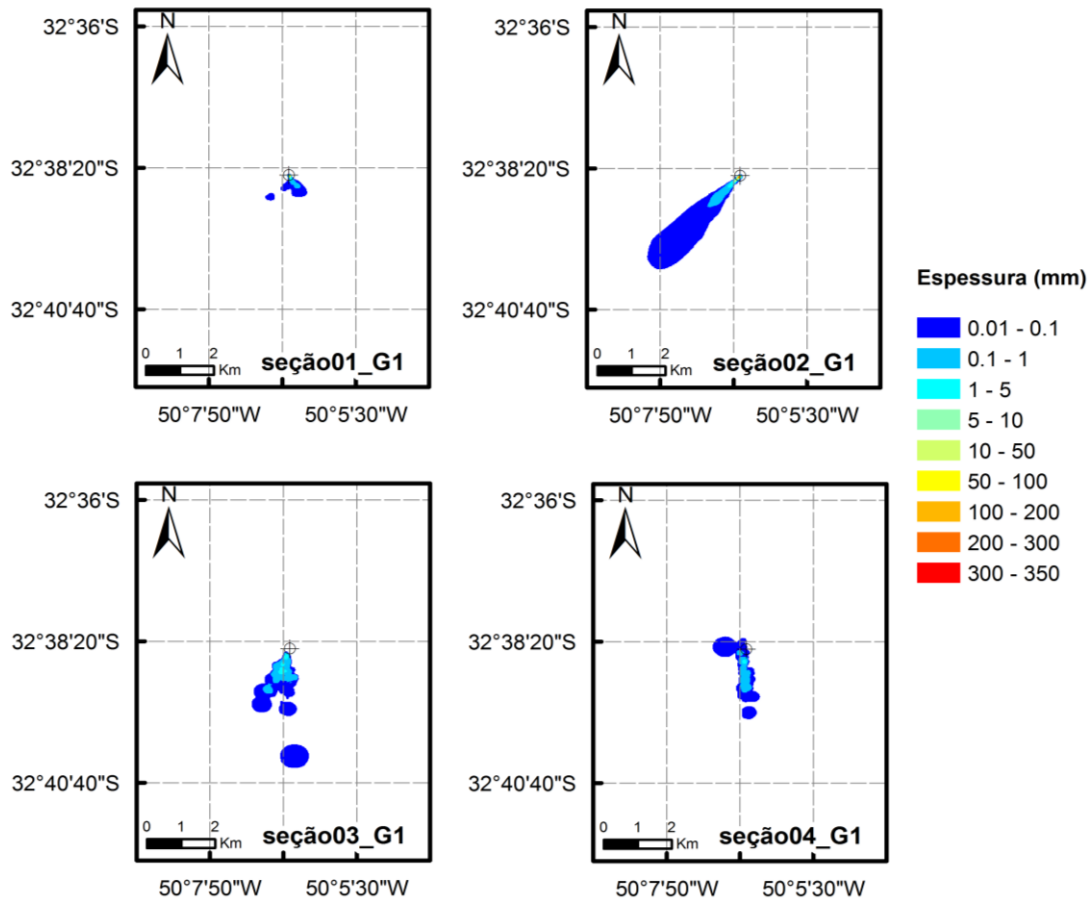


Figura 26: Pilhas de deposição formadas nas seções 1 a 4 do descarte de cascalho e fluido aderido.
 Inverno | Grade 1.

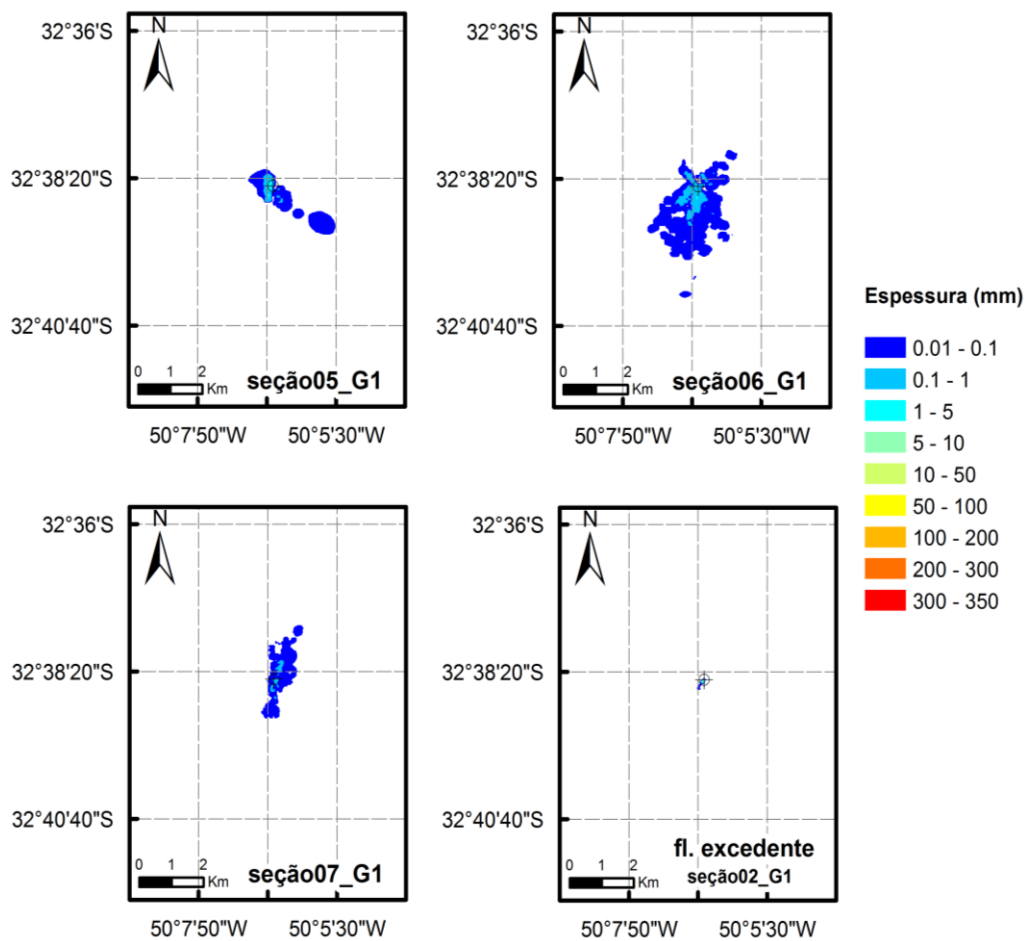


Figura 27: Pilhas de deposição formadas nas seções 5 a 7 do descarte de cascalho e fluido aderido e na seção 2 do descarte de fluido excedente. Inverno | Grade 1.

A seguir, na Figura 28, é apresentada a integração das seções sem e com *riser*, no painel superior e inferior, respectivamente.

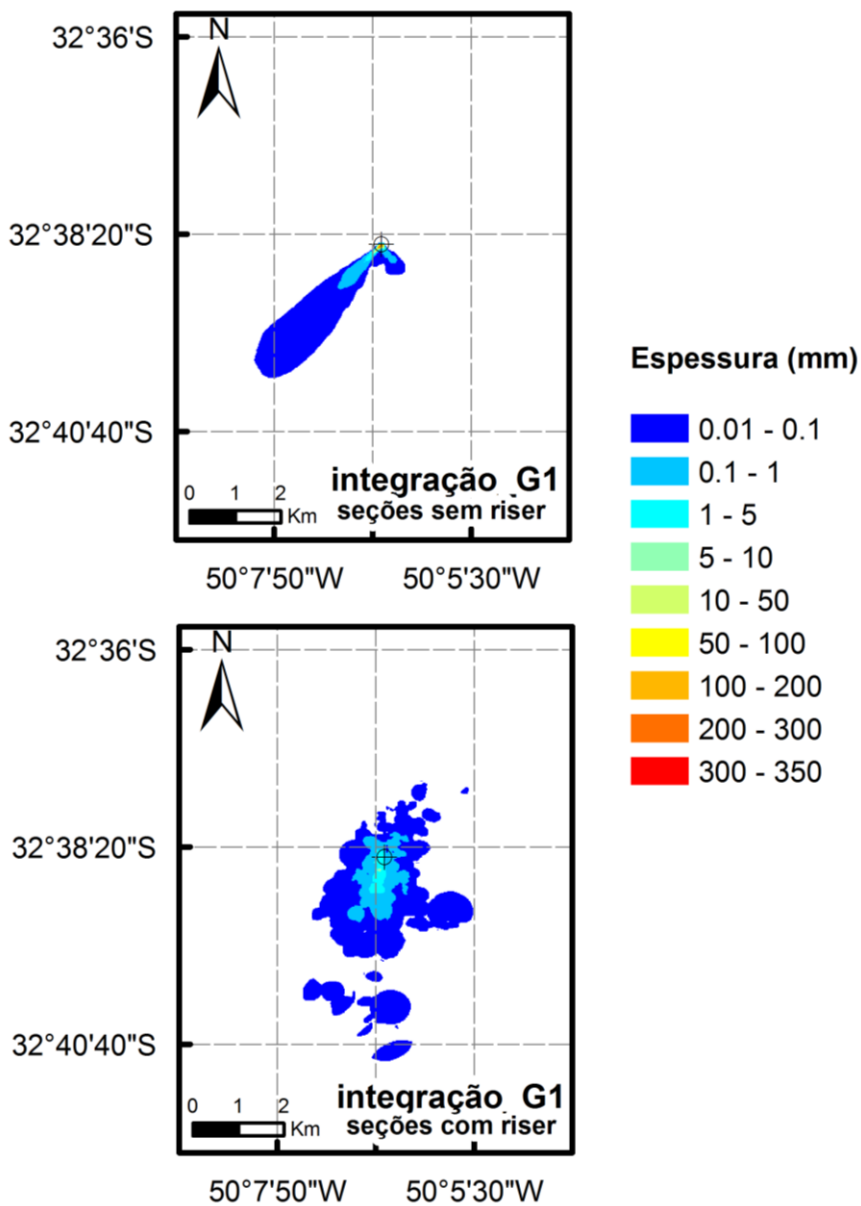


Figura 28: Pilha resultante da integração das seções sem *riser* (painel superior) e com *riser* (painel inferior). Inverno | Grade 1.

A integração dos descartes de todas as seções é apresentada na Figura 29.

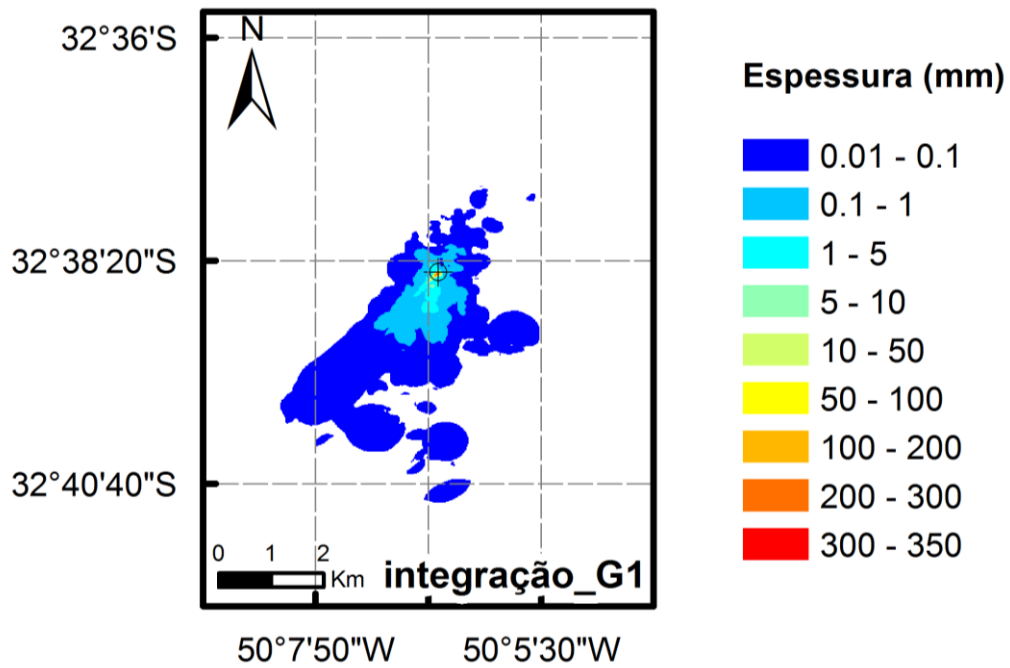


Figura 29: Pilha resultante da integração dos descartes de todas as seções, Inverno | Grade 1.

