



Estudo de Modelagem Numérica

Dispersão das Plumas de Sedimentos
de Dragagem, Overflow e Descarte da
Ampliação do Imetame Logística Porto,
Aracruz, ES

Cliente: IMETAME LOGÍSTICA PORTO

RT OD 2026-271A | MAR 2026

OceanoDigital 



Relatório Técnico:

Modelagem Numérica de Dispersão das Plumas de Sedimentos de Dragagem, Overflow e Descarte da Ampliação do Imetame Logística Porto, Aracruz, ES

Cliente:

IMETAME Logística Porto

Equipe Técnica:

Alexandre Braga Coli
[Oceanógrafo, PhD em Engenharia Costeira]

Sandra Fachin
[Oceanógrafa, MSc em Geologia Marinha]

OceanoDigital

INDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Escopo do Estudo	2
1.2 Área de Estudo	3
1.2.1 Imetame Logística Porto	5
1.2.2 Operação de Dragagem e Descarte	6
1.2.3 Area de Disposição Oceânica (Bota-Fora)	8
2. MODELAGEM HIDRODINÂMICA	10
2.1 Introdução	10
2.2 Modelo Numérico Hidrodinâmico	10
2.3 Estratégia da Modelagem Hidrodinâmica	11
2.3.1 Dados e Domínio Computacional	12
2.4 Resultados da Modelagem Hidrodinâmica	13
3. MODELAGEM DAS PLUMAS DE DRAGAGEM E OVERFLOW	26
3.1 Modelo Numérico	26
3.2 Estratégia da Modelagem das Plumias	27
3.2.1 Características dos Sedimentos para a Modelagem	27
3.2.2 Características da Operação de Dragagem e Overflow	29
3.3 Resultados das Plumias de Dragagem e Overflow	32
3.3.1 Plumias Determinísticas	32
3.3.2 Concentração Máxima de Sedimentos	48
3.3.3 Probabilidade de Ocorrência	56
4. MODELAGEM DAS PLUMAS DE DESCARTE	66
4.1 Introdução	66
4.2 Estratégia da Modelagem das Plumias de Descarte	66
4.2.1 Características dos Sedimentos para as Plumias de Descarte	66
4.2.2 Características da Operação de Descarte para Modelagem	67
4.3 Resultados das Plumias de Descarte	69
4.3.1 Plumias Determinísticas	69

4.3.2 Concentração Máxima de Sedimentos	73
4.3.3 Probabilidade de Ocorrência das Plumas de Descarte	76
5. CONCLUSÕES	80
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXO A. DADOS E DOMÍNIO COMPUTACIONAL	85
ANEXO B. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO	101

1. INTRODUÇÃO

O Imetame Logística Porto está localizado no litoral centro-norte do estado do Espírito Santo, no município de Aracruz, em Barra do Riacho (Figura 1-1).

Para a expansão do Imetame Logística Porto, está previsto o aprofundamento do Terminal de Granéis Líquidos, bacia de desaceleração e do canal de acesso existente, incluindo sua extensão de 850 m para aproximadamente 8 km. Essas intervenções envolvem a execução de obras de dragagem e a definição de uma nova área oceânica para disposição do material dragado. A área pleiteada para o novo bota-fora localiza-se a aproximadamente 5,8 milhas náuticas da costa.

Neste contexto, o presente relatório apresenta os estudos realizados para avaliar o comportamento hidrodinâmico, a dispersão e o alcance das plumas de sedimentos geradas durante as operações de dragagem e descartes sucessivos do material sedimentar na área prevista para o novo bota-fora.

Este estudo visa fornecer subsídios técnicos aos estudos ambientais conduzidos pelo Imetame Logística Porto para o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA), para o processo de licenciamento ambiental para realização da dragagem de aprofundamento e posterior disposição deste material em um novo bota-fora marinho.



Figura 1-1. Imetame Logística Porto na região costeira de Barra do Riacho em Aracruz (ES): projeto conceitual, estruturas atuais. Fonte Imagens: IMETAME, Google Earth.

1.1 Escopo do Estudo

O presente estudo tem como objetivo caracterizar o transporte e a dispersão de sedimentos em suspensão gerados durante as operações de dragagem, overflow e disposição de material dragado na área do novo bota-fora marinho do Imetame Logística Porto.

As etapas principais deste trabalho incluíram:

- i. Compilação e análise dos dados de entrada utilizados na modelagem, incluindo informações batimétricas, sedimentológicas e meteoceanográficas (ventos e marés), utilizadas para a definição dos cenários representativos da região de estudo.
- ii. Implementação do modelo hidrodinâmico, incluindo a construção do domínio computacional e a definição das condições de contorno.
- iii. Calibração e validação do modelo hidrodinâmico com base em medições obtidas *in situ*.
- iv. Simulação dos cenários hidrodinâmicos tridimensionais representativos da região de estudo.
- v. Simulação do transporte e dispersão das plumas de sedimentos geradas durante as operações de dragagem e overflow na área a ser dragada.
- vi. Simulação do transporte e dispersão das plumas de sedimentos geradas durante as operações de disposição do material dragado na área de bota-fora.
- vii. Análise determinística e probabilística da dispersão das plumas de sedimentos, considerando os diferentes cenários meteoceanográficos simulados e resultados obtidos.

As simulações foram realizadas com o pacote de modelos Delft3D, desenvolvido pela Deltares e licenciado para uso pela Oceano Digital. O Delft3D é um sistema integrado de modelos numéricos amplamente utilizado para a simulação de processos hidrodinâmicos, transporte de sedimentos e qualidade da água em ambientes costeiros, estuarinos e marinhos.

Este relatório está organizado da seguinte forma, neste Capítulo são apresentados o escopo do estudo, a abrangência do trabalho e a caracterização geral da área de estudo. O Capítulo 2 descreve e apresenta os resultados da modelagem hidrodinâmica implementada. O Capítulo 3 apresenta a estratégia e os resultados da modelagem do transporte e da dispersão das plumas de sedimentos associadas às operações de dragagem e overflow na área de dragagem. O Capítulo 4 apresenta os resultados da modelagem da dispersão das plumas de sedimentos geradas durante as operações de disposição do material dragado na área de bota-fora oceânico. As conclusões do estudo são apresentadas no Capítulo 5. Os conjuntos de dados meteoceanográficos,

batimétricos e sedimentares utilizados neste estudo, bem como a configuração do domínio computacional dos modelos numéricos, são apresentados no Anexo A. A calibração e validação do modelo hidrodinâmico são descritas no Anexo B.

1.2 Área de Estudo

A área de estudo situa-se na região marinha do litoral centro-norte do Estado do Espírito Santo (ES), abrangendo o setor oceânico adjacente ao **Imetame Logística Porto**, onde se localiza a nova área de disposição oceânica de material dragado (bota-fora) do empreendimento (Figura 1.2-1).

A caracterização detalhada da área de estudo pode ser encontrada nos Estudos de Impacto Ambiental EIA da Imetame (Cepemar, 2011; Elementus, 2024). No presente relatório, são apresentadas as informações de contextualização relevantes para a modelagem numérica desenvolvida nos estudos de dragagem e descarte previstos.

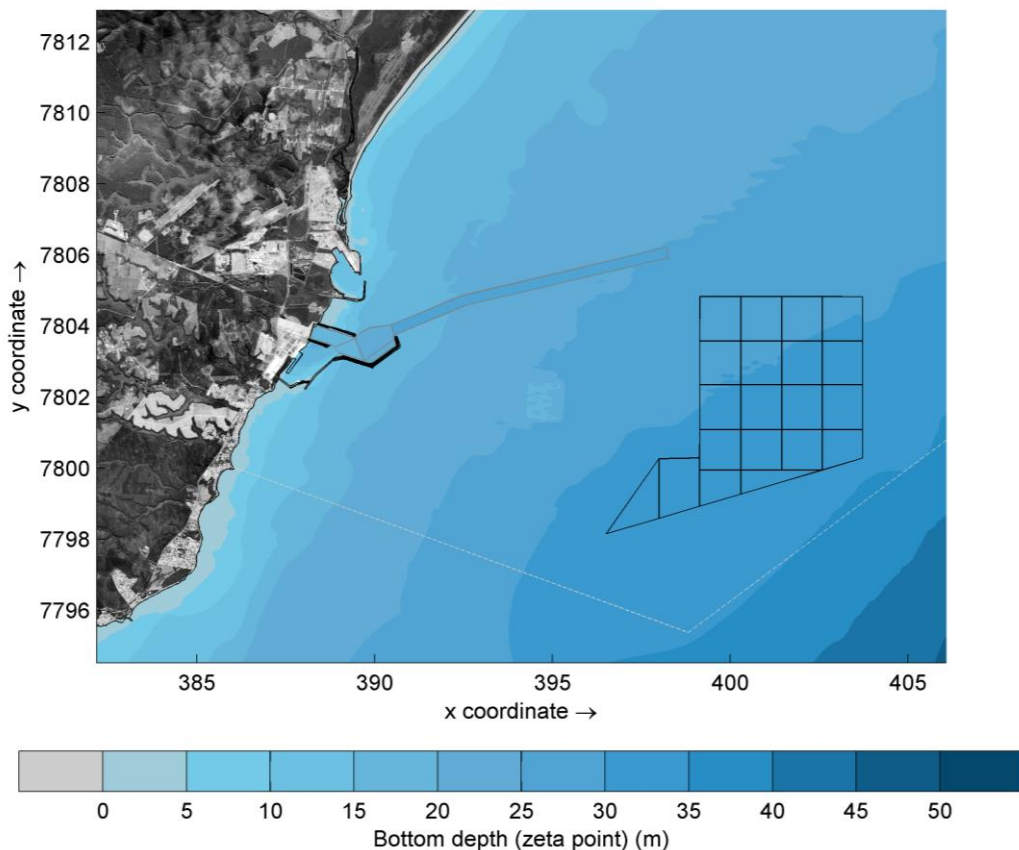


Figura 1.2-1. Área marinha abrangendo a área de dragagem e a área do bota-fora.

A orientação geral da linha de costa nesse trecho do litoral apresenta um alinhamento NE-SW, enquanto ao norte do Rio Doce e ao sul de Nova Almeida, o alinhamento litorâneo segue a direção N-S. O relevo submarino regional é caracterizado por uma plataforma continental estreita, com uma largura de aproximadamente 40 km.

Na região adjacente ao empreendimento destacam-se, ao sul, os rios Piraquê-Açu e Reis Magos, além dos córregos Piranema e Barra do Sahy, enquanto ao norte situam-se o Rio Riacho e o Rio Doce (Figura 1.2-2).

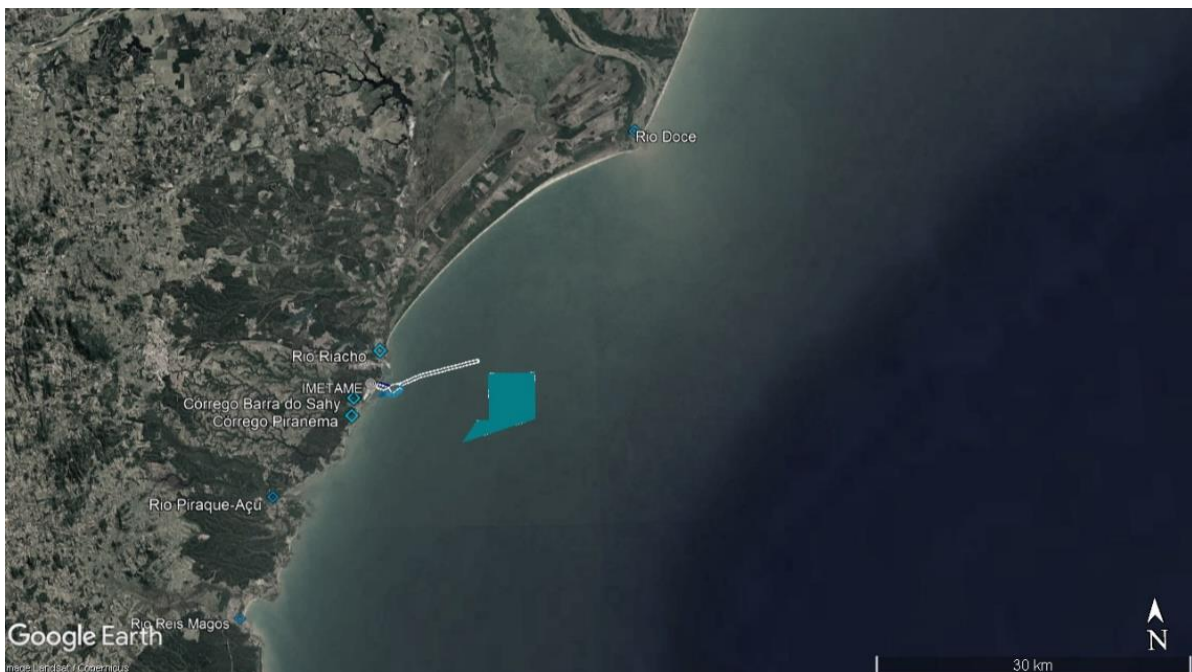


Figura 1.2-2. Linha de costa com a indicação dos principais rios e córregos e orientação aproximada NE-SW. Imagem: Google Earth.

As concentrações naturais de sólidos suspensos totais (SST) na região costeira de Aracruz obtidas nas campanhas de monitoramento efetuado pela Imetame (Ambipar, 2025), indicam concentrações de SST entre 1 e 58 mg/L, com valor médio de aproximadamente 10 mg/L, caracterizando o nível de background sedimentar da região.

Com relação as principais Unidades de Conservação costeiras e marinhas da região, cita-se o Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) de Santa Cruz, a Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas, a REBIO de Comboios e a APA da Foz do Rio Doce.

As duas primeiras estão situadas ao sul do Imetame Logística Porto, no município de Aracruz, enquanto a REBIO de Comboios localiza-se ao norte, próxima à foz do Rio Doce (Figura 1.2-3). A APA Costa das Algas inicia-se cerca de 4 km ao sul do quebramar leste da Imetame (altura da Praia da Barra do Sahy) e se estende por aproximadamente 29 km, até a Praia de Costa Bela, no município da Serra. O REVIS de Santa Cruz inicia-se

cerca de 11 km ao sul do quebramar (Praia da Sauna) e se estende por cerca de 19 km, até a Praia de Gramuté. A norte, a REBIO de Comboios abrange o trecho entre a Praia de Comboios (±23 km ao norte do quebramar) e a foz do Rio Doce (±36 km).



Figura 1.2-3. Unidades de Conservação presentes na região de estudo: Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) de Santa Cruz e a Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas (ao sul da Imetame), a REBIO de Comboios e a APA da Foz do Rio Doce (a norte). Imagem: Google Earth.

1.2.1 Imetame Logística Porto

O Imetame Logística Porto terá quatro terminais portuários, o Terminal de Contêineres (TECON), o Terminal de Granéis Líquidos (TGL), o Terminal Multipropósito (TMULT) e o Terminal de Grãos (TGRÃO).

O terminal portuário está limitado, ao norte, por um quebramar de 1100 metros de comprimento e à leste, por um quebramar de 2300 metros, que se expande a partir do quebramar leste já existente do estaleiro Seatrium Aracruz (Jurong). Ao Sul está limitado pelo quebra-mar e o conjunto das estruturas portuárias do estaleiro. O canal de acesso marítimo do Imetame Logística Porto será compartilhado com o Estaleiro Seatrium.

O canal de acesso e a bacia de manobra serão aprofundados para poder receber navios VLCC com calado de até 21 m, visando as operações *Ship-to-Ship* nos berços dedicados do Terminal de Granéis Líquidos (TGL), assim como receber navios contêineres de grande porte.

Para esse fim, a bacia de desaceleração de manobras será dragada a -23 m DHN, os berços de atracação do quebra-mar leste serão dragados à -22 m e o canal de acesso terá sua profundidade aprofundada para -25 m DHN, com uma largura de 293 m. A área da Dársena e bacia interna de manobra serão mantidas a -17 m DHN (Berços 01 a 07). A extensão do canal de acesso será de 7150 m, passando para um total aproximado de 8000 m.

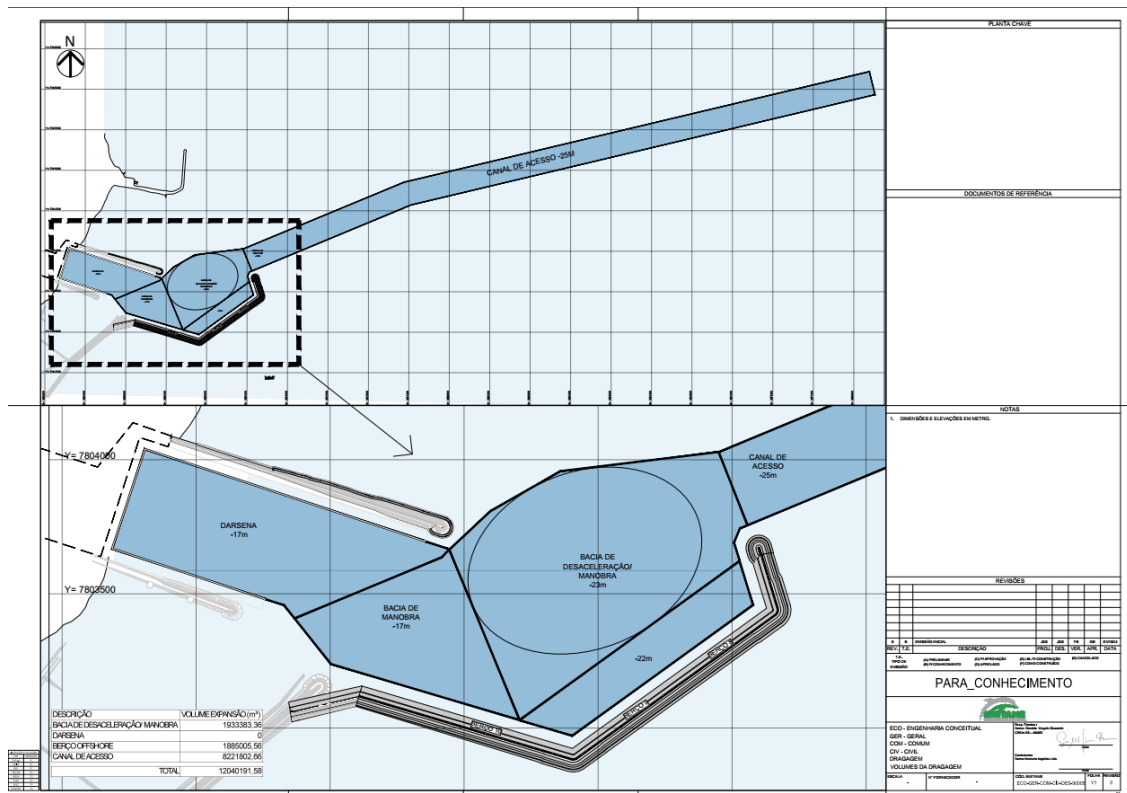


Figura 1.2.1-1. Terminal portuário Imetame Logística Porto e o projeto das estruturas portuárias e vias de acesso. Fonte: Imetame Logística Porto.

1.2.2 Operação de Dragagem e Descarte

Nesse estudo, a operação de dragagem e descarte refere-se ao aprofundamento da bacia de manobra, berços offshore e o canal de acesso e prevê a remoção de um volume total de 12040191.58 m³ de material sedimentar, segundo o delineamento do projeto apresentado em Figura 1.2.1-1. Esse material será destinado à disposição na nova área de bota-fora marinho prevista.

As informações sobre as operações e ciclos previstos de dragagem e descarte foram fornecidas pelo Imetame Logística Porto. A dragagem será realizada por draga de

arrasto e sucção tipo TSHD (*Trailing Suction Hopper Dredger*), com capacidade total de cisterna de 2.950 m³. Considerando uma eficiência operacional estimada de 50%, o volume médio efetivo transportado por ciclo é de aproximadamente 1.475 m³ de sedimentos. A TSHD remove o material do fundo por meio de um *draghead*, equipado com sistema de sucção e jatos de água para desagregação do sedimento. O material dragado é transportado por tubulações até a cisterna da embarcação (Figura 1.2.2-1).



Figura 1.2.2-1. Exemplo de draga de arrasto e sucção (Hopper). Fonte: ROYAL IHC.

A dragagem a ser realizada pela Hopper prevê a retirada de sedimentos em ciclos de operação, no qual o processo inicia-se com a fase de carga por sucção durante a dragagem, com duração aproximada de 60 minutos. Durante a fase final de carregamento ocorre overflow controlado, com duração aproximada de 10 minutos, processo no qual parte da água sobrenadante é liberada ao mar, promovendo o aumento da concentração de sedimentos na cisterna e a eliminação do excesso de água.

Após o carregamento, a embarcação desloca-se até a área de disposição oceânica, cujo limite mais próximo localiza-se a aproximadamente 11 km da área de dragagem, com tempo médio de navegação de cerca de 75 minutos.

Na área de bota-fora, o descarte ocorre por abertura das comportas inferiores da cisterna, com duração média de 10 minutos, liberando o material sedimentar para deposição no fundo e formação da pluma de sedimentos em suspensão.

Considerando as etapas de dragagem, overflow, deslocamento, descarte e retorno à área de dragagem, o tempo total estimado de um ciclo operacional é de cerca de 230 minutos, resultando em até 6 ciclos de dragagem e descarte por dia. A Tabela 1.2.2-1 sintetiza as principais características da operação de dragagem e descarte.

Tabela 1.2.2-1. Resumo das características das operações de dragagem e descarte.

Características da Operação de Dragagem/Descarte		
Tipo de draga		Hopper
Volume total a ser dragado	m ³	12040191.58
Capacidade total da cisterna batelão	m ³	2950
Tempo de duração da dragagem	min	60
Tempo de Overflow	min	10
Tempo de viagem (ida e volta)	min	150
Tempo de descarte	min	10
Distância mínima de descarte (bota-fora)	Km	9.8
Número de ciclos /dia		6

1.2.3 Área de Disposição Oceânica (bota-fora)

A área do novo bota-fora projetado para a disposição de material sedimentar dragado da área portuária localiza-se na plataforma interna da região marinha de Aracruz, em frente ao Imetame Logística Porto (Figura 1.2.3-1), cujos vértices do polígono são apresentados na Tabela 1.2.3-1.

O bota-fora está localizado entre as isóbatas de 27 e 35 m (DHN) de profundidade, à uma distância de aproximadamente 10-12 km da linha de costa, considerando a distância mínima entre a linha de costa o polígono de disposição oceânica.

O polígono do bota-fora tem uma área de aproximadamente 26,9 km², subdividido em 20 quadrantes de disposição (Figura 1.2.3-1).

Tabela 1.2.3-1. Coordenadas geográficas dos vértices do polígono de disposição de sedimentos dragados (bota-fora). Coordenadas UTM e Datum SIRGAS 2000.

VERTICES	COORDENADAS X (m)	COORDENADAS Y (m)
NBF_V1	399144.311	7804832.955
NBF_V2	403710.042	7804828.083
NBF_V3	403714.385	7800287.672
NBF_V4	396506.433	7798155.918
NBF_V5	397388.736	7800266.135
NBF_V6	399136.625	7800286.709

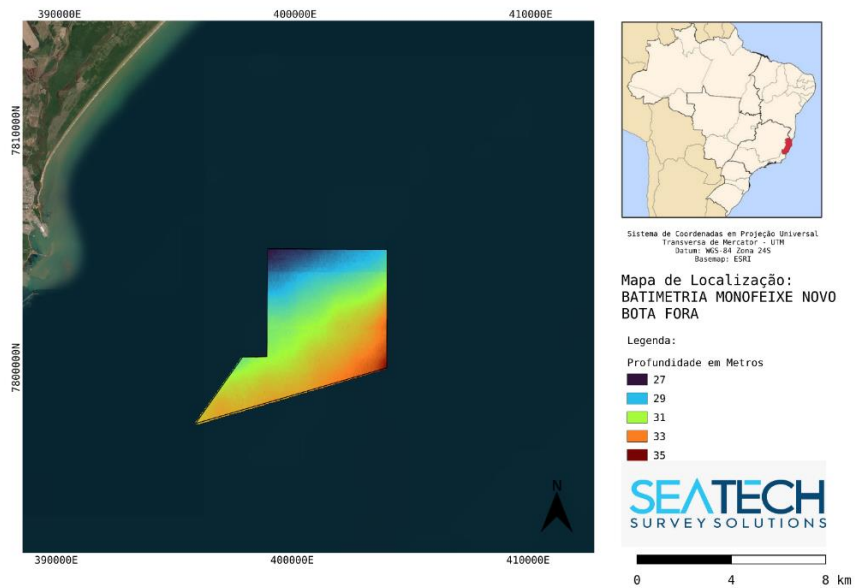
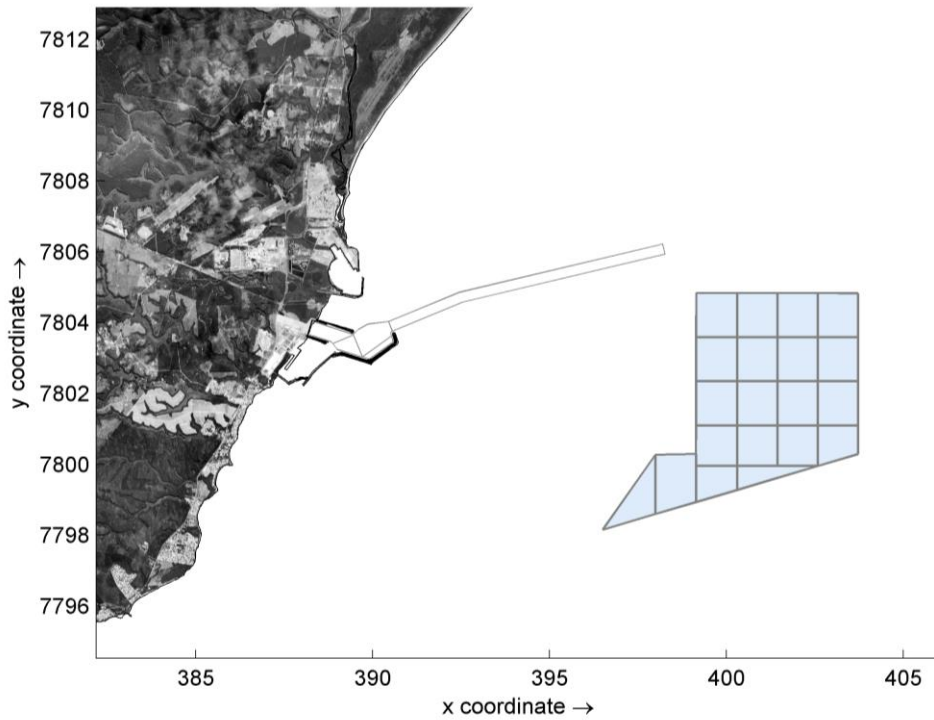


Figura 1.2.3-1. Polígono e batimetria da nova área de disposição oceânica prevista para a dragagem do Imetame Logística Porto. Fonte: Imetame Porto.

2. MODELAGEM HIDRODINÂMICA

2.1 Introdução

As simulações numéricas da circulação costeira e marinha da região de Aracruz são apresentadas com o objetivo de se estabelecer os padrões das correntes responsáveis pela advecção e dispersão das plumas de sedimentos formadas durante as operações de dragagem e descarte de material dragado na área do novo bota-fora do Imetame Logística Porto.

A circulação hidrodinâmica costeira é resultante da interação entre o campo de correntes geradas pelas marés, as correntes derivadas do arrasto promovido pelo vento, pela vazão dos rios afluentes costeiros e pela morfologia do fundo. As correntes marinhas são predominantemente definidas pelo balanço entre as correntes derivadas dos ventos e as correntes de maré e quanto maior a velocidade do vento, maior a dominância das correntes derivadas do vento sobre as correntes resultantes da ação das marés.

As simulações numéricas reproduziram as condições hidrodinâmicas típicas e críticas de verão e inverno, de modo a caracterizar os padrões de correntes no domínio marinho, com o objetivo de avaliar a direção do transporte, a dimensão e o alcance máximo das plumas de sedimentos geradas durante as operações de dragagem e descarte.

Neste capítulo, são apresentadas as características técnicas do modelo numérico hidrodinâmico utilizado, a estratégia empregada na modelagem hidrodinâmica e os resultados obtidos relevantes para ajudar a compreensão do transporte e dispersão das plumas de sedimentos, que são apresentadas nos Capítulos 3 e 4. A compilação dos dados disponíveis para a região de estudo, a definição do domínio computacional e as condições de contorno utilizadas nas simulações deste estudo são apresentadas no Anexo A. A calibração e validação do modelo estão no Anexo B.

2.2 Modelo Numérico Hidrodinâmico

As simulações numéricas da circulação costeira e marinha da região de Aracruz foram realizadas utilizando-se o pacote de modelos numéricos Delft3D, desenvolvido pela Deltares/NL (Deltares, 2014a) e licenciados para a Oceano Digital. O Delft3D é um modelo de processos costeiros que contém vários modelos numéricos integrados e interativos entre si, com ampla aplicação no campo de dinâmica costeira.

O Delft3D-FLOW é um modelo hidrodinâmico baseado em processos e resolve as equações de Navier-Stokes e Reynolds para um fluido incompressível em duas (2DH) ou três dimensões (3D). O sistema de equações consiste na equação do momento

horizontal, equação da continuidade, equação do transporte e modelo de turbulência fechado. A equação do momento vertical é reduzida à relação da pressão hidrostática, ou seja, assume-se que as acelerações verticais são pequenas comparadas à aceleração gravitacional e são desconsideradas. Essas equações são aplicáveis a águas rasas onde as escalas de comprimento são muito maiores que as escalas de profundidades. Esse modelo numérico é baseado num esquema de diferenças finitas, que simula escoamentos de superfície livre em condições não estacionárias e fenômenos de transporte resultante da maré e forçantes meteorológicas em grades curvilíneas ajustadas às fronteiras.

O Delft3D-FLOW pode incorporar os efeitos da maré astronômica e meteorológica, influência de ondas, ventos e pressão atmosférica, variações de densidade (obtida a partir dos campos de temperatura e salinidade), turbulência (constante ou variável) e o aparecimento de terraços de maré (partes secas e úmidas do domínio computacional). Uma descrição técnica mais detalhada dos modelos que compõem o pacote Delft3D, suas formulações e os esquemas numéricos utilizados, pode ser encontrada no manual do Delft3D-FLOW em Deltares (2014a).

2.3 Estratégia da Modelagem Hidrodinâmica

As simulações hidrodinâmicas tiveram como foco principal o Imetame Logística Porto e sua região costeira adjacente com o novo polígono do bota-fora definido para a disposição de sedimentos derivados das operações de dragagem da área portuária.

A estratégia adotada envolveu a geração de cenários representativos típicos e críticos considerando ventos, marés e vazão dos principais rios costeiros afluentes, além da batimetria do fundo marinho da região a ser dragada.

Estes cenários serviram como condições de entrada e de contorno dos modelos numéricos do campo de correntes (Delft3D-FLOW) e do transporte das plumas de sedimentos (Delft3D-PART). As condições de contorno referentes à implementação do modelo hidrodinâmico foram ajustadas na calibração e confirmadas na validação. A partir dessa base hidrodinâmica, a modelagem das plumas de sedimentos geradas nas operações de descarte foi realizada pelo acoplamento direto entre os modelos Delft3D-PART e Delft3D-FLOW.

Em todo o estudo realizado, a estratégia seguida foi a simulação da hidrodinâmica e transporte de sedimentos considerando um domínio tridimensional (3D).

2.3.1 Dados e Domínio Computacional

Os dados e informações referentes à definição das grades numéricas, compilação dos dados de batimetria da região, condições de contorno aberto, cenários meteoceanográficos e composição dos sedimentos a serem dragados e dispostos no bota-fora utilizados nas simulações numéricas estão descritos em detalhe no Anexo A. Uma síntese desses dados utilizados nas simulações é apresentada a seguir.

Os dados batimétricos da região costeira e oceânica da região foram obtidos a partir da digitalização de cartas náuticas da DHN-Marinha do Brasil e de levantamentos batimétricos da área do empreendimento fornecidos pela Imetame Logística e do banco de dados de estudos da Oceano Digital.

As condições de contorno aberto para a modelagem hidrodinâmica resultaram da definição das componentes de maré nas fronteiras da grade hidrodinâmica obtidas através dos resultados do modelo TPXO para a região do Espírito Santo.

Os ventos utilizados para a definição dos cenários hidrodinâmicos foram obtidos das medições realizadas na estação meteorológica da Portocel, em Barra do Riacho (ES). A partir da análise dos ventos de 2006 a 2023 (17 anos de dados), foram identificadas as situações representativas de verão e inverno de maior relevância para a interpretação da dinâmica da área e que constituíram os dados de entrada para os cenários da modelagem hidrodinâmica e das plumas de sedimentos.

As vazões dos principais rios costeiros que contribuem para o aporte fluvial da região de estudo (Rio Doce, Rio Piraquê-Açu, Rio Riacho, Córrego Piranema e Córrego Barra do Sahy) foram retiradas de relatórios da Agência Nacional de Águas (ANA), Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) e da bibliografia existente.

Os dados sedimentológicos utilizados nas simulações foram obtidos a partir das análises granulométricas e geotécnicas das amostras coletadas nas sondagens executadas na área de dragagem. Essas informações subsidiaram a definição das frações de sedimentos finos que podem gerar plumas e as classes sedimentares representativas dos parâmetros físicos adotados na modelagem das plumas de descarte.

As condições de contorno utilizadas e a configuração dos modelos foram ajustadas na etapa da Calibração e testadas na Validação, que são apresentadas no Anexo B. Nesta etapa, a modelagem numérica dos processos oceanográficos é comparada a dados medidos *in situ* de nível do mar (marés) e correntes marinhas. Somente após atingir bons resultados, traduzidos pelos valores baixos dos erros relativos, é que as modelagens dos cenários meteoceanográficos representativos e do transporte de sedimentos descartados, que formam as plumas de descarte na região do bota-fora, foram executadas.

2.4 Resultados da Modelagem Hidrodinâmica

As simulações hidrodinâmicas 3D foram realizadas para todos os cenários de ventos típicos (velocidades médias) e críticos (velocidades máximas) de verão e inverno, conforme apresentados em detalhe no Anexo A e sintetizados na Tabela 2.4-1.

Neste capítulo, são apresentados os resultados hidrodinâmicos dos cenários representativos de ventos típicos e críticos de **verão**, em maré de quadratura (em períodos de enchente e vazante), conforme apresentado nas Figuras 2.4-1 a 2.4-8. Para o **inverno**, são apresentados os casos de ventos típicos e críticos para situações de maré de sizígia (em períodos de enchente e vazante) conforme as Figuras 2.4-9 a 2.4-16. As velocidades dos ventos de W e NW foram baixas tal que foram elaborados apenas os cenários típicos para essas direções.

Tabela 2.4-1. Resumo dos cenários representativos de ventos típicos e críticos de verão e inverno. Detalhes no Anexo A, seção A1.7.

SETOR	VERÃO			INVERNO		
	TÍPICOS Vel. Méd. (m/s)	CRÍTICOS Vel. Máx. (m/s)	Frequência (%)	TÍPICOS Vel. Méd. (m/s)	CRÍTICOS Vel. Máx. (m/s)	Frequência (%)
N	3.3	6.9	22.0	3.8	7.0	10.8
NE	4.6	8.5	22.9	4.3	7.8	10.8
E	4.3	8.0	13.6	3.6	7.7	17.4
SE	2.7	5.6	6.6	4.3	9.0	6.2
S	3.1	8.1	9.6	5.8	11.8	12.0
SW	3.3	8.6	8.1	5.0	11.7	20.3
W	1.9	4.6	5.7	2.4	4.7	10.9
NW	2.3	4.7	11.4	2.6	5.0	11.5

Os resultados hidrodinâmicos são apresentados, a seguir, na disposição horizontal (em planta), na forma de campos de velocidade de corrente média na profundidade, nos quais as cores indicam a magnitude das velocidades em metros por segundo (m/s) e os vetores indicam a direção das correntes.

Em todos os cenários de ventos simulados, representados pelas Figuras 2.4-1 a 2.4-7, os resultados indicam que as correntes costeiras nesta região rumam acompanhando aproximadamente o alinhamento da linha de costa (NE-SW).

Os ventos provenientes de NW, N, NE e E tendem a gerar correntes que rumam sentido S/SW, enquanto os cenários de ventos de S, SW e W tendem a formar correntes com sentido predominantemente N/NE. Os ventos de SE são os ventos perpendiculares a

linha de costa, nessa região, e possuem um comportamento particular de gerar pouca corrente de arrasto na região marinha, mas, na região costeira, geram correntes próximas a linha de costa que rumam sentido NE

Nesta área, a presença das estruturas costeiras (quebra-mares) de todos os três portos gera tanto uma intensificação das correntes no trecho mais externo dos quebra-mares, quanto regiões protegidas a norte e a sul, nas quais as velocidades das correntes são reduzidas. Estas regiões, chamadas de zonas de sombra, se posicionam no sentido das correntes, após as estruturas existentes.

Para correntes que rumam para S-SW, esta região de sombra se situa desde o quebra-mar da Imetame até a região em frente à praia de Barra do Sahy. Para correntes que rumam sentido N-NE, esta zona de sombra abrange a região próxima à Portocel e se estende até a região a norte do rio Riacho, conforme pode ser visto nas Figuras 2.4-1 a 2.4-8.

▪ Ventos Típicos e Críticos de N

Situações de ventos de N típicos em maré de quadratura e críticos em maré de sizígia, nas quais as correntes marítimas presentes na região costeira rumam predominantemente no sentido sul-sudoeste (Figura 2.4-1).