As pilhas de deposição formadas no poço investigativo são apresentadas na Figura 30.

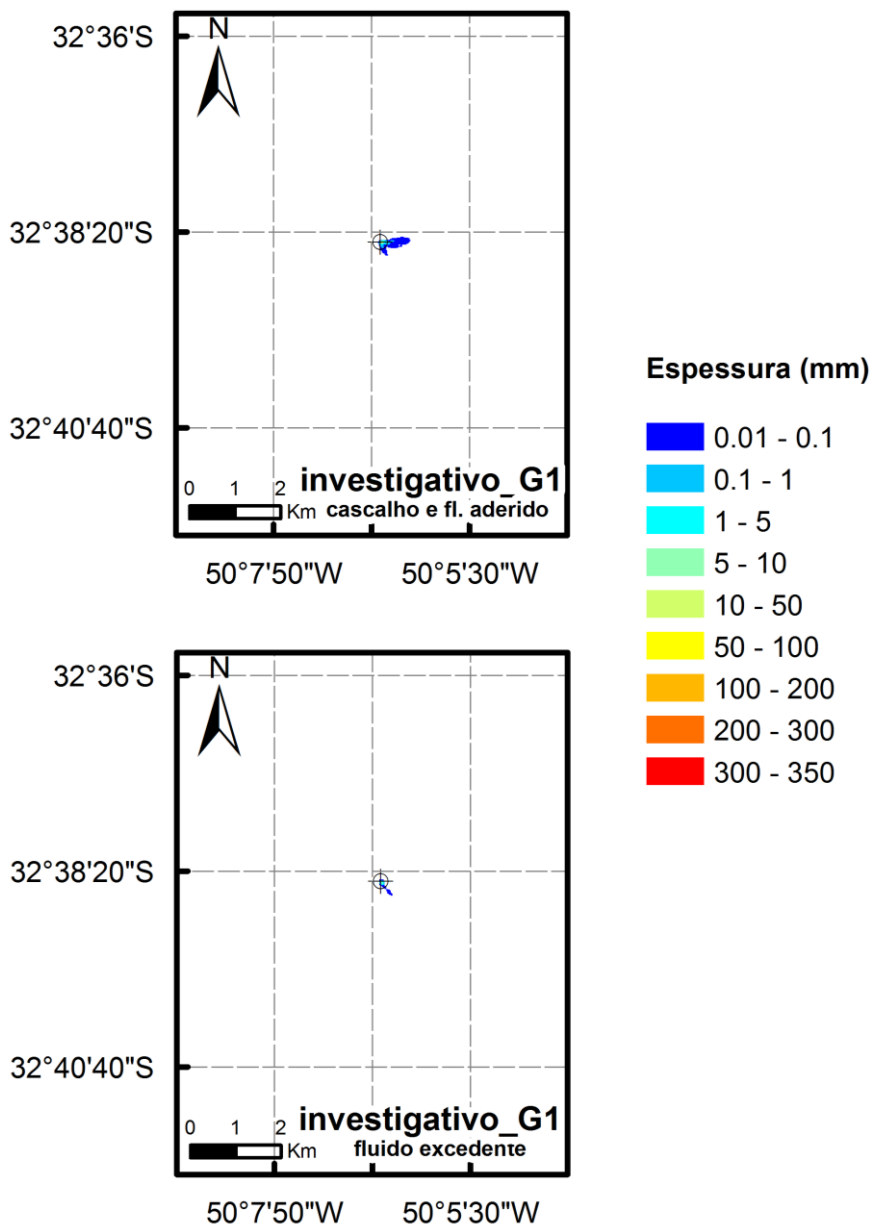


Figura 30: Pilha de deposição formada no poço investigativo de cascalho e fluido aderido (painel superior) e de fluido excedente (painel inferior). Inverno | Grade 1.

A integração dos descartes do poço investigativo é apresentada na Figura 31.

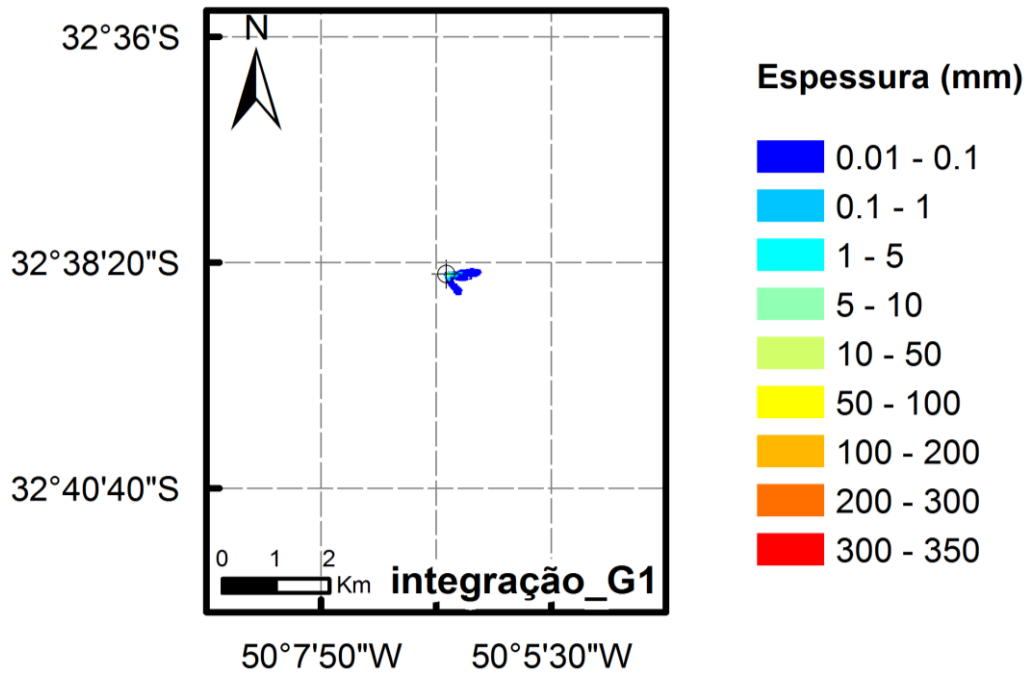


Figura 31: Pilha de deposição resultante dos descartes do poço investigativo. Inverno | Grade 1.

A integração de todos os descartes, as sete seções e o poço investigativo, é apresentada na Figura 32.

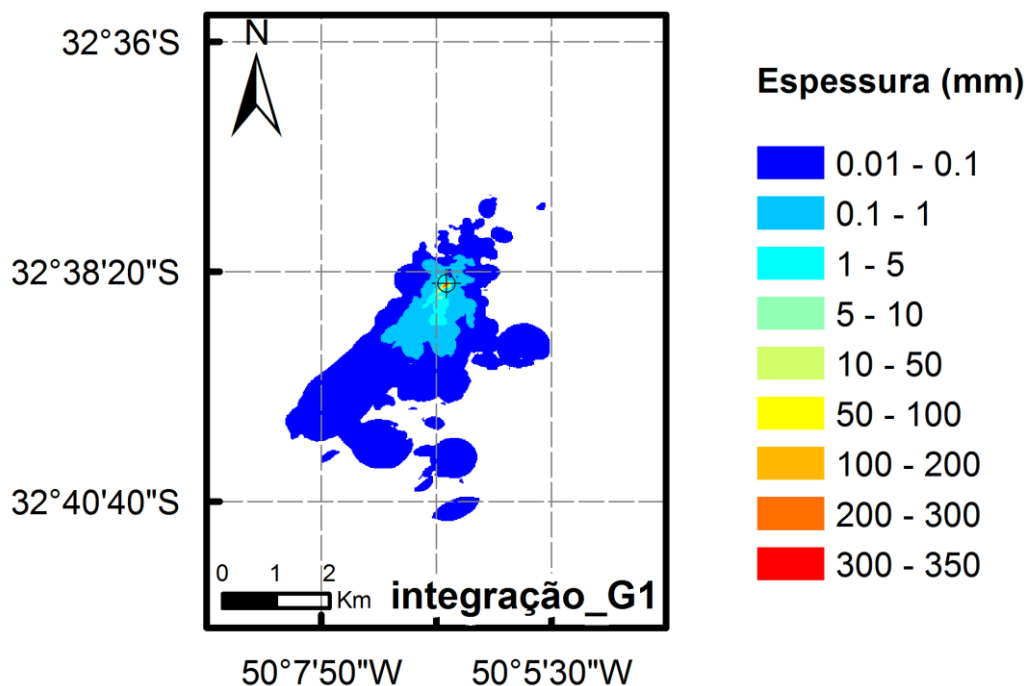


Figura 32: Pilha resultante da integração de todos os descartes. Inverno | Grade 1.

Todas as áreas formadas e as maiores distâncias da fonte alcançadas pelas pilhas de deposição apresentadas acima são exibidas na Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18.

Tabela 16: Área formada e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição das sete seções previstas no projeto de poço e as integrações. Inverno | Grade 1.

| Descarte | Área (m ²) | Distância (km) |
|------------------------------------|------------------------|----------------|
| seção 1 | 289.792 | 1,0 |
| seção 2 | 2.216.960 | 3,5 |
| seção 2 - fluido excedente | 31.488 | 0,3 |
| seção 3 | 1.654.528 | 3,7 |
| seção 4 | 1.103.616 | 2,1 |
| seção 5 | 1.206.272 | 2,1 |
| seção 6 | 3.606.016 | 3,3 |
| seção 7 | 1.209.600 | 1,7 |
| INTEGRAÇÃO seções sem riser | 2.601.984 | 3,6 |
| INTEGRAÇÃO seções com riser | 6.702.592 | 4,5 |
| INTEGRAÇÃO | 8.916.224 | 4,4 |

Tabela 17: Área formada e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição do poço investigativo e na integração dos resultados. Inverno | Grade 1.

| Descarte | Área (m²) | Distância (km) |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| poço investigativo | 121.344 | 0,6 |
| poço investigativo - fluido excedente | 25.344 | 0,4 |
| INTEGRAÇÃO | 145.152 | 0,6 |

Tabela 18: Área formada e maior distância da fonte alcançada pela pilha de integração de todos os resultados - projeto de poço e poço investigativo. Inverno | Grade 1.

| Descarte | Área (m²) | Distância (km) |
|--|-----------------------------|-----------------------|
| INTEGRAÇÃO - projeto de poço + poço investigativo | 8.916.224 | 4,4 |

Na Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21 são apresentados os resumos da área encontrada acima de cada espessura determinada na pilha de integração de todas as seções e do poço investigativo, respectivamente.

Tabela 19: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração das seções previstas no projeto de poço. Inverno | Grade 1.

| Espessura (mm) | Área (m²) |
|-----------------------|-----------------------------|
| >=0,01 | 8.916.224 |
| >=0,1 | 1.565.184 |
| >=1 | 228.352 |
| >=10 | 15.104 |
| >=100 | 4.352 |
| >=200 | 1.536 |

Tabela 20: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração do poço investigativo. Inverno | Grade 1.

| Espessura (mm) | Área (m²) |
|-----------------------|-----------------------------|
| >=0,01 | 145.152 |
| >=0,1 | 29.184 |
| >=1 | 10.752 |
| >=10 | 3.584 |
| >=100 | - |
| >=200 | - |

Tabela 21: Resumo da área encontrada acima de cada espessura, na pilha de integração de todos os resultados – projeto de poço e poço investigativo. Inverno | Grade 1.

| Espessura (mm) | Área (m ²) |
|----------------|------------------------|
| >=0,01 | 8.916.224 |
| >=0,1 | 1.577.472 |
| >=1 | 232.704 |
| >=10 | 16.896 |
| >=100 | 4.352 |
| >=200 | 1.536 |

5.1.2.2. Grade 2

As pilhas formadas nos descartes de cascalho e fluido aderido das sete seções e no de fluido excedente da seção 2 são apresentadas na Figura 33 e na Figura 34.

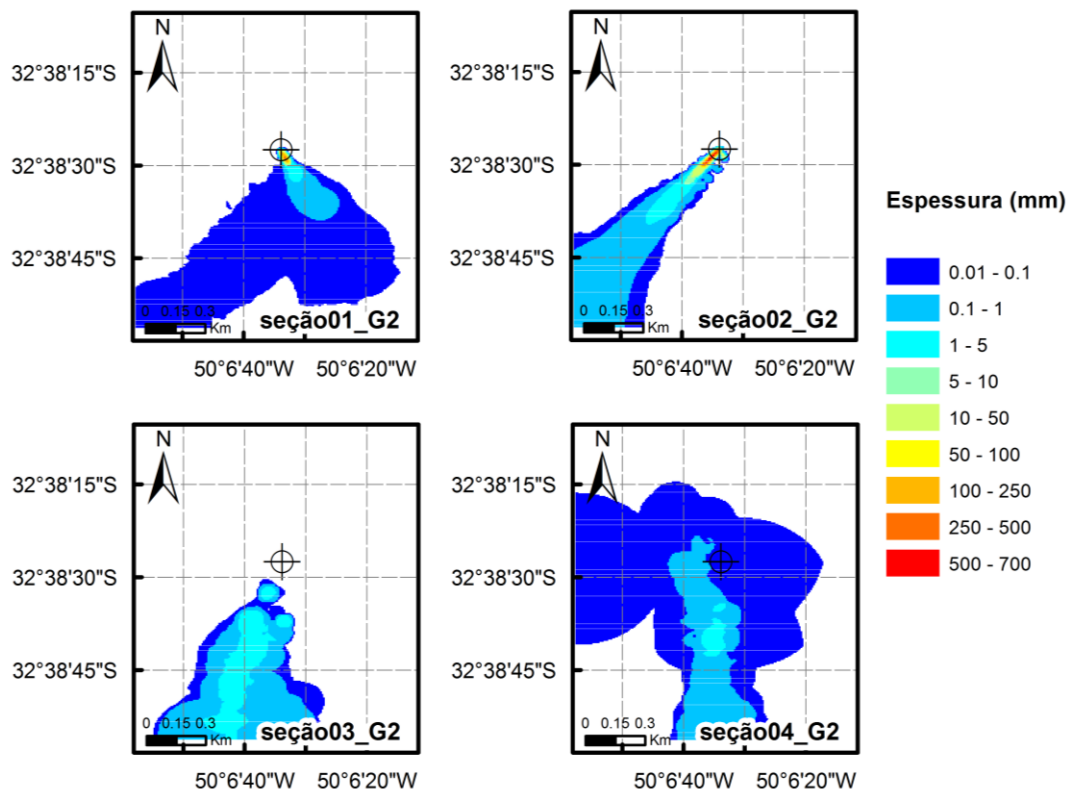


Figura 33: Pilhas de deposição formadas nas seções 1 a 4 do descarte de cascalho e fluido aderido. Inverno | Grade 2.

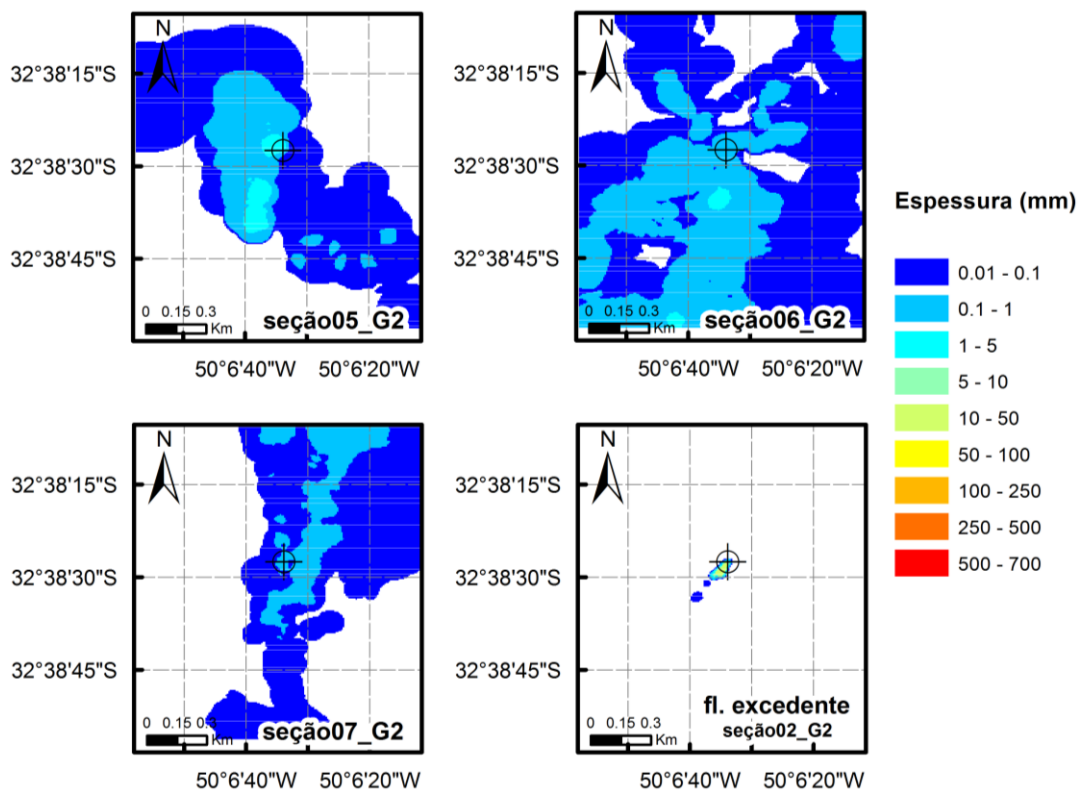


Figura 34: Pilhas de deposição formadas nas seções 5 a 7 do descarte de cascalho e fluido aderido e na seção 2 do descarte de fluido excedente. Inverno | Grade 2.

A Figura 35 apresenta a integração das seções sem e com riser, painel superior e inferior, respectivamente.

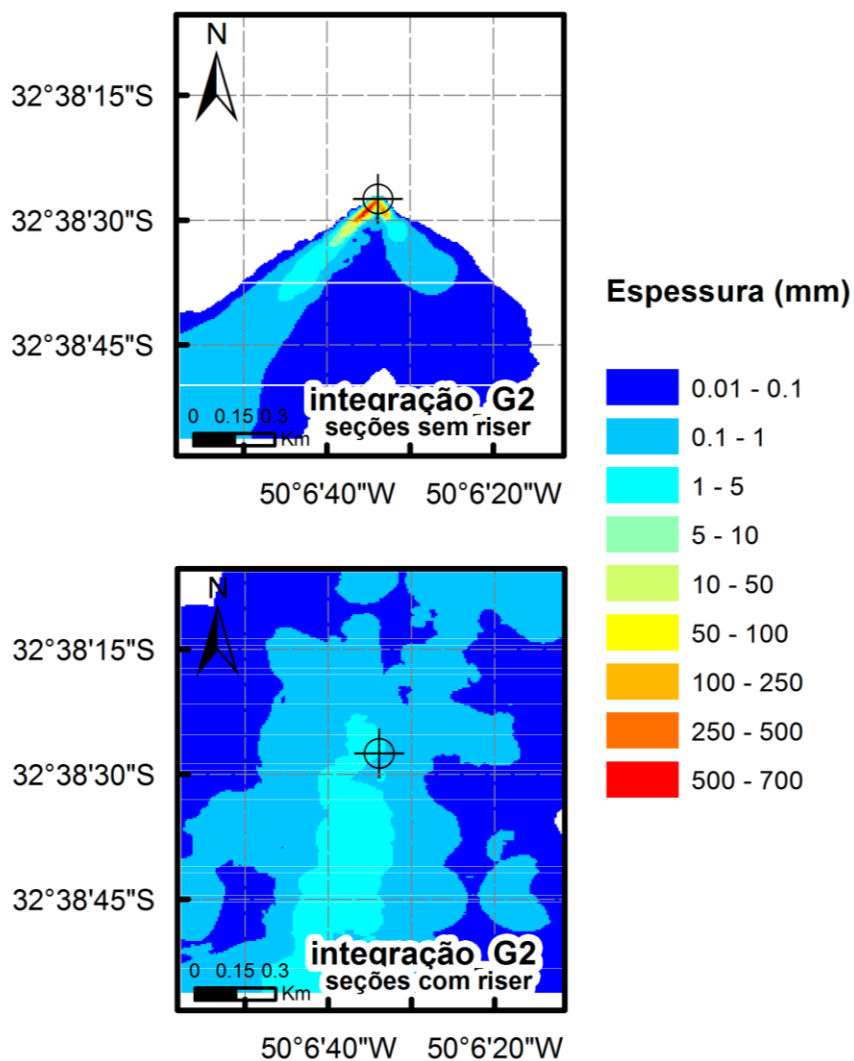


Figura 35: Pilha resultante da integração das seções sem *riser* (painel superior) e com *riser* (painel inferior). Inverno | Grade 2.

A integração dos descartes de todas as seções é apresentada na Figura 36.

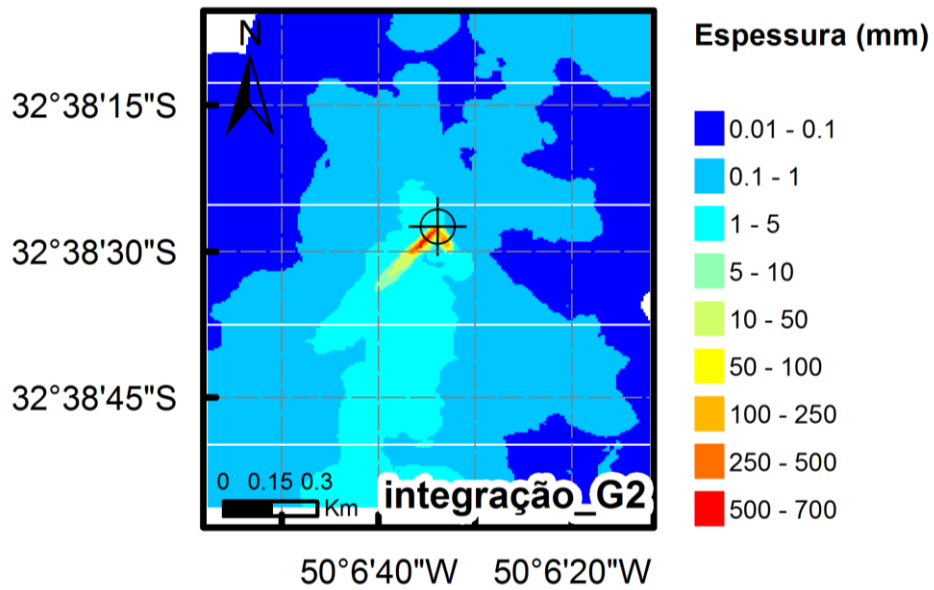


Figura 36: Pilha resultante da integração dos descartes de todas as seções. Inverno | Grade 2.

As pilhas de deposição de cascalho e fluido aderido e de fluido excedente formadas no poço investigativo podem ser observadas na Figura 37.