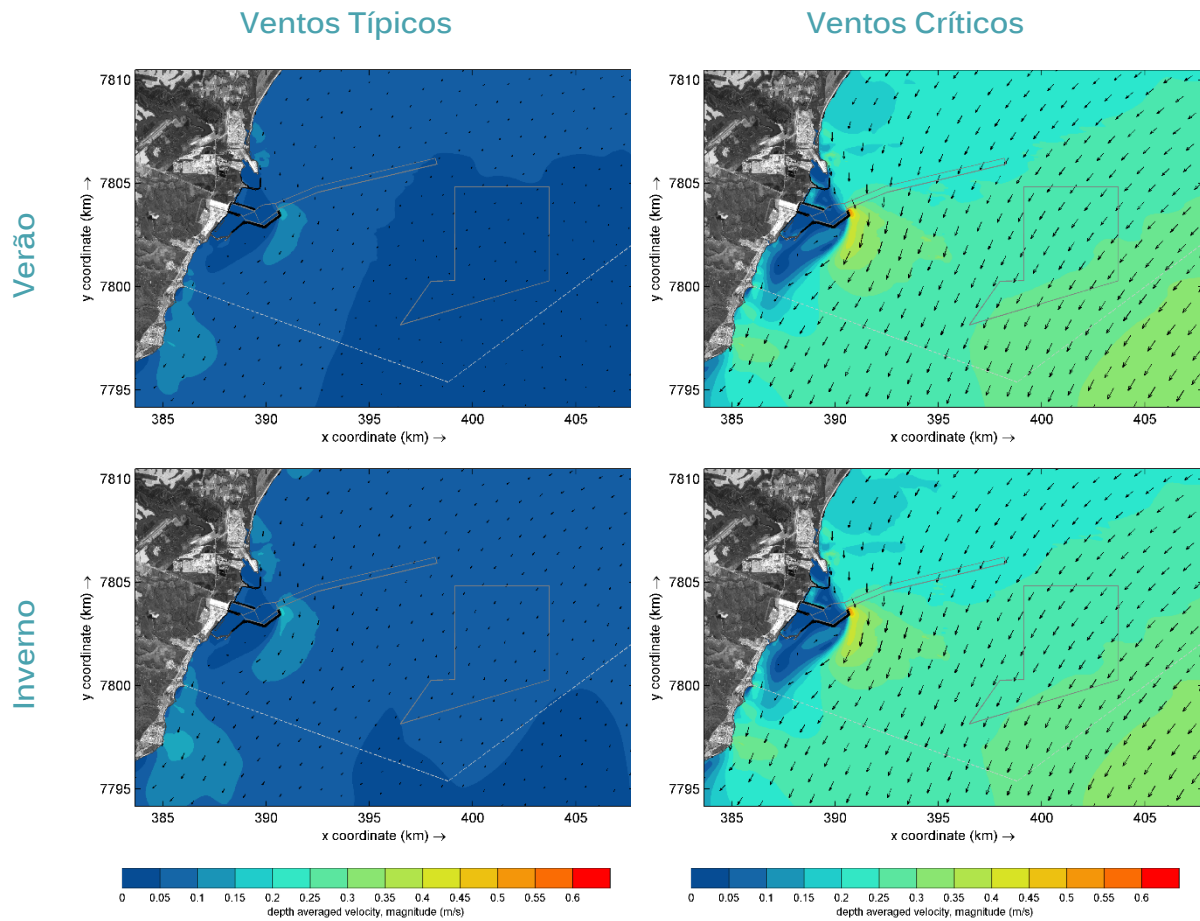


Figura 2.4-1. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos típicos e críticos de N.

▪ Ventos Típicos e Críticos de NE

Situações de ventos de NE típicos em maré de quadratura e críticos em maré de sizígia, nas quais as correntes marítimas presentes na região costeira rumam sentido S/SW (Figura 2.4-2).

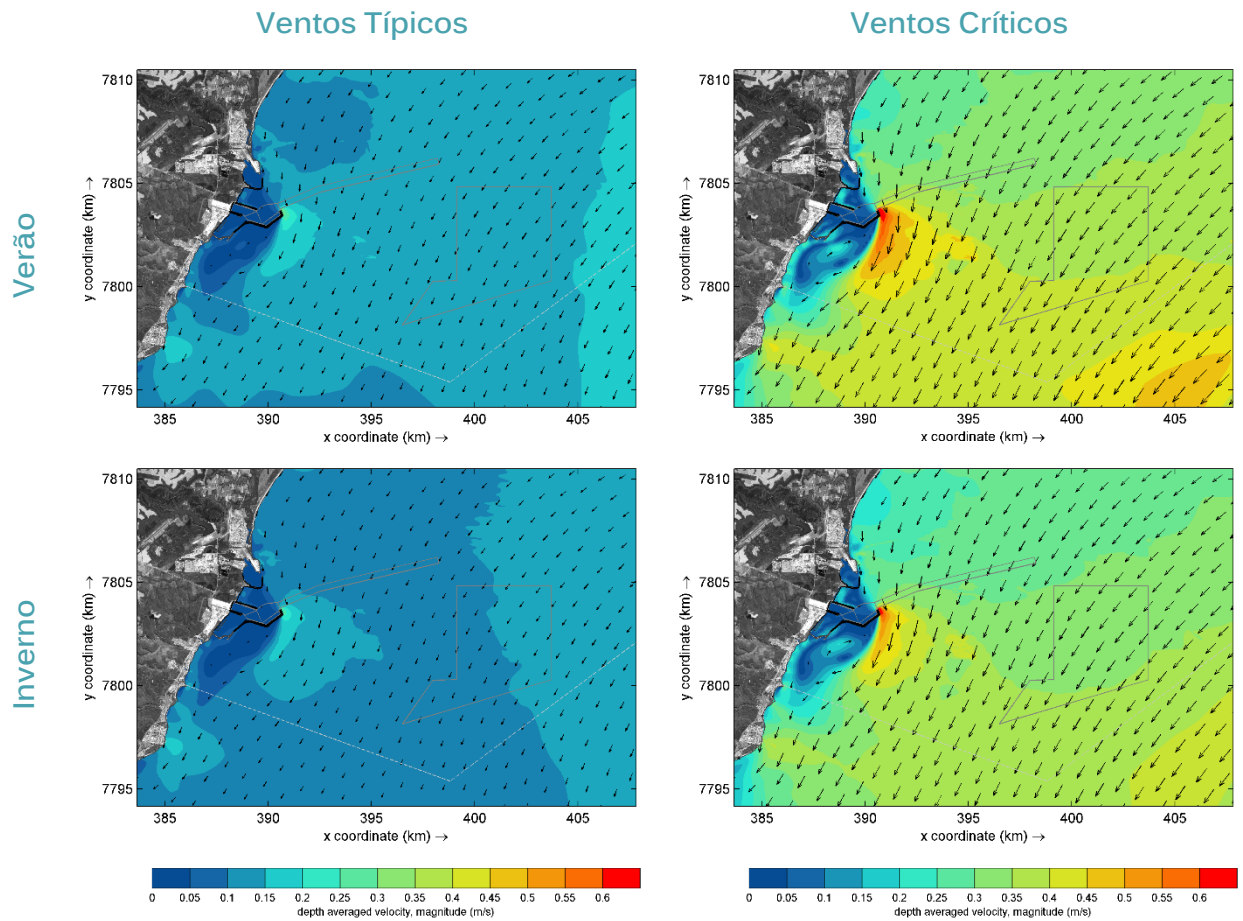


Figura 2.4-2. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos típicos e críticos de NE.

▪ Ventos Típicos e Críticos de E

Situações de ventos de E típicos em maré de quadratura e críticos em maré de sizígia, nas quais as correntes marítimas presentes na região costeira rumam predominantemente no sentido S/SW (Figura 2.4-3).

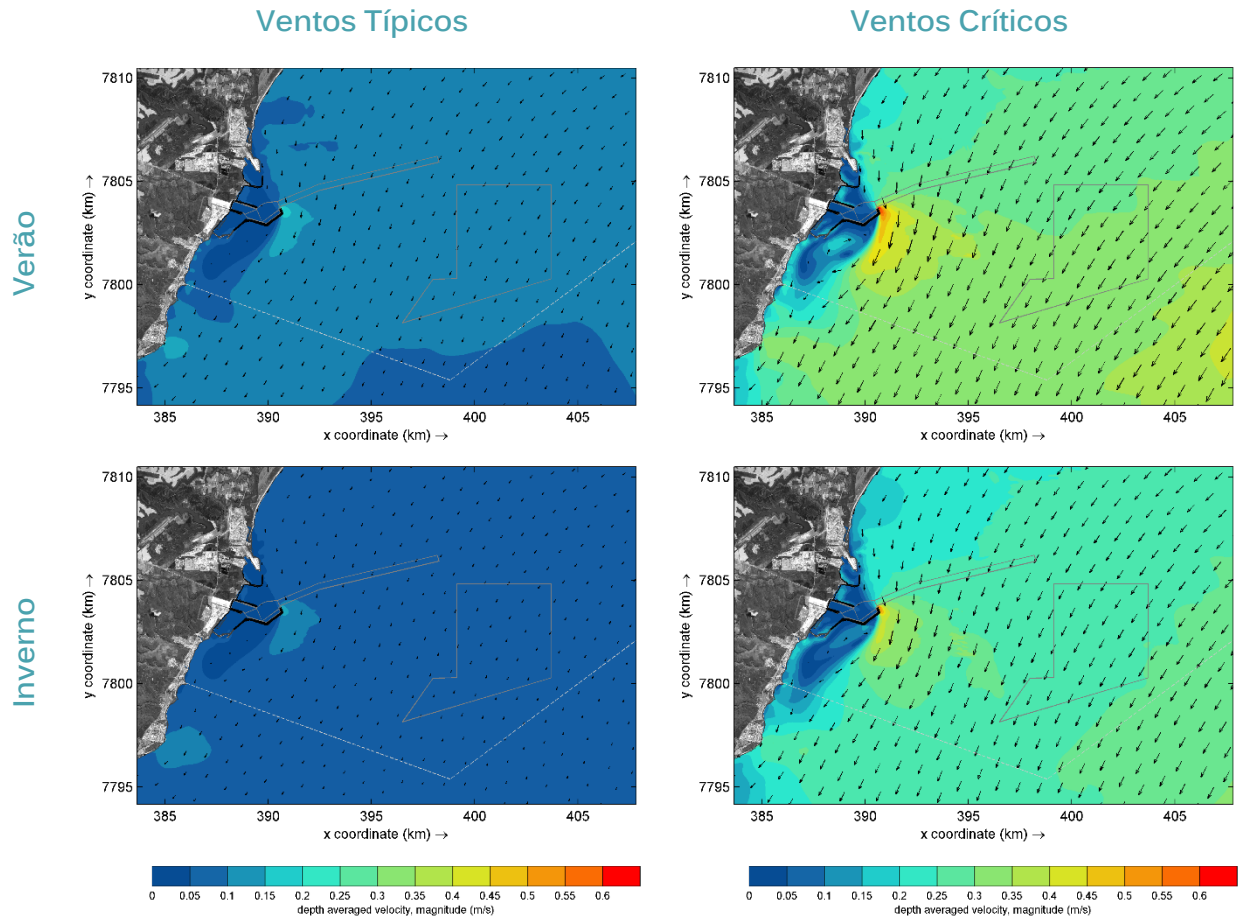


Figura 2.4-3. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos típicos e críticos de E.

▪ Ventos Típicos e Críticos de SE

Situações de ventos de SE típicos em maré de quadratura e críticos em maré de sizígia, nas quais as correntes marítimas presentes na região costeira rumam sentido N/NE (Figura 2.4-4).

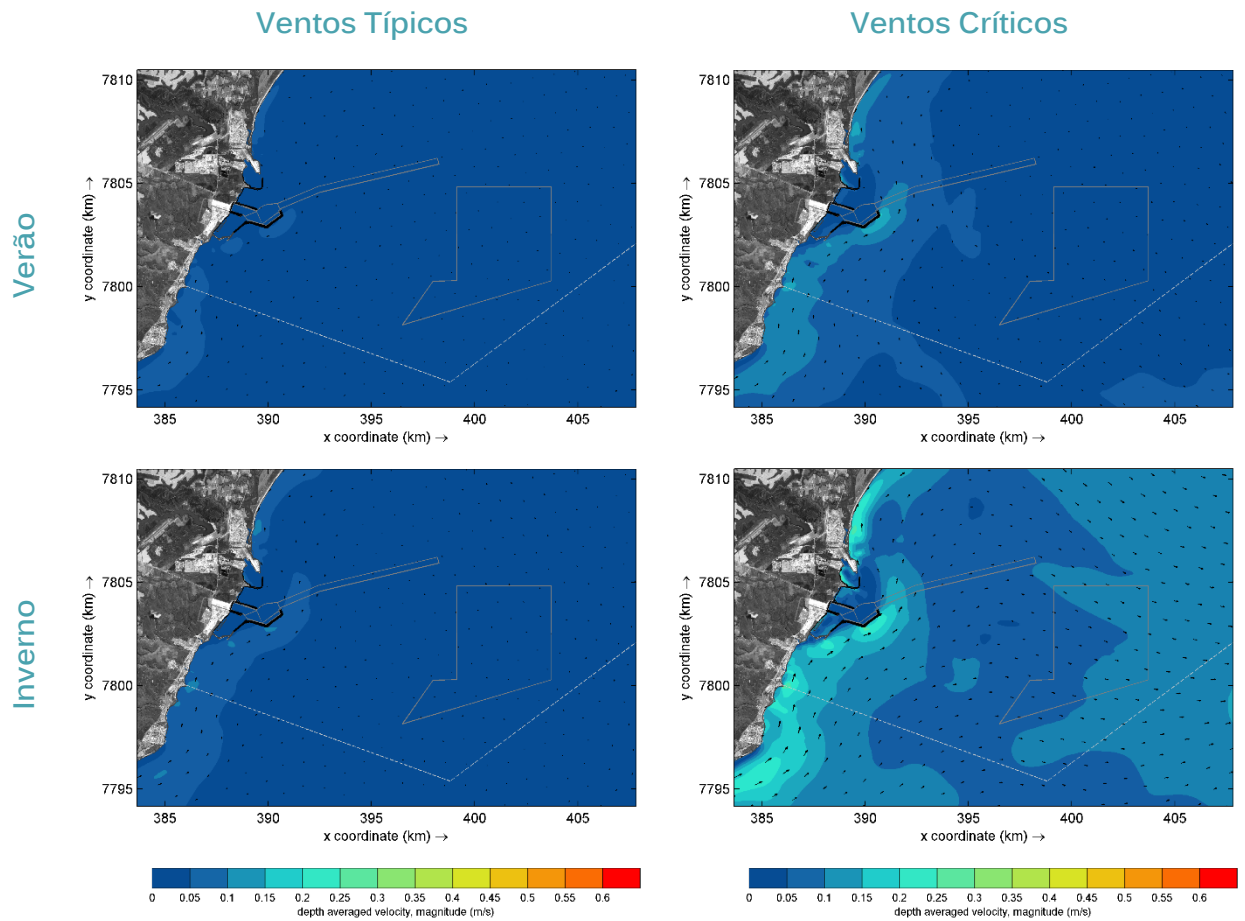


Figura 2.4-4. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos típicos e críticos de SE.

▪ Ventos Típicos e Críticos de S

Situações de ventos de S típicos em maré de quadratura e críticos em maré de sizígia, nas quais as correntes marítimas presentes na região costeira rumam sentido N/NE (Figura 2.4-5).

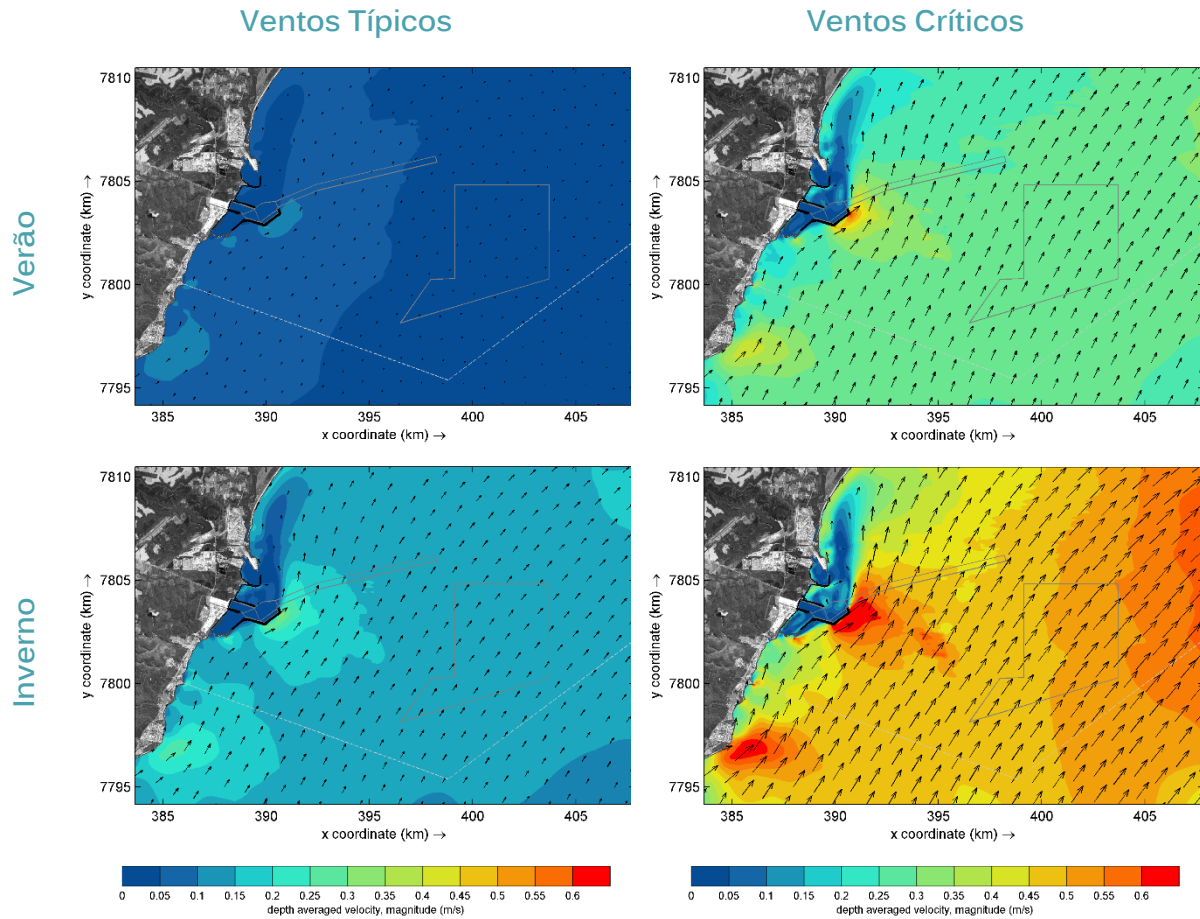


Figura 2.4-5. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos típicos e críticos de S.

- Ventos Típicos e Críticos de SW

Situações de ventos de SW típicos em maré de quadratura e críticos em maré de sizígia, nas quais as correntes marítimas presentes na região costeira rumam sentido N/NE (Figura 2.4-6).

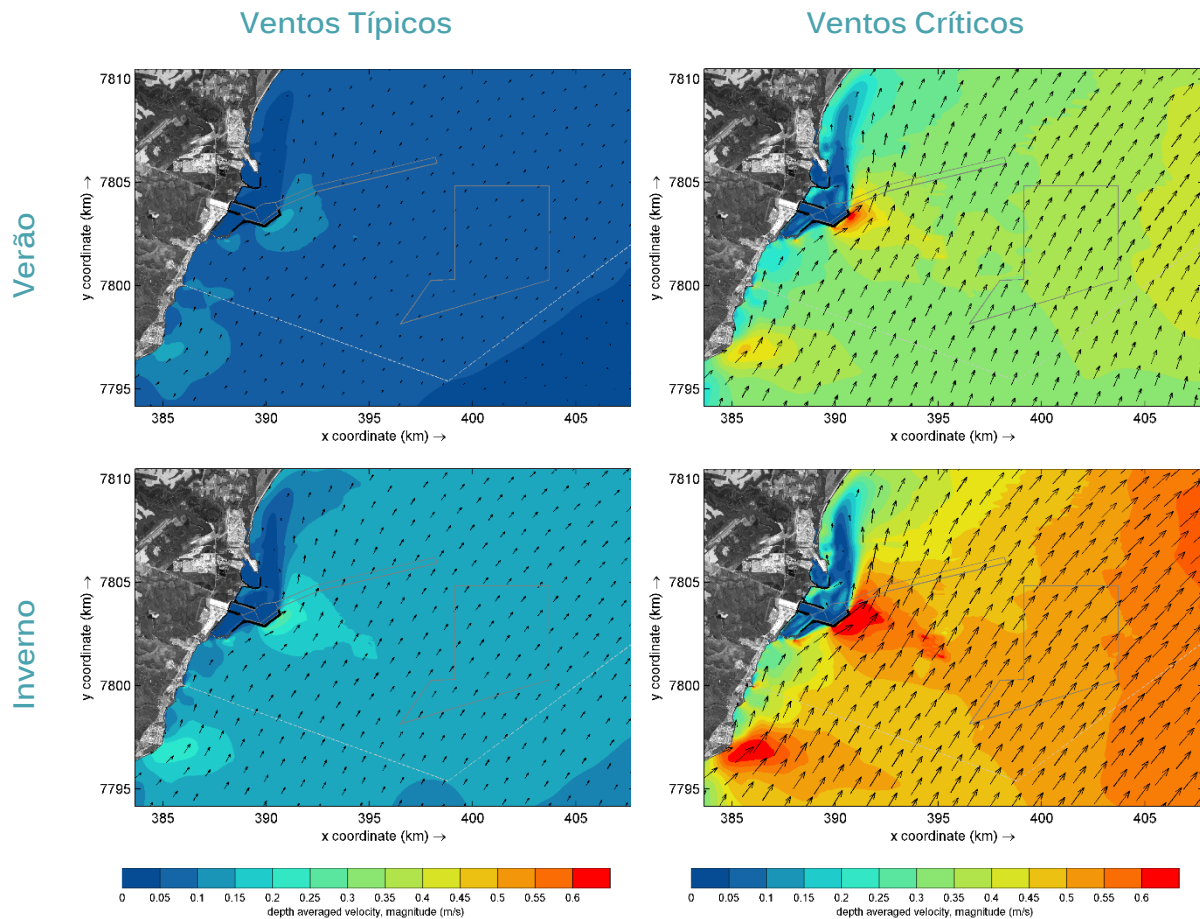


Figura 2.4-6. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos típicos e críticos de SW.

- Ventos Típicos de W e NW

Situações de ventos típicos de W e NW em maré de quadratura, nas quais a velocidade resultante é bastante baixa (Figura 2.4-7).

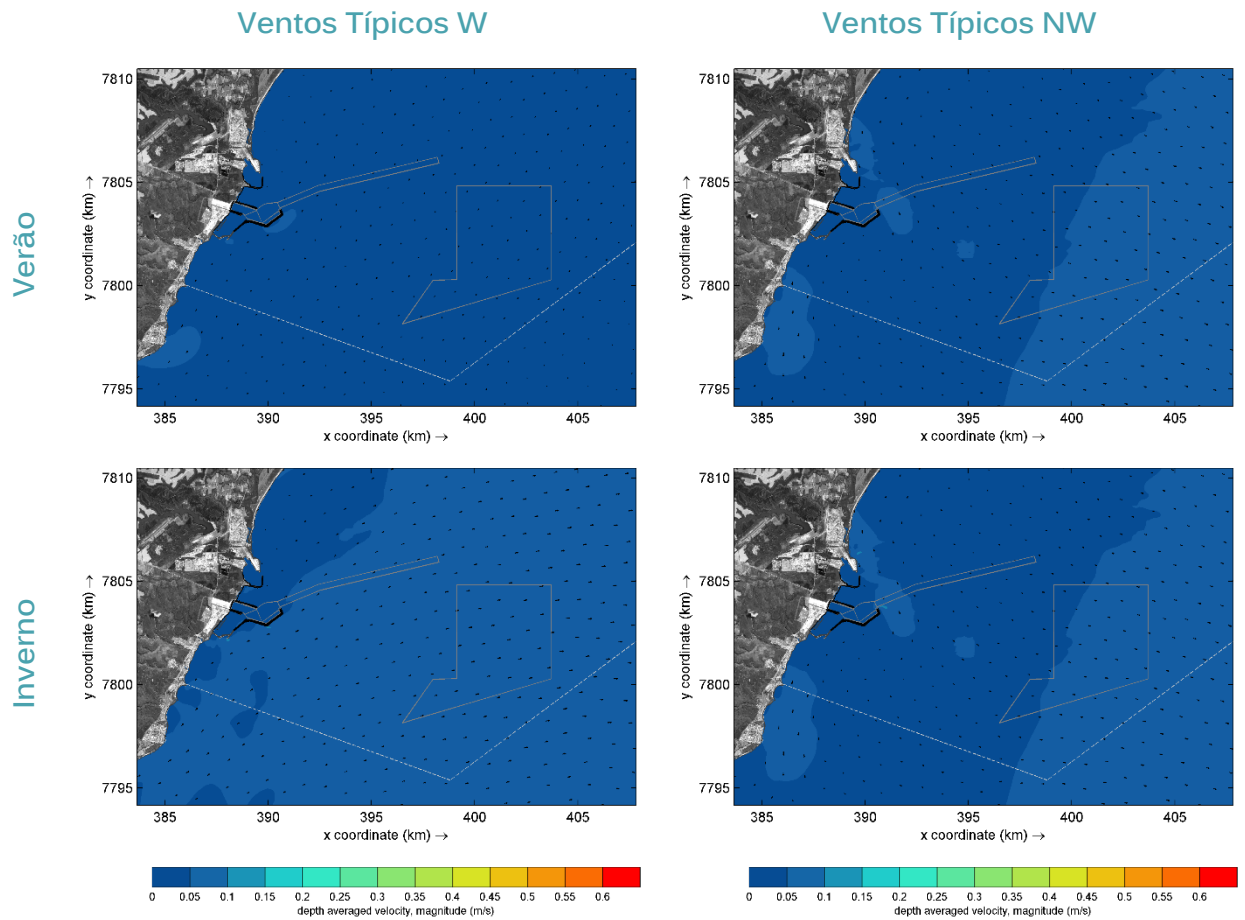


Figura 2.4-7. Campo de velocidades das correntes para os cenários de verão e inverno de ventos típicos e críticos de W.

- **Correntes Costeiras no Canal da Imetame**

As simulações das plumas de sedimentos de dragagem e overflow foram realizadas com origem no local que possibilita o maior espalhamento dos sedimentos remobilizados e dentro da região que está previsto haver dragagem. Este ponto está localizado no canal da Imetame externamente ao quebramar leste (Figura 2.4-8).

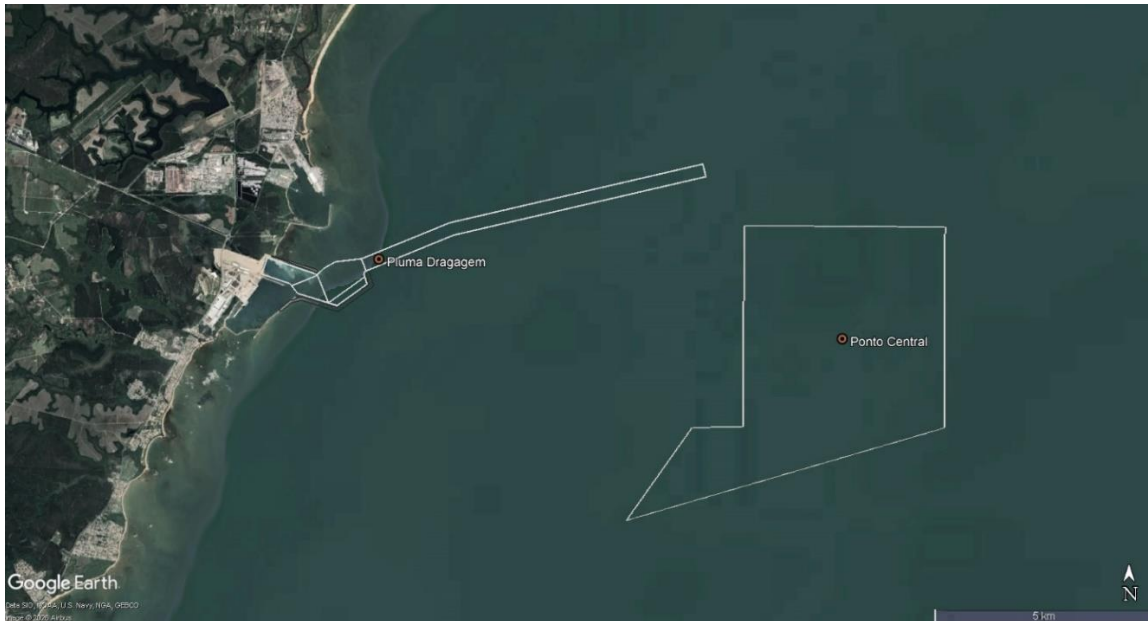


Figura 2.4-8. Localização dos pontos de obtenção dos valores de velocidade de corrente. Fonte Google Earth, 2025.

Os valores de velocidades médias das correntes na coluna de água, considerando os resultados de todos os cenários simulados de ventos típicos e críticos, estão presentes nas Tabelas 2.4-3 e 2.4-4.

As correntes típicas tiveram valores entre 0.07 e 0.28 m/s, no verão e se mantiveram entre 0.06 e 0.37 m/s no inverno, com 28% (verão) e 31% (inverno) das correntes resultantes voltadas para N e 46% (verão e inverno) das correntes rumando sentido SSE. Esse alinhamento ocorre por causa das estruturas dos quebra-mares da Imetame e da Portocel (Porto de Barra do Riacho).

Os cenários de ventos críticos dos setores de S/SW geraram as maiores velocidades de correntes rumando para N, alcançando valores máximos de 0.81 m/s, no inverno e médios entre 0.30 e 0.37 m/s. Os ventos dos setores N/NE geraram correntes em direção a SSE, com velocidade máxima de 0.52 m/s, no verão e médias entre 0.46 e 0.52 m/s.

Tabela 2.4-2. Velocidades médias da coluna de água e direções das correntes de Verão obtidas no ponto Dragagem no canal de acesso.

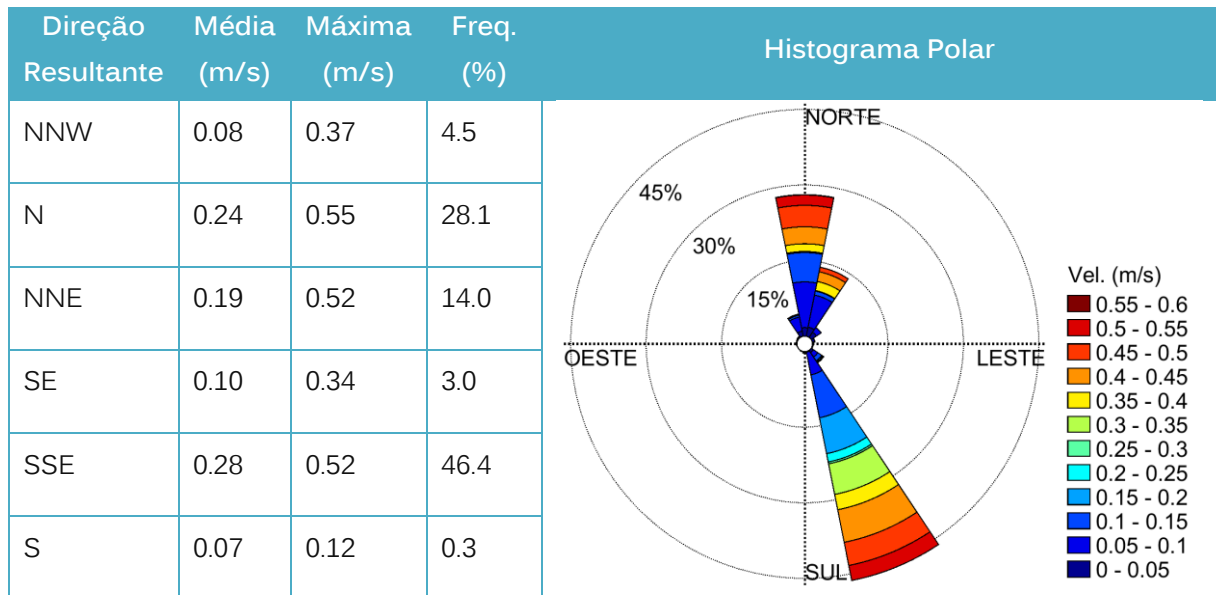
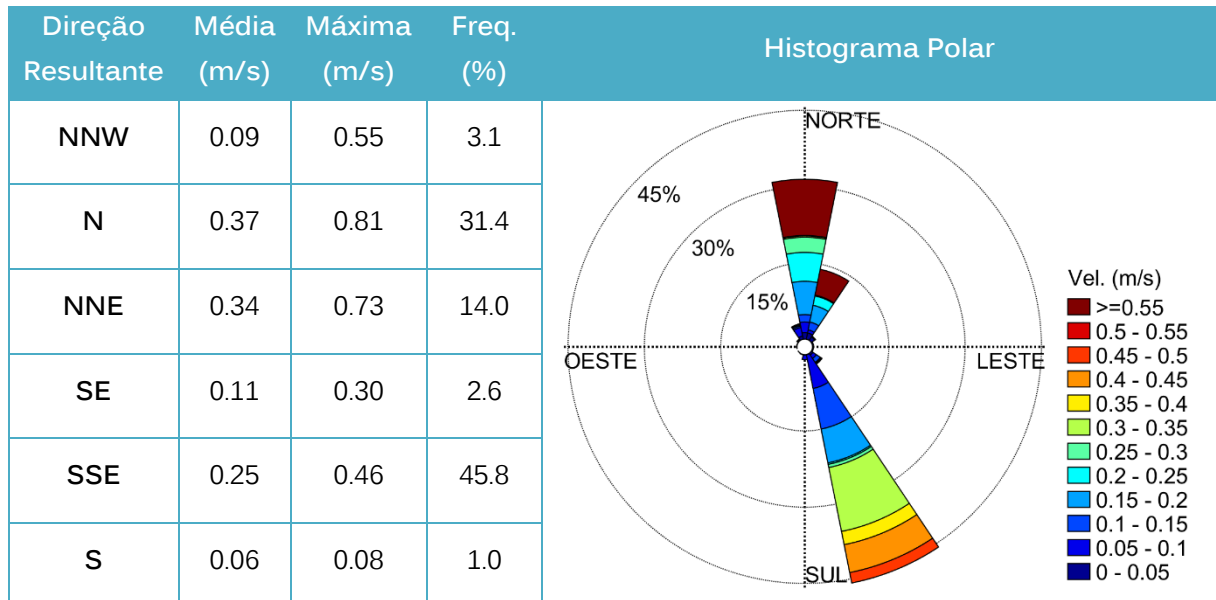


Tabela 2.4-3. Velocidades médias da coluna de água e direções das correntes de Inverno obtidas no ponto Dragagem no canal de acesso.



▪ **Correntes Marinhas no Bota-Fora**

Os valores de velocidade das correntes presentes nas Tabelas 2.4-1 e 2.4-2, foram obtidos no ponto central do bota-fora (Figura 2.4-8) e representam as velocidades médias da coluna de água de acordo com todos os cenários simulados de ventos típicos e críticos.

As correntes típicas tiveram valores entre 0.03 e 0.33 m/s, no verão e se mantiveram entre 0.02 e 0.42 m/s no inverno, com 31% (verão) e 38% (inverno) das correntes resultantes voltadas para NE e 45% (verão) e 43.5% (inverno) das correntes rumando sentido SW. Esse alinhamento ocorre sem a influência da linha de costa, que está distante 12.8 km do ponto central do bota-fora.

Os cenários de ventos críticos de SW geraram as maiores velocidades de correntes rumando para NE, no inverno, com valores máximos de 0.72 m/s e médios entre 0.27 e 0.42 m/s. Os ventos NE geraram correntes máximas de 0.51 m/s e médias entre 0.30 e 0.33 m/s, em direção a SW.

Tabela 2.4-2. Velocidades médias da coluna de água e direções das correntes obtidas no ponto central do bota-fora no Verão.

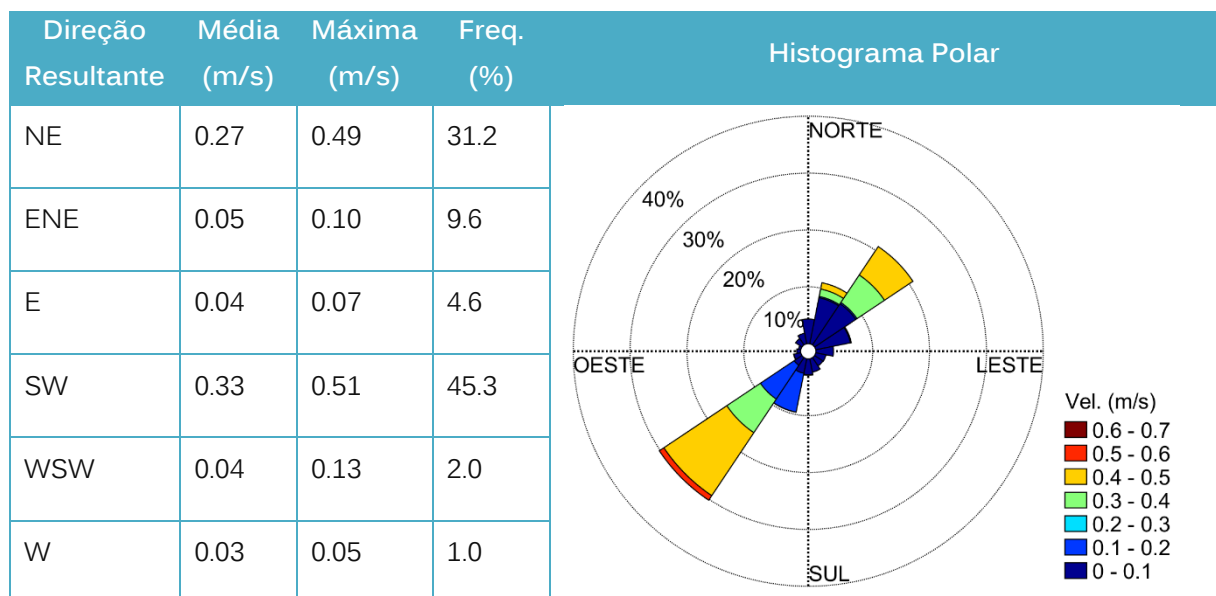
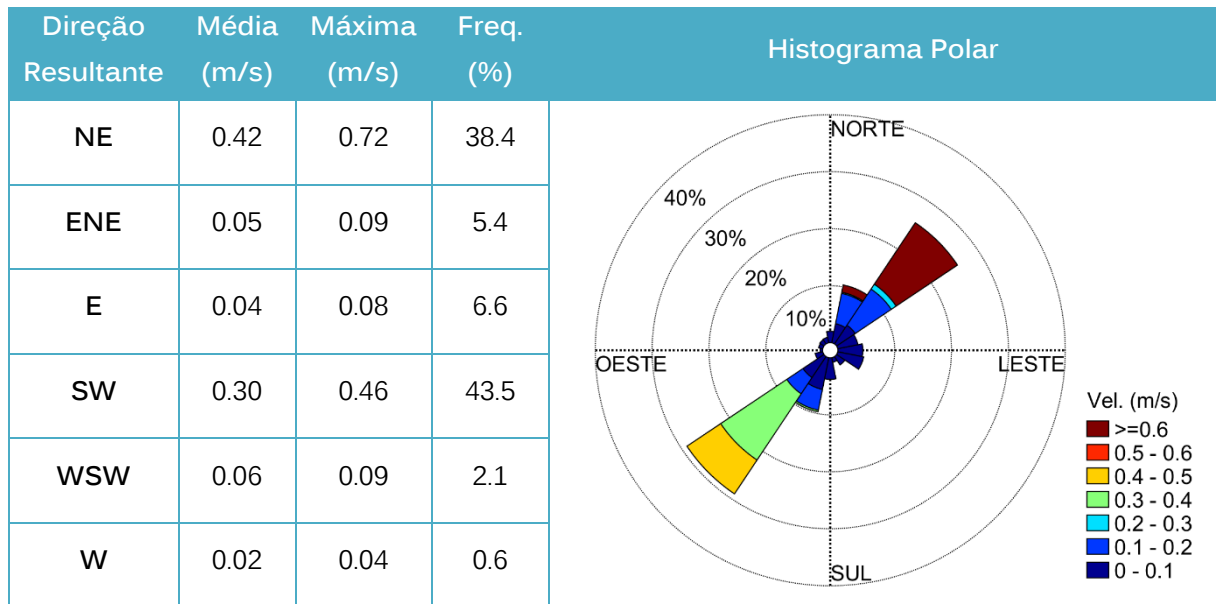


Tabela 2.4-3. Velocidades médias da coluna de água e direções das correntes obtidas no ponto central do bota-fora no Inverno.