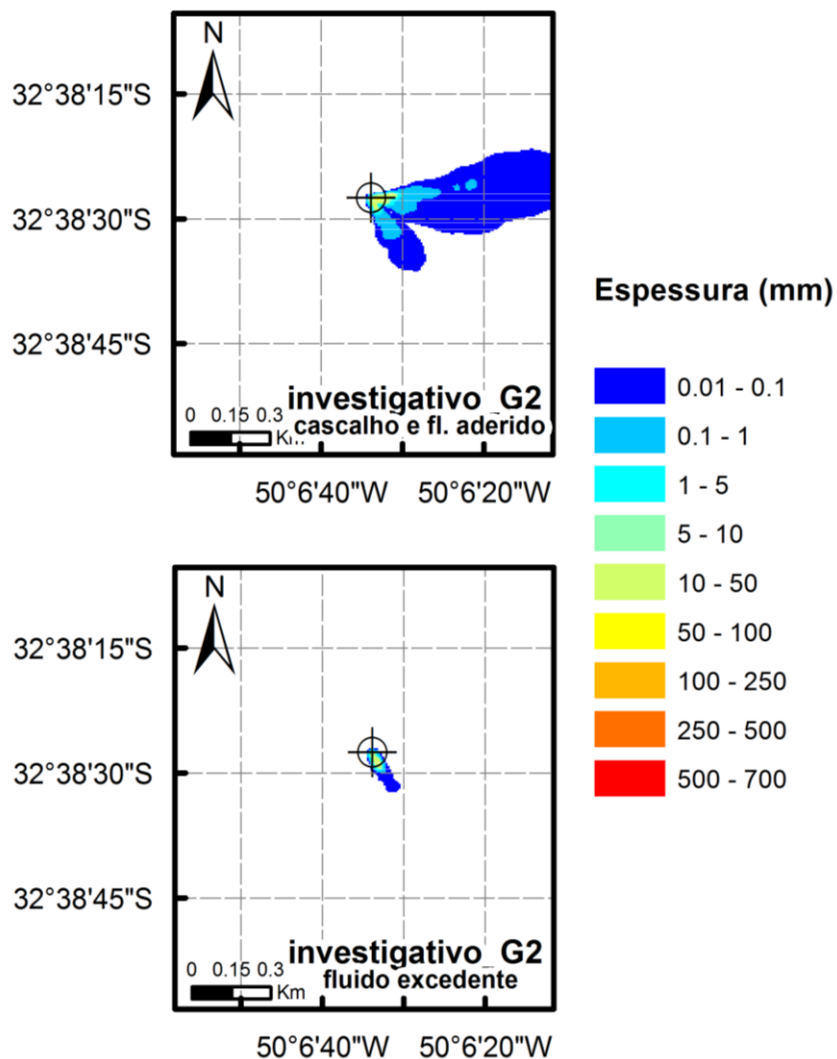


Figura 37: Pilhas de deposição formadas no poço investigativo de descarte de cascalho e fluido aderido (painel superior) e de fluido excedente (painel inferior). Inverno | Grade 2.

A integração das pilhas de deposição formadas no poço investigativo é apresentada na Figura 38.

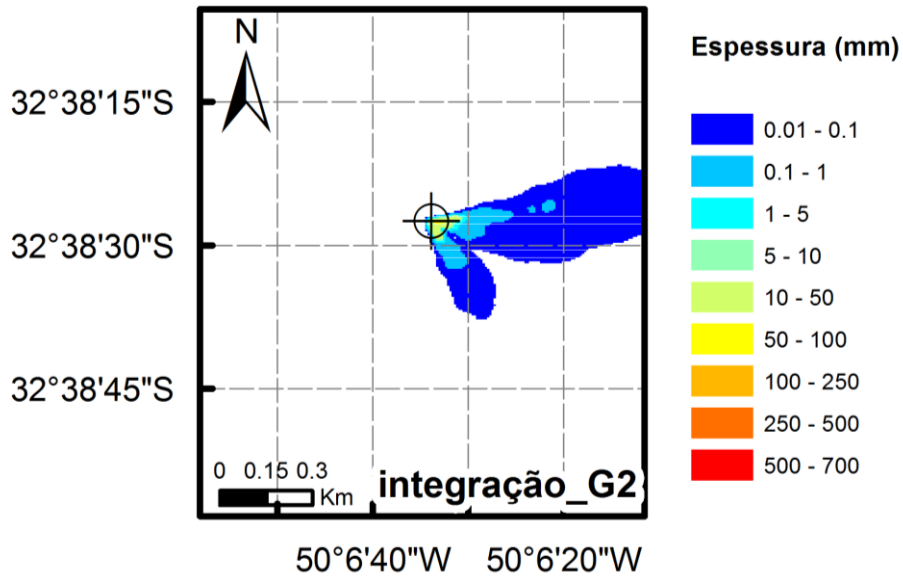


Figura 38: Pilha resultante da integração dos descartes do poço investigativo. Inverno | Grade 2.

A integração de todos os descartes, as sete seções e o poço investigativo, é apresentada na Figura 39.

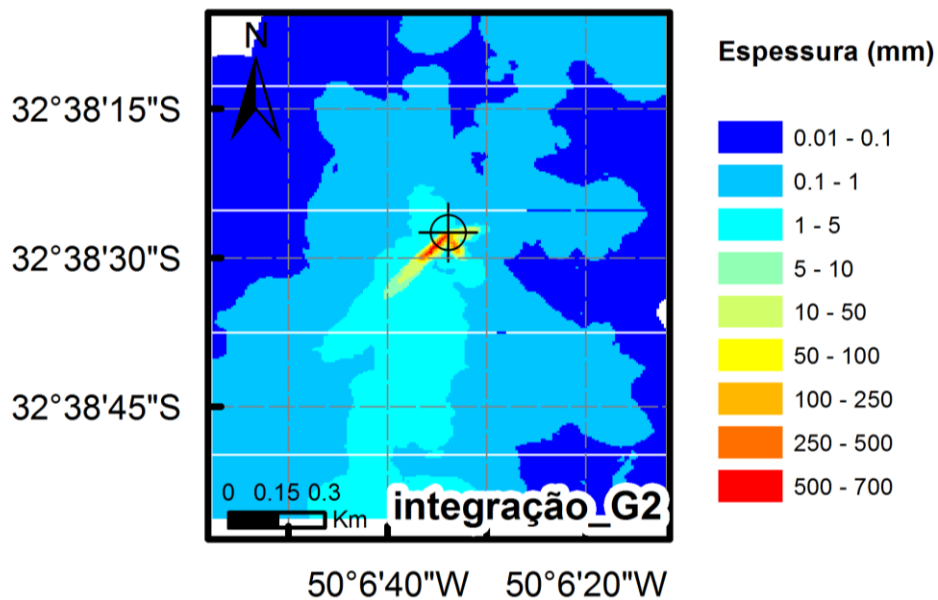


Figura 39: Pilha de deposição resultante da integração de todos os descartes. Inverno | Grade 2.

Um resumo da espessura máxima formada nas pilhas de deposição apresentadas acima é encontrado na Tabela 22, Tabela 23 e Tabela 24.

Tabela 22: Espessura máxima formada nas pilhas de deposição das sete seções previstas no projeto de poço e nas integrações. Inverno | Grade 2.

| Descarte | Espessura máxima (mm) |
|------------------------------------|------------------------------|
| seção 1 | 280,08 |
| seção 2 | 652,68 |
| seção 2 - fluido excedente | 42,28 |
| seção 3 | 2,55 |
| seção 4 | 2,25 |
| seção 5 | 3,43 |
| seção 6 | 1,58 |
| seção 7 | 0,33 |
| INTEGRAÇÃO seções sem riser | 665,66 |
| INTEGRAÇÃO seções com riser | 4,64 |
| INTEGRAÇÃO | 666,62 |

Tabela 23: Espessura máxima formada nas pilhas de deposição do poço investigativo e na integração dos resultados. Inverno | Grade 2.

| Descarte | Espessura máxima (mm) |
|---------------------------------------|------------------------------|
| poço investigativo | 54,96 |
| poço investigativo - fluido excedente | 24,13 |
| INTEGRAÇÃO | 55,15 |

Tabela 24: Espessura máxima formada na pilha de integração de todos os resultados - projeto de poço e poço investigativo. Inverno | Grade 2.

| Descarte | Espessura máxima (mm) |
|--|------------------------------|
| INTEGRAÇÃO - projeto de poço + poço investigativo | 666,62 |

Seguindo a hidrodinâmica apresentada para esse cenário, as pilhas de deposição se orientaram preferencialmente para sudoeste.

Análogo ao ocorrido no cenário de verão, a seção responsável pela maior área foi a seção 6, com 3.064.832 m². O poço investigativo contribuiu com uma área de 145.152 m². A integração de todas as seções e do poço investigativo gerou uma área de 8.367.104 m²

Neste cenário, assim como no de verão, a seção com maior espessura foi a seção 2, com 466,45 mm. O poço investigativo contribuiu com uma espessura de 51,05 mm. A integração de todas as seções e do poço investigativo gerou uma espessura máxima de 533,75 mm.

Novamente, a seção 2 foi a que alcançou maiores distâncias da fonte (3,5 km). Considerando a integração de todas as seções do poço principal e do poço investigativo, a distância máxima da fonte no cenário de inverno foi de 4,9 km.

5.1.3. Localização Guarani e Pampeano

A modelagem deste estudo foi realizada nas coordenadas do poço Pampeano, utilizando-se as informações do projeto de perfuração do poço Guarani. De forma a permitir a comparação entre ambos os poços, os resultados obtidos para a integração das seções e do poço investigativo para a grade 1 foram replicados para o poço Guarani e apresentados abaixo, em conjunto com o Pampeano.

5.1.3.1. Verão

A pilha formada pela integração de todas as seções com o poço investigativo para o poço Guarani e Pampeano é apresentada na Figura 40.

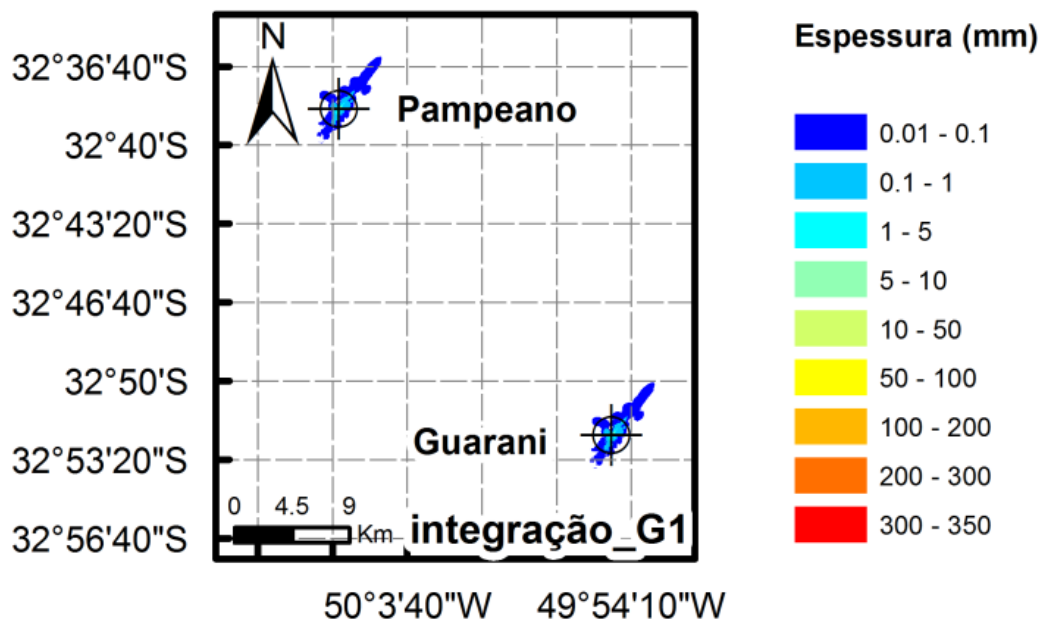


Figura 40: Pilha de deposição resultante da integração de todos os descartes. Localização Pampeano e Guarani | Verão | Grade 1.

5.1.3.2. Inverno

A pilha formada pela integração de todas as seções com o poço investigativo para o poço Pampeano e Guarani é apresentada na Figura 41.