3. MODELAGEM DE PLUMAS DE DRAGAGEM E OVERFLOW

As simulações numéricas das plumas de sedimentos associadas às operações de dragagem e overflow foram realizadas com o objetivo de avaliar o transporte (advecção) e a dispersão dos sedimentos finos em suspensão sob diferentes condições meteoceanográficas representativas da área de estudo. Os resultados são apresentados por meio de simulações determinísticas, mapas de concentração máxima e mapas probabilísticos de ocorrência.

Este capítulo apresenta as características técnicas do modelo numérico e as premissas específicas utilizadas para a representação das plumas de dragagem e overflow, bem como a estratégia de análise dos resultados. As condições de contorno hidrodinâmicas, o domínio computacional e a caracterização sedimentológica de base utilizadas na implementação dos modelos encontram-se descritas no **Anexo A**.

3.1 Modelo Numérico

As simulações numéricas de transporte e dispersão das plumas de sedimentos foram realizadas utilizando o modelo Delft3D-PART (Deltares, 2014b). O modelo numérico Delft3D-PART faz parte do pacote de modelos integrados Delft3D e utiliza como base o mesmo domínio computacional do modelo hidrodinâmico Delft3D-FLOW, incluindo a grade tridimensional composta por elementos horizontais e camadas verticais. O campo de correntes foi obtido a partir da modelagem hidrodinâmica do FLOW, sendo utilizado como condição de forçamento para o transporte das partículas. Dessa forma, a implementação do domínio espacial é realizada por meio do acoplamento entre os dois modelos (PART e FLOW).

O Delft3D-PART utiliza uma abordagem Lagrangeana de rastreamento de partículas para representar o transporte e a dispersão de sedimentos em suspensão a partir dos resultados hidrodinâmicos do modelo Delft3D-FLOW. As partículas representativas são transportadas e se dispersam tridimensionalmente ao longo do tempo, resultando em uma distribuição dinâmica da concentração obtida por meio do cálculo da massa das partículas nos elementos da grade do modelo.

A advecção das partículas é determinada pelo campo de correntes calculado pelo Delft3D-FLOW, enquanto a difusão turbulenta é representada por um deslocamento aleatório das partículas baseado no método de *random walk*, uma vez que o comportamento simulado é estocástico e o número de partículas representadas no modelo é limitado (Rubinstein, 1981).

O Delft3D-PART representa os principais processos físicos associados à dinâmica das plumas de sedimentos, incluindo a mistura turbulenta vertical e horizontal, o transporte

advectivo pelas correntes, os campos hidrodinâmicos resultantes da modelagem hidrodinâmica e a interação com o fundo. O modelo de transporte de sedimentos também considera a velocidade de sedimentação das partículas, os processos de deposição e a eventual ressuspensão dos sedimentos de fundo associada às condições hidrodinâmicas da área. Os resultados das simulações são apresentados como distribuições espaciais e temporais das concentrações de sedimentos em suspensão na coluna d'água.

3.2 Estratégia de Modelagem das Plumias

A modelagem das plumas de sedimentos foi realizada a partir dos campos hidrodinâmicos previamente simulados no modelo Delft3D-FLOW, apresentados no Capítulo 2. Nesta seção são descritas as premissas sedimentares adotadas e a forma de representação das fontes de geração de plumas de sedimentos associadas às operações de dragagem e overflow no modelo de transporte.

3.2.1 Características dos Sedimentos

A formação de plumas de sedimentos associadas às operações de dragagem está relacionada à liberação e ressuspensão de sedimentos finos durante o processo de remoção do material do fundo marinho e o overflow está associado à formação de plumas de sedimentos durante o transbordamento da cisterna da draga. Esses processos introduzem sedimentos na coluna d'água, que passam a ser transportados pelas correntes e dispersados pelos processos turbulentos do meio aquoso.

Na dragagem, o sedimento suspenso é gerado próximo ao leito, onde a fração mais grosseira (classe das areias) tende a se depositar nas proximidades imediatas da área de dragagem, não contribuindo significativamente para a formação de plumas de dispersão. Por outro lado, os sedimentos mais finos (silte e argila) podem permanecer em suspensão por períodos mais longos e ser transportados por distâncias maiores antes de sedimentarem, dependendo das condições hidrodinâmicas e das profundidades locais. Como consequência, as plumas de dragagem são compostas predominantemente pela fração fina do material dragado. As plumas de overflow, por terem origem do extravasamento da água superficial da cisterna, geralmente são compostas quase exclusivamente de sedimentos finos.

Os dados sedimentológicos utilizados na modelagem foram obtidos a partir das análises granulométricas realizadas nas campanhas geotécnicas apresentadas em GEOSEA (2025) e AMBIPAR (2026). Esses dados indicam que o material a ser dragado na bacia de evolução e no canal de acesso é constituído predominantemente por sedimentos inconsolidados, com predomínio da fração fina (silte e argila), que

apresenta um percentual médio de 58.3% de partículas com diâmetro inferior a 63 μm , conforme descrito na Seção 1.2.2 do Anexo A.

Considerando que as plumas de sedimentos em suspensão são controladas principalmente pelo comportamento hidrodinâmico dos finos, as simulações numéricas consideraram apenas essa fração granulométrica do material dragado.

Para fins de representação numérica, a fração fina do material dragado foi representada por um diâmetro médio do silte ($D_{50} = 16 \mu\text{m}$) considerado representativo do comportamento hidrodinâmico médio dos sedimentos finos responsáveis pela formação das plumas em suspensão. Os parâmetros físicos da classe sedimentar considerada nas simulações de dragagem, overflow e descarte são apresentados na Tabela A.1.4-2, no Anexo A.

As simulações não incluíram sedimentos originados de outras fontes que não sejam os provenientes das operações de dragagem.

Para fins de análise e apresentação dos resultados da modelagem numérica, foi adotado o valor de 10 mg/L como limite mínimo de concentração de sedimentos em suspensão considerado nas avaliações das plumas simuladas.

Para fins de contextualização, a aparência visual de diferentes concentrações de sedimentos em suspensão na água é ilustrada na Figura 3.3.1-1, conforme apresentado no *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality* (ANZECC, 2000).

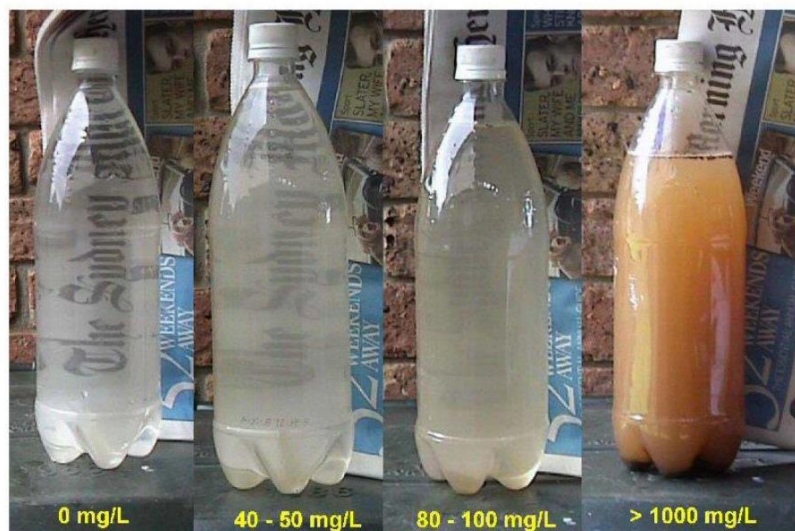


Figura 3.3.3-1. Representação visual da concentração de sedimentos em suspensão. Fonte: (ANZECC, 2000).

3.2.2 Características da Operação de Dragagem e Overflow

As simulações numéricas das plumas de sedimentos consideraram ciclos sucessivos de operação de uma draga do tipo Hopper (TSHD), representando condições contínuas de atividade de dragagem ao longo dos cenários meteoceanográficos simulados para verão e inverno.

Durante a operação de dragagem, a geração plumas ocorre principalmente por dois mecanismos distintos, representados no modelo como termos de emissão de sedimentos na coluna d'água:

- (i) **plumas de Dragagem**, geradas pela ressuspensão de sedimentos no fundo, resultante das operações de escarificação e sucção da Hopper e, que nas simulações, foram consideradas como perdas contínuas de sedimentos finos para o meio, de acordo com o ciclo operacional da draga (Tabela 3.2.2-1).
- (ii) **plumas de Overflow**, geradas na camada superficial da coluna d'água, resultantes do descarte de sedimentos finos que permanecem em suspensão no interior da cisterna durante o processo de transbordamento, que é representada no modelo como descarte instantâneo de sedimentos para o meio, na fase final da carga, de acordo com o ciclo de dragagem (Tabela 3.2.2-1).

Os percentuais de perda de sedimentos adotados nas simulações foram definidos com base em valores típicos reportados na literatura para operações de dragagem. Estudos indicam que a ressuspensão associada ao cabeçote de dragagem geralmente corresponde a aproximadamente 1% a 5% do material fino dragado, enquanto as perdas associadas ao processo de overflow podem variar entre 5% e 30%, dependendo das características granulométricas do sedimento e das condições operacionais da dragagem (Bray et al., 1997; Becker, 2015; Van Rijn, 2020).

Neste estudo, as simulações das plumas de dragagem consideraram que o percentual de sedimentos finos perdido no processo de dragagem é de 5% (termo de ressuspensão), enquanto para a pluma de overflow foi considerado um percentual de perda de 20% (termo de overflow). Os sedimentos ressuspensos durante a dragagem e os sedimentos provenientes do overflow foram contabilizados separadamente nas simulações.

A Tabela 3.2.2-1 apresenta uma síntese das características operacionais de dragagem consideradas nas simulações.

Nas simulações, a emissão de sedimentos associada à dragagem foi representada como um processo contínuo na camada inferior da coluna d'água durante o período de dragagem (1 hora). Para a pluma de overflow, o lançamento foi representado como instantâneo na camada superficial, ocorrendo 50 minutos após o início da dragagem, correspondente à fase final do enchimento da cisterna.

O ponto de simulação das plumas de dragagem e overflow está localizado no ponto central do trecho inicial do canal, mais próximo da costa e externo ao quebramar leste (Tabela 3.2.2-2 e Figura 3.2.2-1).

A simulação no canal de acesso foi adotada como cenário representativo do impacto integrado devido ao canal concentrar a maior parcela do volume dragado, da massa total de sedimentos mobilizados e do tempo total de operação da draga ao longo da obra. Além disso, o trecho definido apresenta as maiores velocidades de corrente e maior potencial de transporte de sedimentos em direção a costa, devido ao padrão de correntes que contornam as estruturas portuárias existentes.

Considerando o volume médio transportado por ciclo de dragagem (1475 m³), estima-se que 58.3% correspondam à fração fina (lama) que são os sedimentos potencialmente associados à formação de pluma de sedimentos durante a dragagem, overflow e o descarte.

Tabela 3.2.2-1. Características do ciclo de dragagem para as simulações numéricas:

CARACTERÍSTICAS	DRAGAGEM E OVERFLOW
Tipo de Draga	Hopper
Capacidade nominal da cisterna (m ³)	2950
Coeficiente de Enchimento da cisterna (m ³)	50%
Percentual de sedimentos finos (m ³)	58%
Duração do Ciclo de Dragagem (horas)	+/- 4h
Tempo de dragagem/carga da cisterna (horas)	1h
Tempo de Overflow (minutos)	10
Tempo de intervalo (transporte e descarga)	150 +10 min
Termo de ressuspensão de pluma de Dragagem	5%
Termo de overflow para a pluma de Overflow	20 %

Tabela 3.2.2-2. Localização do ponto de lançamento das plumas de dragagem utilizado nas simulações. Coordenadas em UTM (WGS-84).

Modelagem	UTM-X	UTM-Y	
Dragagem	390861.0	7804044.0	Fundo
Overflow	390861.0	7804044.0	Superfície

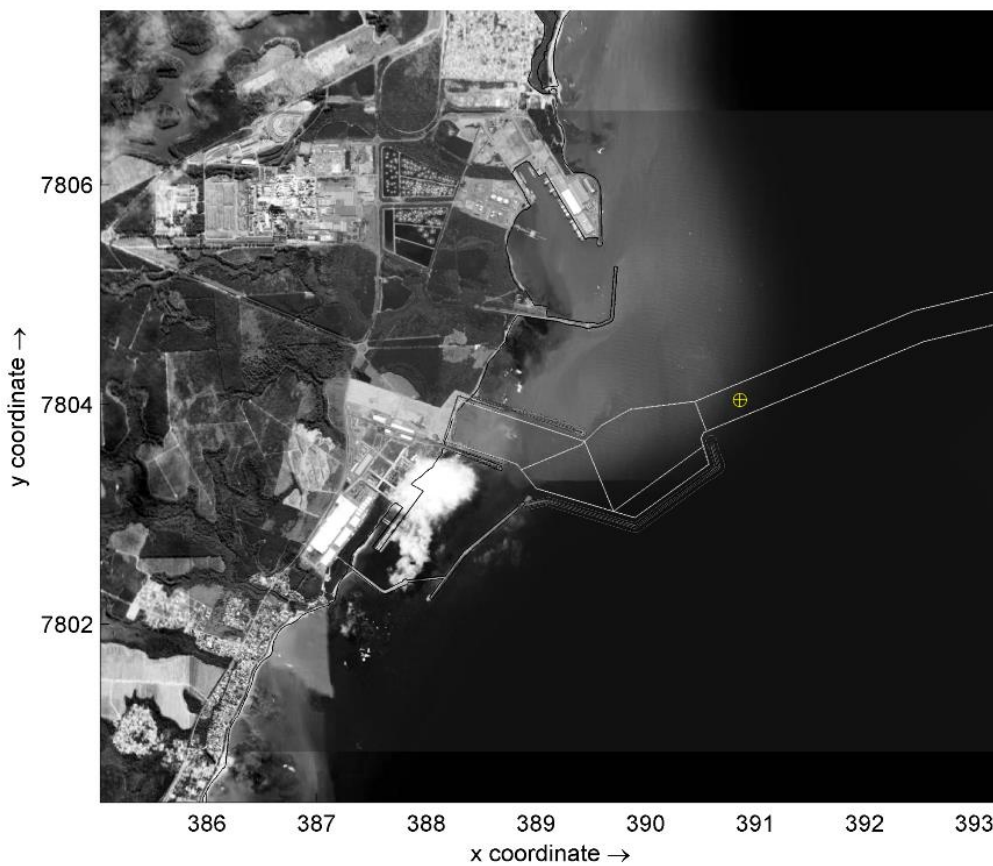


Figura 3.2.2-1. Localização do ponto de simulação das plumas de sedimentos de dragagem e overflow.

3.3 Resultados das Plumas de Dragagem e Overflow

Os resultados da modelagem das plumas associadas às operações de dragagem e overflow são apresentados por meio de mapas de concentração de sedimentos em suspensão (mg/L), mapas de concentração máxima e mapas de probabilidade de ocorrência (%).

Os resultados determinísticos representam a evolução espacial e temporal das plumas geradas em cenários meteoceanográficos específicos. A partir desses cenários foram também derivados os mapas de concentração máxima e os mapas probabilísticos de ocorrência das plumas. Para a análise e apresentação dos resultados foi adotado o valor de 10 mg/L como limite mínimo de concentração de sedimentos em suspensão.

3.3.1 Plumas Determinísticas

Os resultados determinísticos correspondem às plumas individuais simuladas para cada cenário meteoceanográfico considerado de verão e inverno em períodos de maré de quadratura e sizígia.

Esses resultados permitem avaliar a evolução temporal da pluma, a magnitude das concentrações e os padrões de dispersão associados às condições hidrodinâmicas.

Os resultados probabilísticos são derivados do conjunto completo de cenários determinísticos simulados. Nesse caso, cada cenário possui uma probabilidade de ocorrência associada, cuja influência é refletida nos mapas de probabilidade apresentados na Seção 3.3.3.

Considerando o grande número de cenários simulados, foram selecionados para apresentação os casos mais representativos das condições meteoceanográficas de verão e inverno (Anexo A1, Tabelas A1.1.4-2 e A1.1.4-3).

Os cenários de verão, foram representados pelos ventos típicos de nordeste (NE) em maré de quadratura, que representam períodos de menor energia e, conseqüentemente, de dispersão mais lenta das plumas de sedimentos. Também foi apresentado um cenário de ventos típicos de oeste (W) no qual a pluma se manteve por mais tempo próximo ao seu local de origem.

Para os cenários de inverno, foram apresentados os resultados de ventos críticos de sul em maré de sizígia representando períodos de maior energia, com o transporte e dispersão mais rápidos das plumas de sedimentos.

As plumas de sedimentos geradas pelas simulações são apresentadas em termos de concentração de sedimentos na coluna d'água (mg/L). Nas figuras, os tempos apresentados se referem ao instante após a primeira pluma ser gerada.

Os resultados da evolução das plumas de dragagem são apresentados nos mapas das Figuras 3.3.1-1 a 3.3.1-3 e os resultados da evolução das plumas de overflow nos mapas das Figuras 3.3.1-4 a 3.3.1-6.

A dispersão das plumas de sedimentos geradas durante as operações de dragagem e overflow é controlada predominantemente pelo regime hidrodinâmico local, em especial pelas correntes induzidas pelo vento e pela maré, conforme caracterizado na modelagem hidrodinâmica apresentada no Capítulo 2.

- **Dragagem**

De forma geral, os resultados da modelagem determinística indicam que as plumas geradas durante as operações de dragagem apresentam comportamento compatível com o regime hidrodinâmico da região, com dispersão predominantemente longitudinal ao longo da costa e redução das concentrações ao longo da trajetória.

Nos cenários analisados observa-se que as maiores concentrações de sedimentos em suspensão permanecem localizadas próximas à área de dragagem, durante o período de dragagem (1 hora) com aumento da dispersão ao longo da direção de transporte das correntes.

A direção predominante de transporte das plumas de dragagem acompanha o alinhamento NE–SW da costa, refletindo o padrão de correntes costeiras local. As diferenças estão mais relacionadas com a direção do deslocamento das plumas e sua maior dispersão durante o cenário de ventos críticos, como o de inverno (S), do que aquelas geradas durante os cenários menos energéticos como de verão (NE).

Nos cenários representativos de verão (Figura 3.3.1-1 e 3.1.1-2), caracterizados por ventos mais moderados, a dispersão das plumas ocorre de forma mais lenta em direção ao sul, resultando em maior permanência das concentrações elevadas nas proximidades da área de dragagem como o cenário de ventos de oeste, no qual a pluma se manteve por mais tempo próximo ao seu local de origem.

Para o cenário de inverno (Figura 3.3.1-3), a maior intensidade das correntes associadas aos ventos de quadrante sul, resulta em transporte mais rápido e maior alongamento longitudinal das plumas em direção ao norte. O mapa da (Figura 3.3.1-3) mostra que nesse cenário, apesar da tendência de deslocamento das plumas em direção à costa, as plumas alcançam a concentração de 10 mg/L muito antes de se aproximarem da linha de costa

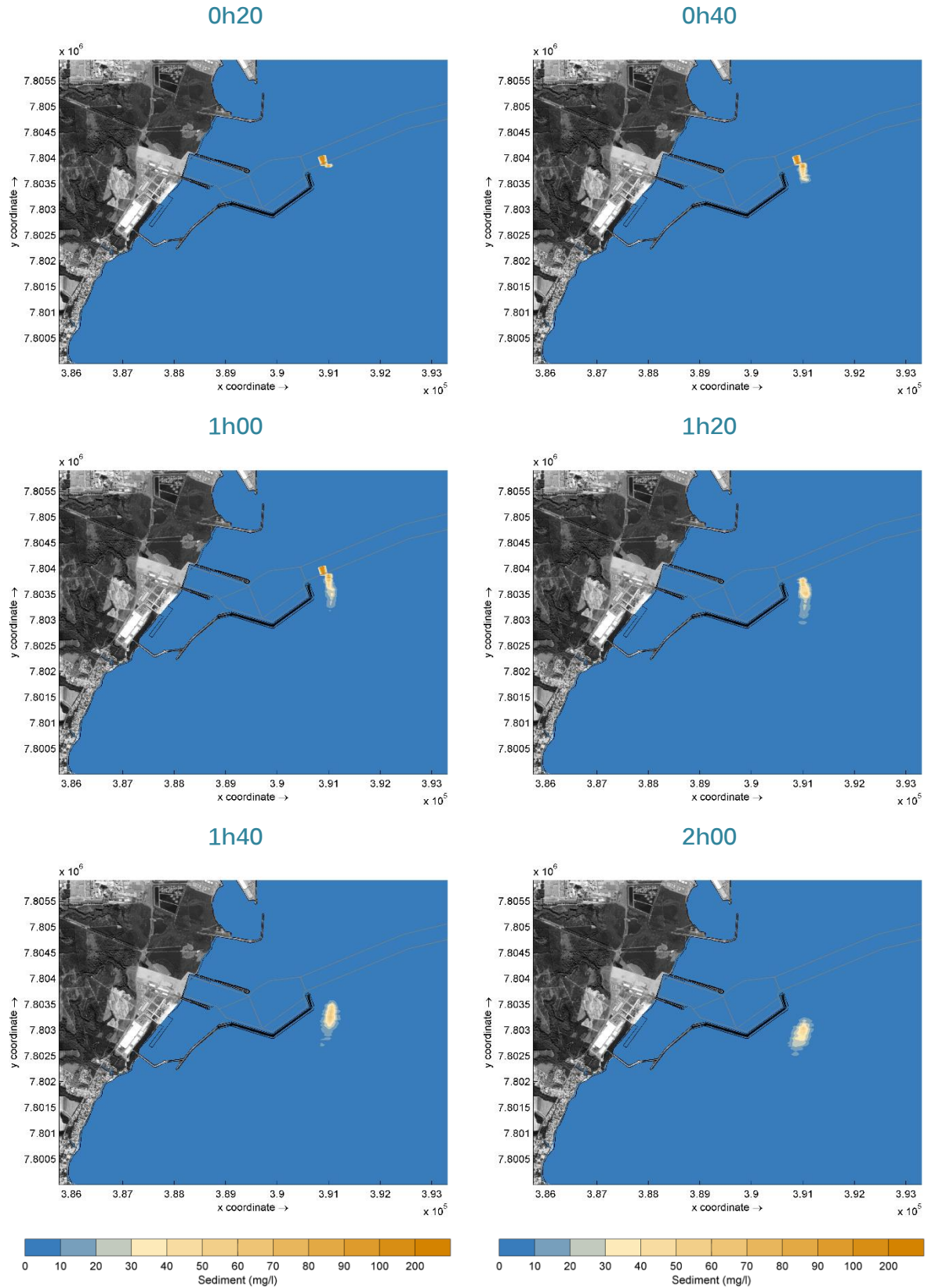


Figura 3.3.1-1. Evolução da pluma de DRAGAGEM: concentração de sedimentos (mg/L) durante o ciclo de dragagem no VERÃO, com ventos típicos de NE, em maré de quadratura (continua).

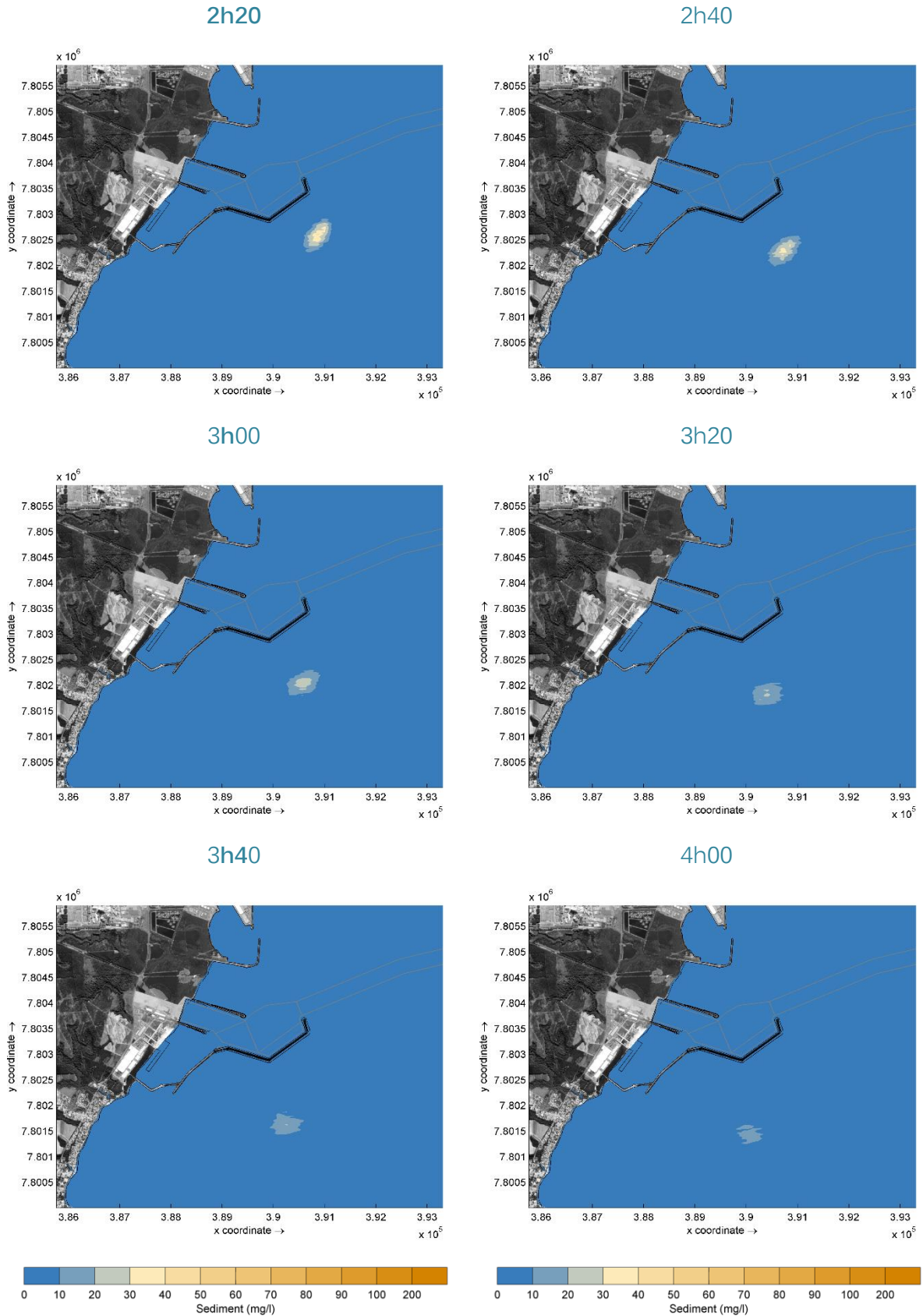


Figura 3.3.1-1. Evolução da pluma de DRAGAGEM: concentração de sedimentos (mg/L) durante o ciclo de dragagem no VERÃO, com ventos típicos de NE, em maré de quadratura (continua).

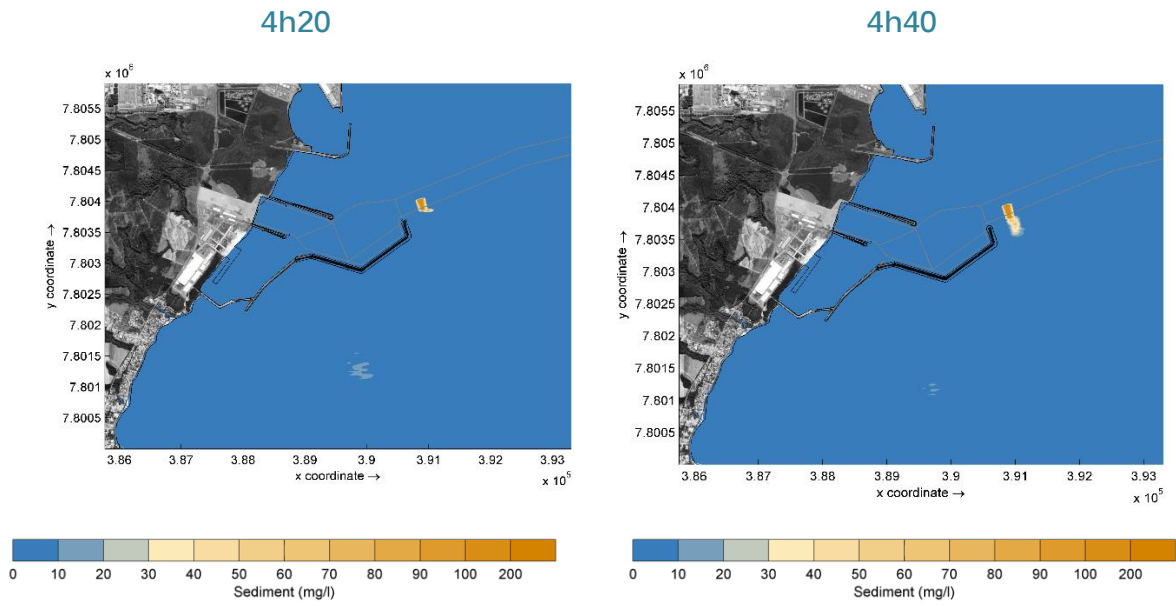


Figura 3.3.1-1. Evolução da pluma de DRAGAGEM: concentração de sedimentos (mg/L) durante o ciclo de dragagem no VERÃO, com ventos típicos de NE, em maré de quadratura.

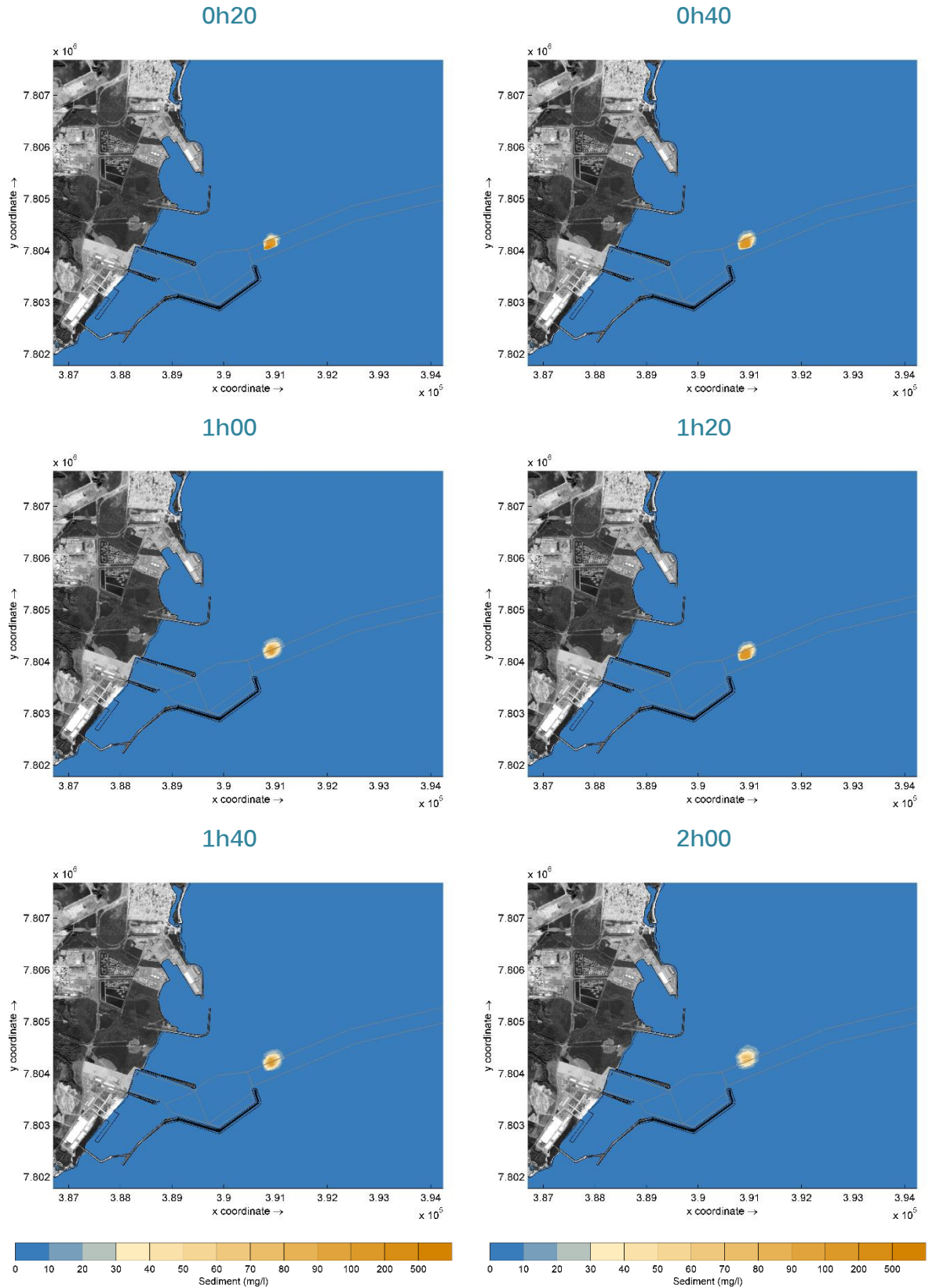


Figura 3.3.1-2. Evolução da pluma de DRAGAGEM: concentração de sedimentos (mg/L) durante o ciclo de dragagem no VERÃO, com ventos típicos de W, em maré de quadratura (contínua).

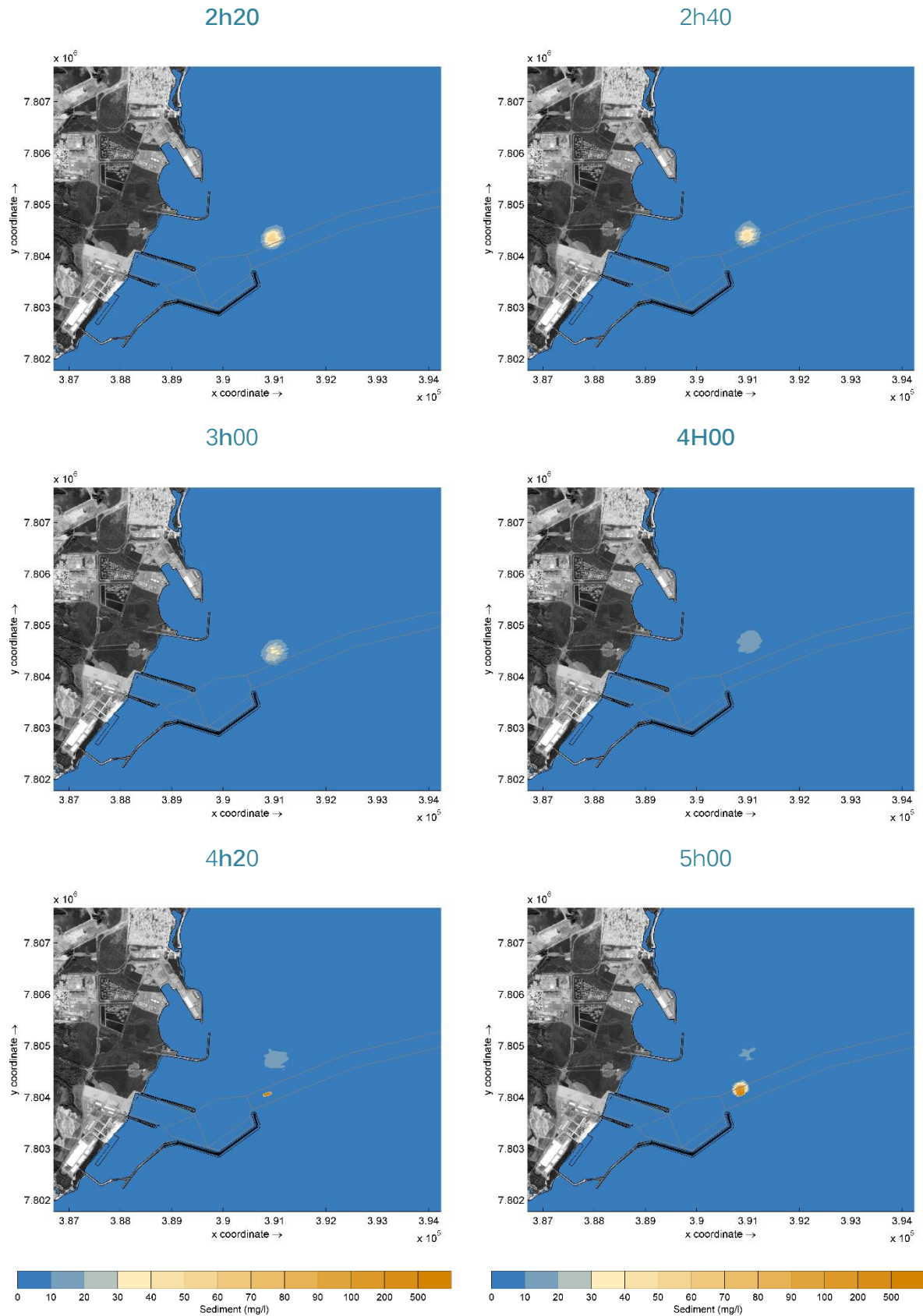


Figura 3.3.1-2. Evolução da pluma de DRAGAGEM: concentração de sedimentos (mg/L) durante o ciclo de dragagem no VERÃO, com ventos típicos de W, maré de quadratura.

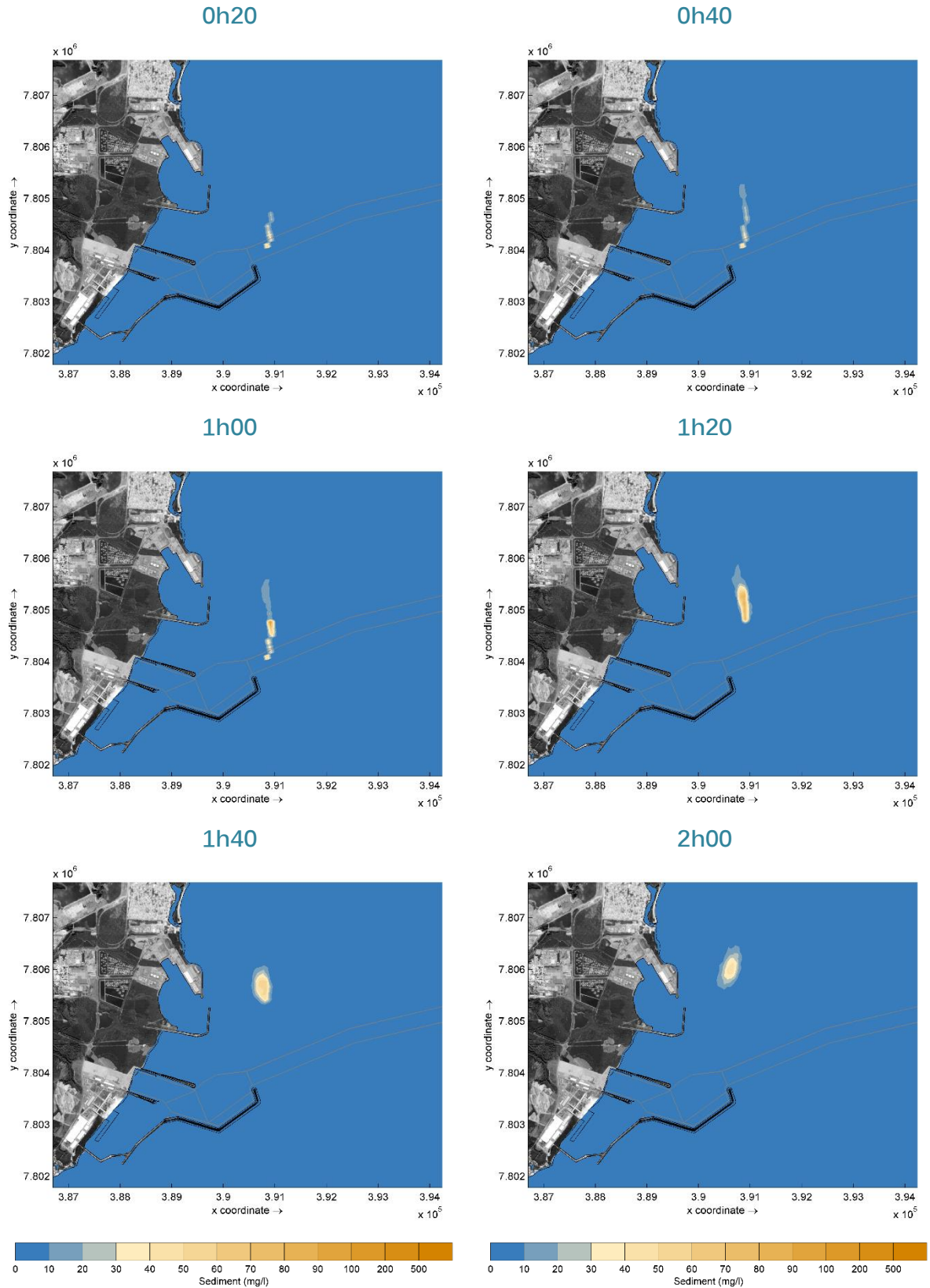


Figura 3.3.1-3. Evolução da pluma de DRAGAGEM: concentração de sedimentos (mg/L) durante o ciclo de dragagem no INVERNO, com ventos críticos de sul, em maré de sizígia (contínua).

2h20

2h40

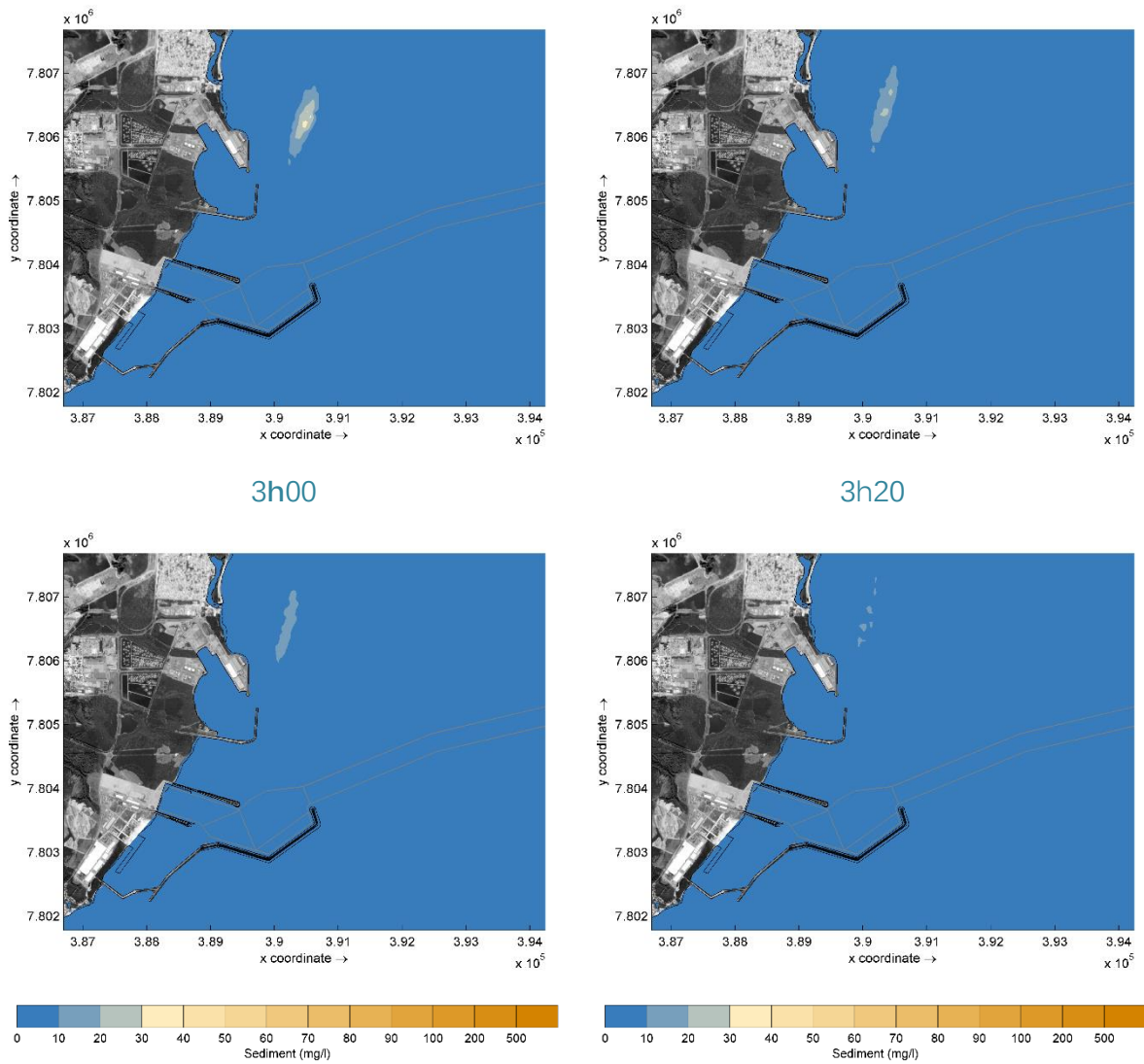


Figura 3.3.1-3. Evolução da pluma de DRAGAGEM: concentração de sedimentos (mg/L) durante o ciclo de dragagem no INVERNO, com ventos críticos de sul, em maré de sizígia.

- **Overflow**

As **plumas de overflow** apresentam comportamento semelhante às plumas de dragagem, com as maiores concentrações de sedimentos em suspensão confinadas às proximidades da área de execução da operação de overflow e uma dispersão progressiva ao longo da direção de transporte das correntes. A direção predominante de transporte das plumas de overflow acompanha o alinhamento NE–SW da costa e das estruturas portuárias presentes na área, refletindo o padrão de correntes costeiras local.

No caso das plumas de overflow, os resultados mostraram que o cenário mais crítico para a dispersão das plumas de sedimentos é o cenário com maré de quadratura e ventos fracos, como os nordeste e oeste (Figuras 3.3.1-4 e 3.3.1-5). Nesse período, a baixa magnitude das correntes no local tende a fazer com que o deslocamento e dispersão das plumas seja mais lenta e os sedimentos, mesmo que em baixas concentrações (<20 mg/L) podem permanecer em suspensão durante todo o ciclo até o período do próximo lançamento de overflow.

No caso do cenário de inverno, as plumas se dispersam rapidamente e a concentração de sedimentos se reduz a < 10 mg/L antes do próximo overflow.

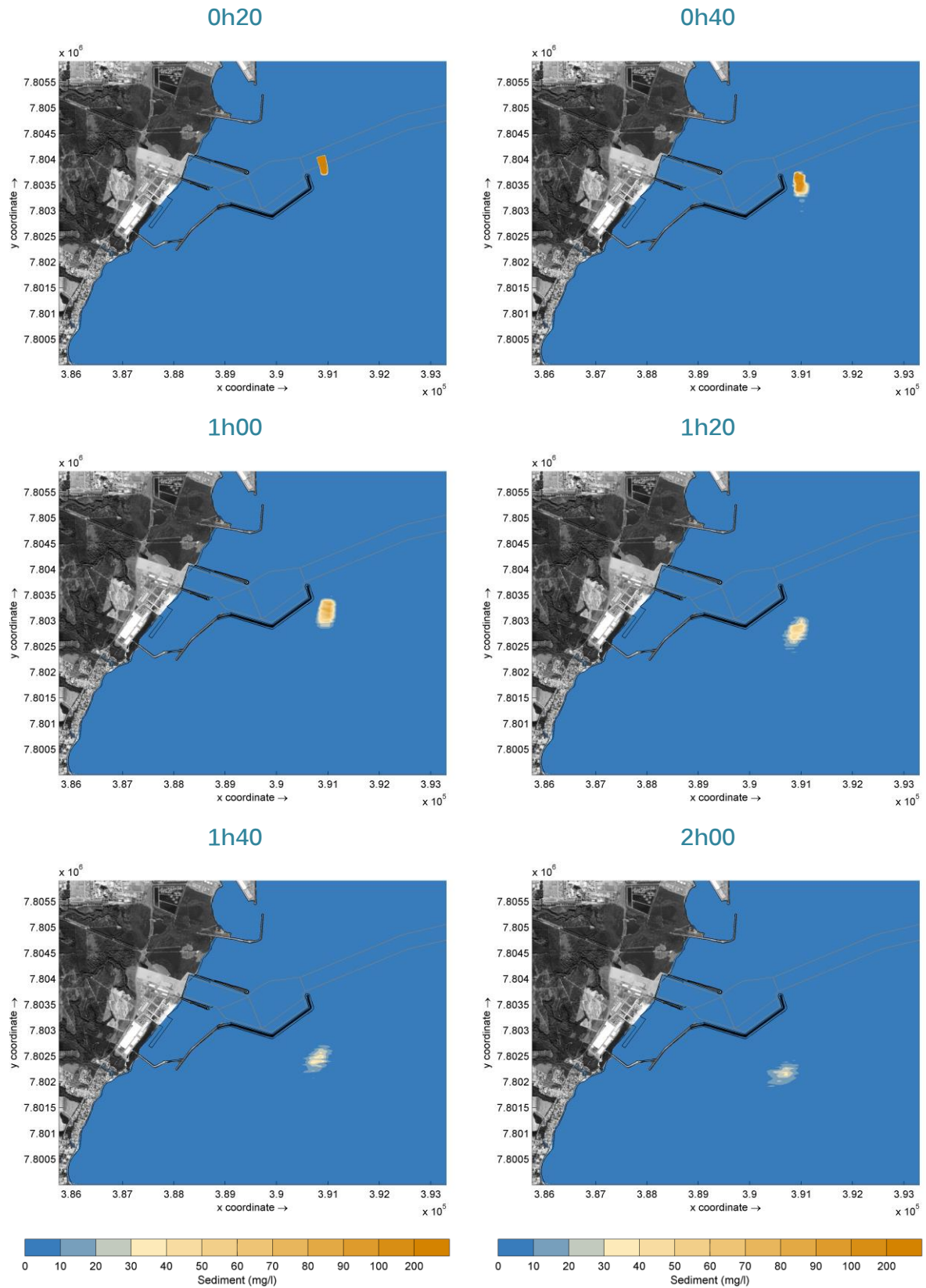


Figura 3.3.1-4. Evolução da pluma de OVERFLOW: concentração de sedimentos (mg/L) após o início do overflow no VERÃO, com ventos típicos de NE, em maré de quadratura (Continua).

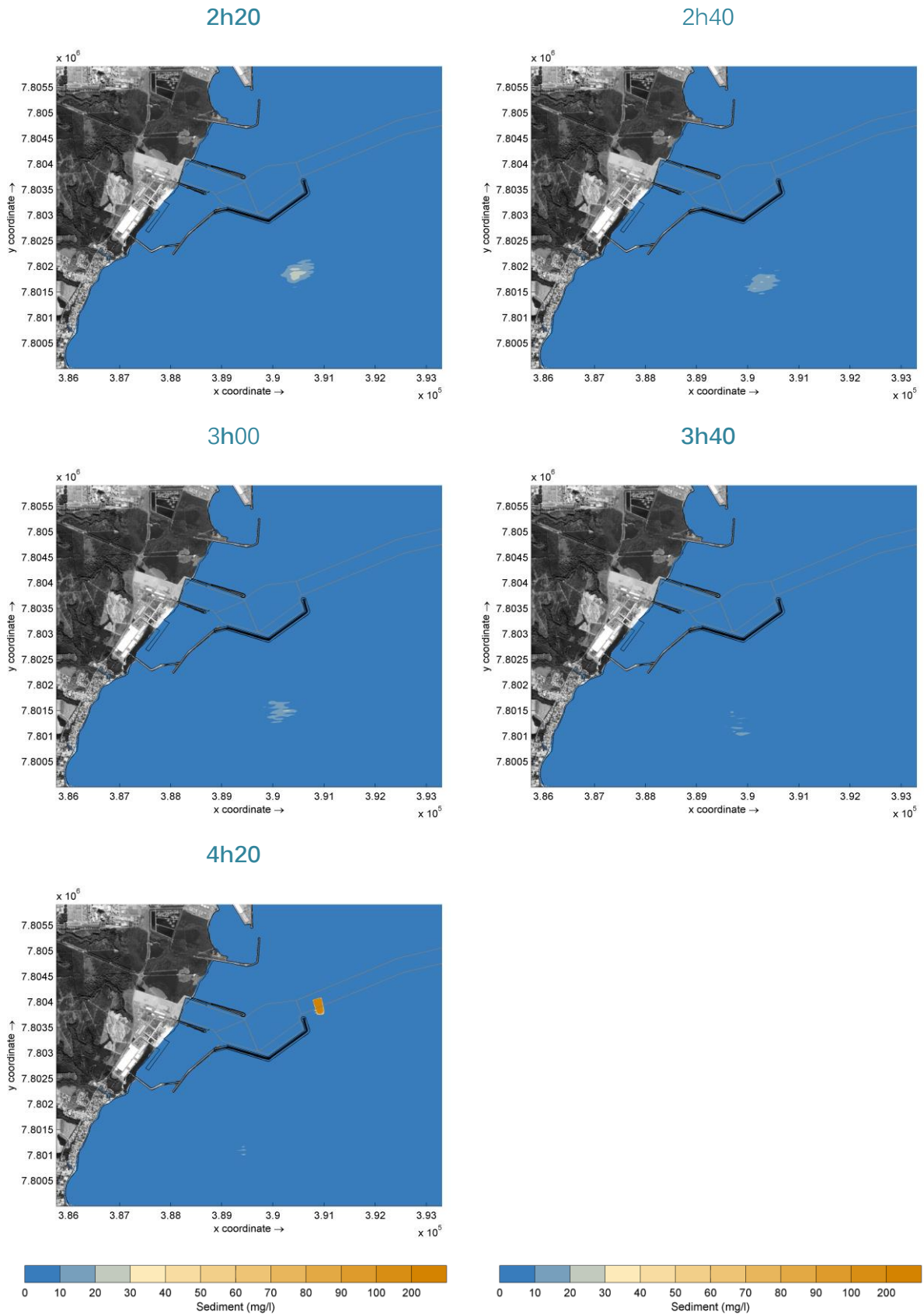


Figura 3.3.1-4. Evolução da pluma de OVERFLOW: concentração de sedimentos (mg/L) após o início do overflow no VERÃO, com ventos típicos de NE, em maré de quadratura.

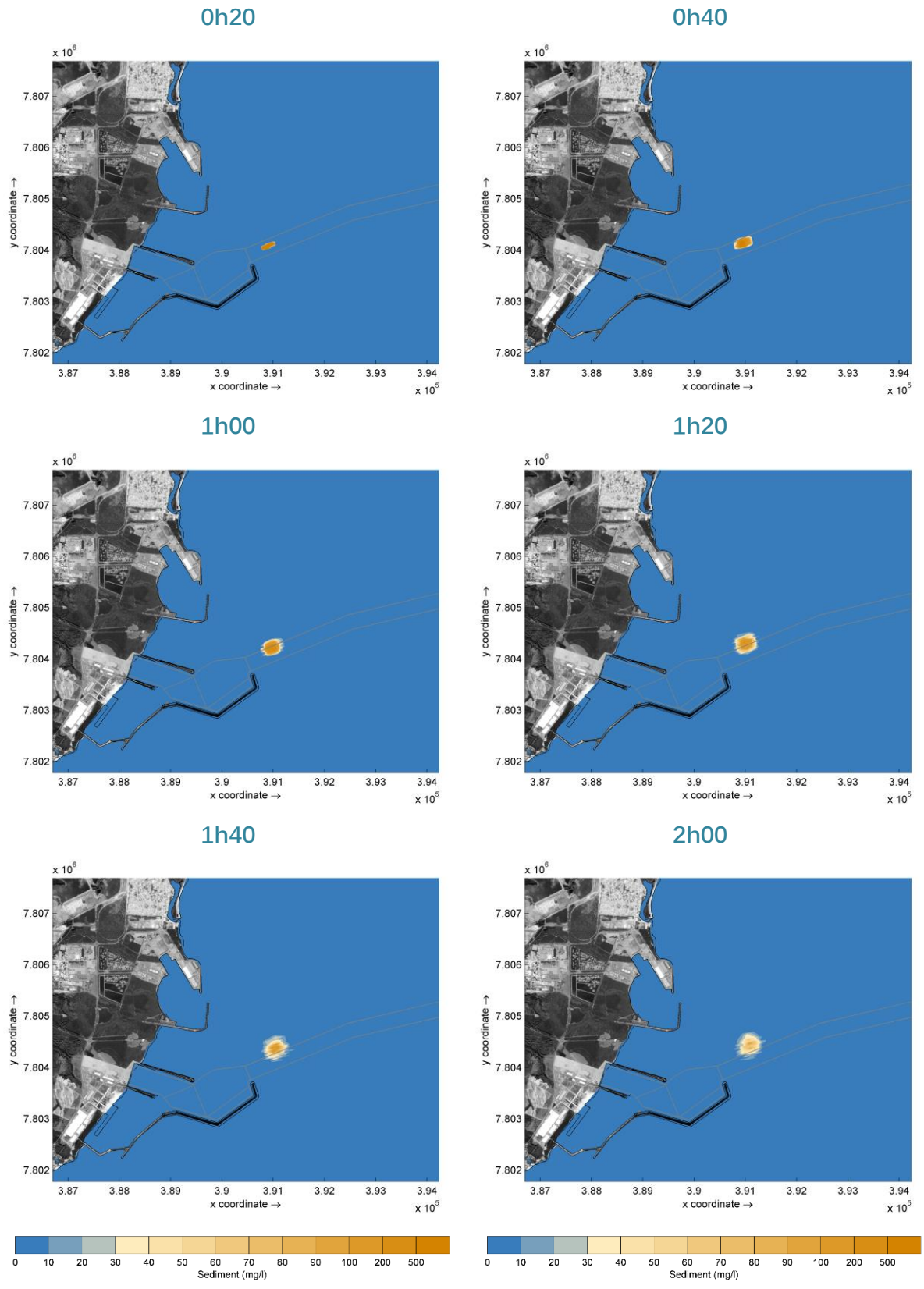


Figura 3.3.1-5. Evolução da pluma de OVERFLOW: concentração de sedimentos (mg/L) após o início do overflow no VERÃO, com ventos típicos de W, em maré de quadratura (Continua).

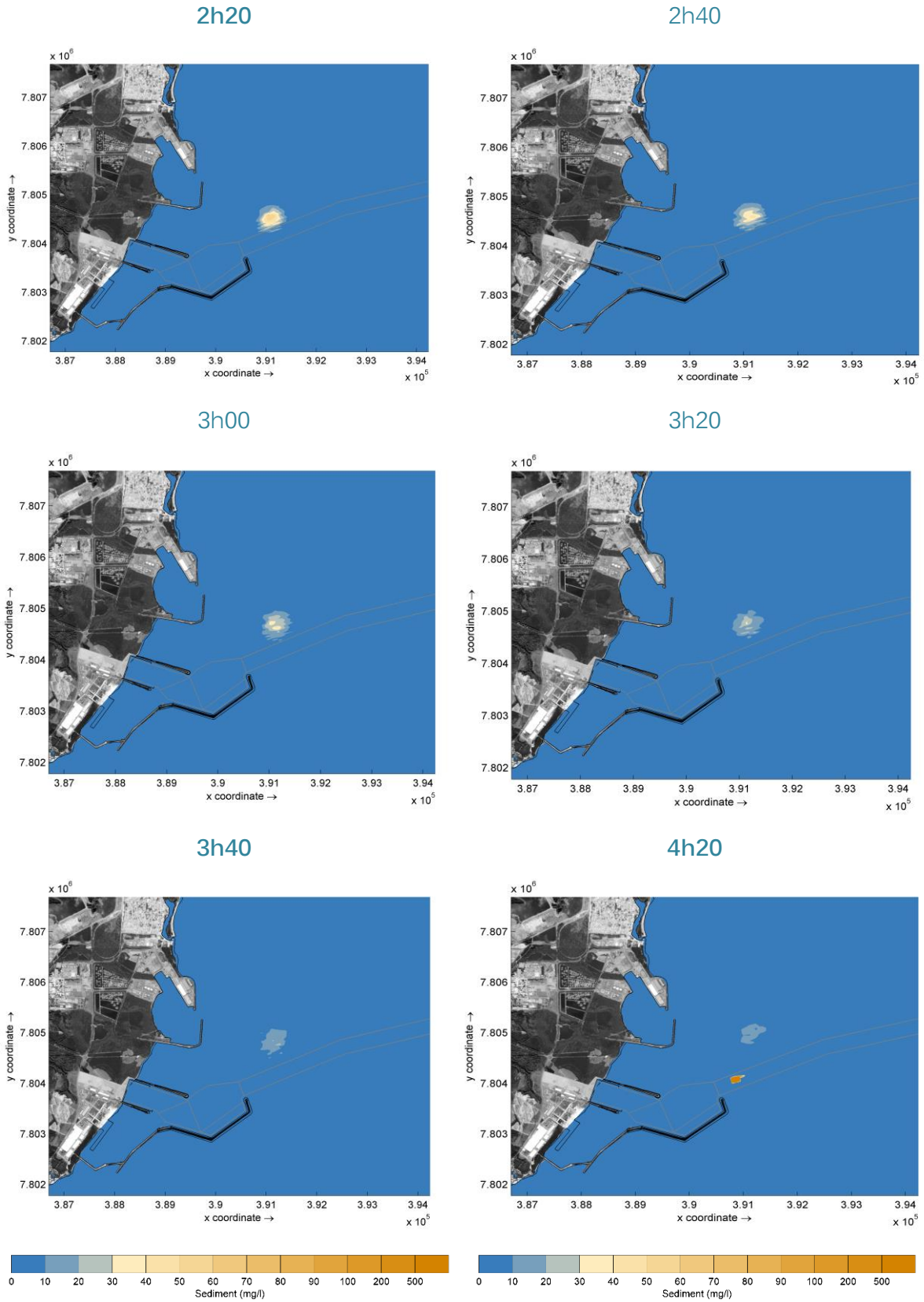


Figura 3.3.1-5. Evolução da pluma de OVERFLOW: concentração de sedimentos (mg/L) após o início do overflow no VERÃO, com ventos típicos de W, em maré de quadratura.

0h20

0h40

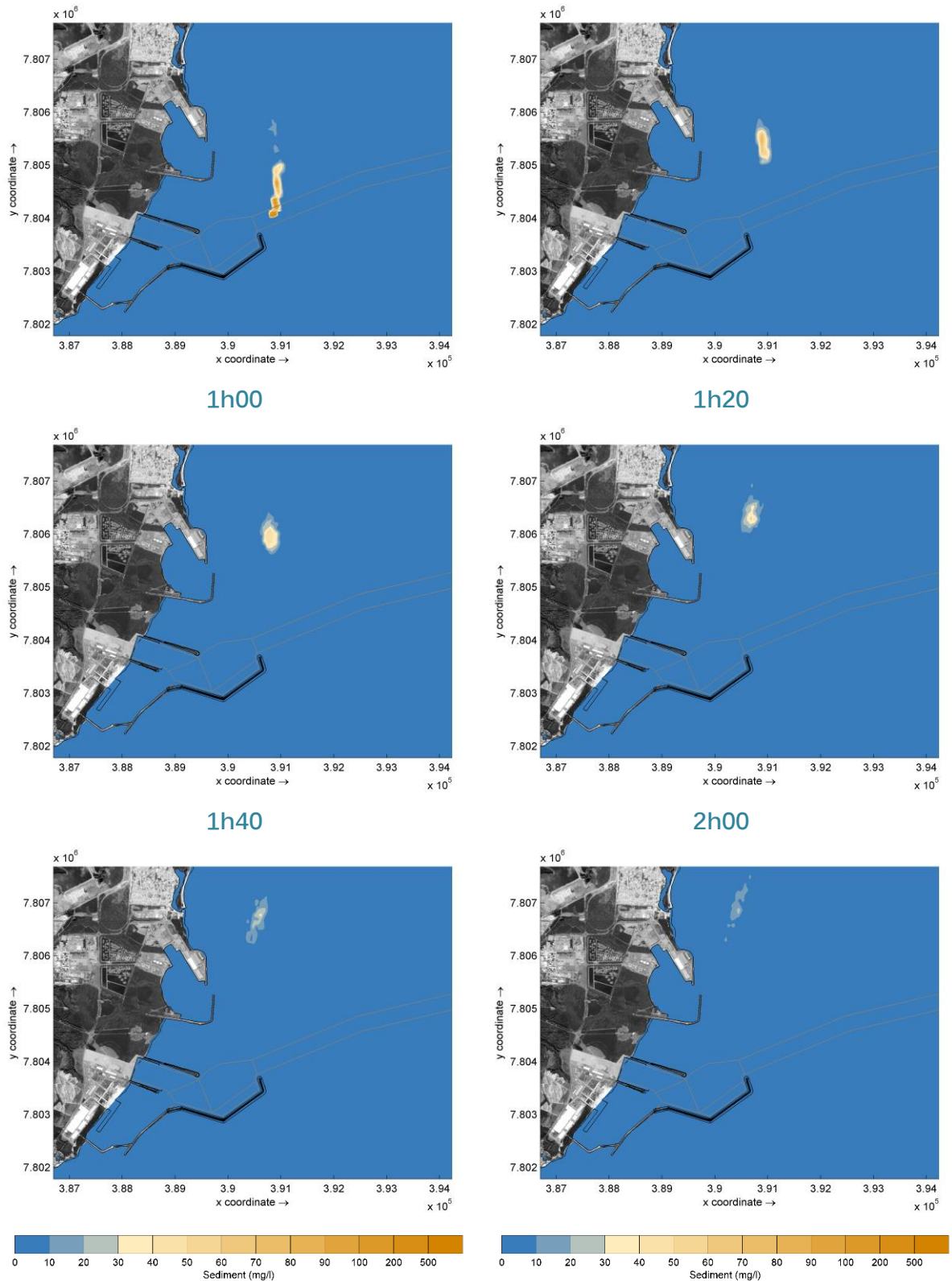


Figura 3.3.1-6. Evolução da pluma de OVERFLOW: concentração de sedimentos (mg/L) após o início do overflow no INVERNO, com ventos críticos de sul, em maré de sizígia (Continua).

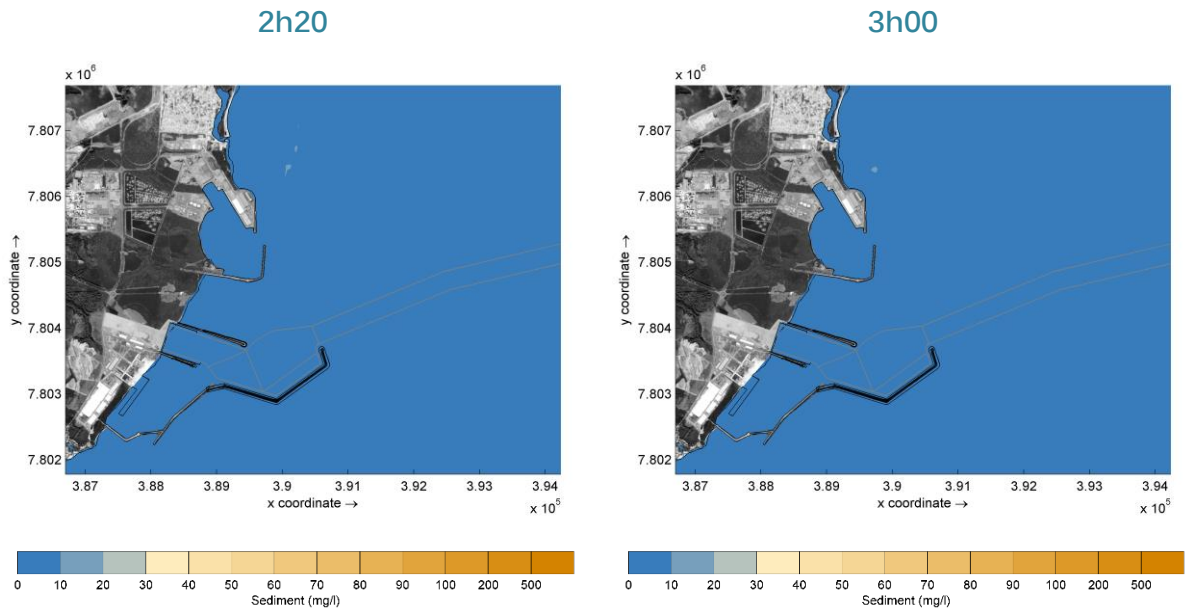


Figura 3.3.1-6. Evolução da pluma de OVERFLOW: concentração de sedimentos (mg/L) após o início do overflow no INVERNO, com ventos críticos de sul, em maré de sizígia.

3.3.2 Concentração Máxima de Sedimentos

Os mapas de concentrações máximas de sedimentos em suspensão são gerados a partir do conjunto de todas as simulações realizadas e indicam os locais e os valores máximos de concentração que podem ocorrer na área de estudo, bem como o alcance máximo potencial das plumas.

Essas concentrações correspondem aos valores máximos espaço-temporais obtidos considerando todas as plumas simuladas, todos os cenários meteoceanográficos e todos os instantes do período de simulação. Dessa forma, o mapa não representa uma pluma específica, mas sim a distribuição espacial das concentrações máximas que podem ocorrer em cada ponto da área de estudo, constituindo um indicador conservador do limite potencial de dispersão.

Desse modo, as concentrações mostradas não ocorrem simultaneamente em toda a área representada, devendo sua interpretação ser realizada em conjunto com os mapas probabilísticos de ocorrência, apresentados na Seção 3.4.3, os quais indicam a frequência de ocorrência das concentrações de sedimentos resultantes das simulações.

- DRAGAGEM

Os resultados nos mapas das Figura 3.3.2-1 e 3.3.2-2 indicam a distribuição e o alcance máximo das plumas de sedimentos colocados em suspensão durante as operações de dragagem nos cenários de verão e inverno. As concentrações máximas de sedimentos são apresentadas em mg/L. Esses resultados devem ser analisados em relação aos resultados de probabilidades de ocorrência.

Os resultados indicam que o alcance das plumas de sedimentos apresenta diferenças moderadas entre verão e inverno, embora mantenha um padrão geral de maior transporte de sedimentos para o setor sul da área de estudo. As plumas associadas à dragagem apresentam maior deslocamento para sul em ambas as estações, embora, no inverno, as plumas de sedimentos tendam a uma maior dispersão e, conseqüentemente, uma distribuição espacial mais ampla em direção ao norte.

A Tabela 3.3.2-1 e a Figura 3.3.2-3 resumem o alcance máximo (em km) das plumas de sedimentos em suspensão derivadas das operações de DRAGAGEM, para diferentes limiares de concentração (200, 100, 50, 25 e 10 mg/L), durante verão e inverno, considerando as direções Norte e Sul do ponto de origem.

No verão, os alcances em direção ao norte variam entre aproximadamente 0.47 km (200 mg/L) e 3.0 km (10 mg/L). Em direção ao sul, os valores são ligeiramente menores para concentrações elevadas, porém aumentam significativamente para concentrações mais baixas, atingindo cerca de 6.4 km para concentrações acima de 10 mg/L. Esse comportamento indica maior dispersão da pluma nessa direção (Tabela 3.3.2-1 e Figura 3.3.2-3).

No inverno, observa-se aumento moderado no alcance das plumas em direção ao norte, com valores entre 0.55 km (200 mg/L) e aproximadamente 4.0 km (10 mg/L). Em direção ao sul, os valores permanecem semelhantes aos observados no verão, atingindo cerca de 6.0 km para concentrações 10 mg/L.

A Tabela 3.3.2-1 e o gráfico da Figura 3.3.2-3 sintetizam as distâncias máximas associadas aos limiares de concentração de 200, 100, 50, 25 e 10 mg/L, obtidas a partir do conjunto de cenários de verão e inverno. Norte e Sul indicam a direção predominante de propagação das plumas em relação ao ponto de descarga.

CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE SEDIMENTOS: DRAGAGEM

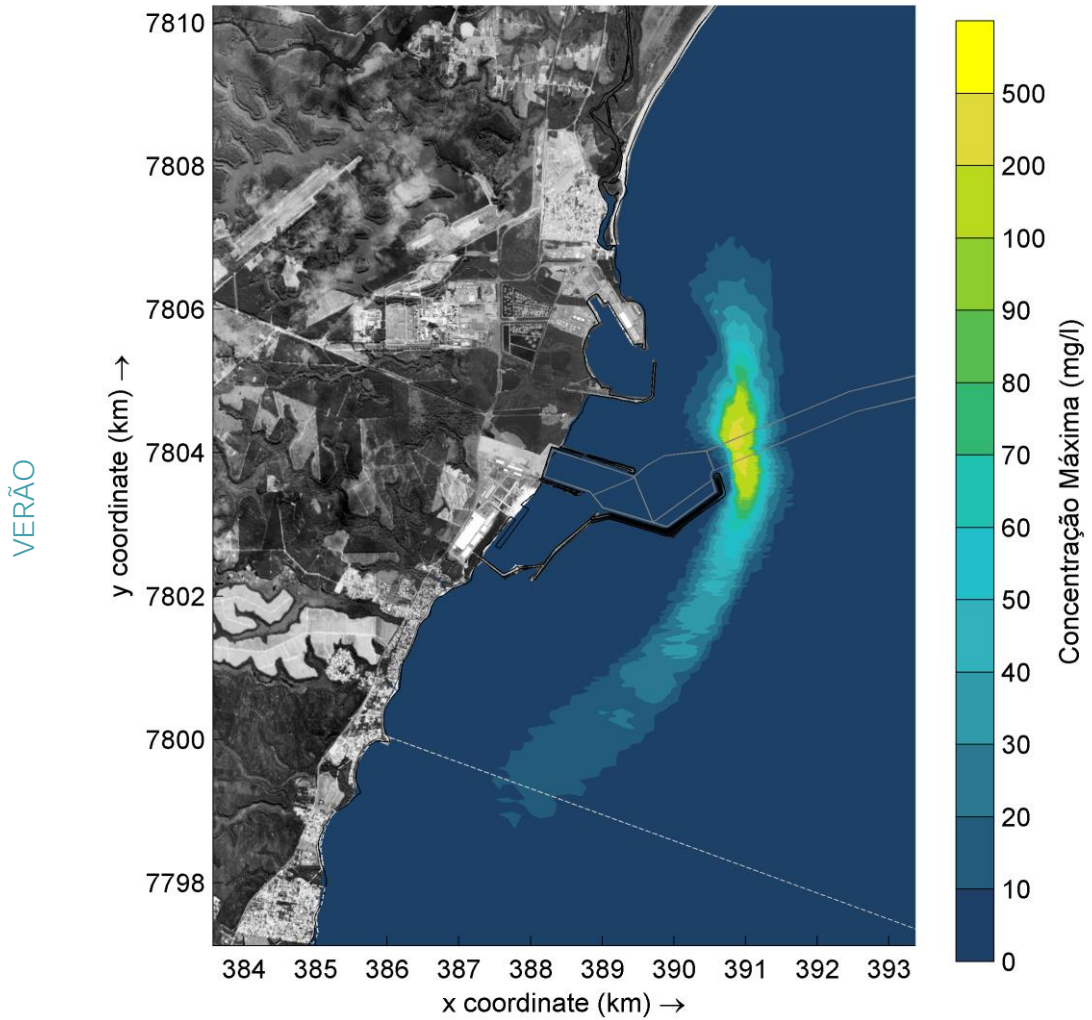


Figura 3.3.2-1. Concentração máxima de sedimentos em suspensão (mg/l) considerando todos os resultados das plumas de DRAGAGEM de VERÃO.

CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE SEDIMENTOS: DRAGAGEM

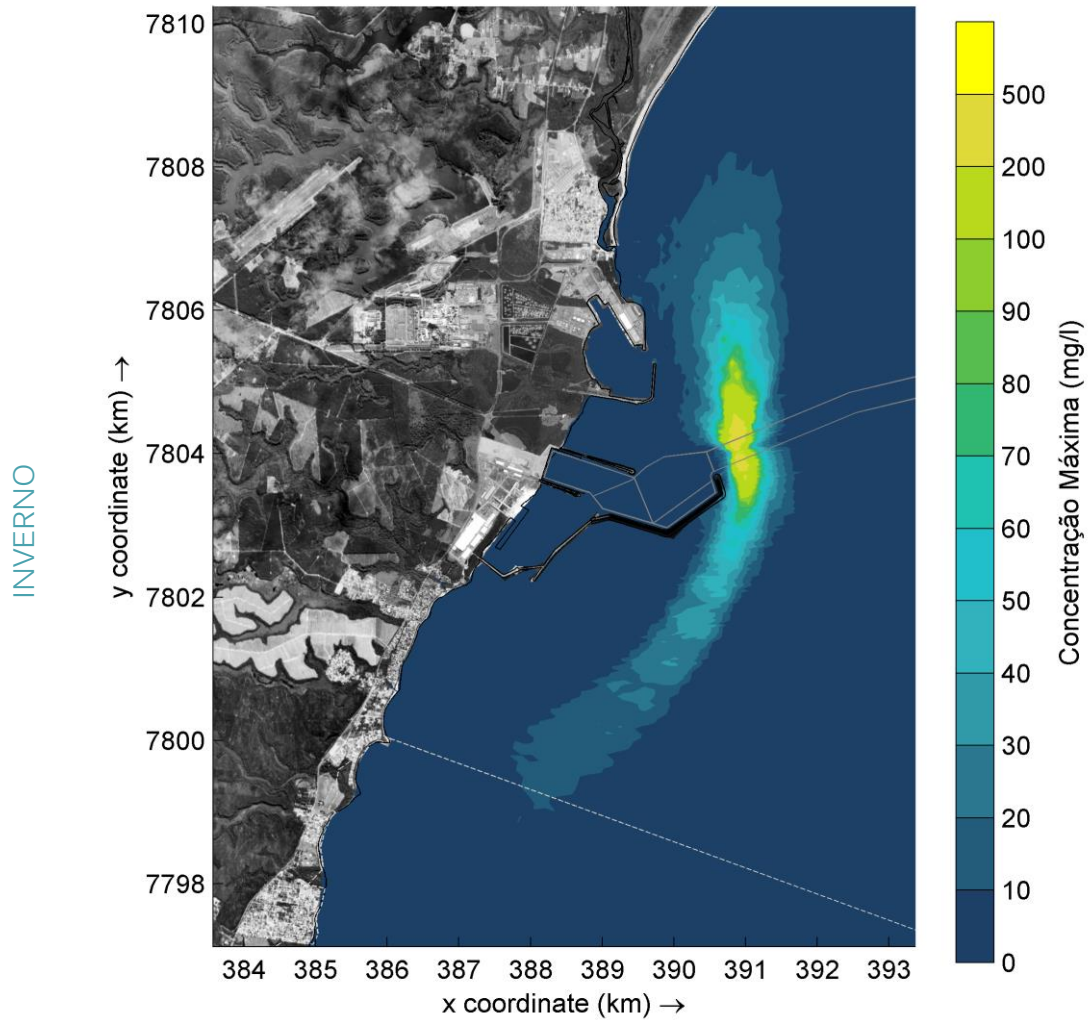


Figura 3.3.2-2. Concentração máxima de sedimentos em suspensão (mg/l) considerando todos os resultados das plumas de DRAGAGEM de INVERNO.