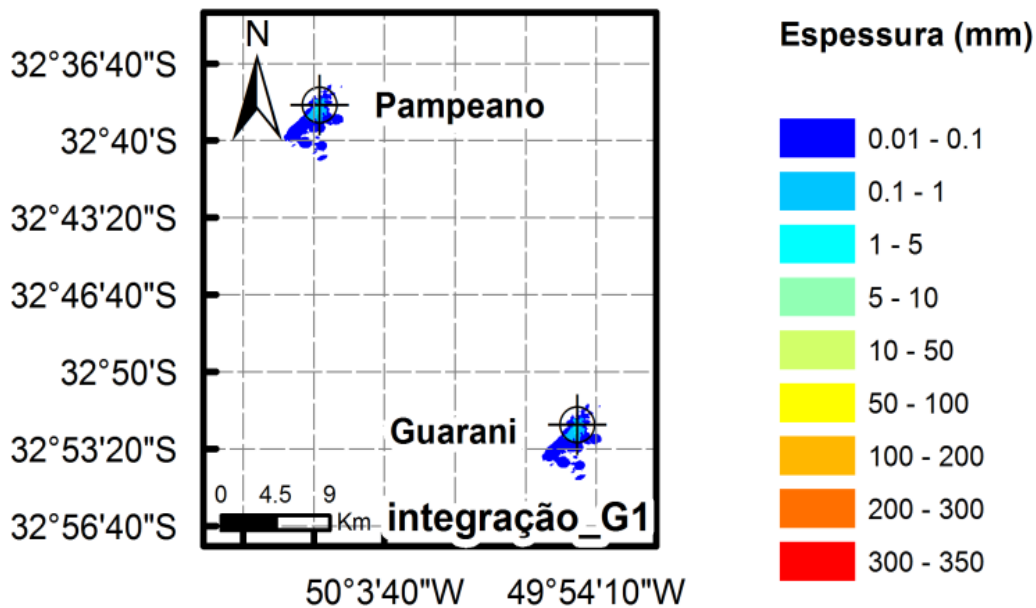


Figura 41: Pilha de deposição resultante da integração de todos os descartes. Localização Pampeano e Guarani | Inverno | Grade 1.

5.2. Sólidos em suspensão

Os resultados dos sólidos em suspensão na coluna d'água serão expostos de dois pontos de vista: uma visão em planta e outra vertical. Será considerada a integração de todas as seções juntamente com o poço investigativo para a localização Pampeano, integrados também no tempo.

Na visão em planta é possível observar toda a extensão e a forma que a pluma de sólidos em suspensão atinge, bem como sua concentração máxima na coluna d'água. Já na visão vertical, foram feitos alguns cortes verticais na pluma com o intuito de apresentar sua dispersão na coluna d'água. De forma a ser o mais conservador possível, a pluma foi monitorada até o limiar de 1 mg/L.

5.2.1. Verão

A visão em planta da concentração máxima de sólidos em suspensão na coluna d'água é apresentada na Figura 42.

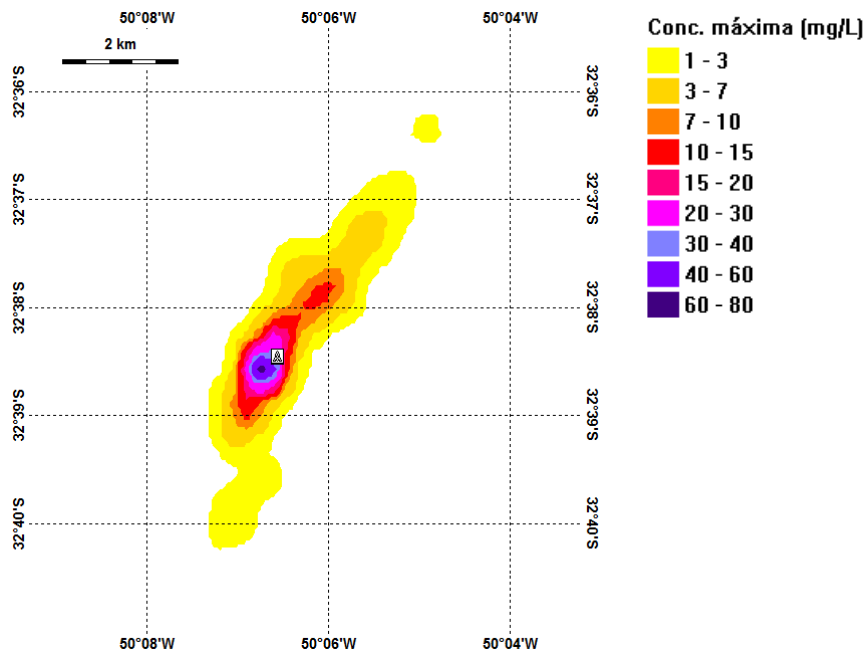


Figura 42: Visão em planta da concentração máxima de sólidos em suspensão na coluna d'água.
Cenário de verão.

Os sólidos em suspensão na coluna d'água apresentaram uma dispersão no eixo sudoeste-nordeste.

Devido à influência de correntes intensas, a pluma atingiu grandes distâncias da fonte com concentrações acima do limiar monitorado, chegando a 5 km do ponto de descarte. É importante lembrar que, apesar dessas distâncias elevadas, a concentração máxima da pluma nessas regiões não chegou a ultrapassar 3 mg/L.

De modo a obter uma melhor visualização do impacto dos sólidos em suspensão na coluna d'água, são apresentados, em cada figura, 4 cortes verticais diferentes (Figura 43, Figura 44, Figura 45 e Figura 46). No painel superior esquerdo é apresentado o local onde foi realizado o corte na pluma, e no painel inferior a visão vertical do corte. A Tabela 25 apresenta a distância da fonte em que esses cortes foram feitos.

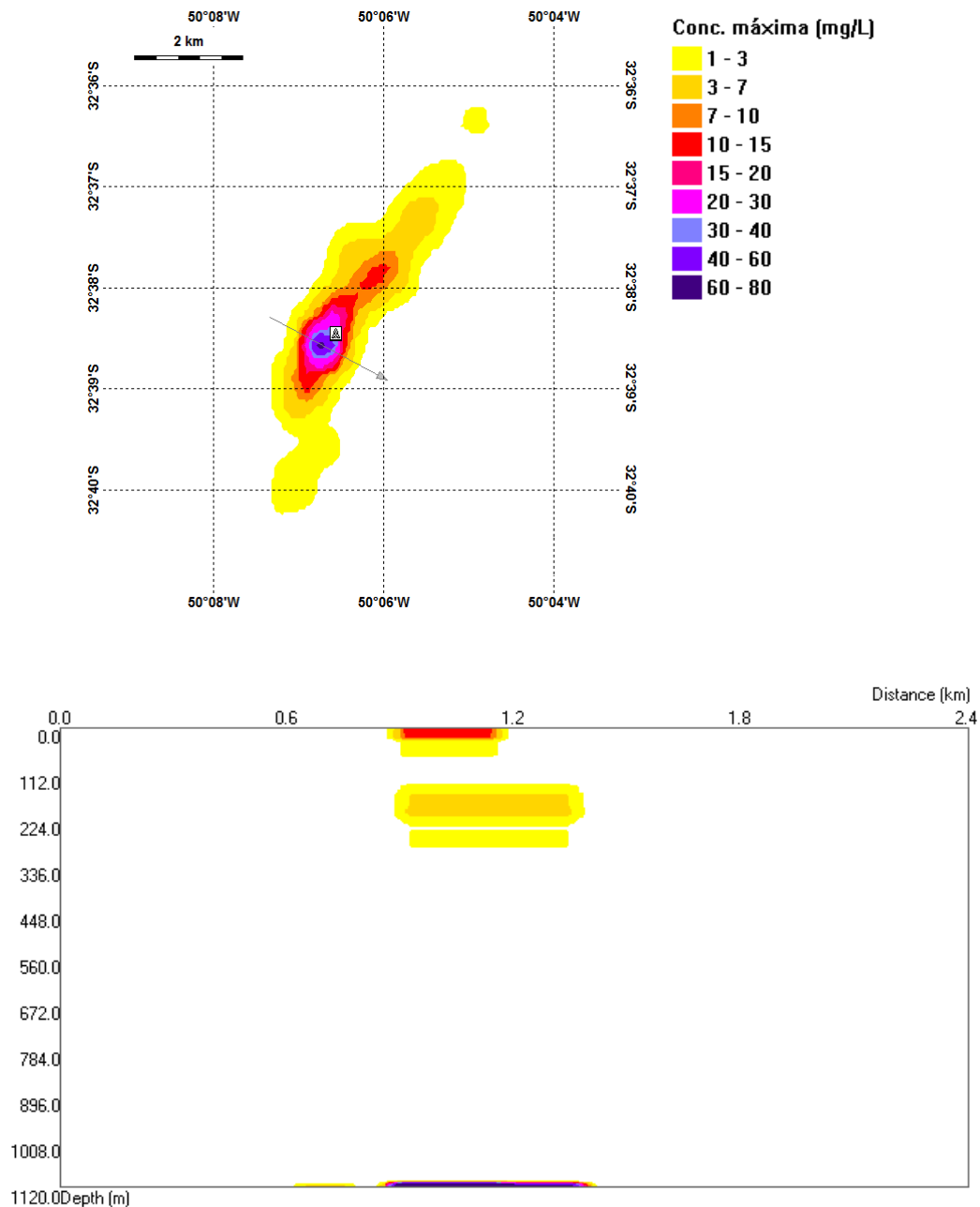


Figura 43: Visão vertical do primeiro corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de verão.

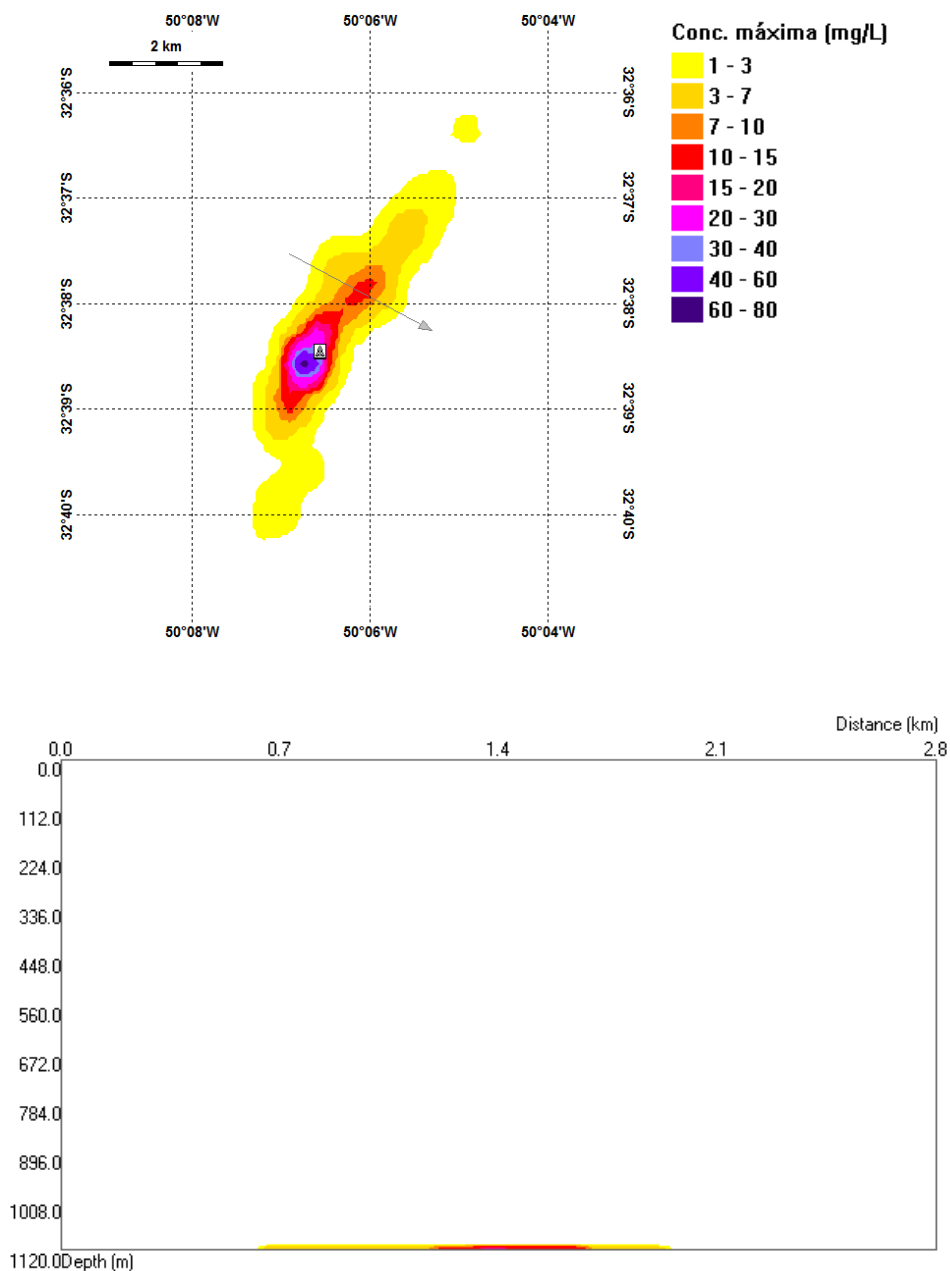


Figura 44: Visão vertical do segundo corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de verão.