Tabela 3.3.2-1. Alcance máximo (km) das concentrações de sedimentos em suspensão (mg/L) associadas às plumas de DRAGAGEM para cenários de verão e inverno.

Alcance (em km) das concentrações máximas de sedimentos (mg/L)						
Estação	Direção	200 mg/L	100 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
VERÃO	Norte	0.47	0.86	1.54	2.22	3.02
	Sul	0.38	0.70	1.57	3.32	6.43
INVERNO	Norte	0.55	1.02	1.95	2.93	3.99
	Sul	0.34	0.65	1.50	3.38	5.94

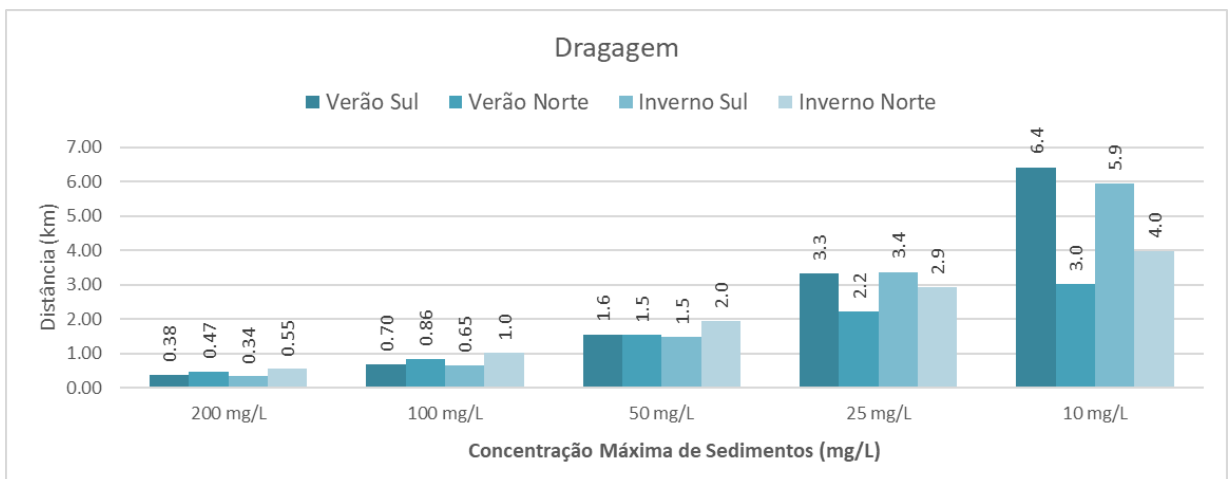


Figura 3.3.2-3. Alcance máximo (km) das concentrações de sedimentos em suspensão (mg/L) associadas às plumas de DRAGAGEM para cenários de verão e inverno.

- OVERFLOW

Tal como os resultados das plumas de dragagem, os resultados dos mapas de concentração máxima das plumas de overflow indicam os locais que estarão sujeitos à ocorrência de sedimentos em suspensão e qual o nível de concentração máximo poderá ocorrer em cada local. As concentrações máximas de sedimentos são apresentadas em mg/L. Esses resultados devem ser analisados em relação aos resultados de probabilidades de ocorrência.

As plumas associadas às operações de overflow da draga apresentam alcances geralmente superiores aos observados nas plumas diretamente associadas à ressuspensão de sedimentos pela dragagem, especialmente para concentrações intermediárias e baixas.

No verão, o deslocamento em direção ao norte da área de overflow apresenta alcance entre aproximadamente 0.51 km (200 mg/L) e 3.2 km (10 mg/L). Em direção ao sul, as distâncias são significativamente maiores para concentrações mais baixas, atingindo cerca de 6.6 km para o limiar de 10 mg/L (Figura 3.3.2-3).

No inverno, ocorre um aumento no alcance das plumas em direção ao norte, principalmente para concentrações elevadas, decorrentes dos cenários de ventos dos setores S, SE e SW. O limite de 200 mg/L alcança cerca de 0.70 km e, para o limiar de 10 mg/L, o alcance atinge aproximadamente 4.4 km. Para sul, os valores são semelhantes aos observados no verão, com valores de aproximadamente 6.5 km para plumas com concentração acima de 10 mg/L (Figura 3.3.2-4).

A Tabela 3.3.2-2 e o gráfico da Figura 3.3.2-5 sintetizam as distâncias máximas associadas aos limiares de concentração de 200, 100, 50, 25 e 10 mg/L, obtidas a partir do conjunto de cenários de verão e inverno. Norte e Sul indicam a direção predominante de propagação das plumas em relação ao ponto de descarga.

CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE SEDIMENTOS: OVERFLOW

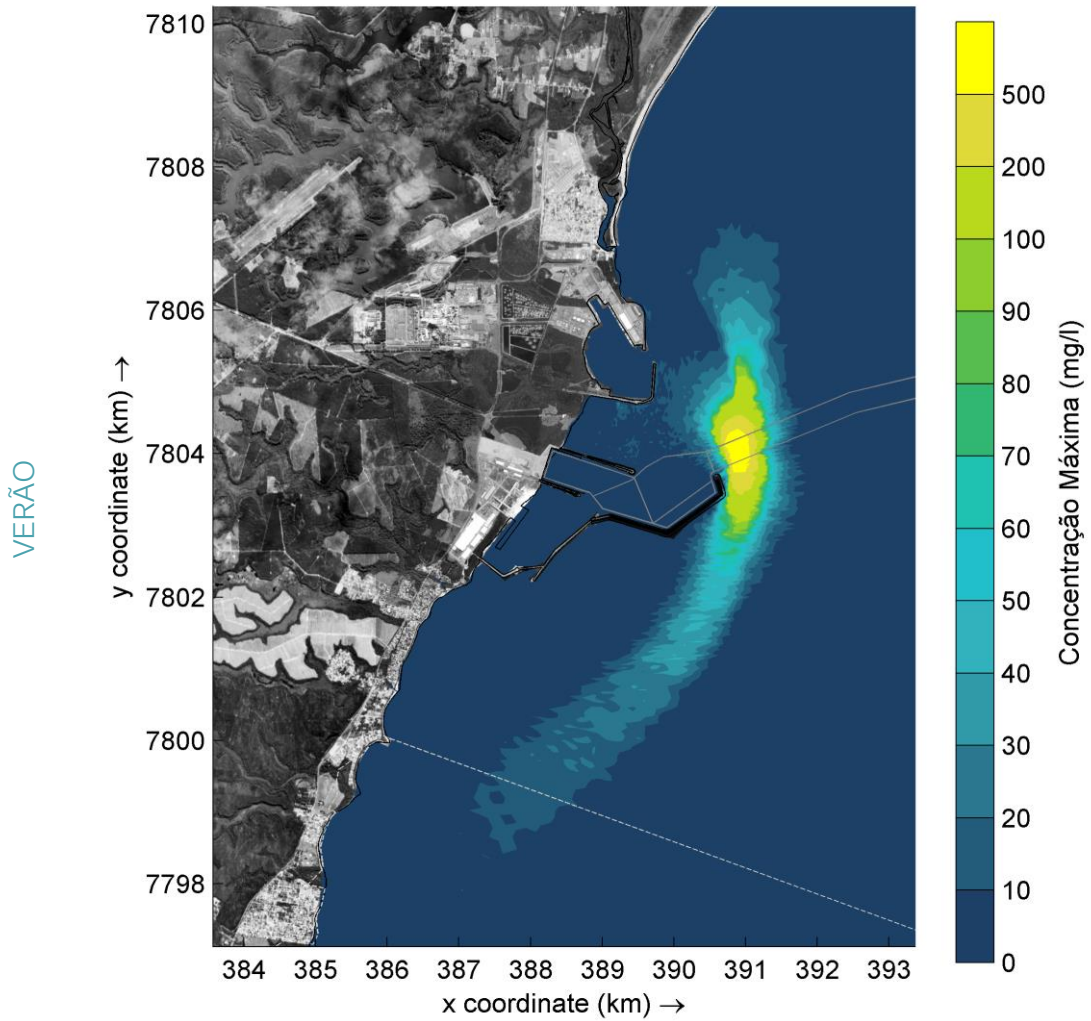


Figura 3.3.2-3. Concentração máxima de sedimentos em suspensão (mg/L) considerando todos os resultados das plumas de OVERFLOW de verão.

CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE SEDIMENTOS: OVERFLOW

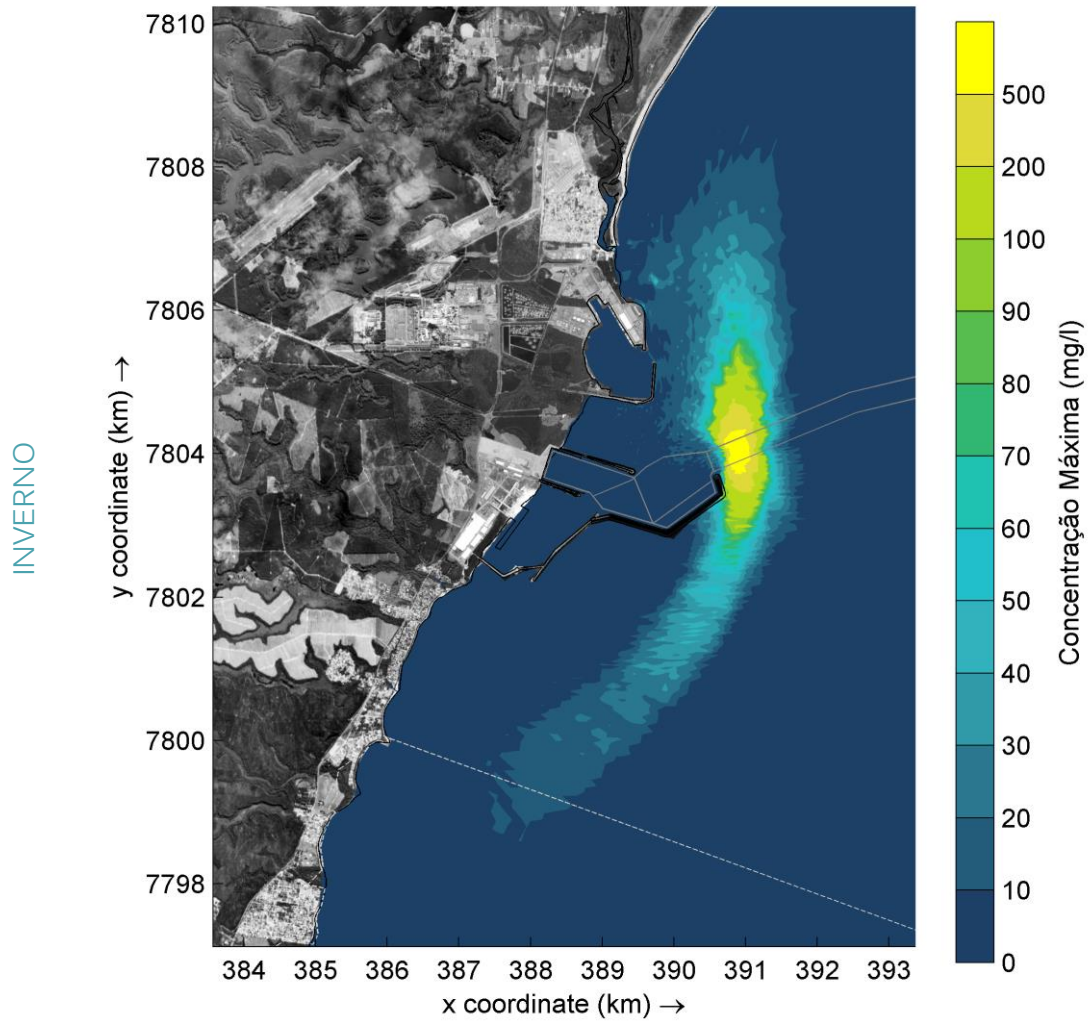


Figura 3.3.2-4. Concentração máxima de sedimentos em suspensão (mg/L) considerando todos os resultados das plumas de OVERFLOW de inverno.

Tabela 3.3.2-2. Alcance máximo (km) das concentrações de sedimentos em suspensão (mg/L) associadas às plumas de OVERFLOW para cenários de verão e inverno.

Alcance (em km) das concentrações máximas de sedimentos (mg/L)						
Estação	Direção	200 mg/L	100 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
VERÃO	Norte	0.51	1.09	1.61	2.33	3.20
	Sul	0.59	1.01	1.77	3.77	6.63
INVERNO	Norte	0.70	1.31	2.22	3.10	4.39
	Sul	0.60	0.95	1.76	3.75	6.54

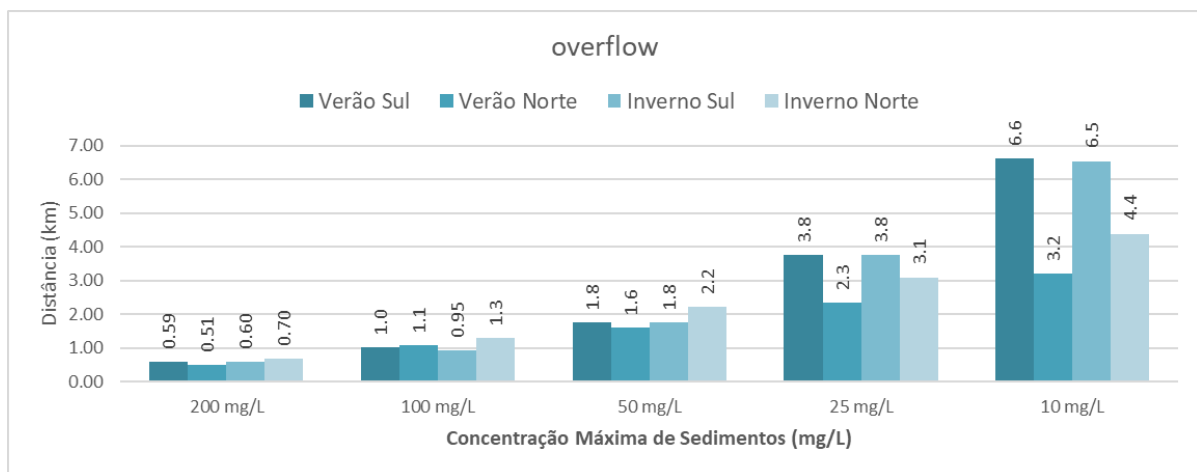


Figura 3.3.2-5. Alcance máximo (km) das concentrações de sedimentos em suspensão (mg/L) associadas às plumas de OVERFLOW para cenários de verão e inverno.

3.3.3 Probabilidades de Ocorrência

A modelagem probabilística é uma composição estocástica de todos os resultados dos cenários determinísticos simulados. A premissa inicial desse processamento é que cada cenário determinístico possui uma probabilidade de ocorrência associada, cuja influência aparece nos resultados da modelagem probabilística

Embora os cenários determinísticos permitam avaliar o comportamento das plumas sob condições hidrodinâmicas específicas, a análise probabilística permite integrar os diferentes cenários meteoceanográficos simulados, fornecendo uma estimativa da

frequência espacial de ocorrência das concentrações de sedimentos em suspensão na região de estudo.

Dessa forma, os resultados representam não apenas um cenário específico, mas a resposta integrada do sistema para diferentes condições ambientais. Esses resultados são úteis para delimitar áreas de maior impacto com base em concentrações acima de limiares críticos, neste estudo, como não há a definição de um limiar crítico local pela legislação, utilizou-se um valor conservador de 10 mg/L.

A análise probabilística separou os cenários em verão e inverno, ponderando as frequências de ventos de diferentes direções para refletir as condições sazonais dominantes.

▪ DRAGAGEM

As Figuras 3.3.3-1 e 3.3.3-2 apresentam as probabilidades de ocorrência (%) de concentrações de sedimento acima de 10 mg/l para verão e inverno.

Os mapas indicam a probabilidade de se encontrar concentrações acima desse limiar em qualquer situação de maré, vazão ou vento, considerando todas as situações de verão ou inverno. O limite da envoltória das probabilidades apresentado é de 1%.

Pode se verificar que os mapas de probabilidade possuem uma distribuição NE-SW semelhante aos mapas de concentração máxima e com alcances máximos de plumas semelhantes. No entanto, nesses limites, frequência de ocorrência nos extremos norte e sul é menor que 10% do total de resultados das plumas de sedimentos. Isso significa que menos de 10 % das plumas atingirão distâncias superiores a aproximadamente 2.7 km para norte ou 3.5 km para sul.

As plumas de sedimentos de dragagem tiveram uma distribuição mais balanceada no inverno, com 50% das plumas rumando sentido norte, alcançando uma distância máxima de 0.43 km e 50% rumando sentido sul até 0.83 km. No verão, o regime de ventos promove mais tempo de transporte para sul, o que resulta em uma probabilidade de ocorrência de 50% das plumas estarem para sul até uma distância 2.2 km e 50% permanecerem muito próximas ao ponto de emissão (≈ 20 m) para norte.

A Tabela 3.3.3-1 e a Figura 3.3.3-3 resumem as distâncias apresentadas correspondentes ao alcance máximo associado a cada nível de probabilidade de ocorrência, de verão e de inverno para as plumas de Dragagem.

DRAGAGEM

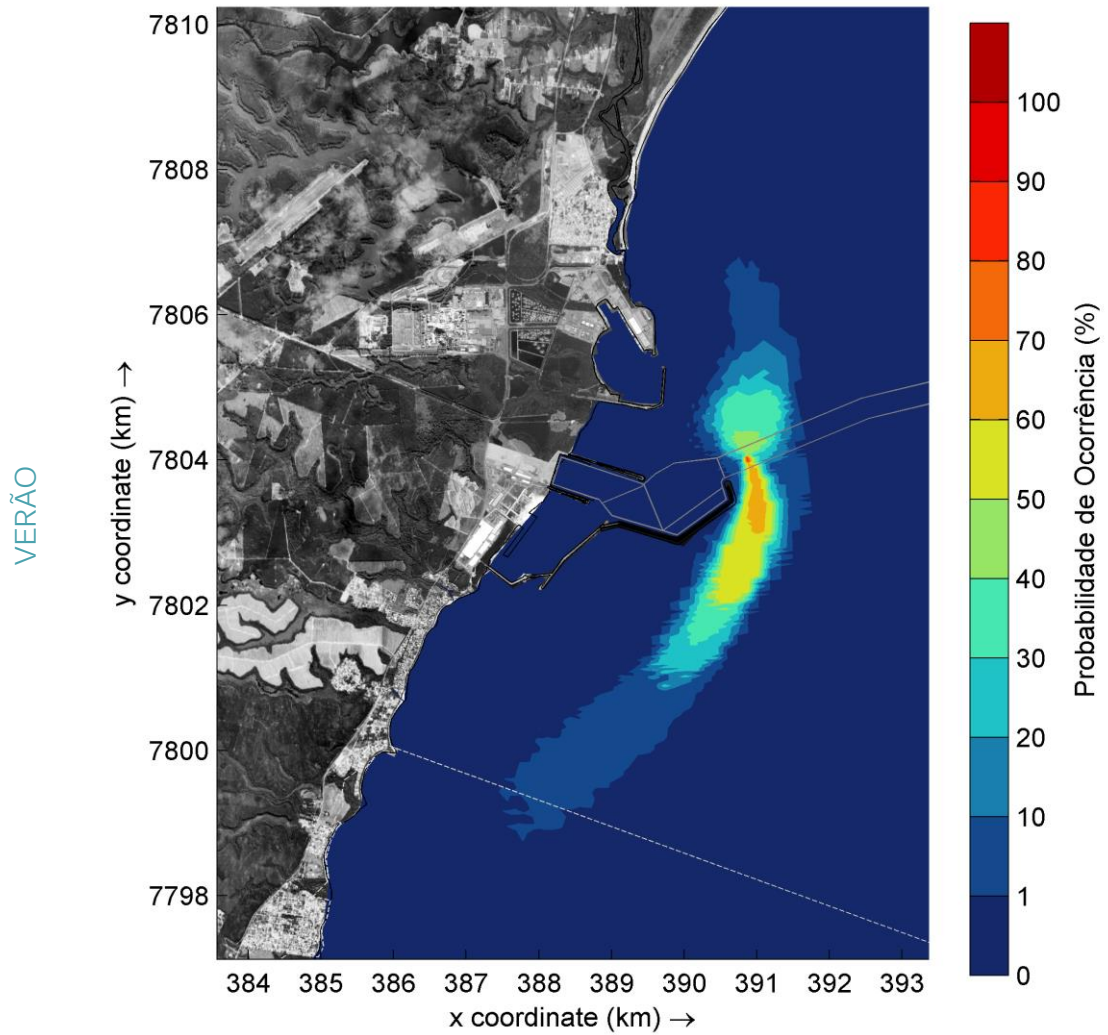


Figura 3.3.3-1. Probabilidade da ocorrência de concentrações de sedimentos em suspensão acima de 10 mg/L, considerando os resultados de todas as plumas de DRAGAGEM de VERÃO.

DRAGAGEM

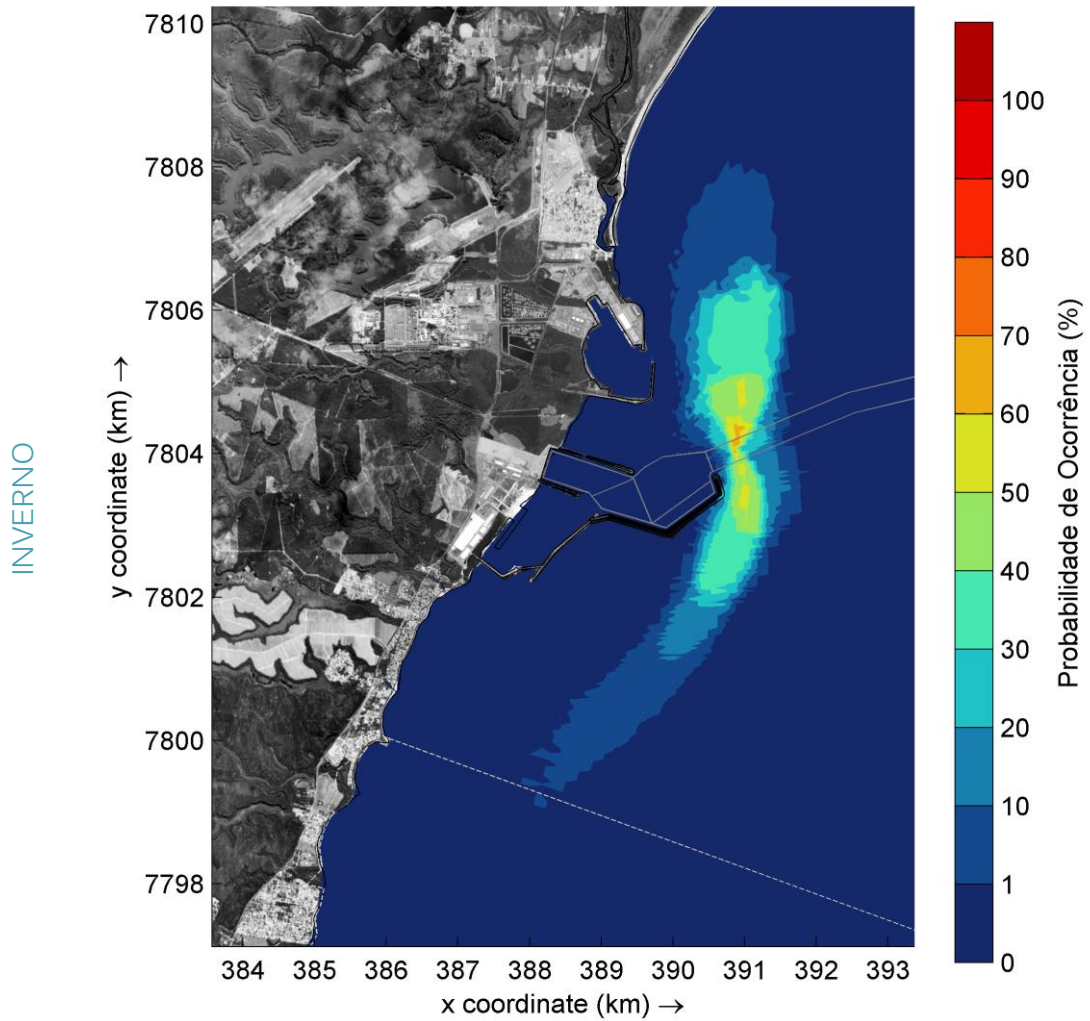


Figura 3.3.3-2. Probabilidade da ocorrência de concentrações de sedimentos em suspensão acima de 10 mg/L, considerando os resultados de todas as plumas de DRAGAGEM de INVERNO.

Tabela 3.3.3-1 Alcance máximo (km) das plumas de sedimentos em suspensão por probabilidade de ocorrência (%), considerando todos os resultados das plumas de DRAGAGEM de Verão e Inverno.

Alcance máximo (km) das plumas de Dragagem por probabilidade de ocorrência (%)							
Estação	Direção	50%	40%	30%	20%	10%	1%
VERÃO	Norte	0.02	0.37	0.87	1.14	1.59	2.79
	Sul	1.96	2.13	2.67	3.17	3.47	6.31
INVERNO	Norte	0.43	1.11	2.24	2.51	2.75	3.97
	Sul	0.83	1.11	2.06	2.31	3.15	5.92

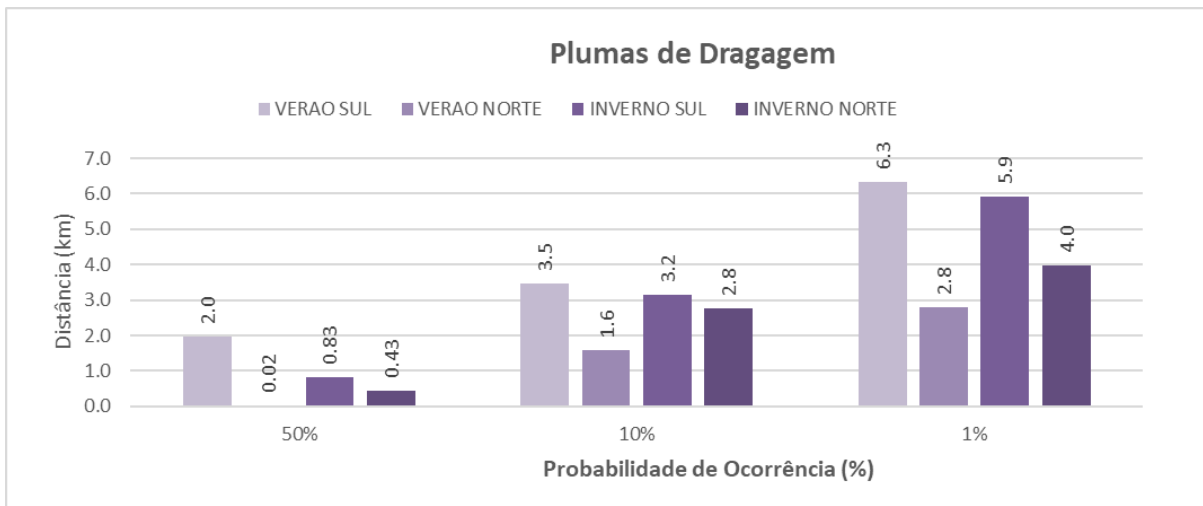


Figura 3.3.3-3. Alcance (em km) das plumas de sedimentos em suspensão e respectivas probabilidades de ocorrência (%) considerando todos os resultados das plumas de DRAGAGEM de Verão e Inverno.

▪ OVERFLOW

As Figuras 3.3.3-4 e 3.3.3-5 e a Tabela 3.3.3-2 apresentam as probabilidades de ocorrência de plumas derivadas das operações de overflow para os cenários meteorocenográficos de verão e inverno, para concentrações de sedimentos acima de 10 mg/L.

Estes mapas indicam a probabilidade de se encontrar concentrações acima desse limiar em qualquer situação de maré, vazão ou vento, considerando todas as situações de verão ou inverno. O limite das envoltórias das probabilidades foi de 1%.

As plumas de overflow se distribuíram de modo mais uniforme para norte e para sul, a partir do local de origem, na estação de inverno. No entanto, considerando a probabilidade de ocorrência de 50%, as plumas de overflow abrangeram uma área distante 520 m para norte e somente 90 m para sul. No verão esse alcance foi muito maior para sul (2.2 km) do que para norte (60 m).

Os resultados mostraram que as plumas de sedimentos derivados do overflow permaneceram entre 3.0 km, para norte e 6.6 km, para sul, no verão, considerando uma frequência de ocorrência mínima de 10%. No inverno, supondo o mesmo valor de 10% de ocorrência, as plumas de sedimentos estiveram entre 4.1 km para norte e 6.1 km para sul.

A Tabela 3.3.3-2 e a Figura 3.3.3-6 resumem as distâncias apresentadas correspondentes ao alcance máximo associado a cada nível de probabilidade de ocorrência, de verão e de inverno para as plumas de Overflow.

OVERFLOW

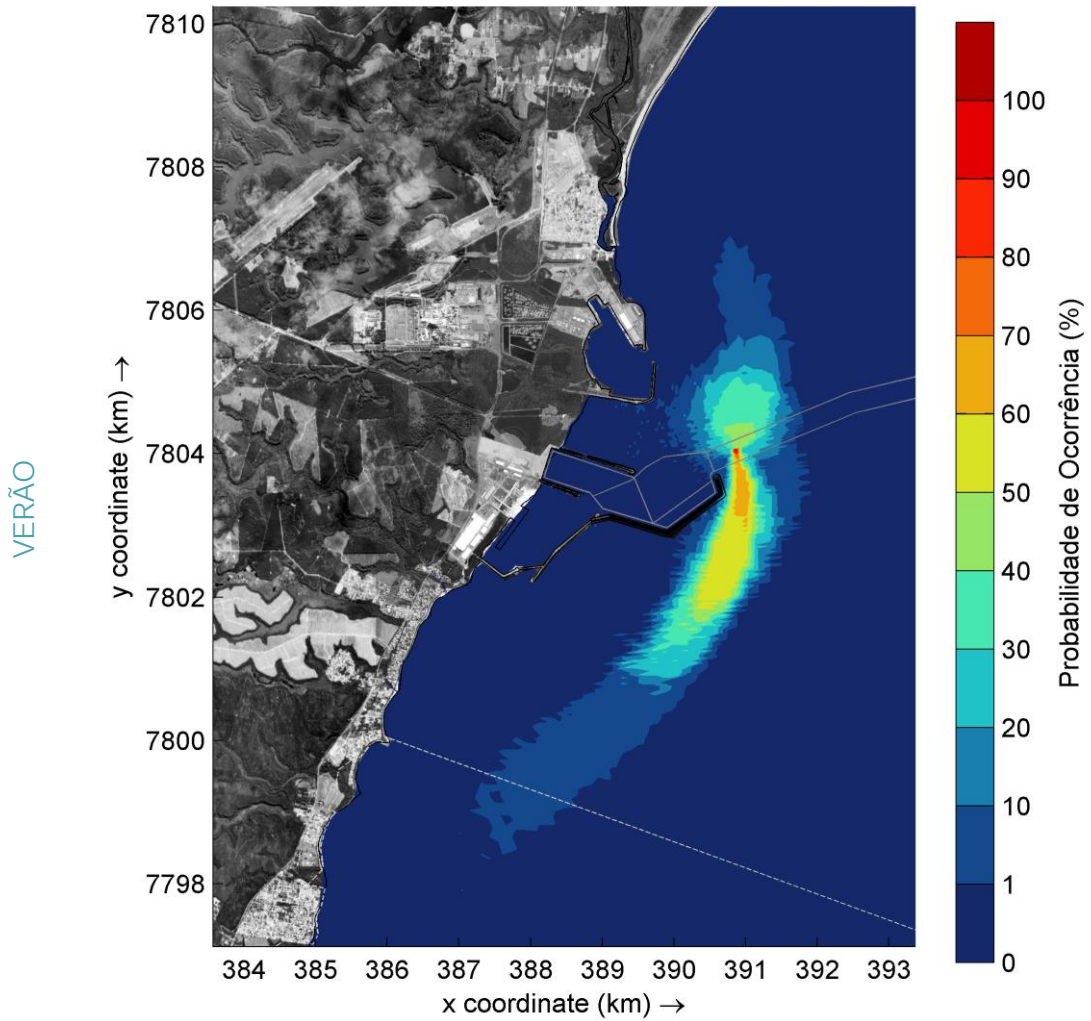


Figura 3.3.3-4. Probabilidade da ocorrência de concentrações de sedimentos em suspensão acima de 10 mg/L, considerando os resultados de todas as plumas de OVERFLOW de VERÃO.

OVERFLOW

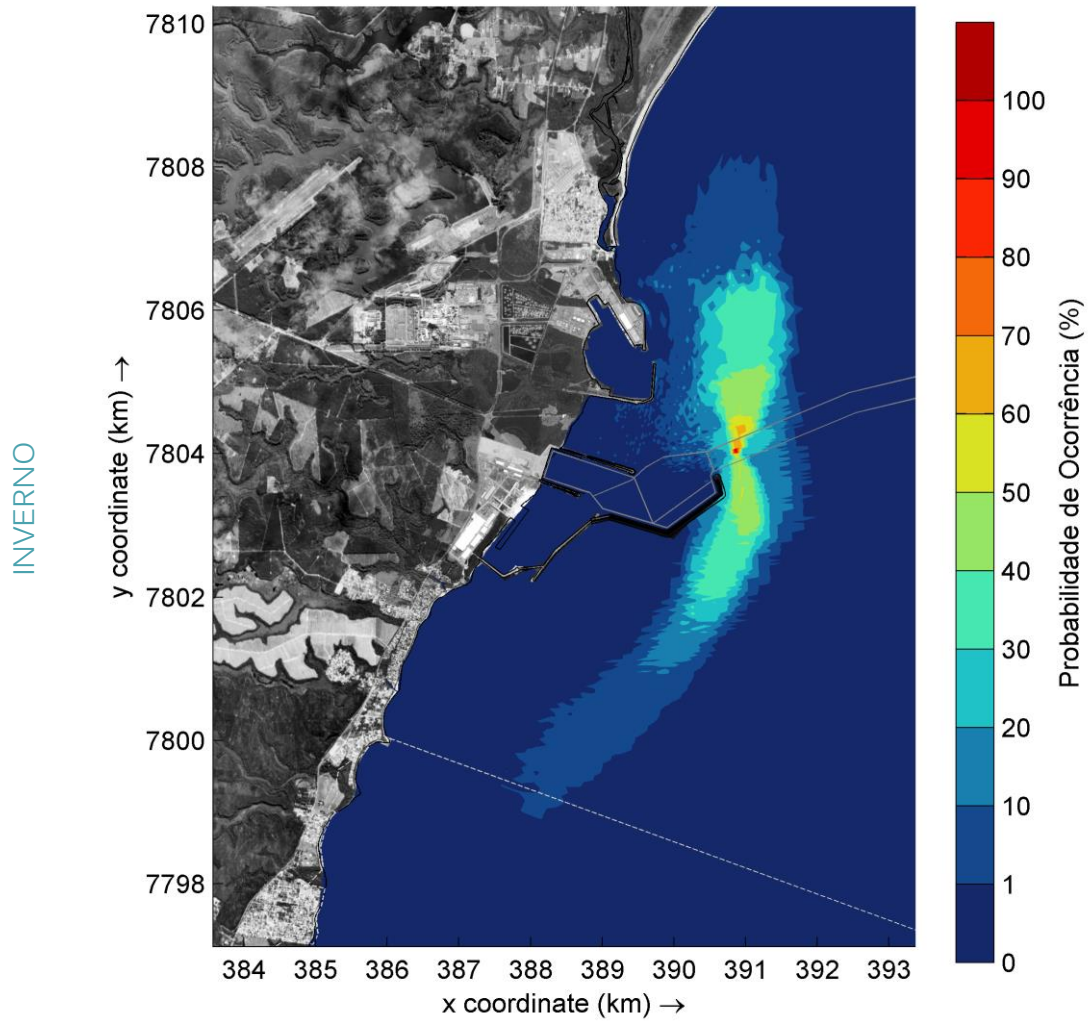


Figura 3.3.3-5. Probabilidade da ocorrência de concentrações de sedimentos em suspensão acima de 10 mg/L, considerando os resultados de todas as plumas de OVERFLOW de INVERNO.

Tabela 3.3.3-2. Alcance máximo (km) das plumas de sedimentos em suspensão por probabilidade de ocorrência (%), considerando todos os resultados das plumas de OVERFLOW de Verão e Inverno.

Alcance (em km) das concentrações máximas de sedimentos (mg/L)							
Estação	Direção	50%	40%	30%	20%	10%	1%
VERÃO	Norte	0.06	0.40	1.03	1.23	1.64	3.03
	Sul	2.24	2.44	3.10	3.46	3.62	6.60
INVERNO	Norte	0.52	1.16	2.26	2.50	2.85	4.13
	Sul	0.09	1.16	2.17	2.49	3.42	6.06

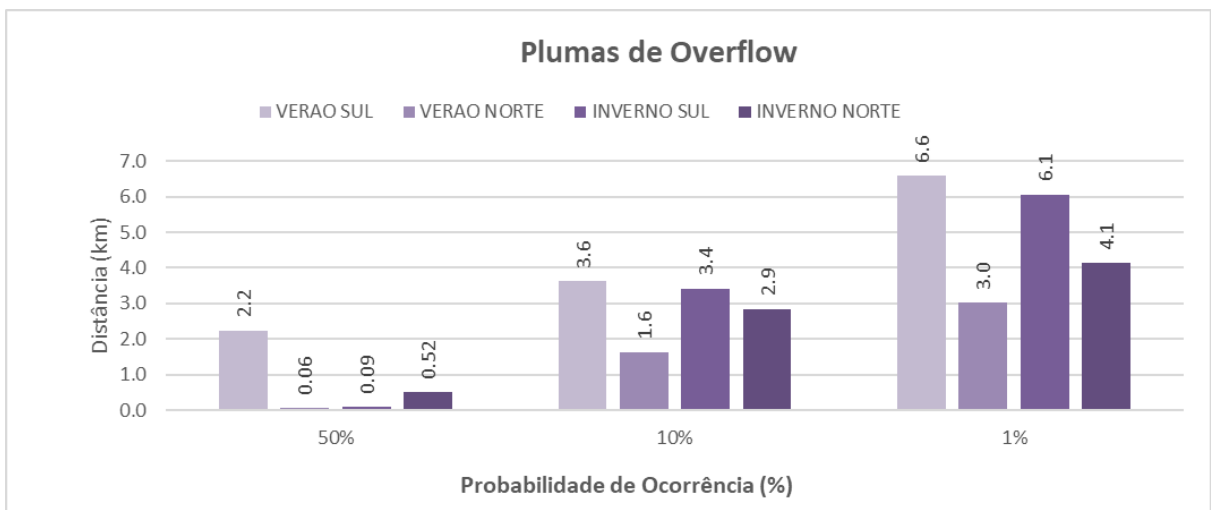


Figura 3.3.3-6. Alcance (em km) plumas de sedimentos em suspensão e respectivas probabilidades de ocorrência (em %) considerando todos os resultados das plumas de OVERFLOW de Verão e Inverno.

A comparação entre os mapas de concentração máxima e os mapas de probabilidade de ocorrência indica que os maiores alcances das plumas correspondem a condições de baixa frequência (1% e 10%). As maiores probabilidades de ocorrência concentram-se próximas ao ponto de emissão, ao longo do eixo principal de transporte, mostrando que a área de ocorrência recorrente das plumas é significativamente menor que a envoltória máxima de dispersão.

Para as plumas de dragagem, os alcances máximos para concentrações acima de 10 mg/L atingem cerca de 6.4 km para sul e 4.0 km para norte, enquanto os alcances associados a probabilidades $\geq 10\%$ reduzem-se para aproximadamente 1.6-2.8 km para norte e 3.2-3.5 km para sul. Para as plumas de overflow, os alcances máximos chegam a cerca de 6.6 km para sul e 4.4 km para norte, enquanto os alcances associados a probabilidade de $\geq 10\%$, situam-se entre 1.6-2.9 km para norte e 3.4-3.6 km para sul.

4. MODELAGEM DAS PLUMAS DE DESCARTE

4.1 Introdução

As simulações numéricas das plumas de sedimentos associadas ao descarte de material dragado no polígono de disposição oceânica (bota-fora) foram realizadas com o objetivo de avaliar o transporte (advecção) e dispersão dos sedimentos finos em suspensão sob diferentes condições meteoceanográficas representativas da área de estudo.

Este capítulo apresenta as estratégias específicas utilizadas para a simulação das plumas geradas durante o descarte no bota-fora, bem como os resultados obtidos a partir das simulações. Do mesmo modo que o capítulo anterior, os resultados são apresentados por meio de simulações determinísticas, mapas de concentração máxima e mapas probabilísticos de ocorrência.

4.2 Estratégia da Modelagem das Plumadas de Descarte

Para o estudo do transporte e dispersão das plumas de descarte, o modelo requer como parâmetros de entrada: (a) o campo de correntes em três dimensões (3D); (b) as características dos sedimentos a serem dragados e dispostos no bota-fora e (c) as características específicas da operação de descarte. As condições de contorno hidrodinâmicas e a composição sedimentar da área de dragagem, são os mesmos descritos no Anexo A e Capítulo 3.

4.2.1 Características dos Sedimentos para as Plumadas de Descarte

As plumas de descarte são formadas pela permanência em suspensão de partículas finas (siltes e argilas) após as operações de despejo do material dragado, enquanto os sedimentos mais grosseiros (areias) decantam rapidamente nas proximidades do local de descarte.

O material sedimentar a ser dragado e disposto no bota-fora é constituído predominantemente por sedimentos inconsolidados, com predomínio da fração fina (silte e argila), que apresenta um percentual médio de 58.3%. A granulometria representativa da fração fina utilizada foi silte ($D_{50} = 16 \mu\text{m}$) conforme apresentado na Tabela A.1.4-2, no Anexo A.

As simulações consideraram o valor de 10 mg/L como limite mínimo de corte de concentração de sedimentos em suspensão.

4.2.2 Características da Operação de Descarte para a Modelagem

Os parâmetros operacionais considerados nas simulações de dispersão das plumas de descarte definidos com base nas condições previstas para a operação de dragagem do Imetame Logística Porto.

Para as simulações, foi considerado o volume total de 12040191.6 m³ de sedimentos inconsolidados a serem dispostos na área de bota-fora marinho.

Neste estudo foi adotado um termo de suspensão de 10% do volume de sedimentos finos descarregado por ciclo para a geração das plumas de descarte, valor consistente com estimativas apresentadas na literatura (Becker, 2016; Van Rijn, 2020).

A estratégia de modelagem considerou descartes periódicos sequenciais representando o ciclo operacional da dragagem. Foi adotado um intervalo médio de 4 horas entre descartes, correspondente ao ciclo estimado de dragagem, transporte e disposição do material. Os parâmetros de intervalo entre descartes, volume por ciclo, fração suspensa e profundidade de descarga foram utilizados na configuração do modelo conforme a Tabela 4.2.2-1.

O ponto de simulação das plumas de descarte foi definido no centro do bota-fora, conforme apresentado na Tabela 4.2.2-2 e Figura 4.2.2-1.

Tabela 4.2.2-1. Características da operação de descarte no bota-fora oceânico.

Características		Unidade
• Volume total a dragar	12040191.6	m ³
• Capacidade da cisterna/batelão	2950	m ³
• Eficiência na cisterna	50	%
• Percentual de sedimentos finos	58.3	%
• Termo de suspensão	10	%
• Tipo de ciclo	intercalado	
• Tempo entre descartes	4	horas
• Profundidade de descarga	superfície	

Tabela 4.2.2-2. Localização do ponto de lançamento dos sedimentos na área do bota-fora. Coordenadas em UTM (WGS-84).

Local Ponto Lançamento	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	Profundidade
Ponto Descarte	401426	7802559	Superfície

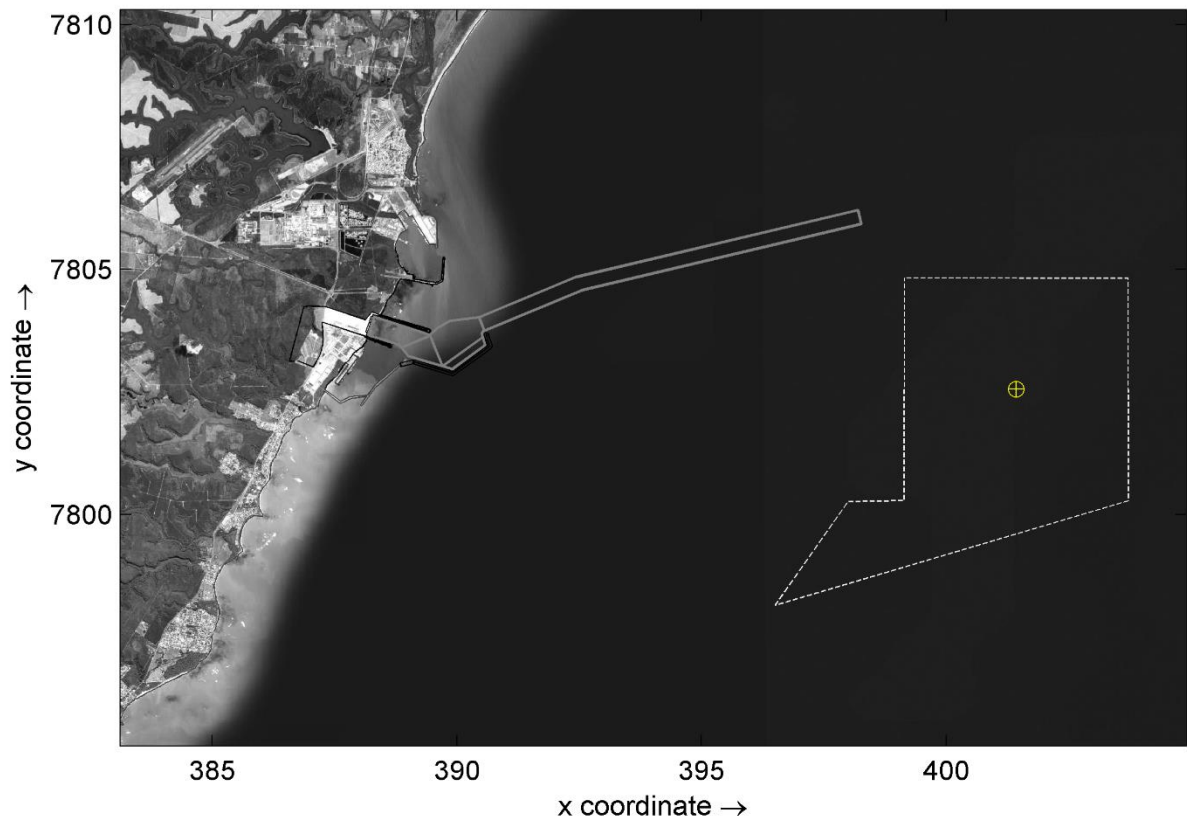


Figura 4.2.2-1: Localização do ponto de lançamento para a simulação das plumas de descarte no interior do polígono de disposição.

4.3 Resultados das Plumas de Descarte

Os resultados determinísticos representam a evolução espacial e temporal das plumas de sedimentos geradas durante os descartes periódicos de material dragado. As simulações foram realizadas para cenários meteoceanográficos representativos das condições de verão e inverno, incluindo situações de maré de quadratura e de sizígia.

Os resultados da modelagem das plumas de descarte no bota-fora são apresentados por meio de mapas de concentração de sedimentos em suspensão (mg/L), sendo adotado um limite de corte de 10 mg/L para a representação das plumas simuladas.

4.3.1 Plumas de Determinísticas

Para o verão, foi selecionado um cenário representativo de ventos típicos de nordeste (NE), em maré de quadratura, caracterizado por menor energia hidrodinâmica e dispersão relativamente mais lenta das plumas (Figura 4.3.1-1). Para o inverno, foi analisado um cenário representativo de ventos críticos de sul (S), em maré de sizígia, que representa condições mais energéticas de vento e corrente e resulta em dispersão mais rápida dos sedimentos (Figura 4.3.1-2).

Na região do bota-fora, em geral, as plumas geradas pelos descartes periódicos são rapidamente diluídas na coluna d'água e transportadas pelas correntes marinhas predominantes, seguindo um eixo aproximadamente paralelo à linha de costa (direção SW-NE). Sob ventos dos quadrantes N/NE/E, as plumas tendem a se deslocar em direção a sul, enquanto, sob ventos dos quadrantes SE/S/SW/W, a trajetória das plumas indica um rumo em direção a norte.

Em nenhum dos cenários simulados foi observado transporte significativo das plumas em direção à linha de costa. A partir das simulações determinísticas foram derivados os mapas de concentração máxima e os mapas probabilísticos apresentados nas seções seguintes.

▪ Situação de Ventos Típicos de NE de VERÃO

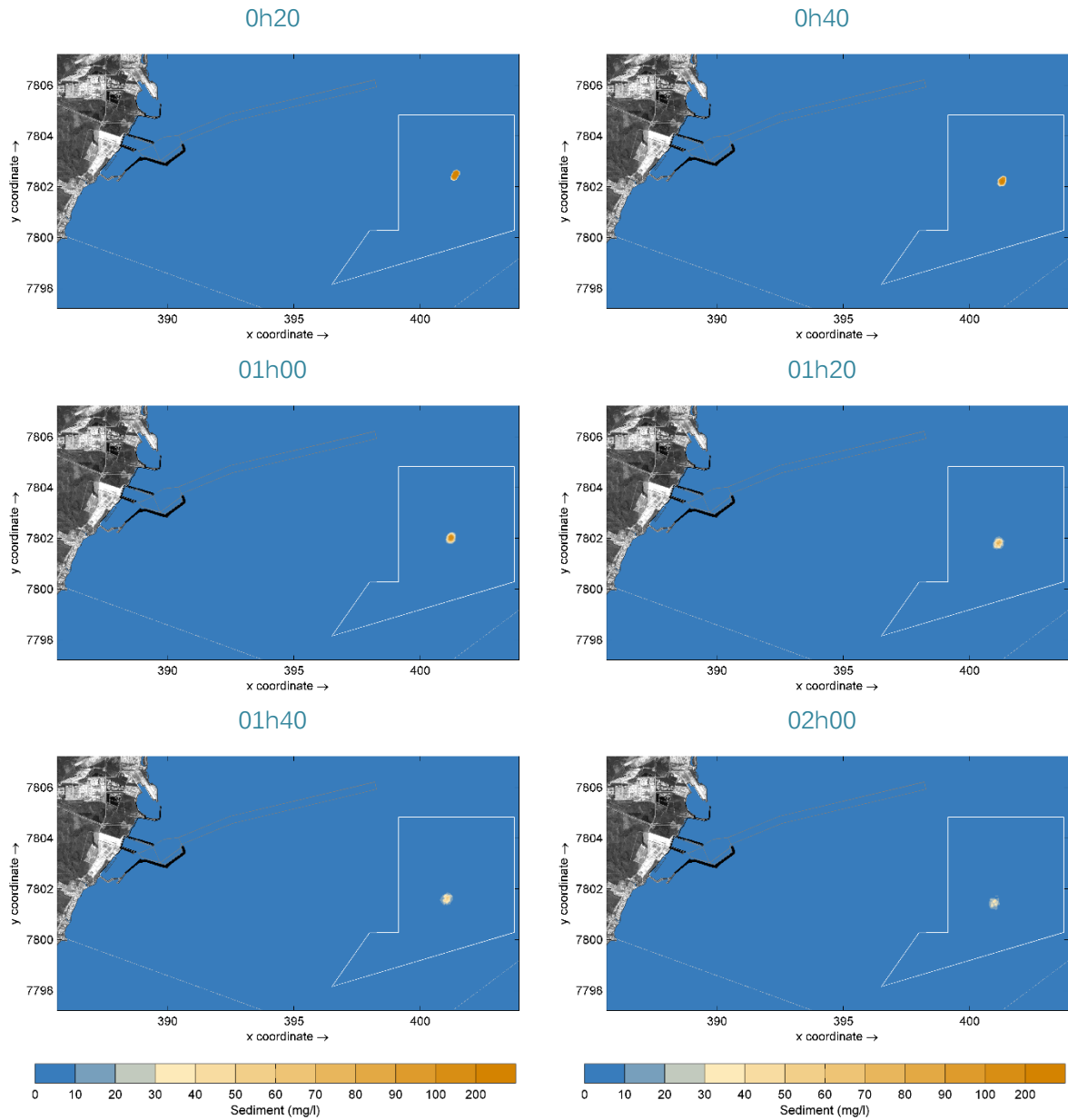


Figura 4.3.1-1. Evolução da pluma de DESCARTE: concentração de sedimentos (mg/L) durante o ciclo de dragagem de VERÃO, com ventos típicos de NE, em maré de quadratura (continua).

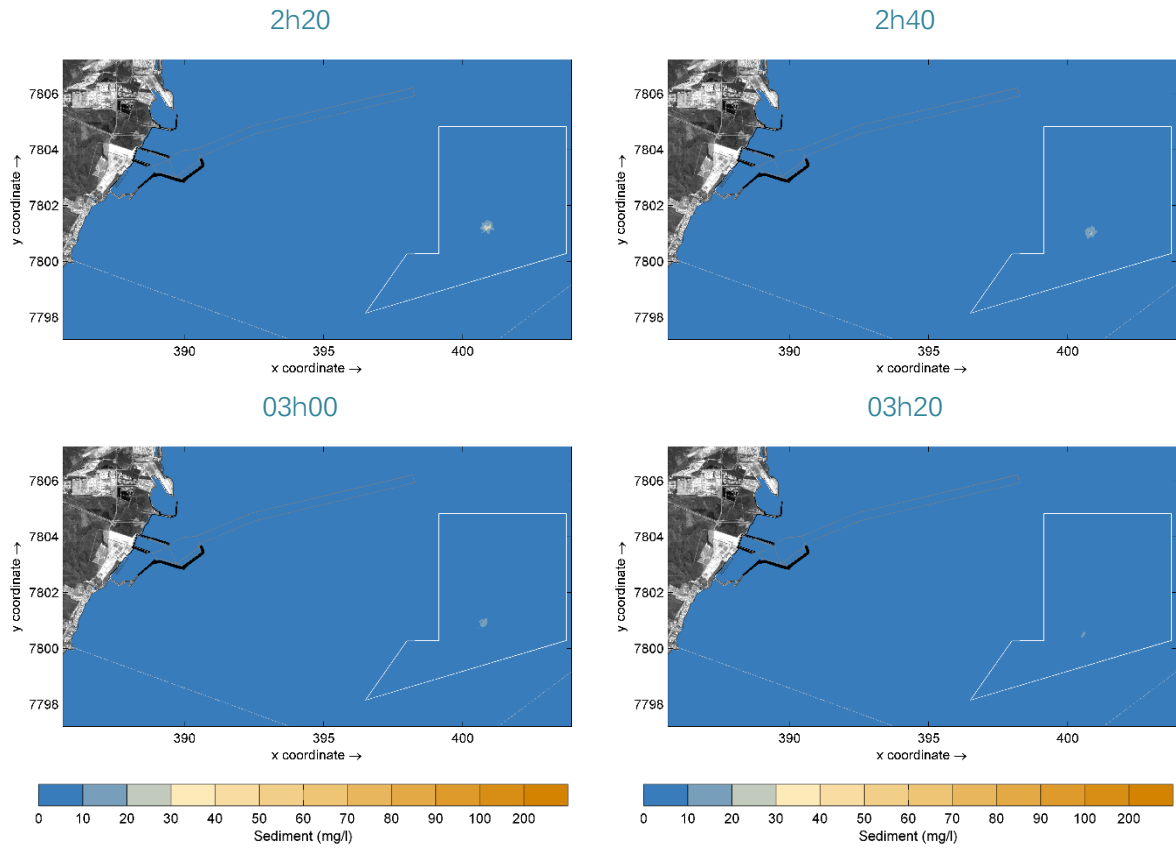


Figura 4.3.1-1. Evolução da pluma de DESCARTE: concentração de sedimentos (mg/L) durante o ciclo de dragagem de VERÃO, com ventos típicos de NE, em maré de quadratura.

▪ Situação de Ventos Críticos de S de INVERNO

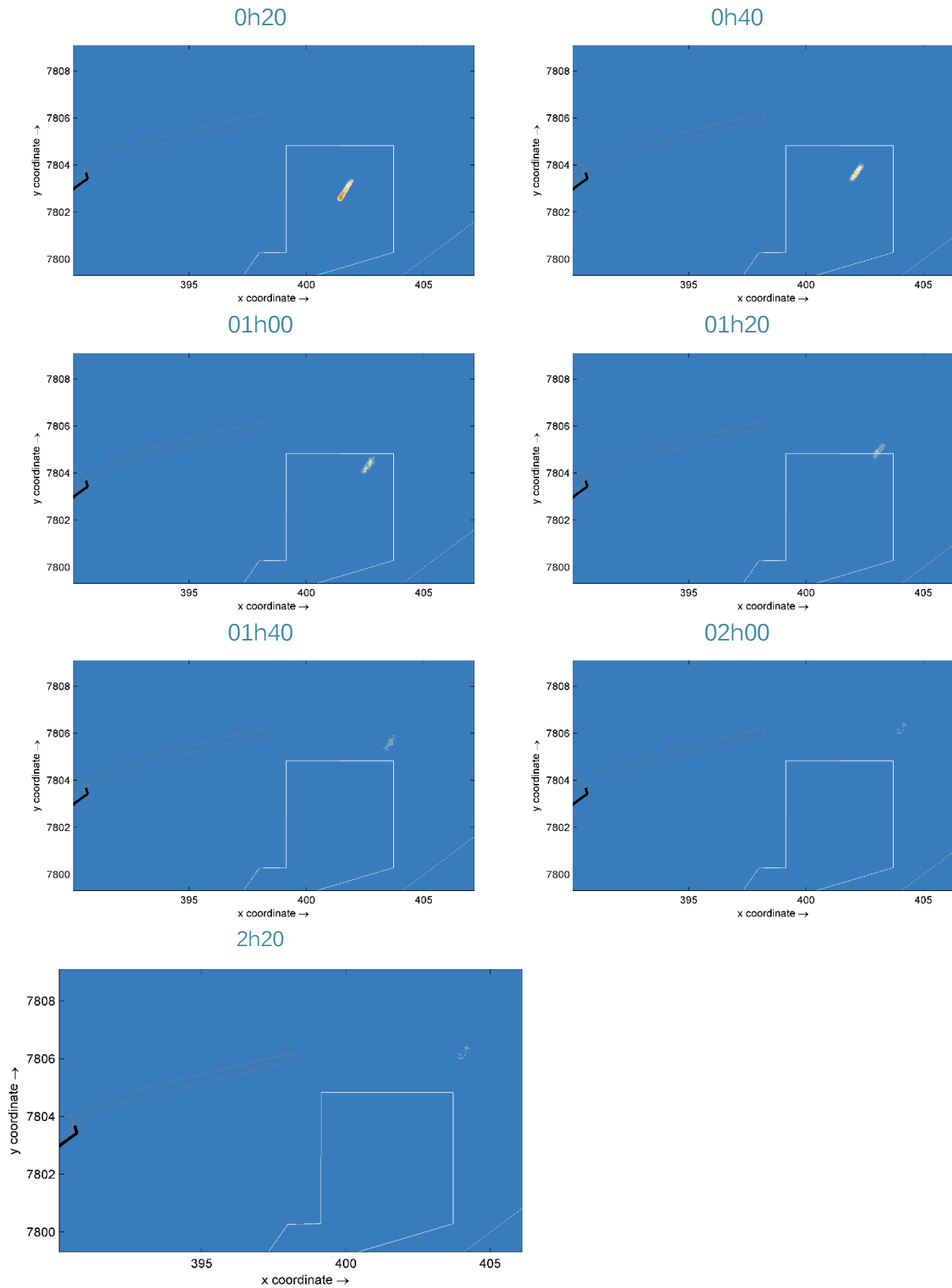


Figura 4.3.1-2. Evolução da pluma de DESCARTE: concentração de sedimentos (mg/L) durante o ciclo de dragagem de INVERNO, com ventos críticos de S, em maré de sizígia.

4.3.2 Concentração Máxima de Sedimentos

Nesta etapa, as plumas de sedimentos resultantes da operação de descarte são apresentadas em termos da concentração máxima de sedimentos em suspensão na coluna d'água (mg/l).

Tal como as plumas de dragagem e overflow, os mapas de concentração máxima de sedimentos em suspensão representam a envoltória espacial das maiores concentrações simuladas ao longo de todos os cenários meteoceanográficos considerados, incluindo diferentes condições de vento, maré e hidrodinâmica para as estações de verão e inverno.

Dessa forma, o mapa permite identificar as áreas com maior potencial de ocorrência de altas concentrações de sedimentos, independentemente da frequência ou probabilidade associada a cada condição simulada.

Para uma análise mais completa dos resultados, os mapas de concentração máxima devem ser analisados em conjunto com os mapas de probabilidade presentes na seção 4.3.3, pois esses mapas mostram valores máximos de carga sedimentar sem indicar o seu grau de relevância, que é fornecido pela frequência de ocorrência.

Os mapas de concentração máxima são apresentados na Figura 4.3.2-1 e indicam os níveis de concentração máxima previstos que podem ocorrer em cada local, no verão e no inverno, considerando o limite de 10mg/L.

De forma geral, os resultados indicam que as maiores concentrações de sedimentos permanecem restritas às proximidades do ponto de lançamento, com rápido decaimento espacial à medida que as plumas se afastam da área de descarte.

Para concentrações mais elevadas, da ordem de 200 mg/L, os alcances máximos permanecem inferiores a aproximadamente 0.5 km, do ponto de descarga, em ambas as estações de verão e inverno. À medida que a concentração diminui, observa-se aumento progressivo do alcance das plumas, atingindo distâncias da ordem de 1.6 a 1.8 km para 50 mg/L e 2.3 a 3.4 km para 25 mg/L.

Considerando o limiar mínimo de 10 mg/L, que define a envoltória máxima de dispersão das plumas, os alcances variam entre aproximadamente 4.1 e 5.9 km no verão e entre 5.3 e 5.8 km no inverno.

A Tabela 4.3.2-1 e a Figura 4.3.2-2 resumem os alcances máximos (em km) dos envoltórios das concentrações máximas de sedimentos para 200, 100, 50, 25 e 10 mg/L considerando todas as situações meteoceanográficas de verão e inverno simuladas.

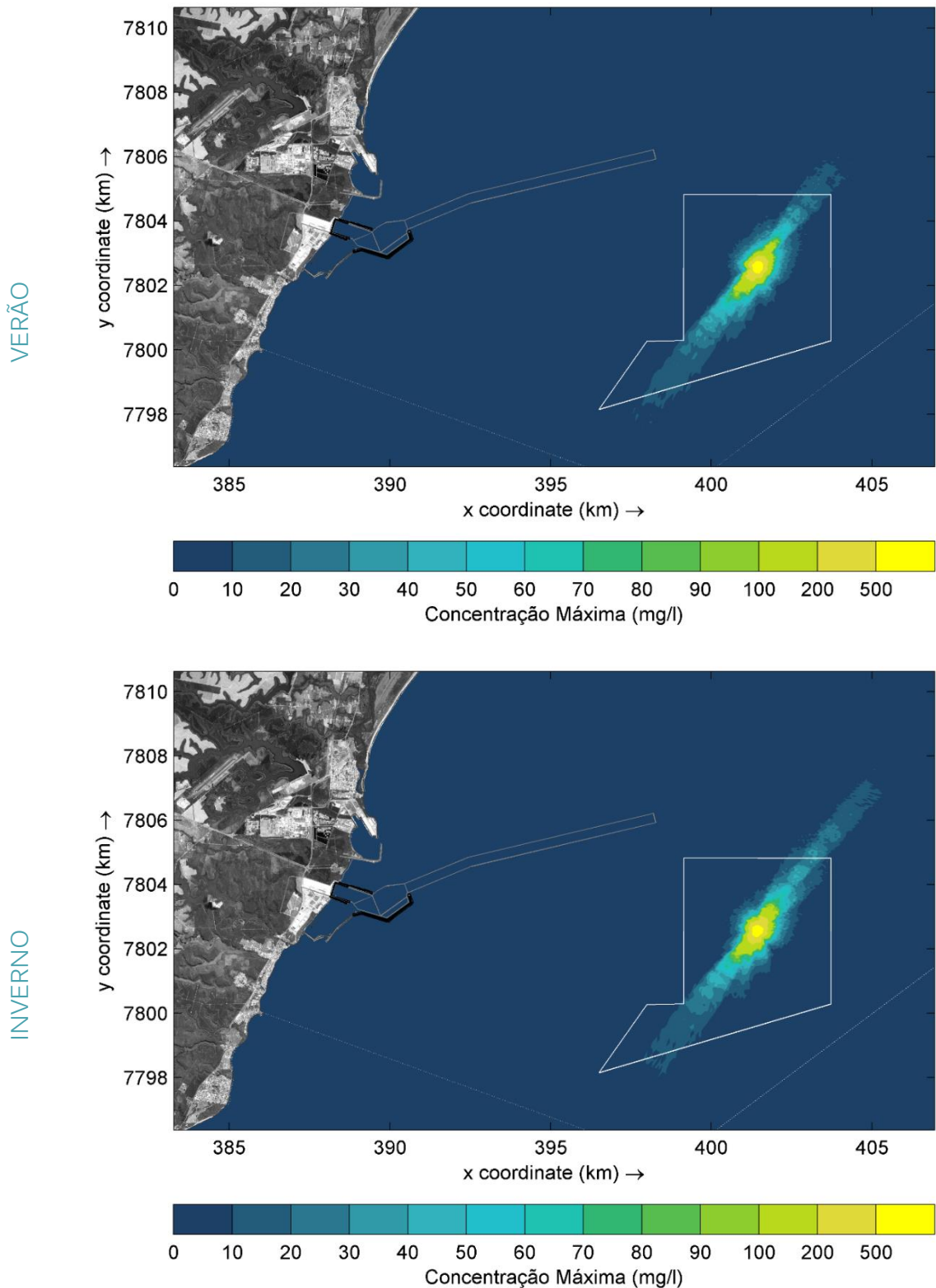


Figura 4.3.2-1. Concentração máxima de sedimentos em suspensão (mg/l) considerando todos os resultados das plumas de DESCARTE no VERÃO e INVERNO.

Tabela 4.3.2-1. Alcance (em km) das plumas de sedimentos e respectivas concentrações máximas (em mg/l) considerando todos os resultados das plumas de DESCARTE de Verão e Inverno.

Distância Máxima (Km) por Concentração de Sedimentos (mg/L)						
	CSS (mg/L)	200 mg/L	100 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	10 mg/L
VERAO	Sul (km)	0.48	0.97	1.8	3.1	5.9
	Norte (km)	0.39	0.99	1.6	2.3	4.1
INVERNO	Sul (km)	0.44	0.99	1.7	2.7	5.3
	Norte (km)	0.48	0.93	1.7	3.4	5.8

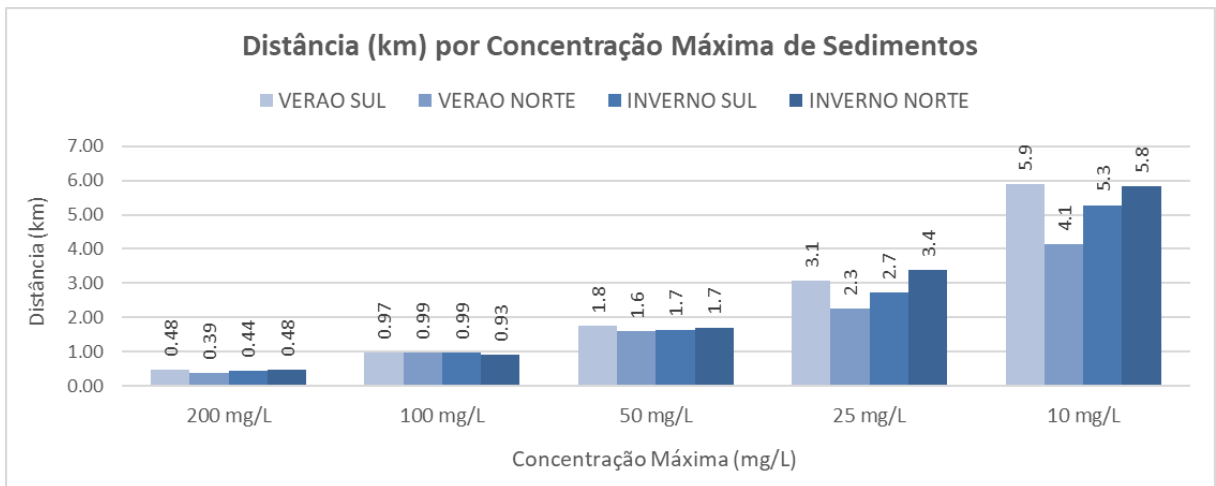


Figura 4.3.2-2. Alcance (em km) plumas de sedimentos em suspensão e respectivas concentrações máximas (mg/l) considerando todos os resultados das plumas de DESCARTE de Verão e Inverno.

4.3.3 Probabilidade de Ocorrência das Plumas de Descarte

As Figuras 4.3.3-1 e 4.3.3-2 apresentam as probabilidades de ocorrência de concentrações de sedimentos acima de 10 mg/L para todos os cenários meteorocenográficos representativos de verão e inverno simulados (Tabelas A1.7-2 e A1.7-3 do Anexo A). O limite da envoltória das probabilidades foi de 1%.

Os resultados probabilísticos representam, portanto, a integração de todas as condições meteorocenográficas simuladas, ponderadas pela frequência de ocorrência de cada direção e intensidade. Essa análise permite identificar as distâncias máximas atingidas pelas plumas em função das probabilidades de ocorrência.

Os máximos valores de probabilidade de ocorrência de pluma ocorrem nas proximidades do local de disposição de sedimentos.

De forma geral, a partir dos resultados obtidos, observa-se um comportamento semelhante entre verão e inverno, com pequenas variações no alcance das plumas associadas às diferenças sazonais no regime de ventos e correntes da região. Durante o verão, quando predominam ventos dos quadrantes norte e nordeste, o transporte das plumas tende a ocorrer preferencialmente em direção ao setor sul da área de estudo. No inverno, embora o padrão de dispersão permaneça aproximadamente alinhado ao litoral, observa-se maior variabilidade direcional devido à maior frequência e intensidade de ventos dos quadrantes sul a sudoeste.

Os resultados indicam que o alcance das plumas de sedimentos variou de acordo com a probabilidade de ocorrência das condições meteorocenográficas simuladas. Considerando valores de probabilidade mais elevados (80% e 50%), que representam as situações mais frequentes, as plumas de descarte permaneceram restritas às proximidades do ponto de lançamento, com alcances inferiores a aproximadamente 1 km.

Já para probabilidades mais baixas (10% e 1%), associadas a situações menos frequentes, os alcances máximos atingiram distâncias da ordem de 5 a 6 km.

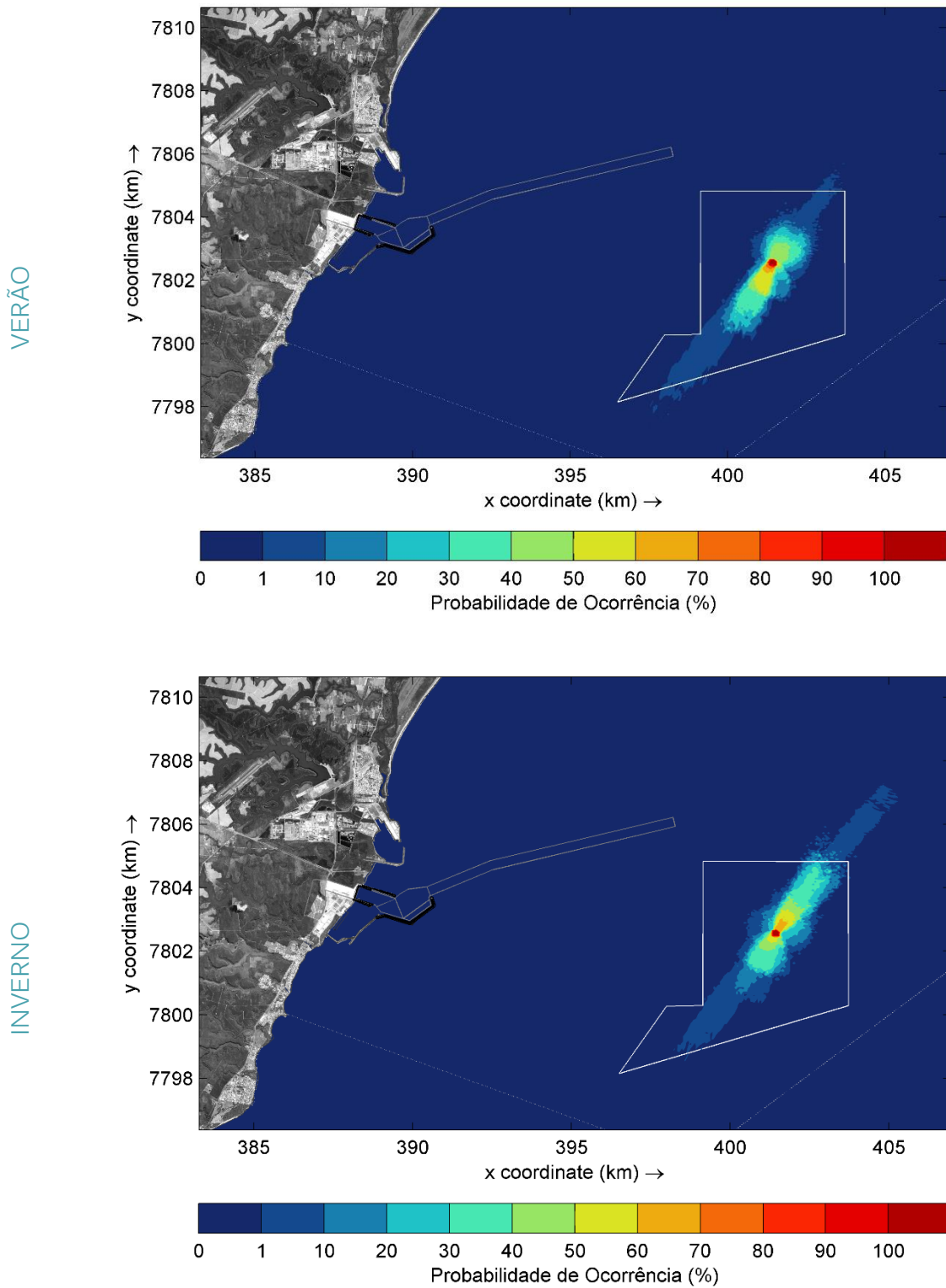


Figura 4.3.3-1. Probabilidade de ocorrência de plumas de DESCARTE, no VERÃO e INVERNO, considerando concentração de sedimentos em suspensão acima de 10 mg/l.

A Tabela 4.3.3-1 resume os valores dos alcances máximos das plumas de sedimentos, considerando-se as suas probabilidades de ocorrência de verão e inverno. A concentração de referência foi de 10 mg/l para os cálculos de probabilidade.

Tabela 4.3.3-1. Alcance (em km) das plumas de sedimentos em suspensão e respectivas concentrações máximas (em mg/l) considerando todos os resultados das plumas de DESCARTE de Verão e Inverno.

Alcance (km) das Plumais por Probabilidade de Ocorrência : Descarte					
Probabilidade (%)		80%	50%	10%	1%
VERAO	sul (km)	0.13	0.94	2.7	5.6
	norte (km)	0.11	0.14	1.4	3.6
INVERNO	sul (km)	0.13	0.35	2.2	5.2
	norte (km)	0.11	0.77	2.9	5.8

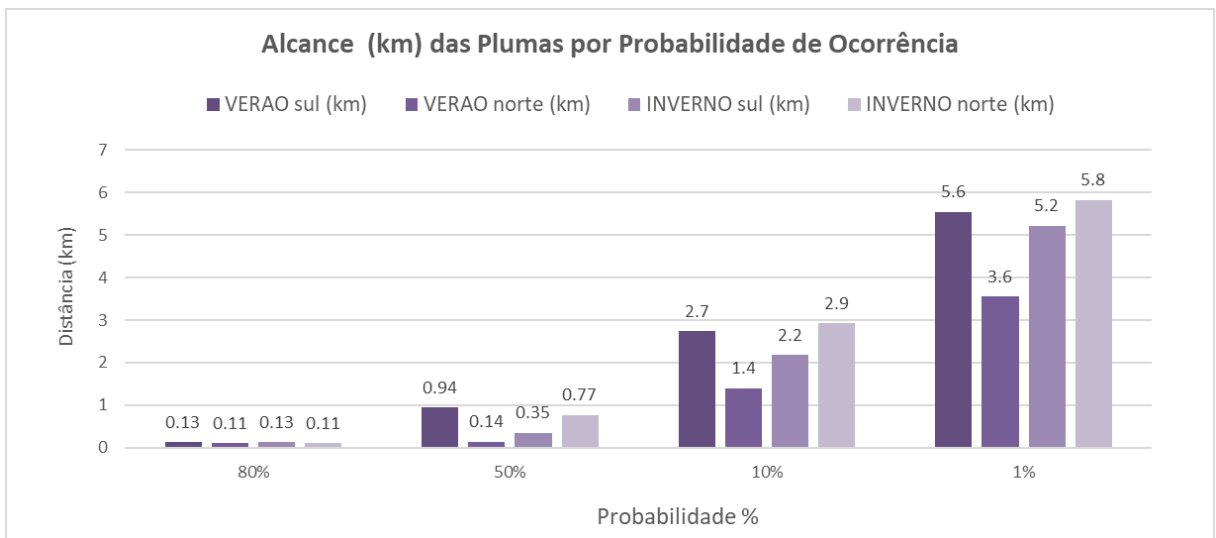


Figura 4.3.3-3. Alcance (em km) plumais de sedimentos em suspensão e respectivas probabilidades de ocorrência (em %) considerando todos os resultados das plumais de DESCARTE de Verão e Inverno.