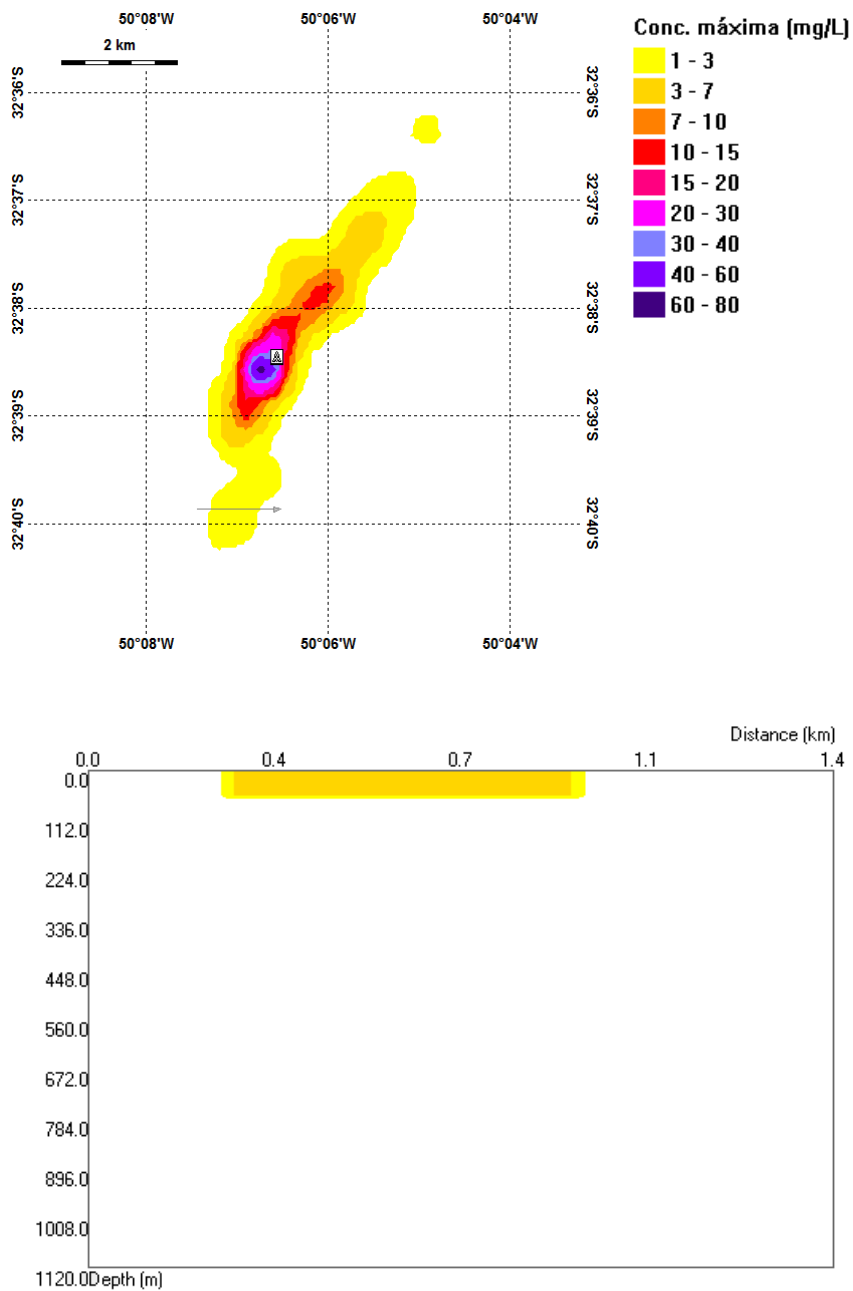


Figura 45: Visão vertical do terceiro corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de verão.

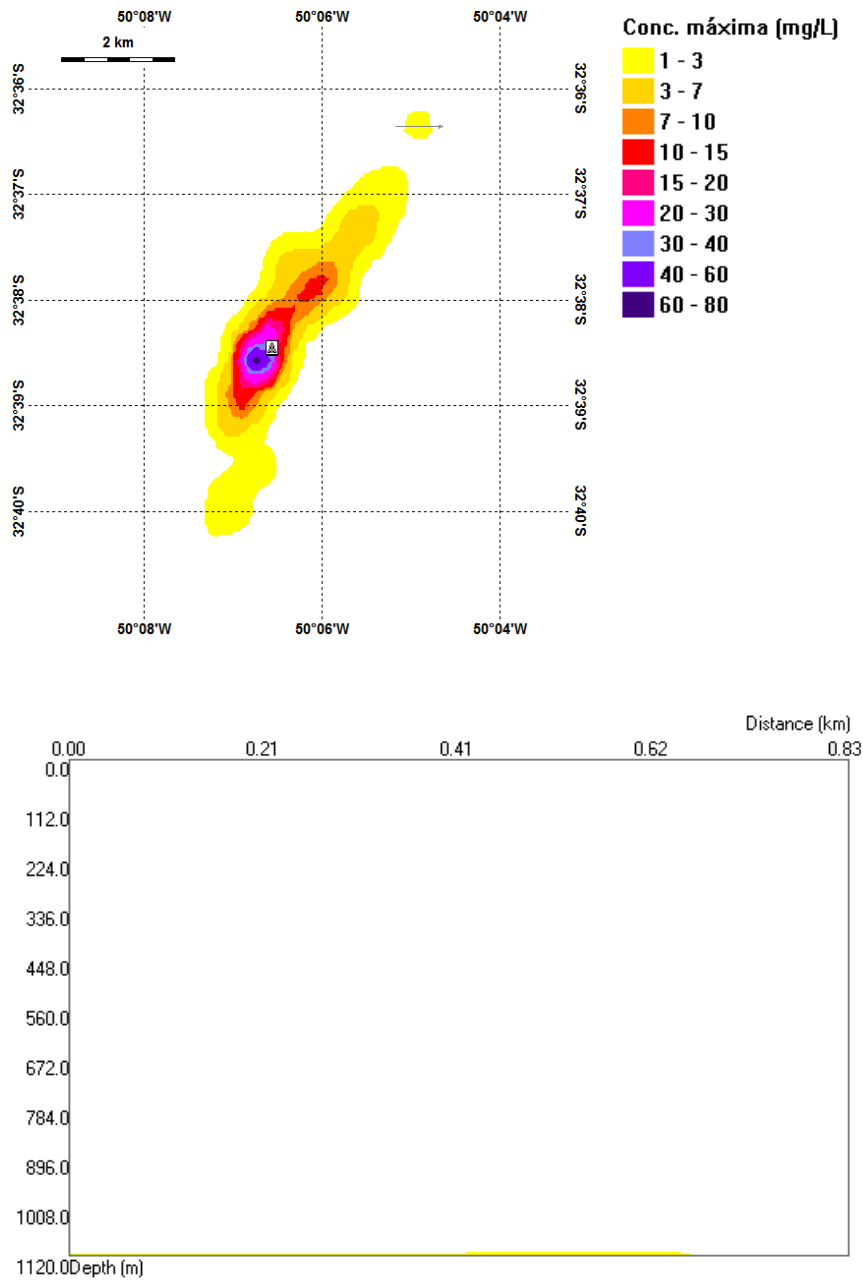


Figura 46: Visão vertical do quarto corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de verão.

Tabela 25: Distância da fonte aproximada para cada corte. Cenário de verão.

| Corte | Distância da fonte (km) |
|--------------|--------------------------------|
| 1 | 0,5 |
| 2 | 1 |
| 3 | 3 |
| 4 | 5 |

O primeiro corte apresentou concentrações máximas entre 60 e 80 mg/L, próximas ao fundo. Na superfície, concentrações entre 10 e 15 mg/L foram observadas. No restante da coluna d'água, a maior concentração foi entre 3 e 7 mg/L. O segundo e o terceiro apresentaram concentrações restritas aos últimos metros de profundidade, variando entre 1 e 3 mg/L e entre 1 e 15 mg/L, respectivamente. Já, o quarto apresentou concentrações máximas restritas aos primeiros metros de profundidade, variando entre 1 e 7 mg/L. Observa-se a presença dos sólidos em suspensão nos primeiros metros da coluna d'água com direção preferencial para sudoeste.

5.2.2. Inverno

A visão em planta da concentração máxima de sólidos em suspensão na coluna d'água é apresentada na Figura 47.

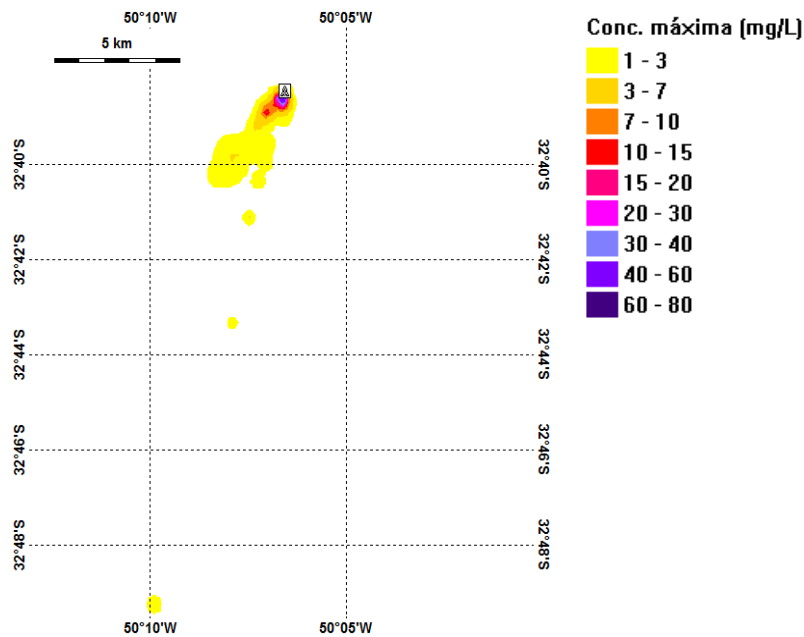


Figura 47: Visão em planta da concentração máxima de sólidos em suspensão na coluna d'água. Cenário de inverno.

Os sólidos em suspensão na coluna d'água apresentaram uma dispersão para sudoeste.

Devido à influência de correntes intensas, a pluma atingiu grandes distâncias da fonte com concentrações acima do limiar monitorado, chegando a 21 km do ponto de descarte. É importante lembrar que, apesar dessas distâncias elevadas, a concentração máxima da pluma nessas regiões não chegou a ultrapassar 3 mg/L.

De modo a obter uma melhor visualização do impacto dos sólidos em suspensão na coluna d'água, são apresentados, em cada figura, 5 cortes verticais diferentes (Figura 48, Figura 49, Figura 50, Figura 51 e Figura 52). No painel superior esquerdo é apresentado o local onde foi realizado o corte na pluma, e no painel inferior a visão vertical do corte. A Tabela 26 apresenta a distância da fonte em que esses cortes foram feitos.