A comparação entre os mapas de concentração máxima e os mapas de probabilidade de ocorrência indica que os maiores alcances das plumas estão associados a condições menos frequentes (1% e 10%), enquanto as maiores probabilidades de ocorrência concentram-se próximas ao ponto de descarte e ao longo do eixo principal de transporte (NE-SW). Esses resultados evidenciam que a área de ocorrência recorrente das plumas é significativamente menor que a envoltória máxima de dispersão.

Para as plumas de descarte, os alcances máximos para concentrações acima de 10 mg/L atingem cerca de 5.9 km para sul e 5.8 km para norte, considerando o conjunto de todos os cenários meteoceanográficos simulados. Entretanto, ao considerar a frequência de ocorrência das condições hidrodinâmicas (probabilidade $\geq 10\%$), os alcances reduzem-se para aproximadamente 2.2-2.7 km para sul e 1.4-2.9 km para norte, indicando que as ocorrências mais recorrentes das plumas permanecem concentradas nas proximidades da área de descarte.

5. CONCLUSÕES

O Imetame Logística Porto é um terminal de uso privado (TUP) em implantação no município de Aracruz (ES), que prevê obras de dragagem para aprofundamento do TGL, bacia de desaceleração e do canal existente, incluindo sua extensão para 8 km, envolvendo a remoção de aproximadamente 12.040.191,58 m³ de sedimentos com disposição oceânica em uma nova área de bota-fora.

O presente relatório apresentou os estudos de modelagem numérica do transporte e dispersão das plumas de sedimentos em suspensão geradas durante as operações de dragagem, overflow e descarte no bota-fora, com o objetivo de avaliar seu comportamento, distribuição espacial e alcance potencial sob diferentes condições meteoceanográficas representativas da região.

As simulações hidrodinâmicas, utilizadas como base para a modelagem das plumas, consideraram cenários representativos das condições típicas e críticas de vento para as estações de verão e inverno, em regimes de maré de quadratura e sizígia. Os resultados indicam que as correntes costeiras seguem predominantemente um alinhamento paralelo à linha de costa, orientado aproximadamente no eixo NE–SW. Ventos provenientes de NW, N, NE e E tendem a gerar correntes dirigidas para SW, enquanto ventos de S, SE, SW e W induzem correntes com direção predominante para NE.

As plumas foram simuladas considerando as características sedimentares da área de dragagem, que possui sedimentos predominantemente inconsolidados, com cerca de 58.3% de fração fina representada por sedimentos do tipo silte médio (D50-16 µm).

As simulações consideraram o ciclo operacional previsto para a dragagem, com uma draga tipo Hopper, com 2.950 m³ de capacidade nominal de cisterna, eficiência média de 50%, em ciclos periódicos de descartes sequenciais a cada 4 horas. A geração das plumas foi representada na modelagem por meio de termos de suspensão associados às operações de dragagem (5%), overflow (20%) e descarte (10%), conforme valores adotados na literatura especializada. Para a avaliação dos resultados foi adotado o limite de 10 mg/L de sedimentos em suspensão como concentração de referência.

Os resultados das simulações mostraram que as plumas geradas pelas operações de dragagem, overflow e descarte apresentam dispersão predominantemente controlada pela hidrodinâmica regional, com transporte orientado aproximadamente ao longo do eixo NE–SW, paralelo à linha de costa.

- **Dragagem**

As plumas geradas pelas operações de dragagem alcançaram aproximadamente 4.0 km para norte e 6.4 km para sul a partir do ponto de origem, considerando o limite de 10 mg/L e o conjunto de todos os cenários simulados. Concentrações superiores a 50 mg/L permaneceram restritas a distâncias inferiores a aproximadamente 2 km do ponto

de dragagem. No entanto, se for considerada a probabilidade de ocorrência das plumas maior que 10%, os sedimentos deverão atingir distâncias menores do que 2.7 km para norte e 3.5 km para sul do ponto de dragagem. Para as probabilidades de ocorrência iguais ou maiores que 50%, as plumas de dragagem deverão estar presentes uma distância máxima de 430 m para norte e até 830 m para sul, no inverno e 20 m para norte e 2.2 km para sul, no verão. Isso ocorre porque a persistência dos ventos dos setores de NW, N, NE e E é maior no verão.

- **Overflow**

As plumas formadas pela operação de overflow alcançaram distâncias semelhantes às plumas de dragagem considerando todas as simulações de verão e inverno, com valores máximos de 4.4 km para norte e 6.6 km para sul do ponto de origem. As plumas de overflow com concentrações maiores que 50 mg/L estiveram presentes até 1.6 km para norte e 1.8 km para sul, no verão e 2.2 km para norte e 1.8 km para sul, no inverno

Para a probabilidade de ocorrência das plumas maior que 10%, os resultados mostraram que as plumas de overflow permaneceram entre 3.0 km, para norte e 6.6 km, para sul, no verão e entre 4.1 km para norte e 6.1 km para sul, no inverno. Se for considerada a probabilidade de ocorrência de 50%, as plumas de overflow abrangeram uma área distante 520 m para norte e somente 90 m para sul, no inverno. No verão esse alcance foi muito maior para sul (2.2 km) do que para norte (60 m).

- **Descarte**

As plumas de descarte seguiram aproximadamente o eixo NE-SW, paralelas a costa, devido às condições hidrodinâmicas e dos cenários de ventos. O alcance máximo das plumas de descarte, foi de aproximadamente 4.1 km para norte e 5.9 km para sul, no verão e entre 5.8 km para norte e 5.3 km, para sul, no inverno. As plumas de descarte com concentrações maiores que 50 mg/L estiveram presentes numa distância inferior a 1.8 km para norte ou sul, no verão e inverno. Considerando uma probabilidade de 80% de presença, as plumas de descarte permaneceram restritas às proximidades do ponto de lançamento, num raio de 130 m. Para 50% de probabilidade de ocorrência, os alcances máximos das plumas de descarte são inferiores a aproximadamente 1 km e, para 10%, as distâncias máximas foram 2.7 km para sul e 2.9 km para norte.

A análise conjunta dos mapas de concentração máxima e probabilidade de ocorrência indica que a envoltória máxima de dispersão é superior à faixa de ocorrência recorrente das plumas, que permanece mais restrita às proximidades das áreas de operação. Assim, embora os resultados máximos indiquem alcances potenciais de alguns quilômetros, as ocorrências mais representativas concentram-se em uma área significativamente menor, próximas das áreas de intervenção, refletindo a rápida diluição e dispersão dos sedimentos em suspensão na coluna d'água, sem evidências de influência significativa nas áreas costeiras sensíveis da região.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGERH - AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Definição do enquadramento e plano de recursos hídricos da Região Hidrográfica Litoral Centro-Norte: relatório da etapa B – enquadramento. Vitória: AGERH, 2020. 149 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 31 out. 2024.
- AMBIPAR. Programa de monitoramento da qualidade da água marinha: condicionante nº 33 da Licença de Instalação nº 040/2018 (IEMA) e condição 2.6 da Autorização de Licenciamento Ambiental nº 005/2019 (ICMBio). Relatório técnico consolidado. RT-AMBP-ENV-775-031. São Paulo: Ambipar, 2025.
- AMBIPAR. Caracterização do novo bota-fora marinho e do sedimento para aprofundamento da bacia de manobra e canal de acesso – dragagem Imetame Logística Porto. Relatório técnico consolidado. RT-AMBP-ENV-961-003. São Paulo: Ambipar, 2026.
- ANZECC – AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND ENVIRONMENT AND CONSERVATION COUNCIL. National water quality management strategy: Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Canberra: ANZECC, 2000.
- BECKER, J. et al. Estimating source terms for far field dredge plume modelling. *Journal of Environmental Management*, v. 149, p. 282-293, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.018>.
- BOOGAARD, H. F. P.; VAN DEN BOOGAARD, M. J. J.; HOOBKAMER, A.; HEEMINK, A. W. Parameter identification in particle models. *Stochastic Hydrology & Hydraulics*, v. 7, p. 109-130, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01581565>.
- BOOIJ, N.; RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions: model description and validation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 104, n. C4, p. 7649-7666, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1029/98JC02622>.
- BRAY, R. N.; BATES, A. D.; LAND, J. M. *Dredging: a handbook for engineers*. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997. 418 p.
- CEPEMAR. Estudo de impacto ambiental do Terminal Industrial Imetame. Relatório técnico CPM RT-395/11. Vitória: Cepemar, 2011a.
- CEPEMAR. Modelagem numérica da dragagem do Terminal da Imetame, Aracruz (ES). Relatório técnico CPM RT-MOD-04/11. Vitória: Cepemar, 2011b.
- DELTARES. *Delft3D-FLOW: simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments*. User manual. Delft: Deltares, 2014a.

- DELTARES. Delft3D-PART: simulation of mid-field water quality and oil spills using particle tracking. User manual. Delft: Deltares, 2014b.
- ELEMENTUS. Estudo de impacto ambiental (EIA): ampliação do Imetame Logística Porto, Aracruz (ES). Relatório técnico. Aracruz: Elementus, 2024. v. 1, 349 p.
- EGBERT, G. D.; EROFEEVA, S. Y. Efficient inverse modeling of the barotropic ocean tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 19, n. 2, p. 183-204, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019).
- FEMAR - FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR. Catálogo de estações maregráficas brasileiras. Rio de Janeiro: FEMAR, 2000. Disponível em: <http://www.fundacaofemar.org.br>. Acesso em: out. 2018.
- GEOSEA. Perfil de amostragem ambiental: série de perfis de sondagens em profundidade do solo. Relatório técnico. Geosea, 2026.
- IMETAME LOGÍSTICA PORTO. Plano de dragagem atualizado. Documento técnico. Aracruz: Imetame Logística Porto, 2025.
- LABMAR. Determinação do teor de umidade de sedimentos. Laudo técnico n.º 288_22. Vitória: Labmar, 2022.
- OCEANO DIGITAL. Estudo de Modelagem Numérica da Dispersão das Plumas de Descarte de Sedimentos na Área do Bota-fora do Imetame Logística Porto. Relatório técnico RT OD 2025-264. Vitória: Oceano Digital, 2025.
- OCEANO DIGITAL. Estudo de modelagem do transporte e dispersão do efluente da Evonik Degussa no rio Riacho, Aracruz (ES). Relatório técnico RT OD 2016-98. Vitória: Oceano Digital, 2016.
- OCEANO DIGITAL. Estudo de modelagem numérica das plumas de dragagem, overflow e descarte e evolução do depósito de fundo do bota-fora: Terminal Industrial Imetame. Relatório técnico RT OD 2017-107. Vitória: Oceano Digital, 2017.
- OCEANO DIGITAL. Estudo de modelagem da influência do Imetame Logística Porto no transporte e dispersão do efluente industrial da Suzano, Aracruz (ES). Relatório técnico RT OD 2019-172. Vitória: Oceano Digital, 2019.
- ROELVINK, J. A.; WALSTRA, D. J. Keeping it simple by using complex models. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROSCIENCE AND ENGINEERING, 6., 2004, Brisbane. Proceedings [...]. Brisbane: IAHR, 2004. p. 1-10.
- RUBINSTEIN, R. Y. Simulation and the Monte Carlo method. New York: Wiley, 1981. 304p.
- SEATECH. Monitoramento batimétrico do bota-fora marinho utilizado pela Imetame Logística Porto. Relatório técnico. Vitória: Seatech Engenharia, 2026. 22 p.
- VAN RIJN, L. C.; WALSTRA, D. J.; VAN ORMONDT, M. Description of TRANSPOR2004 and implementation in Delft3D-Online. Delft: WL | Delft Hydraulics, 2004.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922. DOI: <https://doi.org/10.1086/622910>.

ANEXO A. DADOS E DOMÍNIO COMPUTACIONAL

A.1 Introdução

As condições de entrada das simulações hidrodinâmicas e do transporte e dispersão das plumas de dragagem, overflow e descarte foram compostas pelas marés, ventos, vazão dos rios, dados de batimetria e caracterização dos sedimentos no local da dragagem. Os dados e parâmetros utilizados são discutidos em detalhe nos tópicos deste Anexo A, a seguir. As condições de contorno específicas utilizadas na calibração e validação dos ajustes do modelo hidrodinâmico implementado e as respectivas comparações com medições oceanográficas *in situ* estão descritas no Anexo B.

A.2 Domínio Computacional

O domínio computacional utilizado nas simulações numéricas foi definido por uma grade curvilínea com elementos de tamanho variável. A vantagem deste tipo de discretização é a possibilidade de um maior ajuste das fronteiras aos contornos da região a ser modelada, principalmente quanto à morfologia da linha de costa e em locais de geomorfologia complexa, como é o caso dos portos presentes nesta região.

A estratégia de construção da grade numérica adotou um domínio de cálculo que abrange a região central do Espírito Santo, com uma extensão de 90.4 km (eixo Norte-Sul) por 29.8 km (eixo Leste-Oeste), que abrange a área entre Pontal do Ipiranga, município de Linhares, ao norte do Rio Doce, até a praia de Manguinhos, município da Serra.

As faces dos elementos da grade curvilínea variam de 3.3 m (Praia dos Hóspedes) a 1125 km (próximo à fronteira offshore), compondo uma matriz de 137.186 elementos válidos (M=287, N=478) (Tabela A.2-1, Figura A.2-1). Na construção da grade, foram obedecidos todos os critérios de ortogonalidade, gradiente e número de Courant indicados em Deltares (2014a).

Tabela A.2-1. Número de elementos das grades utilizadas neste estudo.

Grade	Modelos	M	N	Z	Nº elementos
Imetame 2026	FLOW + SED	287	478	5	137.186

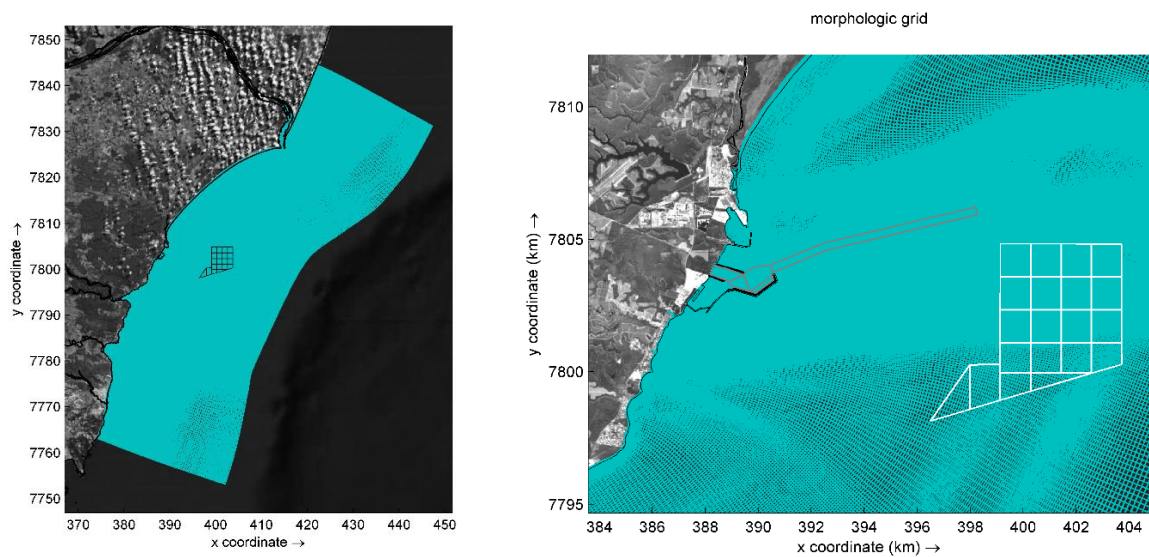


Figura A.2-1. Grade do domínio de cálculo utilizado nas simulações numéricas.

A.3 Batimetria do Domínio Computacional

A batimetria do domínio computacional representa o relevo de fundo da plataforma continental, a topografia das praias e a morfologia da área do bota-fora.

Para a definição do domínio morfológico foram utilizados dados das cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN) e de diversos levantamentos batimétricos multifeixe fornecidos pela Imetame e obtidos do banco de dados da Oceano Digital, abrangendo tanto a área do empreendimento quanto suas proximidades. A Tabela A.3-1 apresenta a relação completa das fontes de dados batimétricos utilizadas com as datas de referência e a Figura A.3-1 ilustra a distribuição espacial de todo o conjunto de dados.

Na área da bacia portuária, de evolução e canal de acesso do Imetame Porto Logística, foram utilizadas as profundidades de projeto fornecidas pelo Imetame Logística Porto (Figura A.3-2).

Embora os levantamentos disponíveis apresentem variação de escala, resolução e origem, todos estão numa base geodésica comum, com Datum horizontal WGS84, coordenadas UTM, e as profundidades referenciadas ao Nível Médio do Mar (NMM). Quando da ocorrência de sobreposição de dados na mesma área, os dados mais recentes foram priorizados e sobrepostos aos mais antigos.

Tabela A.3-1. Dados batimétricos utilizados na definição do domínio computacional.

Dados Topobatimétricos	Fonte
Carta nº 1400 - Do Rio Doce ao Cabo de São Tomé. E: 1:296.385	DHN
Carta nº 1403 - Da Barra de Itapemirim ao Cabo de São Tomé	DHN
Carta nº 1410 - Proximidades dos Portos de Vitória e Tubarão. E: 1:50.000	DHN
Carta nº1420- Proximidades de Barra do Riacho. E: 1:50.000 e 1:15.000	DHN
Carta nº 22800 – De Conceição da Barra a Vitória. E: 1:300.000	DHN
Batimetria monofeixe da área do Novo Bota-fora do Imetame Logística Porto	Nov-2025 / Imetame
Batimetria multifeixe da área portuária da IMETAME	2015 / Imetame
Batimetria multifeixe da área do canal do Imetame Logística Porto	2019 / Imetame
Batimetria multifeixe da área do Bota-fora do Imetame Logística Porto	Fev-2025 / Imetame
Batimetria multifeixe da área da Dársena do Imetame Logística Porto	2022 / Imetame
Batimetria multifeixe da bacia de evolução e canal do Imetame Porto	2022 / Imetame
Topografia da praia dos hospedes	Fev-2025 / Imetame
Topo-Batimetria para Nutripetro - Praia de Comboios	2015 / Nutripetro
Planta Batimétrica da Área Portuária do Estaleiro Jurong. Escala 1:1000	2014 /EJA
Planta Batimétrica do Bota-fora do Estaleiro Jurong. Escala 1:15.000	2015 / EJA
Batimetria do rio Riacho E: 1:5.000	2021 / Cepemar
Dados batimétricos da região costeira de Barra do Riacho	2011 / Portocel
Batimetria do Terminal Especializado de Barra do Riacho	2014 / Portocel
Topo-batimetria do litoral da Serra	2019 / Ambilev

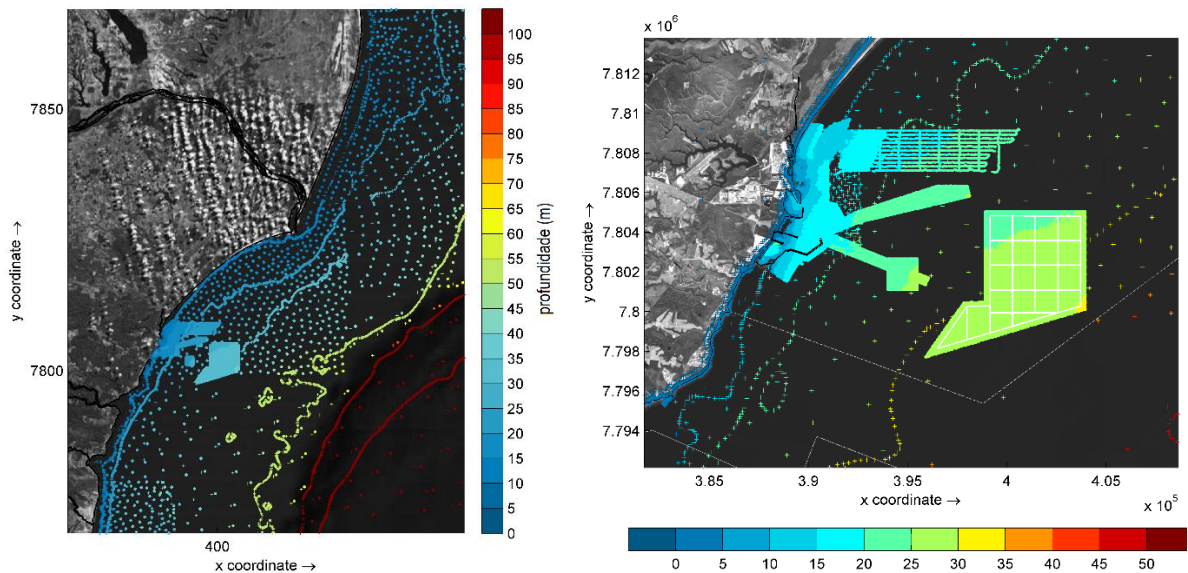


Figura A.3-1. Ilustração da distribuição dos dados batimétricos utilizados neste estudo. Escala de cores em metros.

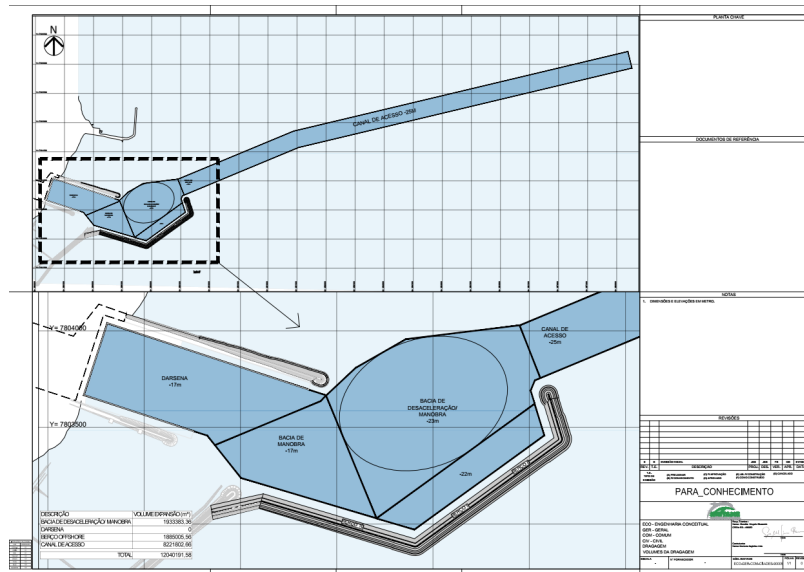


Figura A.3-2. Profundidades de projeto da bacia portuária, bacia de evolução e canal de acesso ao Imetame Logística Porto. Datum vertical DHN (Fonte: Imetame Logística Porto)

A Figura A.3-3 apresenta a configuração de base do domínio batimétrico após a interpolação de todos os dados. Os dados foram interpolados utilizando os métodos de interpolação triangular (via triangulação Delaunay) e a média ponderada nos locais com alta densidade de dados.

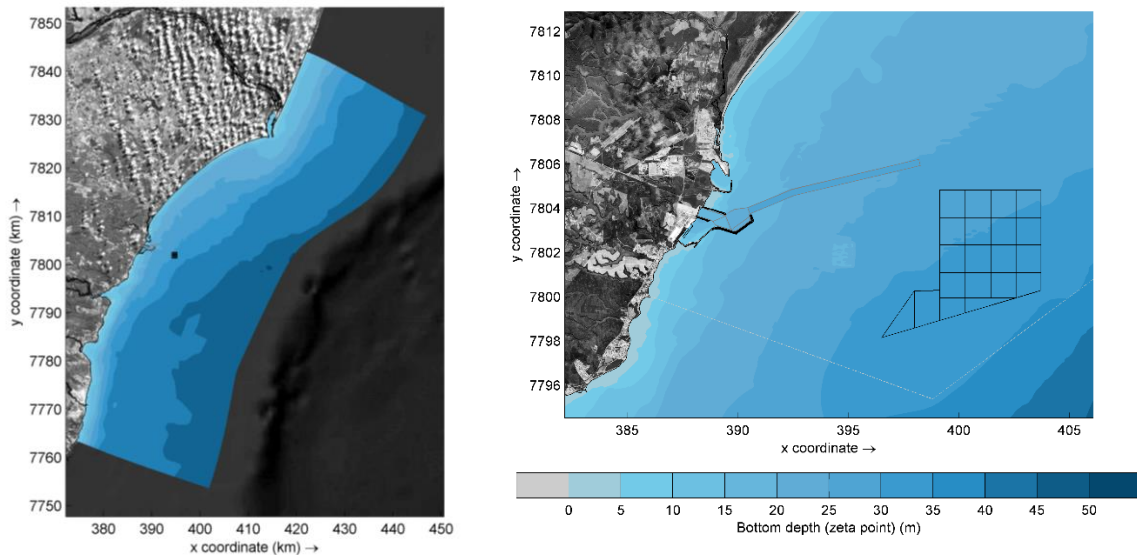


Figura A.3-3. Domínio batimétrico utilizado nas modelagens numéricas. As profundidades estão em metros.

A.4 Composição Sedimentar das Plumas de Descarte

As frações sedimentares utilizadas na modelagem da pluma de descarte foram determinadas a partir das análises granulométricas das amostras coletadas nos furos de sondagem efetuados na bacia de manobra e canal de acesso do Imetame Logística Porto.

A caracterização do material sedimentar a ser dragado baseou-se nas sondagens executadas em novembro de 2025 pela Geosea (2025) e Ambipar (2026). As sondagens foram realizadas em pontos pré-definidos na área de dragagem (Figura A.4-1, Tabela A.4-1) e as amostras de sedimentos foram coletadas a cada metro de cada perfil de sondagem. Os detalhes metodológicos e resultados analíticos completos constam nos relatórios técnicos da Geosea (2025) e Ambipar (2026).

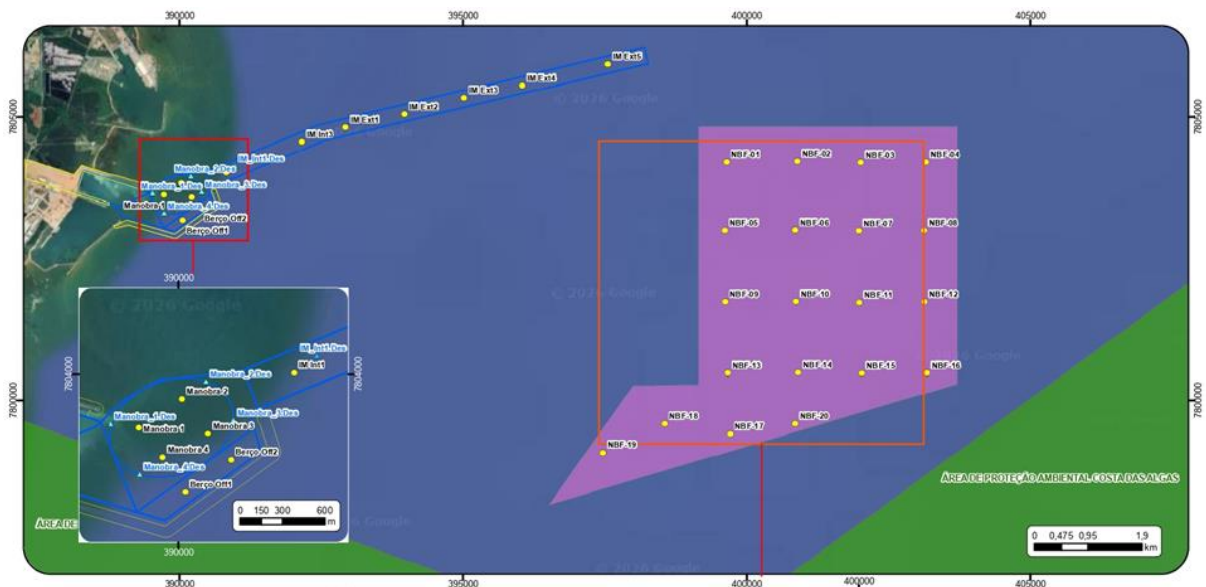


Figura A.1.4-1. Localização dos pontos de sondagem e amostragem na área de dragagem (bacia de manobra, berços e canal de acesso). Fonte: Ambipar, 2026.

Tabela A.1.4-1. Coordenadas dos pontos de sondagem e coleta de amostras de sedimento efetuadas na área de dragagem do Imetame Logística Porto.

Local	ID	UTM_X Leste (m)	UTM_Y Norte (m)	Prof. Atual	Prof. Dragagem
Berço offshore	Berço_Off1	390048.79	7803169.75	17m	22m
	Berço_Off2	390369.31	7803397.85	17m	22m
Bacia de Manobra	Manobra_4.Des	389727.15	7803294.12	16m	23m
	Manobra_1.Des	389521.08	7803650.66	16m	23m
	Manobra_2.Des	390194.04	7803948.69	16m	23m
	Manobra_3.Des	390385.41	7803675.15	16m	23m
Canal de acesso	IM_Int1.Des	390974.51	7804132.37	18m	25m
	IM_Int2	391498.03	7804284.70	19m	25m
	IM_Int3	392162.67	7804561.96	19m	25m
	IM_Ext1	392931.91	7804815.20	20m	25m
	IM_Ext2	393969.79	7805043.73	21m	25m
	IM_Ext3	395021.81	7805326.89	22m	25m
	IM_Ext4	396046.30	7805549.09	22m	25m
	IM_Ext5	397554.53	7805924.67	25m	25m



Figura A.1.4-2. Perfis de sondagem da área de dragagem. Fonte: Imetame/Ambipar.

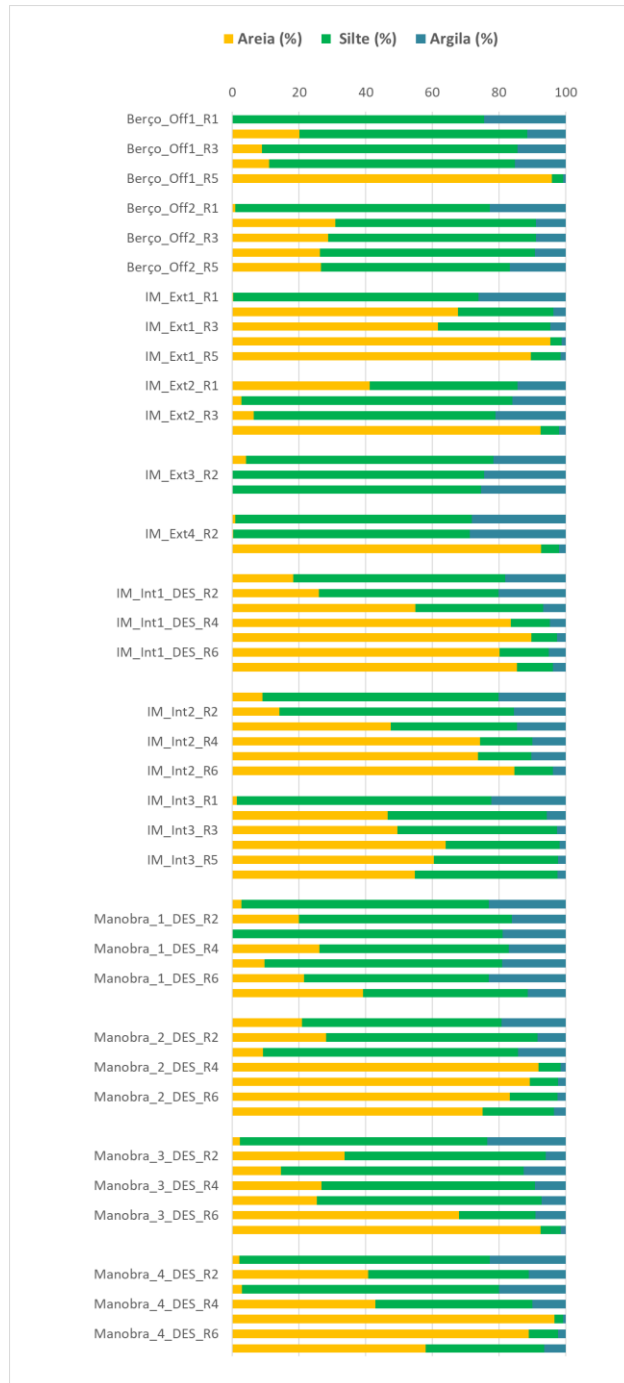


Figura A.1.4-3. Percentuais de areia, silte e argila das amostras das sondagens da bacia portuária utilizada na definição do material das plumas de descarte.

O diagrama triangular de Shepard da Figura A.1.4.2-4 apresenta a distribuição granulométrica das amostras analisadas, segundo a classificação textural de areia-silte-argila. Observa-se que a maioria das amostras dos perfis de sondagem indicaram que, na área a ser dragada, ocorre um predomínio de siltes, siltes arenosos e areias siltosas, com médias granulométricas concentradas entre silte médio a grosso, além de ocorrências localizadas de areias finas a médias (Ambipar, 2026)

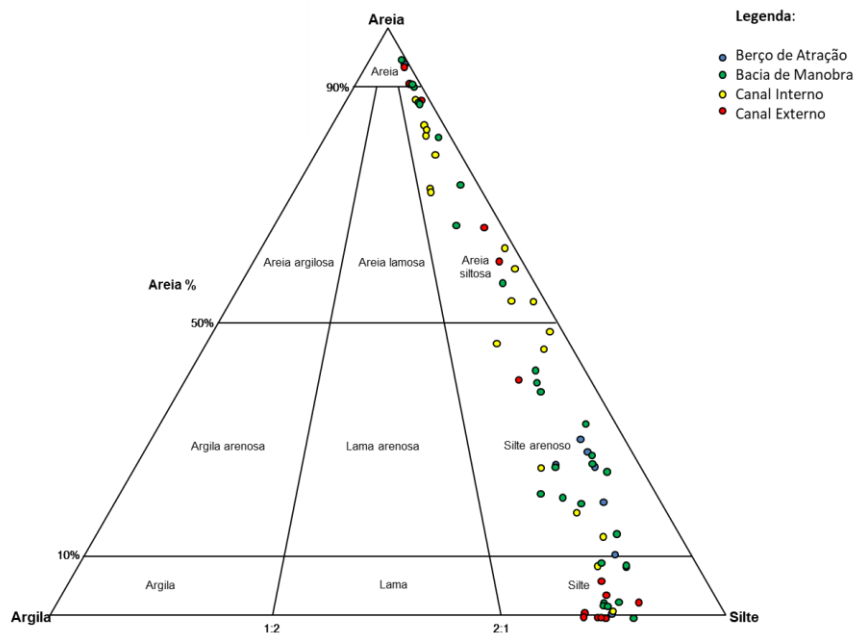


Figura A.1.4-4. Diagrama ternário de Shepard (argila, silte e areia) referente às composições das amostras de sondagem na área de dragagem coletadas em novembro de 2025. Fonte: Ambipar, 2026.

A composição sedimentar evidencia uma composição mista com a predominância da fração fina, o que implica em plumas com uma dispersão mais prolongada. Essa composição mista, com predomínio de frações menores de silte e argila, foi utilizada como referência para definição das classes sedimentares na modelagem de pluma.

Com base nas análises da distribuição granulométricas das 72 amostras coletadas nos furos de sondagem da área de aprofundamento, foi calculado o teor de finos (silte + argila) de cada ponto por média ponderada da massa total da amostra. Os resultados indicam 58.3% de teores de finos, esse valor médio foi adotado como representativo da fração lamosa. A partir deste valor foram efetuados os cálculos do teor potencialmente disponível para permanência em suspensão e transporte.

O sedimento fino utilizado na modelagem apresenta diâmetro médio D_{50} de aproximadamente $16 \mu\text{m}$, correspondente a silte médio, segundo a classificação granulométrica de Wentworth. Para essa granulometria foi adotada velocidade de queda de $2.3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ($\approx 0.23 \text{ mm/s}$), consistente com a formulação de Stokes para partículas finas em suspensão. A Tabela A.1.4-2 apresenta os parâmetros da classe granulométrica utilizada para as simulações das plumas de dragagem, overflow e descarte

Tabela A.1.4-2. Parâmetros da Classe Sedimentar Utilizada na Modelagem da Pluma

Parâmetro	Símbolo	Valor adotado	Unidade
Tipo de sedimento	–	silte	–
Diâmetro médio (mediana)	D_{50}	1.6×10^{-5}	m
Densidade das partículas	ρ_s	2650	kg/m ³
Densidade da água	ρ	1025	kg/m ³
Velocidade de queda	$W_{s,Stokes}$	2.3×10^{-4}	m/s

A.5 Marés e Nível de Água

Para as modelagens hidrodinâmicas e morfodinâmicas, as componentes de maré foram extraídas de análises harmônicas realizadas em pontos posicionados nas fronteiras da grade hidrodinâmica, obtidas a partir do modelo inverso de maré TPXO (versão 7.2) da Universidade do Oregon (OSU).

O modelo TPXO é um modelo global de maré, que assimila dados de altura dos oceanos a partir das medições do satélite altimétrico Topex/Poseidon, conforme metodologia descrita em Egbert e Erofeeva (2002). O TPXO 7.2 fornece 10 constantes de maré numa grade global com resolução de 0.25°. A maré é fornecida como amplitudes e fases da elevação do nível do mar para as principais constituintes harmônicas de maré (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1) e de longo período (Mf, Mm) ao longo das fronteiras abertas do modelo.

A partir das componentes de maré fornecidas pelo modelo TPXO, as condições de contorno das fronteiras da grade do modelo hidrodinâmico foram definidas conforme a Figura A.5-1, isto é, as fronteiras oceânicas abertas Norte, Leste e Sul. A grade morfodinâmica foi encaixada na grade hidrodinâmica, recebendo os dados diretamente nas suas fronteiras abertas.

A Figura A.5 -2 apresenta, como exemplo, a variação das marés de sizígia e quadratura relativas a janeiro e fevereiro de 2021, mês referente à calibração (Anexo 2), cujos dados correspondem às fronteiras Norte e Sul da grade hidrodinâmica.

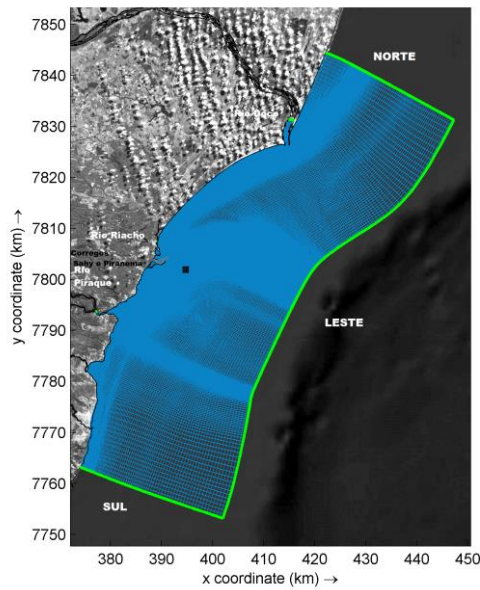


Figura A.5-1. Localização das fronteiras abertas do modelo numérico.

Os resultados das simulações numéricas confirmam que a maré presente na costa do Espírito Santo possui uma classificação de micromaré, com altura variando entre 0,3 m e 1,8 m em períodos de quadratura e sizígia, respectivamente. A maré é de natureza semidiurna pura, com duas preamares e duas baixa-mares durante um dia (24 horas).