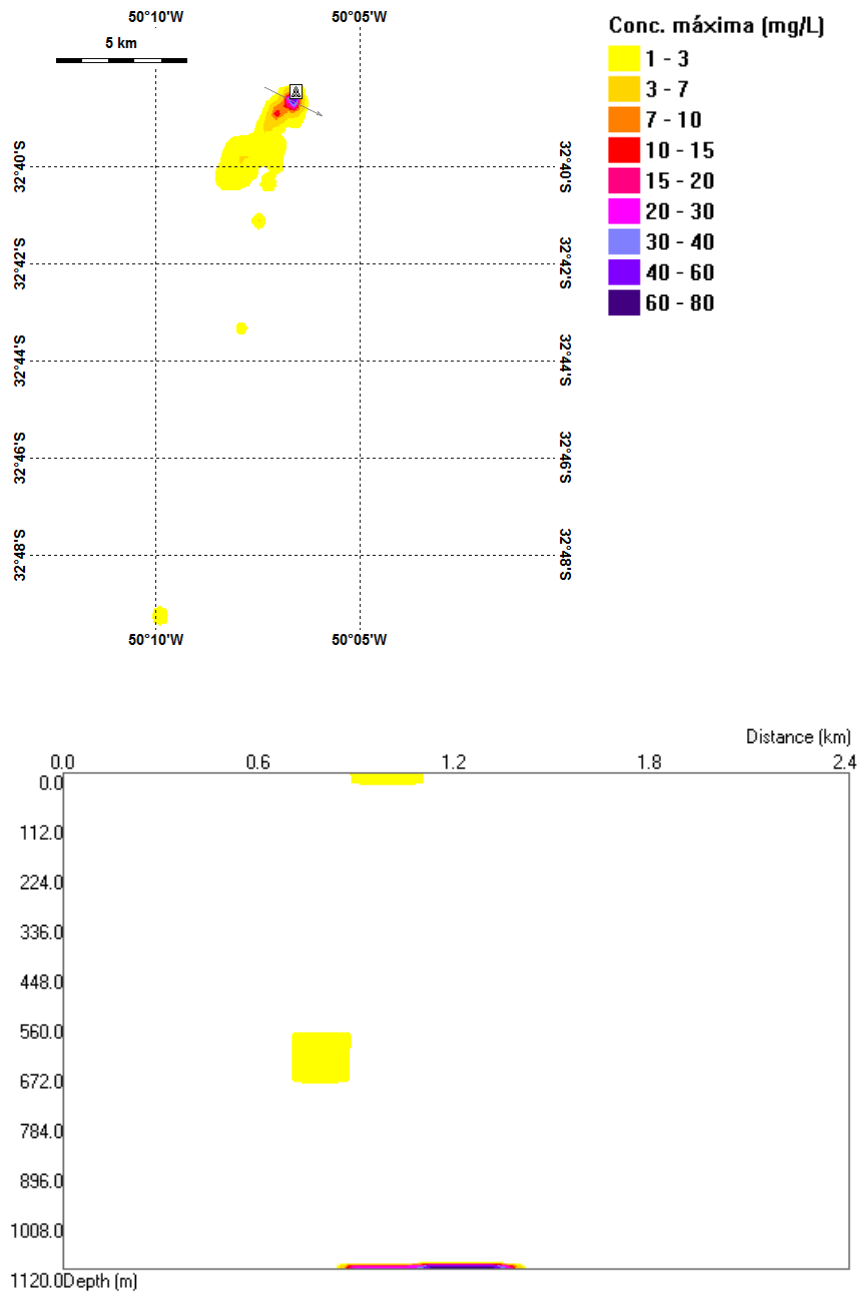


Figura 48: Visão vertical do primeiro corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de inverno.

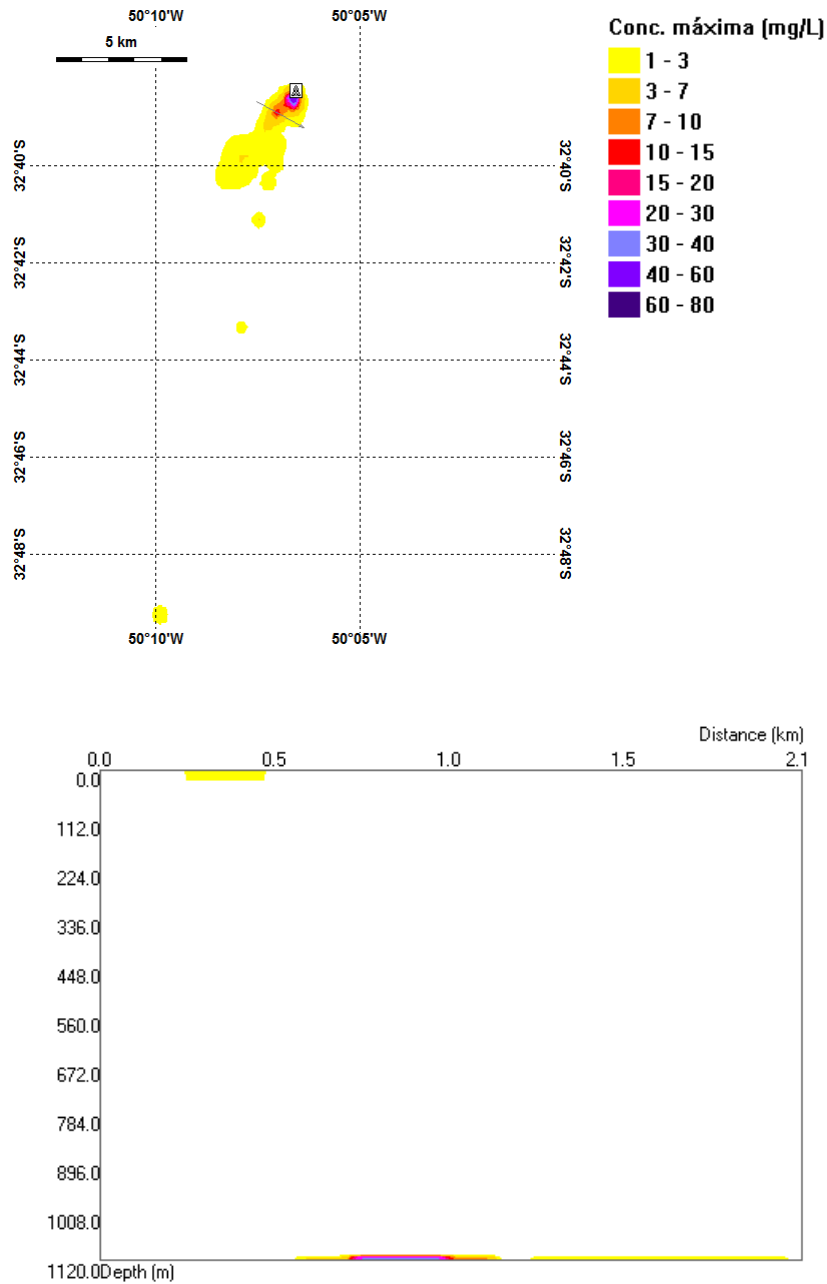


Figura 49: Visão vertical do segundo corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de inverno.

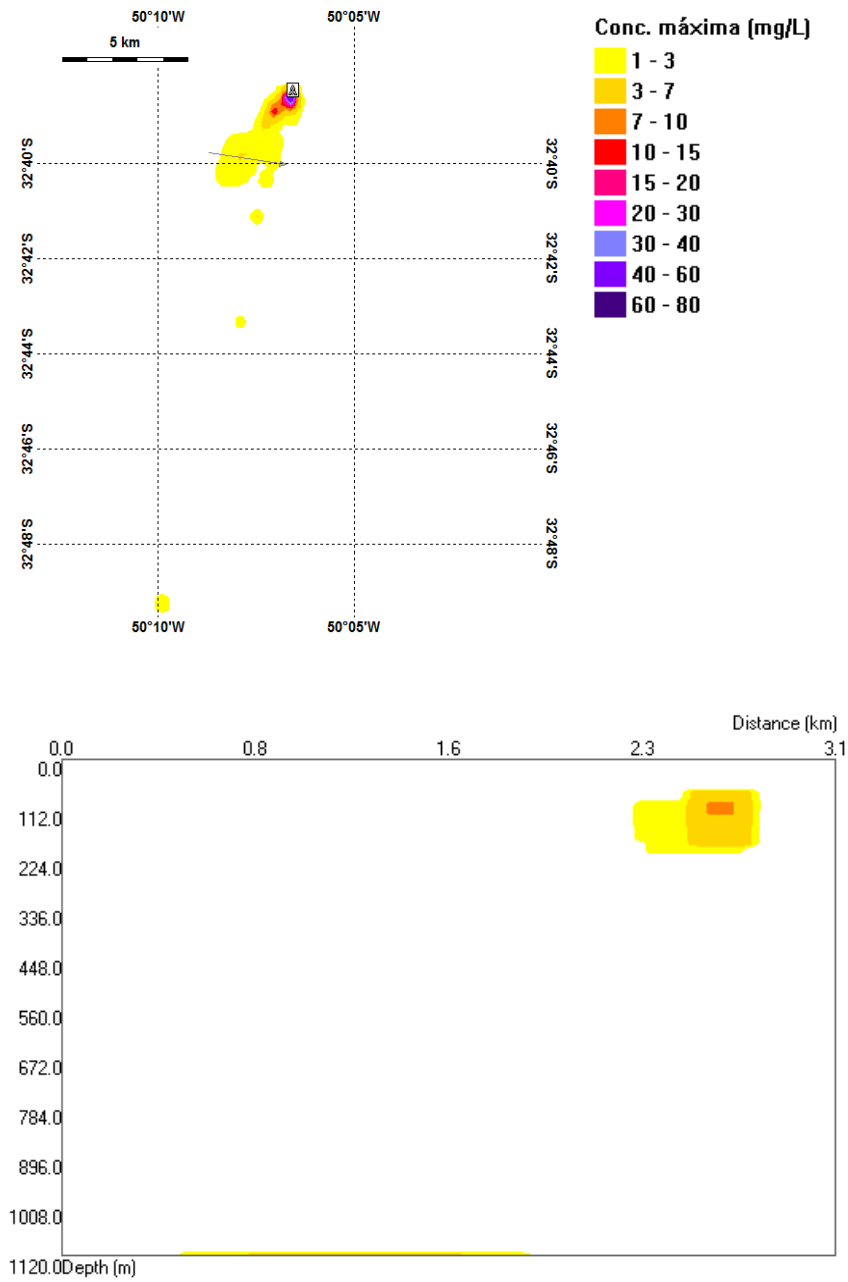


Figura 50: Visão vertical do terceiro corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de inverno.

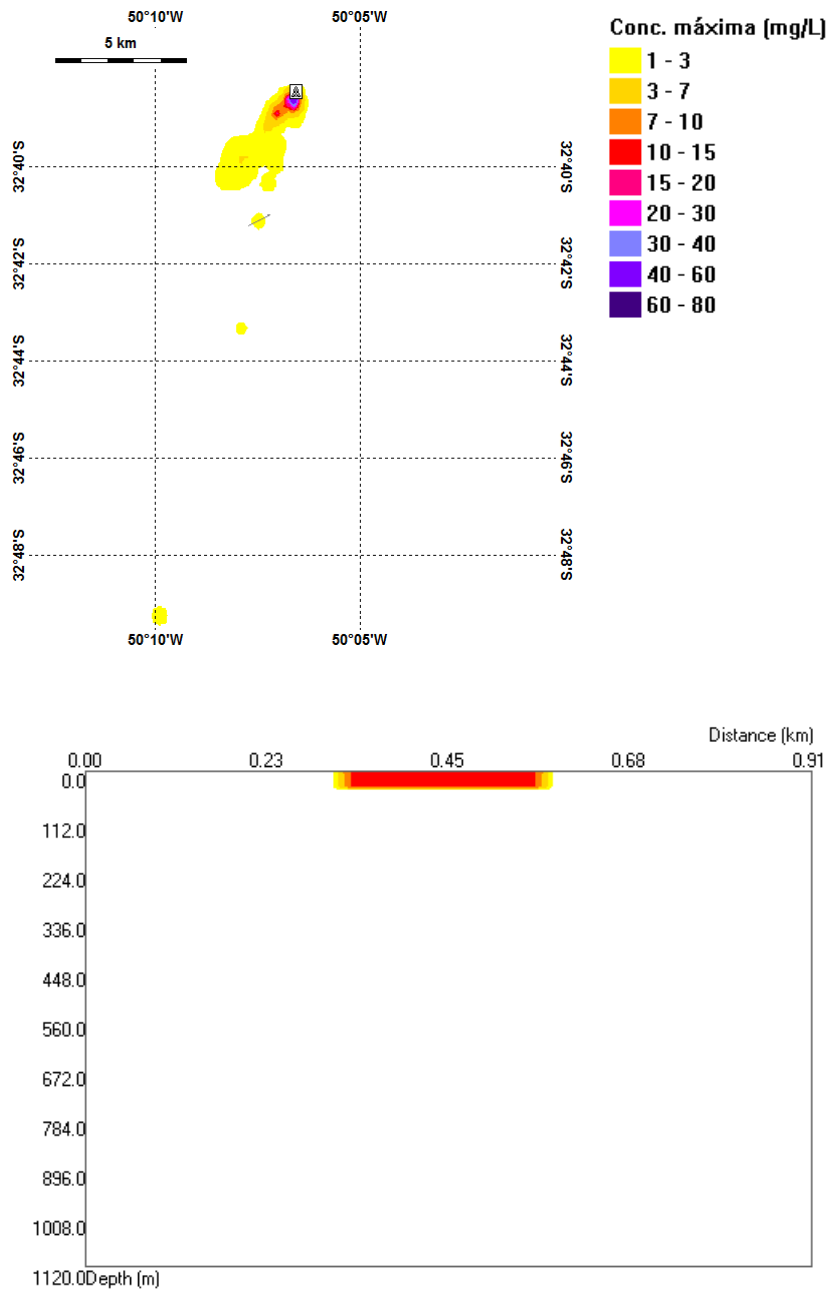


Figura 51: Visão vertical do quarto corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de inverno.

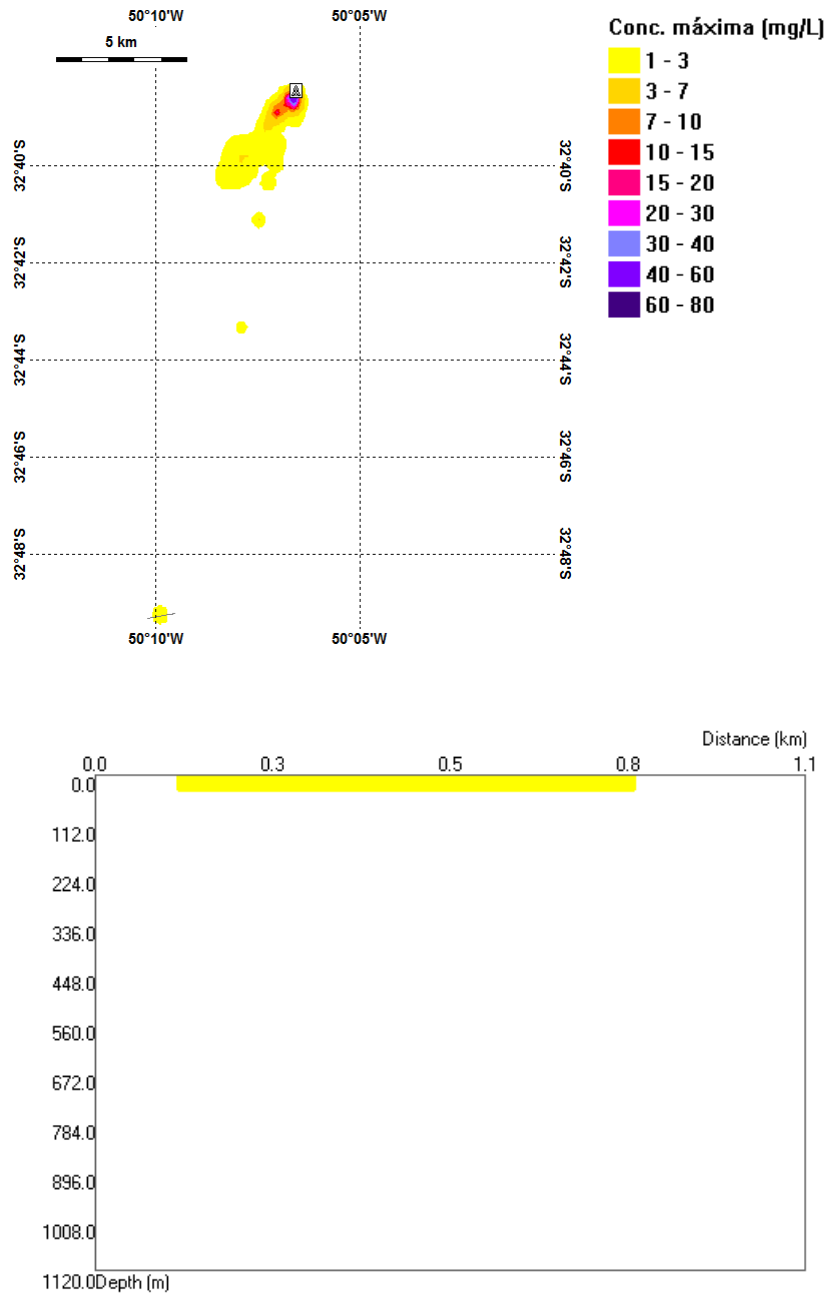


Figura 52: Visão vertical do quinto corte realizado na pluma de sólidos em suspensão (painel inferior). O painel superior apresenta o local do corte. Cenário de inverno.

Tabela 26: Distância da fonte aproximada para cada corte. Cenário de inverno.

| Corte | Distância da fonte (km) |
|--------------|--------------------------------|
| 1 | 0,5 |
| 2 | 1 |
| 3 | 3 |
| 4 | 5 |
| 5 | 21 |

O primeiro e o segundo cortes apresentaram concentrações máximas entre 30 e 40 mg/L, próximas ao fundo. Na superfície, não foram obtidas concentrações superiores a 3 mg/L. O primeiro corte apresentou, ainda, concentrações menores que 3 mg/L no restante da coluna d'água.

O terceiro manteve concentrações inferiores a 3 mg/L em altas profundidades, com concentrações entre 7 e 10 mg/L a aproximadamente 112 m de profundidade. O quarto e o quinto apresentaram concentrações acima do limiar monitorado somente para as camadas superficiais variando entre 10 e 15 mg/L e entre 1 e 3 mg/L, respectivamente.

Comparando os cenários, percebe-se que o verão apresentou maiores concentrações de sólidos em suspensão. Entretanto, é durante o inverno que a pluma atinge maiores distâncias da fonte.

6. Considerações Finais

Simulações numéricas foram realizadas para determinar o comportamento físico do material a ser descartado durante uma atividade de perfuração no bloco BM-P-2, na Bacia de Pelotas.

O projeto de perfuração no bloco BM-P-2 prevê a atividade de dois poços, o Pampeano e o Guarani. Para obter o resultado mais conservador, o projeto de poço que prevê o maior descarte de efluente no mar foi usado no estudo, ou seja, o projeto de poço do Guarani. As simulações foram realizadas na locação do poço Pampeano, por esta atender aos critérios de maior proximidade da costa e menor lâmina d'água. Os resultados foram replicados para a locação do poço Guarani. O projeto de poço consiste na perfuração de sete seções, onde nas duas primeiras será utilizado um fluido de base aquosa e nas demais, um fluido de base sintética. Além disso, foram analisados os resultados de um poço investigativo.

Foram feitas estimativas tanto para a concentração de sólidos em suspensão na coluna d'água quanto para o acúmulo destes no leito marinho. O acúmulo no leito marinho foi calculado em duas grades diferentes, de forma a melhor avaliar tanto a região de maior espessura (grade 2) quanto a área total da deposição (grade 1).

Com base na série temporal de ventos utilizada para o estudo, foram separados dois cenários: verão – de outubro a março e inverno – de abril a setembro. Os cenários ambientais utilizados nas modelagens procuraram reproduzir as principais características oceanográficas da região do bloco.

Em todas as simulações realizadas, o acúmulo do material no leito marinho apresentou uma orientação preferencial no eixo sudoeste-nordeste, assim como as plumas de sólidos em suspensão. Todos os resultados encontrados concordaram com a hidrodinâmica local apresentada para o período analisado.

Em relação ao acúmulo de material no fundo oceânico, o cenário de inverno foi o que apresentou a maior área de deposição (8.916.224 m²) e espessura máxima (666,62 mm).

A seção 6 foi a responsável pela maior área em ambos os cenários sazonais – 3.064.832 m² para o verão e 3.606.016 m² para o inverno. Já a que mais contribuiu para a espessura resultante foi a seção 2, com 466,45 mm no verão e 652,68 mm no inverno.

Os descartes das seções com *riser* foram os que mais contribuíram para a área final, e as seções sem *riser*, com a espessura. Os descartes de fluido excedente e os do poço

investigativo apresentaram uma contribuição ínfima para a formação final das áreas e espessuras.

Para as plumas de sólidos em suspensão optou-se por uma apresentação em planta e também em seções verticais, com o intuito de visualizar a dispersão da pluma e a sua concentração máxima na coluna d'água. Como limiar de corte utilizou-se 1 mg/L. As plumas obtidas no verão apresentaram maiores concentrações de sólidos em suspensão ao longo de toda a região analisada (entre 60 e 80 mg/L) em comparação com o inverno (entre 30 e 40 mg/L). Entretanto, é durante o inverno que a pluma atinge maiores distâncias da fonte.

7. Bibliografia

- BLECK, R. An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-Cartesian coordinates. **Ocean Modelling**, v. 4, n. 1, pp. 55-88, 2002.
- BLECK, R.; HALLIWELL, G.; WALLCRAFT, A.; CARROLL, S.; KELLY, K.; RUSHING, K. 2002. Manual do Usuário: Details of Numerical Code. [online] Disponível via WWW. URL: http://hycom.org/attachments/063_hycom_users_manual.pdf. Acessado em Março de 2012.
- BRANDSMA, M.; SMITH, J. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide, Report and User Guide, Exxon Production Research Company, 1999.
- CHASSIGNET, E. P.; SMITH, L. T.; HALLIWELL, G. R. North Atlantic simulation with the Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM): Impact of the vertical coordinate choice, reference pressure, and termobaricity, **Journal Physical Oceanography**, v. 33, n. 12, pp. 2504-2526, 2003.
- GABIOUX, M. **Estudo Numérico dos meandros e vórtices da corrente do Brasil entre 22°S e 30°S**. Tese de Doutorado em Ciências, Área de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- HYCOM, 2012. Assimilative Global Simulation. [online] Disponível via WWW. URL: <http://www.hycom.org/hycom/overview>. Acessado em Março de 2012.
- HU, S.; KINTNER, R. C. The fall of single liquid drps through water. *AICE Journal* March 1975: 42 – 48, 1975.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M. KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R. The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, pp. 437-470, 1996.
- KISTLER, R.; KALNAY, E.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; KANAMITSU, M.; KOUSKY, V.; DOOL, H.; JENNE, R.; FIORINO, M. The NCEP-NCAR 50 Year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 82, pp. 247-267, 2001.
- NCEP, 2011. REANÁLISES II, [online] Disponível via WWW. URL: <http://www.cdc.noaa.gov/data/reanalysis/reanalysis.shtml>. Acessado em Fevereiro de 2012.

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.

SAGA. 1994. Miljøprogram i forbindelse med brønn 7219/8-1s i Barentshavet". Report from Saga Petroleum a.s. dated 10 March 1994. Saga report R-TIY-0003. Written by J.R. Hasle, H.N. Lie and K. Thorbjørnsen in Norwegian.