Figura A.5-2 Variação do nível de água devido às marés nas fronteiras norte e sul do modelo hidrodinâmico.

A.6 Maré Meteorológica

As variações do nível do mar foram extraídas partir das medições oceanográficas realizadas pelo ADCP instalado a 39 m de profundidade em comparação com o nível do mar da maré astronômica.

A variação entre o nível de água medido pelo ADCP e o previsto pelas componentes astronômicas estão presentes na Figura A.6-1, para dois períodos distintos com disponibilidade de dados na região: janeiro/fevereiro de 2021 e julho/agosto de 2020.



Figura A.6-1. Variação do nível de água da maré astronômica (WL TIDES), nível de água medido pelo ADCP (WL ADCP) e a diferença entre ambos.

A diferença entre a maré astronômica e a medida por instrumentos *in situ* forneceu a variação do nível do mar devido a variações de pressão atmosférica, denominada maré meteorológica. A partir dessas medições, verificou-se que as diferenças máximas encontradas foram de - 13 cm a +14 cm, com médias próximas de 5 cm, tanto positivas como negativas (Tabela A.6-1). Por se tratar de valores pouco significativos, a maré meteorológica não foi considerada nas modelagens morfodinâmicas.

Tabela A.6-1: Valores máximos e mínimos da variação do nível do mar devido às marés meteorológicas obtidos a partir dos dados disponíveis.

	Verão 2021	Inverno 2020
Máxima Positiva (m)	0.14	0.12
Média Positiva (m)	0.05	0.05
Máxima Negativa (m)	-0.13	-0.10
Média Negativa (m)	-0.06	-0.05

A.7 Ventos

Os dados de ventos foram obtidos a partir das medições horárias realizadas pela Estação Meteorológica da Portocel, localizada no quebra-mar sul do Terminal Especializado de Barra do Riacho (Portocel), Tabela A.7-1, Figura A.7-1. Os dados abrangem o período entre 11/2006 até 10/2023, compondo uma série temporal de 17 anos de dados horários medidos na área de estudo.

Tabela A.7-1. Coordenadas da estação meteorológica da Portocel (WGS-84).

LOCAL	UTM-X	UTM-Y	LONGITUDE	LATITUDE
Estação Meteorológica	389489.7	7804675.6	19° 51' 03.15" S	40° 3' 19.52" W

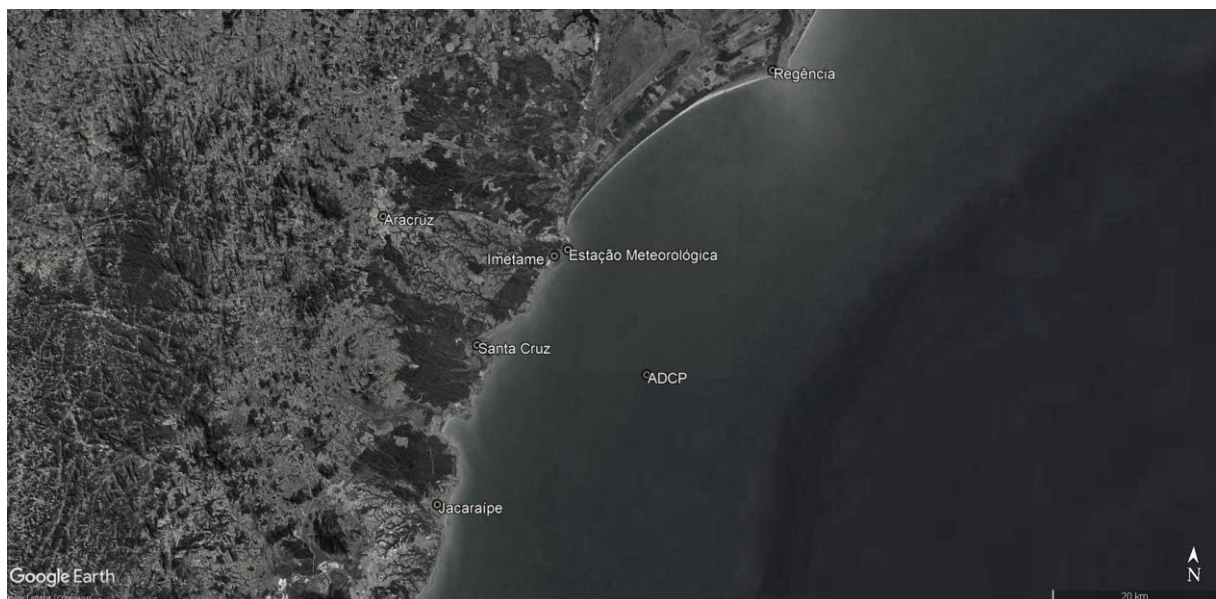


Figura A.7-1. Localização da estação meteorológica da Portocel. Imagem Google Earth.

Os resultados do processamento dos ventos, para as estações de verão e inverno, são apresentados na Figuras A.1.7-2 na forma de rosas dos ventos, que é um modo gráfico conciso de se mostrar histogramas direcionais de dados.

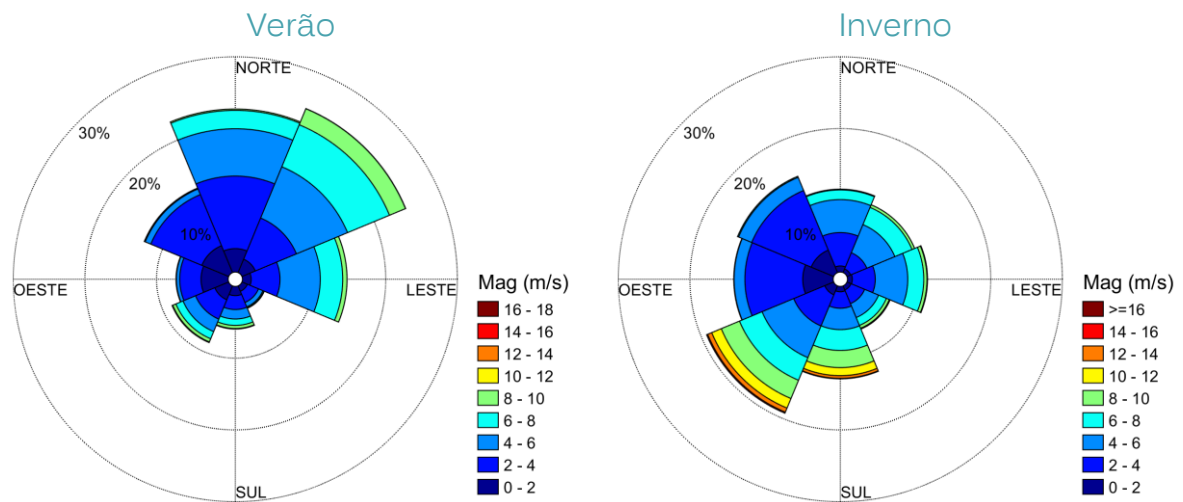


Figura A.7-2. Rosas dos ventos medidos na estação meteorológica da Portocel e distribuídos nas 8 direções principais para as estações de verão e inverno. As cores indicam a intensidade do vento.

Os diagramas de dispersão das Figuras A.7-3 e A.7-4 resumem numericamente as ocorrências de ventos de acordo com a intensidade e a direção de proveniência de verão e inverno. Estes dados serviram de base para a composição dos cenários de ventos utilizados na modelagem de transporte e dispersão da pluma de sedimentos.

Da comparação entre as condições de ventos das duas estações, verifica-se que há uma dominância dos setores de Norte (N, NE, NW) no verão (60.2%) com relação ao inverno (36.3%). O inverso acontece com os setores de Sul (S, SE, SW), que possui uma frequência de ocorrência de 38.6% no inverno e apenas 17.9% no verão. As velocidades médias dos ventos foram 3.9 m/s no verão e 4.6 m/s no inverno, com velocidades máximas obtidas dos ventos de S (18.8 m/s) e SW (16.3 m/s) no inverno e NE (11.5 m/s) e E (12.6 m/s) no verão. Os ventos acima de 10 nós somaram 18.8% do conjunto de dados de verão e 24.4% do inverno, enquanto os ventos de calma e aragem são 18.5% no verão e 12.4% no inverno.

Os cenários de verão e inverno foram definidos de acordo com os ventos mais frequentes (típicos) e os ventos mais intensos (críticos), como apresentado nas Tabelas A.7-2 (verão) e A.7-3 (inverno).

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	freq (%)
20 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
18 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
16 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
14 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
12 m/s	0	0	1	0	0	1	0	0	0.0
10 m/s	0	8	1	0	22	26	0	1	0.2
8 m/s	52	671	167	18	119	133	2	3	4.2
6 m/s	712	1760	869	42	248	301	15	34	14.3
4 m/s	1831	2146	1562	182	366	523	128	235	25.1
2 m/s	2807	1725	1117	467	539	810	826	2141	37.6
0 m/s	907	561	337	228	356	582	1051	1128	18.6
freq (%)	22.7	24.8	14.6	3.4	5.9	8.6	7.3	12.8	100.0
média	3.7	5.1	4.7	3.1	4.1	3.9	2.1	2.5	3.9
máxima	10.0	11.5	12.6	9.5	11.9	12.0	8.9	11.0	12.6

Figura A.7-3. Diagrama de dispersão dos ventos de VERÃO medidos na estação meteorológica da Portocel (2006-2023). Os valores indicam o número de ocorrências.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	freq (%)
20 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
18 m/s	0	0	0	0	2	0	0	0	0.0
16 m/s	0	0	0	0	5	1	0	0	0.0
14 m/s	0	0	0	1	16	45	0	0	0.2
12 m/s	0	0	1	3	109	181	2	0	1.0
10 m/s	0	2	22	32	330	425	0	0	2.8
8 m/s	32	116	132	128	705	811	1	1	6.5
6 m/s	397	765	658	348	855	1006	11	45	13.9
4 m/s	1354	1248	1337	620	877	1408	444	585	26.7
2 m/s	1370	721	943	607	676	1382	2378	2647	36.4
0 m/s	251	163	199	181	220	398	1251	1002	12.4
freq (%)	11.6	10.2	11.2	6.5	12.9	19.2	13.9	14.5	100.0
média	4.1	5.0	4.8	4.7	6.4	6.0	2.6	2.9	4.6
máxima	9.6	11.0	12.3	14.2	18.8	16.3	13.2	8.6	18.8

Figura A.7-4. Diagrama de dispersão dos ventos de INVERNO medidos na estação meteorológica da Portocel (2006-2023). Os valores indicam o número de ocorrências.

Tabela A.7-2. Cenários de ventos representativos de VERÃO.

Setor	TÍPICOS		CRÍTICOS		Frequência (%)
	Velocidade (m/s)	Direção (°)	Velocidade (m/s)	Direção (°)	
N	3.3	359.7	6.9	3.3	22.0
NE	4.6	49.3	8.5	59.3	22.9
E	4.3	82.4	8.0	72.8	13.6
SE	2.7	142.4	5.6	135.2	6.6
S	3.1	176.4	8.1	187.2	9.6
SW	3.3	222.3	8.6	213.5	8.1
W	1.9	265.9	4.6	266.1	5.7
NW	2.3	325.7	4.7	326.4	11.4

Tabela A.7-3. Cenários de ventos representativos de INVERNO.

Setor	TÍPICOS		CRÍTICOS		Frequência (%)
	Velocidade (m/s)	Direção (°)	Velocidade (m/s)	Direção (°)	
N	3.8	357.4	7.0	357.8	10.8
NE	4.3	49.0	7.8	53.8	10.8
E	3.6	86.6	7.7	87.7	17.4
SE	4.3	134.3	9.0	134.1	6.2
S	5.8	185.2	11.8	194.2	12.0
SW	5.0	222.5	11.7	213.0	20.3
W	2.4	266.5	4.7	260.0	10.9
NW	2.6	320.4	5.0	326.9	11.5

A.8 Vazões dos Rios

Neste estudo foram considerados os principais cursos d'água que deságuam na região de interesse. Ao sul da área de estudo, nas proximidades da Imetame, foram incluídos os córregos Piranema e Barra do Sahy, cuja vazão média é de 0,74 m³/s (AGERH, 2020). Mais ao sul, a confluência dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim dá origem ao rio Piraquê, que deságua no mar aproximadamente 14 km ao sul do empreendimento, com vazão média de 15 m³/s (Silva, 2014). A norte, destaca-se o rio Riacho, cuja foz situa-se a cerca de 3 km do Imetame Logística Porto. Com base em estudos anteriores realizados pela Oceano Digital (2016), foi adotada neste trabalho uma vazão média de 9 m³/s. Para o rio Doce, cuja influência regional é significativa, consideraram-se as vazões sazonais observadas pelo Programa de Monitoramento Qualiquantitativo Sistemático (PMQQS), com 338 m³/s no inverno e 984 m³/s no verão. As vazões médias

foram mantidas constantes ao longo de cada período de simulação de verão ou inverno, representando condições fluviais médias de referência.

A.9 Convenções e Definições

O sistema de coordenadas utilizado nas simulações dos modelos numéricos Delft3D-FLOW, Delft3D-WAVE e Delft3D-MOR é referido ao Datum WGS-84, em projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 24 K. O posicionamento do eixo-x aponta a direção Leste (E) e o eixo-y aponta a direção Norte (N). Para a referência vertical, eixo-z, as profundidades e topografia estão em metros e se referem ao Nível Médio do Mar (NMM), que está a +0,80 m do ZH da DHN local.

ANEXO B. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

A calibração do modelo Delft3D-FLOW tem como objetivo ajustar os coeficientes do modelo que são dependentes das rugosidades de fundo e lateral e os coeficientes de arrasto do vento. A rugosidade de fundo é uma característica particular do ambiente que se está a modelar e varia consoante o tipo de cobertura sedimentar, presença de rochas, vegetação, formas de fundo e do contorno lateral do domínio geográfico.

O processo de calibração consiste na comparação direta entre os resultados simulados e as medições hidrodinâmicas obtidas *in situ*. Essa etapa é considerada concluída quando se atinge o melhor conjunto de coeficientes, cujo resultado melhor reproduz os dados observados, dentro de limites de erro aceitáveis e coerentes com a natureza dos processos representados.

A etapa da validação da modelagem numérica (ou etapa de verificação¹) tem início logo após a calibração, na qual se utilizam os coeficientes escolhidos como os melhores dos testes realizados e se segue a mesma estratégia de modelagem, definida previamente, sem qualquer alteração, porém em outro período de medições. O desempenho obtido na verificação confirma a robustez da calibração realizada, pois nesta etapa não é permitido nenhum ajuste adicional, assegurando que o modelo reproduz adequadamente as condições hidrodinâmicas observadas.

Como todo modelo numérico é uma aproximação da realidade física e, por outro lado, as medições de ventos normalmente não estão disponíveis na superfície do mar abrangida pelo modelo ou bem distribuídas espacialmente, sempre há um desvio entre a simulação e os dados oceanográficos medidos *in situ*. A qualidade dos ajustes realizados nas etapas de calibração e validação é avaliada a partir dos desvios relativos (ou erros relativos) calculados para os parâmetros simulados em comparação com as medições, cujos valores numéricos absolutos e percentuais fornecem o grau de confiança no modelo e na estratégia de modelagem executada.

¹ Em rigor, não se faz propriamente uma validação das formulações numéricas do modelo Delft3D (significado restrito do termo validação), mas uma verificação dos resultados obtidos mediante as condições impostas e os coeficientes ajustados na etapa da calibração. Também é chamada de etapa de aferição.

B.1 Medições Instrumentais

A calibração dos coeficientes hidrodinâmicos do modelo Delft3D foi realizada comparando-se as componentes horizontais (U e V) das correntes e o nível de água estimados pelas simulações numéricas executadas, com os valores medidos em campo por um instrumento oceanográfico fundeado, considerando o mesmo intervalo de tempo.

As correntes foram medidas por um ADCP Signature de 500 kHz da Nortek (*Acoustic Wave and Current profiler*), fundeado na plataforma interna ao largo de Aracruz, na profundidade de 39 m (Figura B.1-1 e Tabela B.1-1). Os dados foram fornecidos pelo Laboratório de Oceanografia Física Poseidon (UFES) integrante da Rede Rio Doce Mar (FEST), já previamente processados e submetidos a controle de qualidade prévios.

As condições de ventos utilizados na calibração e validação foram obtidas a partir de medições locais de velocidade e direção dos ventos realizadas pelo anemômetro da Estação Meteorológica da Portocel, localizada no quebra-mar sul do Terminal Especializado de Barra do Riacho (Portocel), Figura B.1-1 e Tabela B.1-1.

Tabela B.1-1: Coordenadas do local de instalação do equipamento de medição oceanográfica e da estação meteorológica da Portocel (WGS-84).

LOCAL	UTM-X	UTM-Y	LONGITUDE	LATITUDE
ADCP	399721.2	7790168.6	19° 58' 57.02" S	39° 57' 30.61" W
Estação Meteorológica	389489.7	7804675.6	19° 51' 03.15" S	40° 3' 19.52" W

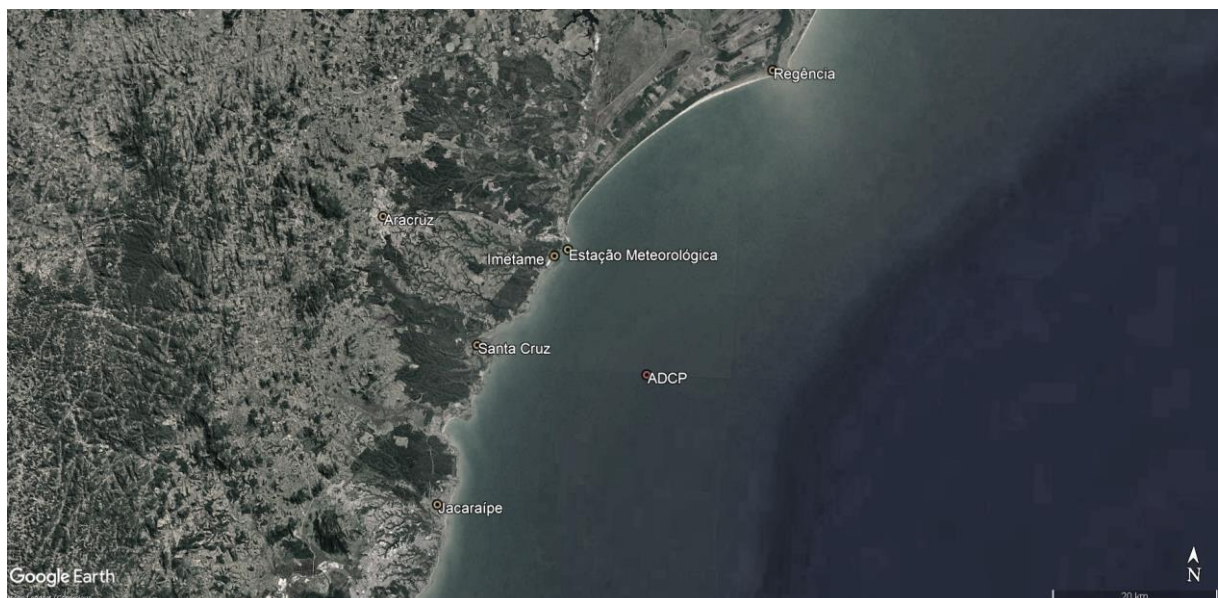


Figura B.1-1: Localização da estação meteorológica da Portocel e do ADCP ao largo da costa de Aracruz, ES.

O período de medições para a execução da calibração do modelo correspondeu ao verão, entre os dias 21 de janeiro e 28 de fevereiro de 2021, enquanto o período utilizado para a validação correspondeu ao inverno, entre os dias 22 de julho e 30 de agosto de 2020.

As condições meteoceanográficas presentes na ocasião dessas campanhas serviram de entradas dos modelos numéricos, isto é, ventos (seções B.2 e B.4, a seguir), marés e vazão dos principais rios da região (Anexo A).

B.2 Condições de Ventos para a Calibração

Os dados de ventos utilizados na calibração foram extraídos para o mesmo período de janeiro-fevereiro de 2021, garantindo a simultaneidade de medições de corrente na plataforma interna de Aracruz. A Figura B.2-1 apresenta os parâmetros dos ventos considerados na calibração e pode-se observar a dominância de ventos do setor Norte/Nordeste bem como os efeitos de brisa terrestre e marítima. Nas simulações, os ventos foram considerados uniformes sobre todo o domínio computacional, com resolução temporal tri-horária de entrada no modelo.

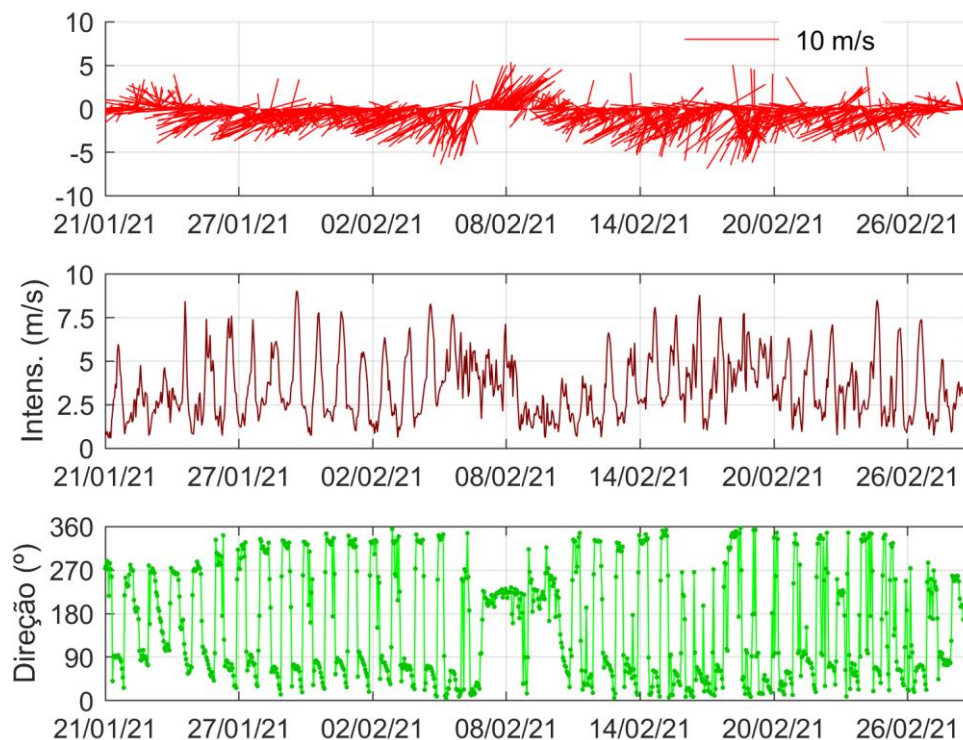


Figura B.2-1. Séries de vetores (*stickplot*), magnitudes da velocidade e direções de proveniência dos ventos utilizados na etapa de calibração do modelo numérico.

B.3 Resultados da Calibração

A comparação das correntes foi realizada utilizando-se os resultados do modelo numérico Delft3D-FLOW e as medições *in situ*. O modelo foi executado para várias situações e coeficientes de rugosidade de fundo de Chèzy e Manning.

B.3.1 Nível de Água (Marés)

A Figura B.3.1-1 apresenta a comparação da variação do nível de água medido pelo ADCP e o estimado pelo modelo Delft3D-FLOW já calibrado. A Tabela B.3.1-1 resume o resultado da comparação em termos dos desvios (erros). A comparação numérica dos valores de nível de água medidos e estimados, apresentou desvios abaixo de 7.9%. Os erros normalizados ficaram abaixo de 4.5% (Tabela B.3.1-1).

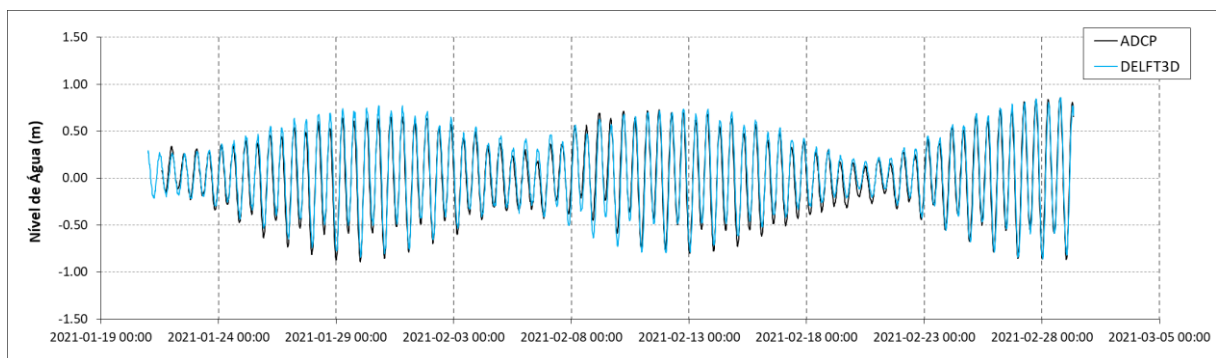


Figura B.3.1-1: Comparação entre o nível de água medido pelo Marégrafo de Tubarão e o estimado pelo modelo numérico Delft3D-FLOW.

Tabela B.3.1-1 Desvios entre o nível de água medido e previsto para o ponto do ADCP.

Nível de Água	Nível
Desvio Médio Absoluto (m)	0.050
Erro Quadrático Médio (m)	0.079
Erro Quadrático Médio Normalizado (%)	0.045
Erro Relativo Normalizado (%)	0.029

B.3.2 Correntes

A Figura B.3.2-1 e a Tabela B.3.2-1 resumem a comparação dos resultados do modelo calibrado com as medições para as componentes U e V das correntes. Os resultados indicam que os erros normalizados ficaram abaixo de 13.0% para a componente V das correntes e abaixo de 11.5% para a componente U. Estes valores indicam que as correntes simuladas possuem uma variação, na média, abaixo de 0.05 m/s. No caso desta calibração, este resultado significa uma subestimação média das velocidades máximas ou superestimação média das velocidades mínimas entre 7% e 8%.

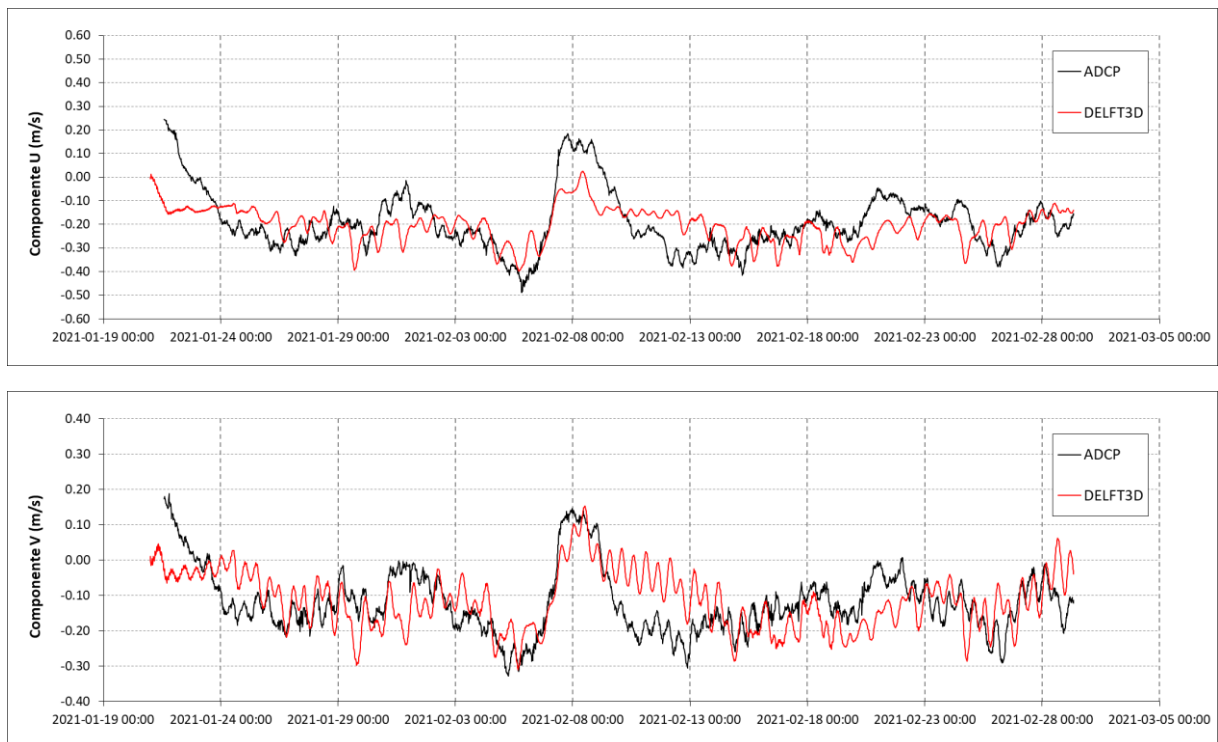


Figura B.3.2-1: Comparação entre componentes U e V das correntes medidas pelo ADCP e estimadas pelo modelo numérico Delft3D-FLOW.

Tabela B.3.2-1 Desvios entre as componentes das velocidades medidas e previstas para o ponto do ADCP.

Correntes	Componente U	Componente V
Desvio Médio Absoluto (m/s)	0.052	0.042
Erro Quadrático Médio (m/s)	0.084	0.067
Erro Quadrático Médio Normalizado (%)	0.115	0.130
Erro Relativo Normalizado (%)	0.071	0.082

B.4 Condições de Ventos para a Validação

Os ventos utilizados na validação foram obtidos das mesmas medições locais da Estação Meteorológica da Portocel, porém referentes ao período de julho-agosto de 2020 (referente ao inverno), em simultaneidade com as medições de corrente na plataforma interna de Aracruz.

A Figura B.4-1 apresenta os parâmetros dos ventos considerados na validação e pode-se observar a ocorrência de ventos do setor Norte/Nordeste com inversões de ventos provenientes de Sul/Sudoeste e efeitos de brisa terrestre e marítima. Os ventos foram considerados uniformes sobre todo o domínio computacional e os parâmetros tiveram uma resolução temporal tri-horária de entrada no modelo numérico.

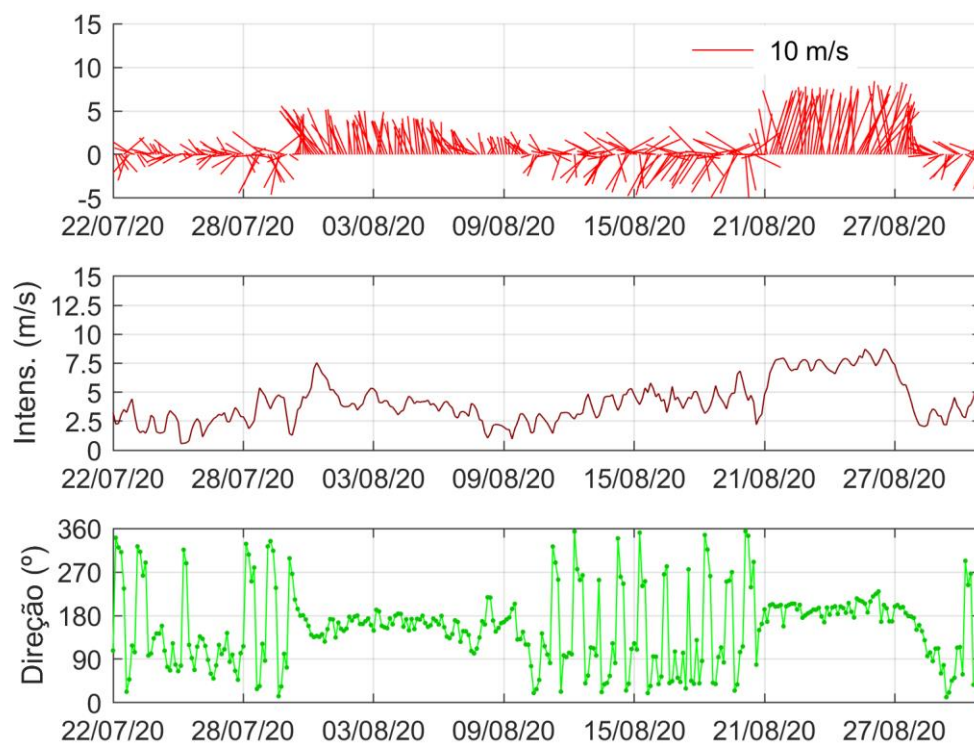


Figura B.4-1. Séries de vetores (*stickplot*), magnitudes da velocidade e direções de proveniência dos ventos utilizados na etapa de validação do modelo numérico.

B.5 Resultados da Validação

B.5.1 Nível de Água (Marés)

A Figura B.5.1-1 apresenta a comparação dos níveis de água medidos e estimados pelo modelo Delft3D-FLOW e a Tabela B.5.1-1 resumem os resultados em termos dos desvios (erros) para o período de validação. A comparação numérica dos valores de nível de água medidos pelo marégrafo e estimados pelo modelo Delft3D-FLOW, apresentou desvios abaixo de 15.5%. Os erros normalizados ficaram abaixo de 8.6% (Tabela B.5.1-1).

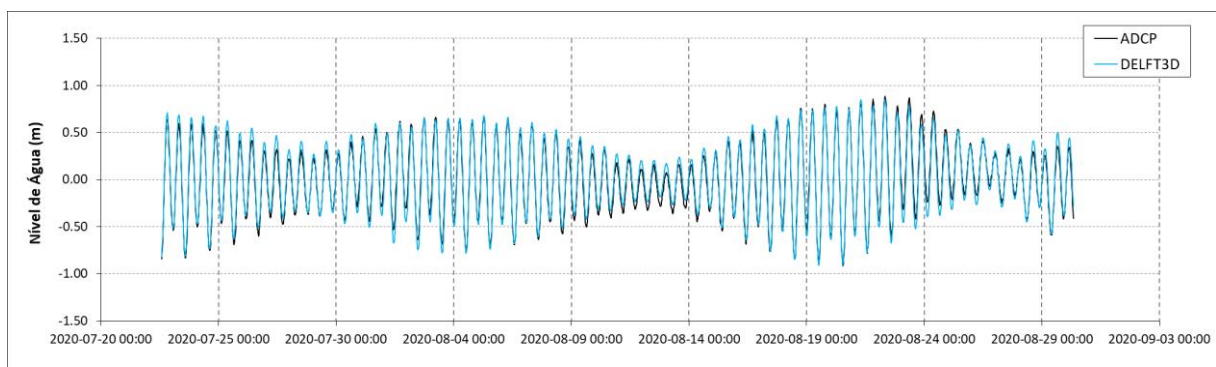


Figura B.5.1-1: Comparação entre o nível de água medido pelo ADCP e o estimado pelo modelo numérico Delft3D-FLOW.

Tabela B.5.1-1 Desvios entre o nível de água medido e previsto para o ponto do Marégrafo de Tubarão.

Correntes	Nível
Desvio Médio Absoluto (m/s)	0.117
Erro Quadrático Médio (m/s)	0.160
Erro Quadrático Médio Normalizado (%)	0.092
Erro Relativo Normalizado (%)	0.067

B.5.2 Correntes

A Figura B.5.2-1 e a Tabela B.5.2-1 resumem os resultados do modelo Delft3D-FLOW e as medições realizadas pelo ADCP quanto às componentes U e V das correntes para o período de validação. Os resultados da comparação indicam que os erros normalizados ficaram abaixo de 16.5% para a componente U das correntes e abaixo de 13.2% para a componente V.

Estes valores indicam que as correntes simuladas possuem uma variação, em média, de 0.06 m/s. No caso da validação, este resultado significa uma subestimação das velocidades máximas ou superestimação das velocidades mínimas entre 9% e 11%.

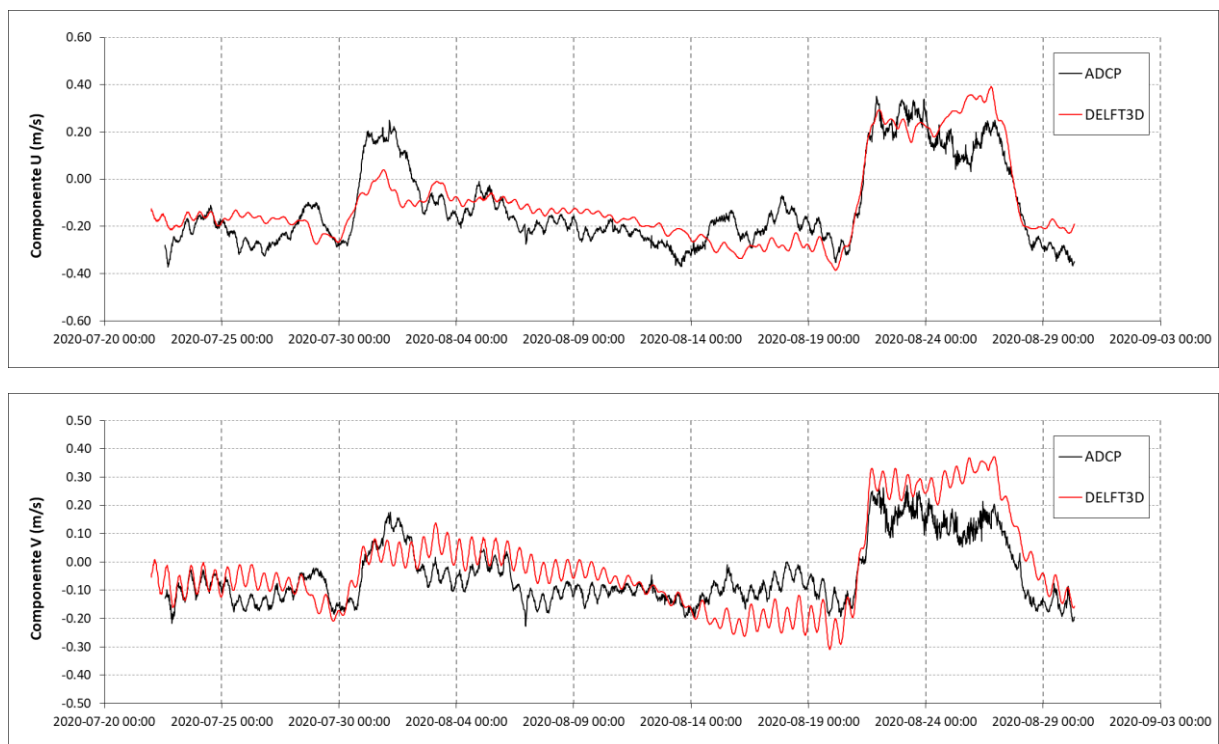


Figura B.5.2-1: Comparação entre componentes U e V das correntes medidas pelo ADCP e estimadas pelo modelo numérico Delft3D-FLOW.

Tabela B.5.2-1 Desvios entre as componentes das velocidades medidas e previstas para o ponto do ADCP.

Correntes	Componente U	Componente V
Desvio Médio Absoluto (m/s)	0.066	0.057
Erro Quadrático Médio (m/s)	0.096	0.082
Erro Quadrático Médio Normalizado (%)	0.132	0.165
Erro Relativo Normalizado (%)	0.091	0.114



OCEANO DIGITAL TECNOLOGIA E ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA

Telefone: (27) 981210182/981442866

E-mail: contato@oceanodigital.com.br

www.oceanodigital.com.br